



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROCESOS BIOLÓGICOS
PARA EL TRATAMIENTO DE
LAS AGUAS RESIDUALES

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

Miguel Angel Antonio Ramírez García

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
Objetivo de los Procesos Biológicos.	4
Composición de las Aguas Residuales.	4
Bacterias.	9
Hongos.	12
Algas	12
Protozoos.	16
Rotíferos.	18
Crustaceos.	18
Virus.	19
CAPITULO II	
Proceso de Lodos Activados. (Historia).	20
Descripción del Proceso.	20
Lodos Activados Convencional.	24
Aireación por Etapas.	26
Estabilización por Contacto.	29
Mezcla Completa.	32
Aireación Modificada.	33
Lodos Activados de dos etapas.	35
Lodos Activados de Oxígeno puro.	36
CAPITULO III	
Filtros Goteadores o Rociadores.	44
Diseño de las Instalaciones.	51
Sistemas de Distribución.	52
Medios Filtrantes.	54
Drenaje Inferior.	56
Ventilación.	57
Tanques de Sedimentación.	59
CAPITULO IV	
Lagunas de Estabilización.	60
Clasificación.	63
Estanques Facultativos.	64
Métodos para el Proyecto de Estanques Facultativos.	66
Método basado en la carga por unidad de Superficie.	66
Procedimiento Empírico.	68
Forma y profundidad de los Estanques.	72
Capa de Lodo.	72
Mezcla.	74

CAPITULO V

Proceso de Discos biológicos(Historia)	78
Descripción del Proceso.	79
Operación de una Planta a base de Biodiscos.	85
Criterio de Diseño.	90
CONCLUSIONES.	92
BIBLIOGRAFIA.	100

INTRODUCCION

Las aguas residuales son fundamentalmente las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido impurificadas por diversos usos. Desde el punto de vista de su origen, resultan de la combinación de líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales e industriales, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas, superficiales o precipitación que puedan agregarse.

Las aguas residuales consisten de agua, de los sólidos disueltos en ella y de los sólidos suspendidos en la misma. La cantidad de sólidos es generalmente muy pequeña, casi siempre menos de 0.1% del volumen total, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuada. El agua solamente provee el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

Las aguas residuales contienen también incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural de la materia orgánica porque algunos de ellos --son la base en el tratamiento de estas aguas, y su éxito, in--cluyendo la degradación y descomposición depende de sus actividades. Puede decirse con razón, que ellos son los trabajadores que emplea un operador de plantas de tratamiento de aguas resi

duales.

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso por medio del cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles puedan ser convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado. Una vez completados todos los procesos de tratamiento, es necesario disponer de los líquidos y los sólidos que -- hayan sido separados.

Los procesos de tratamiento de las aguas residuales, pueden clasificarse en primarios, secundarios y terciarios. En un proceso primario de tratamiento de aguas residuales, los sólidos flotantes, en suspensión o sedimentables, de las aguas tratadas, se reducen por sedimentación libre, filtración o en fosas sépticas. Un proceso secundario, recibe las aguas procedentes del proceso primario, y comprende un tratamiento más -- completo, mecánico, químico o biológico para reducir los sólidos en suspensión o disueltos, y la demanda bioquímica de oxígeno. Un tratamiento terciario debe comprender tratamiento secundario, para producir un líquido de alta calidad, completado posiblemente por procesos adicionales como filtración, denitrificación, etc.

Es el objetivo del presente trabajo el realizar un análisis de los tipos de tratamiento biológico de aguas residuales más -- usuales hoy en día entre los que hemos incluido las plantas de

tratamiento de Lodos Activados, Biodiscos, Filtros Rociadores -
y Lagunas de estabilización.

CAPITULO 1

I.- OBJETIVO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS.

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son:

1.- Coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables.

2.- Estabilización de la materia orgánica.

En el caso de agua residual doméstica, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico.

Para las aguas residuales industriales, la finalidad es eliminar o reducir la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos; sin embargo dado que muchos de estos compuestos son tóxicos a los microorganismos, en algunos casos puede ser necesario efectuar un pretratamiento.

En la mayoría de los casos, el agua residual puede ser tratada biológicamente, a base de conseguir un control ambiental adecuado. Por tanto, es imprescindible para el buen funcionamiento de los procesos biológicos, el conocimiento adecuado de la composición biológica de las aguas residuales y así asegurar que exista tal ambiente y que este sea controlado eficazmente.

II.- COMPOSICION BIOLÓGICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales contienen incontables organismos vivos los cuales son demasiado pequeños para ser visibles, - excepto bajo el microscopio. Son la parte viva natural de la

materia orgánica que se encuentran en las aguas residuales - y su presencia es de suma importancia porque son uno de los motivos para el tratamiento de estas aguas, y su éxito, incluyendo la degradación y descomposición, depende de sus actividades. Puede decirse con razón que ellas son los trabajadores que emplea un operador de plantas de tratamiento de aguas residuales y que su éxito puede medirse por su conocimiento y atención a los gustos y aversiones de sus hábitos nutritivos y ambientales.

El entendimiento de la forma, estructura y actividades bioquímicas de los microorganismos importantes es básico para el diseño de un proceso de tratamiento biológico o en la relación del tipo de proceso a utilizar.

En el pasado, los microorganismos fueron agrupados en dos reinos: vegetal y animal. Por dificultades taxonómicas, la tendencia actual es clasificarlas en tres grupos: Protistas, vegetales y animales. En la tabla # 1 se presentan algunas características generales de los microorganismos de cada reino. Aunque en dicha tabla se muestran las diferencias más importantes entre protistas, vegetales y animales, los tres reinos son semejantes en que la célula es la unidad de la vida en todos ellos, sin importar la complejidad del organismo.

En general, la mayoría de las células vivientes son muy similares. Como se muestra en la figura # 1, tienen una pa-

red celular que puede ser una membrana flexible o rígida. Si son móviles, poseen por lo general flagelos o algunos apéndices de apariencia capilar. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, llamada Citoplasma.

MIEMBROS		
REINO	REPRESENTATIVOS	CARACTERIZACION
Animal	Rotíferos	} Multicelulares, con diferenciación de tejidos.
	Crustáceos	
Vegetal	Musgos	
	Helechos	
	Plantas de semilla	
Protista		
Superiores	Algas	} Unicelulares o multicelulares sin diferenciación de tejidos.
	Protozoos	
	Hongos	
	Mucilagos	
Inferiores	Algas verdes	
	azules	
	Bacterias	

TABLA # 1 : LOS TRES REINOS DE LOS MICROORGANISMOS.

Cada célula contiene ácidos nucleicos, producto hereditario vital para la reproducción. La región citoplasmática con

tiene ácido ribonucleico (ARN), cuya misión principal consiste en la síntesis de las proteínas, asimismo en el interior de la pared celular se halla la región del núcleo, rica en ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN contiene toda la información necesaria para reproducción de todos los compuestos de la célula y puede considerarse como el producto de la célula. En algunas células, el ADN está cubierto por una membrana y el núcleo queda claramente definido (células eucarióticas) En otras, el núcleo está mal definido (células procarióticas).

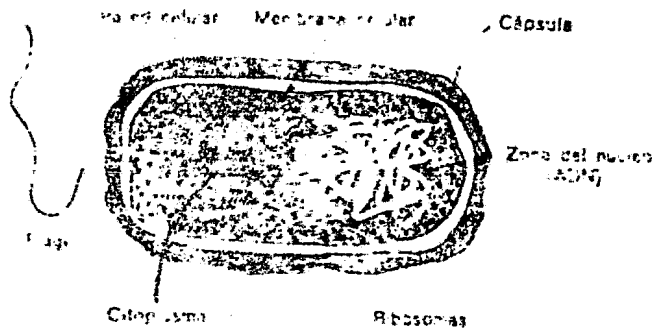


FIG. # 1 ESQUEMA DE UNA CELULA BACTERIANA.

A fin de continuar sus funciones vitales adecuadamente, un organismo debe tener una fuente de energía y de carbono para la síntesis de nueva materia celular. Los elementos inorgánicos, tales como el nitrógeno y el fósforo, y otros elementos que se encuentran a nivel de vestigios como el azufre, potasio, calcio y magnesio son también vitales para la síntesis celular. Dos de las fuentes más usuales del carbono celular para los microorganismos son el dióxido de carbono y la materia orgánica. Si un organismo obtiene su carbono a --

partir del dióxido de carbono, se le llama Autotrófico; si utiliza carbono orgánico se le llama Heterotrófico.

La energía es también necesaria para la síntesis de nueva materia celular. En los organismos autótrofos, la energía puede proporcionarla el sol, como en la fotosíntesis, o una reacción orgánica de oxidación-reducción. Si la energía fuese solar, al organismo se le denomina autotrófico fotosintético, si fuese proporcionada por una reacción inorgánica de oxidación-reducción se le conocerá por el nombre de autotrófico quimosintético. En los organismos heterotróficos, la energía requerida para la síntesis celular procede de la oxidación o fermentación de la materia orgánica. La tabla # 2 presenta una clasificación de los organismos según sus fuentes de energía y de carbono celular.

TABLA # 2 .- CLASIFICACION DE LOS MICROORGANISMOS
SEGUN SUS FUENTES DE ENERGIA Y DE CARBONO.

CLASIFICACION	FUENTE DE LA ENERGIA	FUENTE DEL CARBONO
Autótrofos .		
Fotosintéticos	Luz	CO ₂
Quimosintéticos	Reacción inorgánica de oxidación-reducción	CO ₂
Heterotróficos	Reacción orgánica de oxidación-reducción.	Carbono orgánico

Los organismos pueden igualmente clasificarse según su capacidad para utilizar oxígeno. Los organismos aerobios solo pueden existir en presencia de oxígeno molecular y los organismos anaerobios existen solamente en un ambiente privado de oxígeno. Los organismos facultativos tienen la capacidad de sobrevivir con o sin oxígeno libre.

El ingeniero sanitario ha de conocer bien las características de los siguientes microorganismos por su importancia en los procesos de tratamientos biológicos: 1) BACTERIAS 2) HONGOS; 3) ALGAS; 4) PROTOZOOS; 5) ROTIFEROS; 6) CRUSTACEOS; 7) VIRUS.

BACTERIAS. Las bacterias son protistas unicelulares. Consumen alimentos solubles y, por lo general, se encuentran donde hay alimentos y humedad. Su modo habitual de reproducción es por escisión binaria, aunque algunas especies se reproducen sexualmente o por germinación. Si bien existen miles de diferentes especies de bacterias, su forma general encaja dentro de alguna de estas tres categorías: esféricas, cilíndricas y helicoidales. Los tamaños de las bacterias varían mucho, siendo los mas representativos de 0.5 a 1.0 mm. de diámetro en el caso de bacterias esféricas, de 0.5 a 1.0 de anchura por 1.5 a 3.0 mm. de longitud; para las cilíndricas (bastoncillos) y 0.5 a 5.0 mm. de anchura por 6 a 15 mm. de longitud para las helicoidales (espirales).

Diversos ensayos realizados con diferentes bacterias --

indican que están compuestas por un 80% de agua y el 20% restante de materia seca, de la cual el 90% es orgánica y el --- 10% inorgánica. Una fórmula aproximada de la fracción orgánica es $C_5H_7O_2N$. Como la fórmula indica un 53% en peso, aproximadamente, es carbono, Los compuestos que constituyen la porción inorgánica incluyen P_2O_5 (50%), SO_3 (15), Na_2O (11%), -- CaO (9%), MgO (8%), K_2O (6%) y Fe_2O_3 (1%). Puesto que todos estos elementos y compuestos deben proceder del medio ambiente en el que se desarrolla la célula, la falta de cualquiera de estas sustancias limitaría su crecimiento y, en algunos casos, la alteraría.

La temperatura y el pH juegan un papel vital en la vida y muerte de las bacterias así como en otras plantas y animales microscópicos. Se ha comprobado que la velocidad de reacción para los microorganismos aumenta con la temperatura, duplicándose por cada $10^{\circ} C$ de aumento, hasta alcanzar la -- temperatura límite. Según el grado de temperatura en que se desarrollan mejor las bacterias se clasifican en: Criófilas o Psicrófilas, Mesófilas y Termófilas. Los intervalos típicos de temperatura para las bacterias en cada una de las categorías señaladas pueden verse en la tabla # 3.

El pH de una solución es asimismo un factor clave en el crecimiento de los organismos. La mayoría de éstos no puede tolerar niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4.0. Por lo general, el pH óptimo para el crecimiento se encuen-

tra entre 6.5 y 7.5.

Las bacterias pueden clasificarse, en base a su metabolismo, en heterotróficas y autotróficas. Las autotróficas -- mas comunes son quimosistéticas, y solamente muy pocas son -- capaces de efectuar la fotosíntesis; las bacterias purpúreas del azufre (Thiorhodaceae) y las bacterias verdes del azufre (Chlorobiaceae) son ejemplos representativos de bacterias -- autotróficas fotosintéticas. En el tratamiento biológico de las aguas residuales, las bacterias heterótroficas constituyen en general, el grupo mas importante, por su necesidad de compuestos orgánicos para el carbono celular. Las bacterias autotróficas y heterotróficas pueden dividirse, a su vez, - en aerobias, anaerobias o facultativas, según su necesidad - de oxígeno.

TABLA # 3.- -INTERVALOS TÍPICOS DE TEMPERATURA PARA DIVERSAS BACTERIAS

T I P O	T E M P E R A T U R A E N ° C	
	I N T E R V A L O	O P T I M A
Criófilas*	-2-30	12-18
Mesófilas	20-45	25-40
Termófilas	45-75	55-65

*también conocidas como psicrofilas.

HONGOS. En ingeniería sanitaria se considera que los hongos son protistas heterotróficos, no fotosintéticos y multicelulares. Los microbiólogos son menos restrictivos en su definición e incluyen las bacterias como una clase de hongos, si bien en ingeniería sanitaria es preferible que las bacterias, por su importancia, sean consideradas por separado.

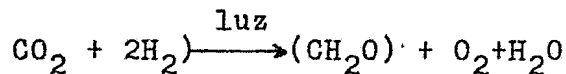
Los hongos se clasifican generalmente por su modo de reproducción. Se reproducen sexual o asexualmente, por escisión, germinación o formación de esporas. Los mohos o "verdaderos hongos" producen unidades microscópicas (hifas), que colectivamente forman una masa filamentosa llamada el micelio. En Ingeniería sanitaria, los términos "hongos" y "mohos", se usan como sinónimos. Los fermentos son hongos que no pueden formar un micelio y, por tanto, son unicelulares.

La mayoría de los hongos son aerobios estrictos. Pueden crecer con muy poca humedad y toleran un medio ambiente con pH relativamente bajo. El pH óptimo para la mayoría de las especies es de 5.6; el intervalo es de 2 a 9. Los hongos tienen una demanda baja de nitrógeno, sólo necesitan aproximadamente la mitad de lo que requieren las bacterias. La capacidad de los hongos para sobrevivir a pH bajos y poco nitrógeno los hace muy importantes en el tratamiento de algunas aguas residuales industriales y en la formación de "compost" a partir de residuos sólidos orgánicos.

ALGAS. Las algas son protistas unicelulares o multice-

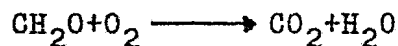
lulares autotróficos y fotosintéticos. En algunos procesos biológicos tales como estanques de oxidación, las algas son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de la fotosíntesis. Por la noche, cuando no hay luz para llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis, consumen el oxígeno mediante la respiración. La respiración también tiene lugar en presencia de la luz solar; sin embargo la reacción neta es la producción de oxígeno. Las ecuaciones 1 y 2 representan reacciones bioquímicas simplificadas por la fotosíntesis y la respiración.

FOTOSINTESIS (1)



Nuevas células
de algas.

RESPIRACION (2)



En un medio acuático, puede observarse que este tipo de sistema metabólico produce una variación diurna de oxígeno disuelto. La capacidad de las algas para producir oxígeno es vital para la ecología del medio acuoso. Para que un estanque de oxidación aerobio o facultativo funcione eficazmente, es imprescindible que las algas proporcionen oxígeno a las bacterias aerobias y heterótroficas.

Como consecuencia de que las algas utilizan dióxido de carbono en su actividad fotosintética pueden producirse valg

res del pH elevados. Además, al aumentar el pH cambian los componentes de la alcalinidad y así la alcalinidad del carbonato y el hidróxido tiende a predominar. Si el agua tuviese una elevada concentración de calcio, el carbonato de calcio se precipitará cuando las concentraciones de ion calcio y carbonato llegasen a ser lo suficientemente grandes para sobrepasar el producto de solubilidad. Esta eliminación del carbonato por precipitación hace que el pH no aumente más. Al igual que en el caso del oxígeno disuelto, existe una variación diurna del pH. Durante el día las algas consumen anhídrido carbónico, lo que significa un descenso de aquel.

Las algas, al igual que sucede con otros microorganismos requieren compuestos inorgánicos para reproducirse. Aparte del dióxido de carbono. Los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo. También son muy importantes vestigios de otros elementos (oligoelementos) como hierro, cobre y molibdeno. Merece la pena destacar que el problema de evitar el crecimiento excesivo de las algas en las aguas naturales se ha centrado hasta hoy en la eliminación de los nutrientes. Algunos científicos se inclinan por la eliminación del nitrógeno de los efluentes de las plantas de tratamiento, mientras que otros recomiendan la eliminación de fósforo y, finalmente, algunos son partidarios de eliminar ambos, nitrógeno y fósforo. No debe olvidarse a los oligoelementos que, en algunos casos, son los nutrientes que li-

mitan el crecimiento de las algas.

Seguidamente se describen cuatro tipos importantes de algas de agua dulce.

1.- VERDES (Chlorophyta). Las algas verdes son principalmente una especie de agua dulce y pueden ser unicelulares o multicelulares. Una característica que las distingue es que poseen cloroplastos. Los cloroplastos son los puntos de fotosíntesis y consisten en unas estructuras rodeadas de membrana que contienen clorofila y otros pigmentos. Las algas verdes comunes son las del grupo chlorella encontradas en los estanques de estabilización.

2.- VERDES MOVILES (Volococales euglenophyta). Viven en colonias, y son de color verde brillante, unicelulares y flageladas. La Euglena pertenece a este grupo particular de algas. Las Mastigophora-- que contiene clorofila-- se incluyen con frecuencia en esta categoría.

3.- VERDIAMARILLAS O MARRON DORADO (Chrysophyta). Casi todas las formas de chrysophyta son unicelulares. Viven en agua dulce y su color característico es debido a los pigmentos pardoamarillentos que esconden la clorofila. En este grupo de algas, las mas importantes son las diatomeas, tienen concha, compuesta principalmente por sílice. Los depósitos de estas conchas son conocidos como tierra de diatomáceas y se utiliza como agente de filtración.

4.- VERDIAZULES (Cyanophta). Las algas verdiazules son de una forma muy simple y muy semejantes a las bacterias en algunos aspectos. Son unicelulares, generalmente encerradas dentro de una envoltente, y sin flagelos. Difieren de otras algas en que su clorofila no está contenida en cloroplastos sino que está repartida por toda la célula. Por varias razones, las algas verdiazules son de interés en la tecnología del agua y aguas residuales. Pueden formar grandes y densas capas sobre la superficie del agua y por ello disminuir el valor estético de la misma. A veces predominan al agua mal sabor y olor. Característica importante de estas algas es su capacidad para utilizar nitrógeno de la atmósfera como nutriente en la síntesis celular. Así pues, la eliminación de los compuestos nitrogenados del agua no eliminará la fuente del nitrógeno para estas especies de algas.

PROTOZOOS. Los protozoos son protistas móviles microscópicos y por lo general unicelulares. La mayoría de los protozoos son heterótrofos aerobios, aunque algunos pocos son anaerobios. Los protozoos son generalmente de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuente de energía. Los protozoos actúan como purificadores de los efluentes de procesos biológicos de tratamientos de aguas residuales al consumir bacterias y partículas orgánicas.

Los protozoos se pueden dividir en los cinco grupos si-

siguientes:

1.- SARCODINA. Se caracterizan por sus pies falsos o pseudópodos que utilizan para su movimiento y captura de alimentos. La *Endamoeba histolytica* causa de una enfermedad intestinal del hombre, pertenece a este grupo.

2.- MASTICOPHORA. Caracterizadas por sus flagelos, que utilizan para moverse. Algunos microbiólogos las subdividen a su vez, en dos grupos: con o sin clorofila. Ejemplos a citar son *Euglena* y *Astasia*, incoloros los de este último.

3.- SPOROZOA. Son protozoos formadores de espora y parásitos obligados. Su único interés para los ingenieros sanitarios reside en el hecho que algunos de ellos especialmente cuatro especies de *Plasmodium*, causan la malaria.

4.- INFUSONA O CILIATA. El movimiento mediante pestañas es característico de estos protozoos. Las pestañas son extremidades de tipo capilar de la membrana celular. Además de hacer que el organismo pueda moverse, facilitan a los protozoos la captura de alimentos sólidos. Los ingenieros sanitarios suele considerar que la Ciliata se divide en dos tipos, los que nadan libremente y los fijos. Los primeros tienen que nadar tras las bacterias y necesitan mucho alimento para el gran desgaste de energía al tener que nadar continuamente. El *Paramecium* es un ciliato libre, que es importante en el tratamiento del agua residual. Los ciliatos fijos están adhe

ridos a algo sólido y deben aprehender sus alimentos cuando les pasan por delante. Como su movimiento es limitado y gastan menos energía, necesitan menos alimento. El Vorticella es un ciliato fijo de importancia en los procesos de tratamientos biológicos, especialmente en el proceso de losodos activados.

5.- SUCTORIA. Son protozoos que poseen largos tentáculos que usan para capturar otros protozoos y extraer su protoplasma para su utilización. Durante las primeras fases del ciclo de su vida, los Suctoria tienen pestañas pero en la fase adulta poseen tentáculos.

ROTIFEROS. El rotífero es un animal aerobio, heterotrófico. Su nombre procede del hecho de que tienen dos juegos de pestañas giratorias sobre la cabeza que utilizan para su movimiento y captura de alimentos. Los rotíferos son muy eficaces al consumir bacterias dispersas floculadas, así como pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica aerobio muy eficiente.

CRUSTACEOS. Al igual que el rotífero, el crustáceo es un animal aerobio heterotrófico y multicelular, pero al contrario el crustáceo tiene un cuerpo duro o coraza. Los crustáceos son una importante fuente de alimentación de los peces y como tales suelen encontrarse en la mayoría de las aguas naturales. Excepto en los estanques de oxidación con poca carga, donde a veces se detecta su presencia, los crustáceos no existen en los sistemas de tratamiento biológico en cantidades aprecia --

blés. Su presencia indica que el efluente está bajo de materia orgánica y que es rico en oxígeno disuelto.

VIRUS. Un virus es la más pequeña estructura biológica que contiene toda la información necesaria para su propia reproducción. No tienen un papel importante en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, su importancia estiba en que, como las bacterias patógenas, son los agentes causantes de cierto número de enfermedades en el hombre. Algunos como el virus de la hepatitis, se desarrollan en los intestinos del hombre y son arrastrados por las materias fecales hasta las aguas residuales.

Los virus suelen clasificarse según el huésped que infectan. Muchos virus que producen enfermedades al hombre se debe a que son excretados en las heces humanas, Por tanto, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, el ingeniero sanitario tiene la responsabilidad de asegurar que estos virus estén debidamente controlados.

CAPITULO 2

PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

A través de los años una mejor comprensión del proceso de lodos activados ha evolucionado, debido primordialmente al conocimiento mas amplio de la teoría implicada y a la experiencia acumulada en la operación del proceso. Por estas razones, los lodos activados se han convertido en el proceso de tratamiento biológico más versátil de que dispone el ingeniero de diseño.

Históricamente, el proceso de lodos activados se había utilizado en ciudades grandes, en las que la proporción de capacidad asimiladora del río con la carga de residuos es pequeña. Recientemente, ha habido una tendencia hacia su uso por parte de comunidades pequeñas, para satisfacer los requerimientos de tratamiento más rigurosos para preservar nuestro medio ambiente.

Algunas plantas existentes de lodos activados se encuentran sobrecargadas por lo que representan un problema para producir efluentes de la calidad establecida. Esto ha conducido a diversas modificaciones del proceso convencional que desarrolladas a través de los años, permiten un tiempo reducido de retención en la aireación y mayores cargas volumétricas de materia orgánica.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de lodos activados es usado como tratamiento secundario. El agua residual es alimentada continuamente a un tanque de aeración donde los microorganismos metabolizan y fijación biológicamente a la materia orgánica en condi

ción aerobia, como se muestra en la Fig. 2. El ambiente aerobio se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. Una vez que el agua residual ha sido tratada en el tanque de aeración, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al tanque de aeración, la masa en exceso es eliminada, puesto que de no ser así la masa de microorganismos continuaría aumentando hasta que el sistema no pudiera dar cabida a más.

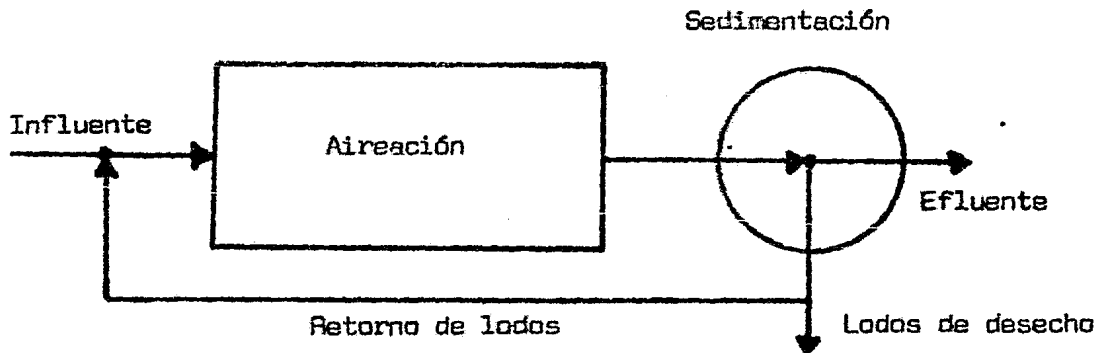


FIG. No. 2 ESQUEMA DEL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS.

En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivientes, similarmente en el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son causantes de la descomposición de la materia orgánica -- del influente. En el tanque de aireación, parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias facultativas o aerobias con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células.

Así como las bacterias son básicas para degradar la materia orgánica del influente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes en el sistema de lodos activados. Por ejemplo los protozoos y rotíferos actúan como depuradores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no se han flocculado y los rotíferos consumen cualesquier partículas biológicas que no se hayan sedimentado.

El crecimiento de microorganismos en el licor mezclado es mantenido en la fase de crecimiento endogenous o de decrecimiento, para asegurar buenas características de sedimentación, como se ilustra en la figura 3.

La síntesis de los residuos orgánicos da como resultado la flocculación de la masa biológica en el sistema y el lodo activado en exceso es eliminado del sistema para mantener una óptima operación.

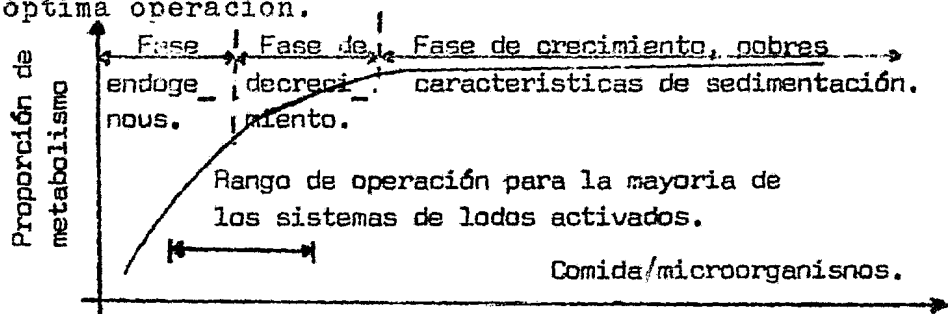


FIG. No. 3 RADIO DE METABOLISMO CONTRA CRECIMIENTO DEL RADIO C/M

Los lodos activados es un verdadero proceso aerobio ya que los floculos biológicos son sometidos a un medio líquido.

do conteniendo oxígeno disuelto.

La generación de lodos activados o flóculos en las aguas residuales, es un proceso lento, de manera que la cantidad - así formada en cualquier volúmen de aguas residuales, durante su periodo de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápida y eficazmente las aguas residuales, pues se requiere de una gran concentración de los lodos activados. Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volúmen de aguas residuales tratadas y usándolos nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas residuales. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como lodos recirculados. Este es un proceso acumulativo por el que, eventualmente se producirá mayor cantidad de lodos activados, se retira continuamente del proceso de tratamiento y se acondiciona para su disposición final

Los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su período de contacto con las aguas residuales a tratar, mediante algún método de agitación.

Debido a la adaptabilidad del proceso, una planta de lodos activados se puede diseñar como:

- 1.- UNA PLANTA CONVENCIONAL.
- 2.- UNA PLANTA DE AIREACION POR ETAPAS.
- 3.- UNA PLANTA DE ESTABILIZACION POR CONTACTO.
- 4.- UNA PLANTA DE MEZCLA COMPLEVA.
- 5.- UNA PLANTA DE AIREACION MODIFICADA.
6. _ UNA PLANTA DE DOS ETAPAS.
- 7.- UNA PLANTA DE LODOS ACTIVADOS DE OXIGENO PURO.

Es posible diseñar una planta que pueda ser operada con varias de las modificaciones señaladas anteriormente, cada una de estas modificaciones tienen ventajas y desventajas.

Algunas obtienen una mejor remoción de la DBO y de SS, que otras, algunas tienen un menor costo de construcción, - otras un menor costo de operación, algunas producen menos sedimento y algunas obtienen una mejor remoción de nutrientes. Deben considerarse todos estos factores al seleccionar una modificación particular para su uso en una situación específica de perfeccionamiento.

A continuación se señalan las principales características de los tipos de plantas indicadas anteriormente.

LODOS ACTIVADOS CONVENCIONAL.

Generalmente, el diseño de un sistema convencional de lodos activados se basa en cargas volumétricas de 0.3 a 0.6 Kg DBO/día/m³ y cargas orgánicas (comida a microorganismos, --- C/M) de 0.2 a 0.4 Kg. DBO/día/Kg. SSLM. Los tiempos de retención del lodo para este proceso (TRL) son normalmente entre 5 y 11 días con lo que se alcanzará una remoción de 85 a 95% bajo condiciones adecuadas de operación. EL TRL, se define como:

Kg SSLM bajo areación.

(Kg SS gastado + Kg SS perdido en el efluente final)/día

En la Fig. 1 se muestra un diagrama esquemático de una planta convencional de lodos activados. Las aguas residuales se airean comúnmente durante un período de 6 a 8 horas (con-

base en el flujo promedio del diseño) en presencia de una porción del lodo secundario y el radio de recirculación del lodo, expresada como porcentaje del flujo promedio de diseño de agua residual, es normalmente de alrededor de 25% con radios mínimos y máximos de 15 a 75%. Se logra una configuración de flujo como si fueran tanques rectangulares, diseñados para que la longitud total del tanque sea generalmente de 5 a 50 veces el ancho del mismo. En la tabla 4 se resumen los datos de operación de algunas plantas convencionales de lodos activados en los Estados Unidos de Norte América.

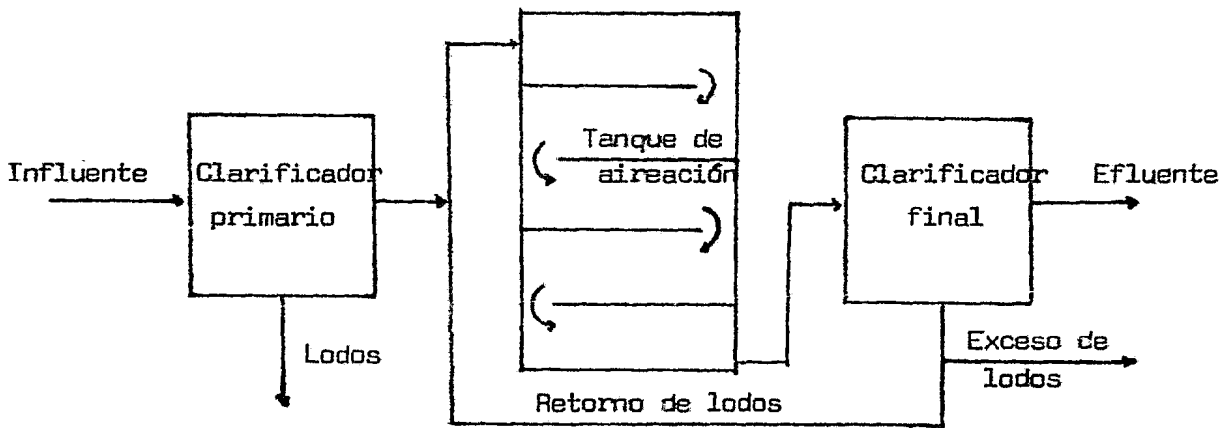


FIG. No. 4 PLANTA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS
(UN TIPO).

Los siguientes factores son considerados como límites en la utilización de una planta convencional de lodos activados, a un caso específico.

1.- Las cargas de la DBO volúmetricas pueden limitarse alrededor de 0.6 kg/aé/m^3 , a virtud de una deficiente bio-

tribución de la carga.

2.- Los tiempos de retención requeridos en el aireación son de orden de 6 a 8 horas.

3.- En el extremo de la cabeza del tanque de aireación se experimenta una alta demanda inicial de oxígeno; sin embargo, esto puede compensarse disminuyendo progresivamente el suministro de aire.

4.- Puede haber una falta de estabilidad operativa con variaciones extremas en cargas hidráulicas y orgánicas.

Algunas de estas limitaciones han estimulado el desarrollo y uso de diversas modificaciones del proceso, tales como la aireación por etapas, la estabilización por contacto, la mezcla completa, la aireación modificada, el lodo activado - dos etapas y el uso de oxígeno en lugar de aire como fuente de OD (Oxígeno disuelto).

AIREACION POR ETAPAS.

En la fig. 5, se ilustra un diagrama de flujo típico de una planta de aireación por etapas. A diferencia de las plantas convencionales, el agua residual influente se introduce en varios puntos a lo largo del tanque de aireación. Sin embargo, el lodo de regreso, que normalmente varía de 25 a 75% del flujo promedio de diseño, se introduce en el extremo inicial del tanque de aireación, igual que en el sistema convencional. La distribución del flujo de entrada a lo largo del tanque de aireación reduce la demanda inicial de oxígeno que

generalmente se experimenta en la planta convencional, permitiendo así una utilización mas eficiente de la biomasa del lado activado.

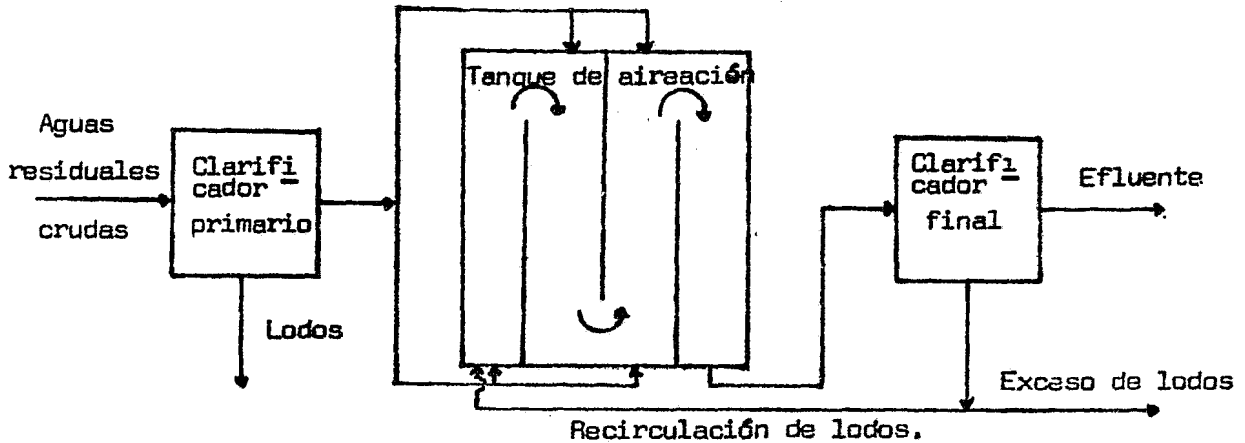


FIG.No. 5 PLANTA DE AIREACION POR ETAPAS.

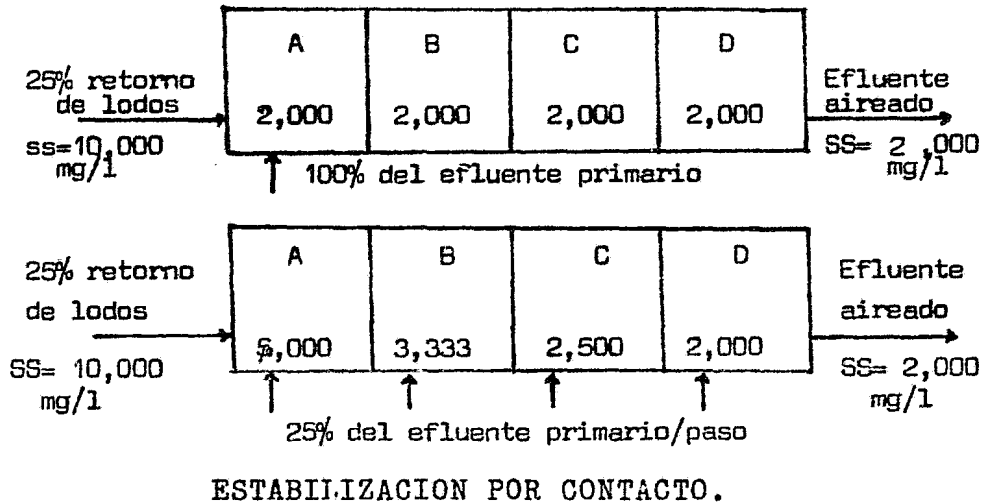
Generalmente, las plantas de aireación por etapas se diseñan para cargas volumétricas de Q_6 a Q_9 Kg DBO/día/m³ con un radio C/M que varía de 0.2 a 0.4 kg DBO/día/kg SSLM. Los TRL son similares a los sistemas convencionales. Un sistema de aireación por etapas alcanzará del 85 al 95% de remoción de la DBO. En la tabla 5 se resumen los datos de operación de algunas plantas de aireación por etapas en los Estados Unidos de Norte América.

Los requisitos de oxígeno para la aireación por etapas son similares a los del lodo activado convencional, sin embargo, a virtud de una distribución más uniforme de la carga, el aire real que se suministra se utiliza más eficientemente.

te y la cantidad puede reducirse un tanto. Dado que los tiempos de retención son menores que los del sistema convencio--nal, la tubería y equipo de difusión del aire deben modifi--carse para suministrar ~~aproximadamente~~ la mitad del tamaño -convencional.

En la planta convencional, la concentración de SSLM es relativamente constante en todo el tanque de aireación; en -la planta de aireación por etapas, la concentración de SSLM-disminuye en cada punto de agregado del influente. La razón de que pueda operarse un sistema de aireación por etapas al-mismo C/M que en un sistema convencional, pero en alrededor-de la mitad a dos terceras partes de la capacidad del tanque de aireación, la mayor concentración promedio de SSLM obteni-da por la adición incremental del flujo. El concepto de a-limentación por etapas permite la utilización de clarificadores del mismo tamaño que los del distema convencional, a vir-tud de que son semejantes las concentraciones de los SS del efluente aireador. En la figura 6 se muestra este principio. El concepto puede utilizarse también para disminuir la carga de sólidos del clarificador final, en tanto se mantiene la -misma concentración promedio de los SSLM del aireador.

FIG. 6 COMPARACION DE CARGA DE SOLIDOS EN EL CLARIFICADOR
 POR CONVENCIONALES Y AEREAACION POR
 ETAPAS.



Los principios de la modificación denominada estabilización por contacto se demostró inicialmente en el perfeccionamiento de una planta convencional, ya existente, sobrecargada hidráulicamente. Al igual que en el proceso de aireación por etapas, ésta modificación implica un cambio en la ubicación de alimentación en los tanques de aireación. Las cargas volumétricas de la DBO, C/M, TRL y eficiencia de remoción, son semejantes a los del sistema de aireación por etapas. -- Las proporciones de regreso del lodo varían de 25 a 100% del flujo promedio de diseño. En la figura 7 se muestra un diagrama esquemático del proceso de estabilización por contacto.

Los estudios de laboratorio y los trabajos de campo han mostrado que la DBO del agua residual en el estado coloidal -

o insoluble, se remueve rápidamente del agua residual en un tiempo de contacto relativamente breve, mediante el mecanismo combinado de porción biológica, síntesis y floculación. Esto puede brindar la posibilidad de una reducción en el volúmen de la planta para aguas residuales que muestran estas características. En el proceso de estabilización por contacto, después de que se separa el lodo biológico del agua residual en el clarificador, el lodo concentrado se airea separadamente en un tanque de aireación estabilizándose la DBO floculada y absorvida. Además de un volúmen total de aireación maspequeño que el requerido en el proceso convencional de lodos activados, el proceso de estabilización por contacto tiene la ventaja de que es capaz de manejar mayores cargas de choque y tóxicas a virtud de la capacidad de amortiguación biológica del tanque de reaireación y del hecho de que en cualquier tiempo dado la mayoría del lodo activado se aísla de la corriente principal del flujo de la planta. En la figura 7 se resumen los datos de operación de las plantas de estabilización por contacto.

Los tiempos de retención que se requieren en la reaireación del lodo y los tanques de contacto, son interdependientes. El tiempo de retención del tanque de contacto depende también de las características del agua residual. Para aguas residuales domésticas que contienen cantidades normales de DBO insoluble y coloidal, los tiempos de retención del tan-

que de contacto de alrededor de 0.5 a una hora se emplean -- con base en el flujo promedio de la planta, con tiempo de re- tención de 2 a 4 horas con base en el flujo de recirculado - del lodo. Los requisitos totales de aire para este proceso - son similares a los del lodo activado convencional y se divi- den normalmente en forma proporcionalmente a los tanques de- contacto y de reaireación.

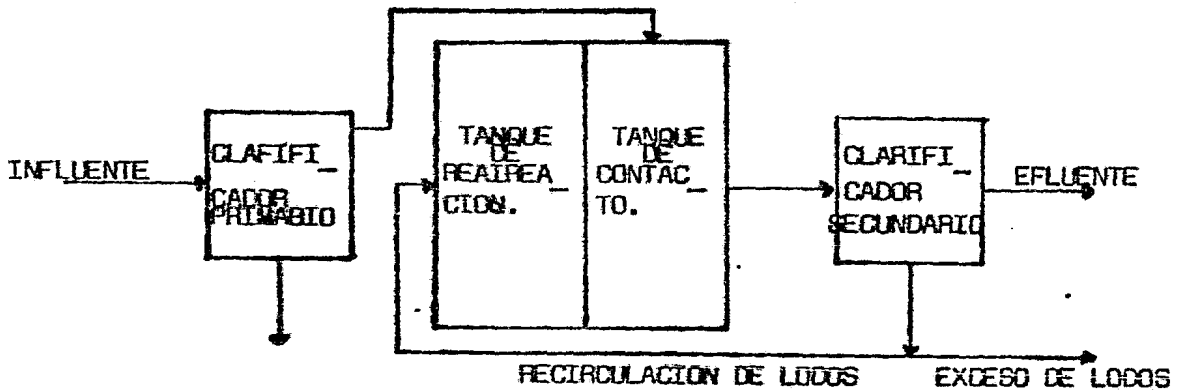


FIG. 7 PLANTA DE ESTABILIZACION POR CONTACTO.

La mayor parte de los beneficios de la estabilización -- por contacto se logran si está presente la carga orgánica -- principalmente en estado coloidal. Generalmente, entre mayor es la fracción de la DBO soluble, mayor es el tiempo de con- tacto requerido. Como resultado, el volúmen total de airea- ción requerido de este proceso convencional, conforme aumen- ta la cantidad relativa de la DBO soluble en el agua resi- -- dual.

Las normas de 10 Estados de los Estados Unidos de Norte América, exigen significativamente tiempos de contacto y de reaireación que los anteriormente citados, especialmente pa-

ra plantas de dimensiones mas pequeñas, tal como se indica en la tabla 4. Estas normas específicas tambien un C/M de 0.2 a 0.5 kg DBO/día/kg SSML y una carga volumétrica de 0.5 a 0.8 Kg DBO/día/m³. Aunque estos valores se seleccionan sin duda para compensar las variaciones extremas del flujo que tienen lugar en plantas pequeñas, su uso puede dar como resultado efluentes de calidad deficiente. Mc. Kinney ha indicado que en plantas típicas de estabilización por contacto diseñadas en forma conservadora, toda la estabilización de la materia orgánica en el agua residual cruda tiene lugar en la zona de contacto; por consecuencia sólo ocurre una respiración endógena en el tanque de aireación. Esta situación da como resultado frecuentemente diferentes características de asentamiento del sedimento en el clarificador secundario.

MEZCLA COMPLETA.

En el proceso de mezcla completa, el agua residual influente y el lodo recirculado se introduce uniformemente en todo el tanque de aireación, tal como se indica en la figura # 8. Esta distribución de flujo da como resultado una demanda uniforme de oxígeno en todo el tanque de aireación, lo que agrega alguna estabilidad operativa cuando se tengan cargas de lodos de residuos industriales. Este proceso puede cargarse a niveles comparables a los del proceso de aireación por etapas y estabilización por contacto, tan sólo con ligeras reducciones de las eficiencias de retención de dichos pro-

cesos. La eficiencia reducida tiene lugar a virtud de que hay una pequeña cantidad de corto-circuito en el tanque de aireación de mezcla completa. En la tabla #7 se presentan los datos de operación de plantas en los Estados Unidos de Norte - América que utilizan la mezcla completa.

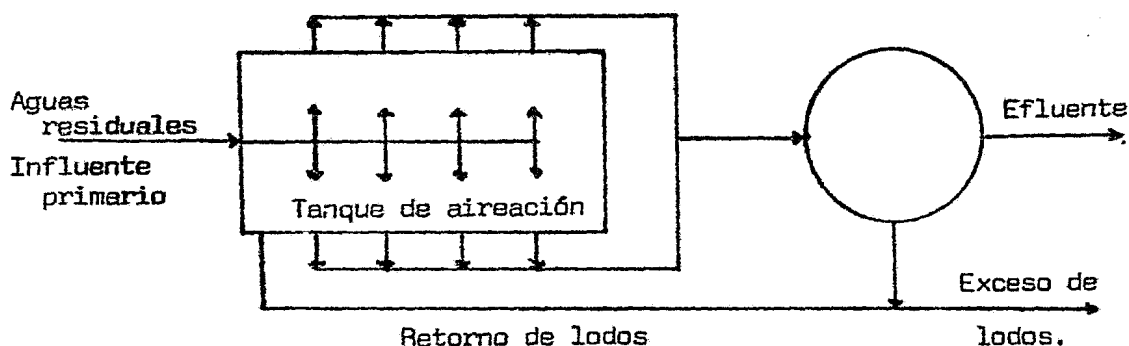


FIG. 8 PLANTA DE MEZCLA COMPLETA.

AIREACION MODIFICADA.

El esquema de flujo en la aireación modificada es similar a la del lodo activado convencional (figura 4), con la excepción de que este proceso se utiliza frecuentemente sin una sedimentación o asentamiento primario. En este sistema, los organismos entran en contacto con los residuos que ingresan durante un breve período de sorción y síntesis. Las plantas de aireación modificada están diseñadas para procesar cargas volumétricas de la DBO que varían de 1.2-1.4 Kg DBO/día m³, y alcanzará del 60 al 75% de remoción de la DBO bajo estas condiciones de carga, los C/M varían normalmente de 1.5 a 5.0 kg DBO/día/kg SSM, y los TRL varían de 0.2 a 0.5 por día. Para una operación adecuada, la tasa de lodo de regreso

varía normalmente de 5 al 15% del flujo del influente. Los requisitos de aireación son menores que los del sistema convencional, debido a la actividad biológica reducida.

La aireación modificada se ha propuesto como la primera etapa en un sistema de aireación de dos etapas, donde la segunda etapa se utilizará para la nitrificación. Dos de las ventajas de utilizar una aireación modificada en la primera etapa, son: ahorros sustanciales en el costo en las instalaciones de aireación y TRL suficientemente bajos para evitar la nitrificación. La ausencia de nitrificación y la amortiguación parcial de la concentración que brinda el mezclado en el tanque de aireación modificada, da como resultado una concentración más uniforme de amoníaco en el influente que va al sistema de nitrificación.

Cuando se utiliza la aireación modificada como la primera etapa de un sistema de dos etapas, la DBO efluente de la primera etapa debe ser suficientemente alto para permitir una buena floculación y sedimentación del lodo en el clarificador de la segunda etapa, pero no tan alta que cause una tasa alta de crecimiento heterotrófico y la subsecuente sedimentación de la población nitrificante en la segunda etapa. El límite superior dependerá de la DBO/NH_4 del influente de la segunda etapa. En la tabla # 8, se muestran los datos de operación de las plantas de aireación modificada, en los Estados Unidos de Norte América.

LODO ACTIVADO DE DOS ETAPAS.

Una planta de lodos activados de dos etapas consiste -- esencialmente en dos procesos separados de lodos activados - que operan en serie, tal como se muestra en la Figura 8. Los dos sistemas separados de lodos permiten el desarrollo de -- dos poblaciones microbianas especializadas. En la primera etapa, se remueve la masa del material carbonoso mediante una amplia variedad de organismos heterotróficos que encuentran comúnmente en lodo activado. La reducción de la DBO en la primera etapa permite una acumulación de los organismos nitrificantes de crecimiento mas lento en la segunda etapa, lo que oxida el nitrógeno amoniacal a la forma de nitrato.

Los datos de operación que se presentan en la Tabla # 9 indican que la DBO efluente de la segunda etapa no es suficiente mejor que el de los sistemas alternativos de una etapa que se discutieron previamente para garantizar la consideración de este enfoque, a menos que se requiera también - la nitrificación. La ventaja de satisfacer la demanda total de oxígeno del nitrógeno amoniacal normalmente desgastado, - no debe subestimarse dado que esto puede llegar hasta el 70% de la demanda total de oxígeno del efluente secundario de la planta. El alto requerimiento de aire en kg de aire suministrado por kg de DBO removido en la segunda etapa, incluye el aire utilizado para la oxidación del amoníaco.

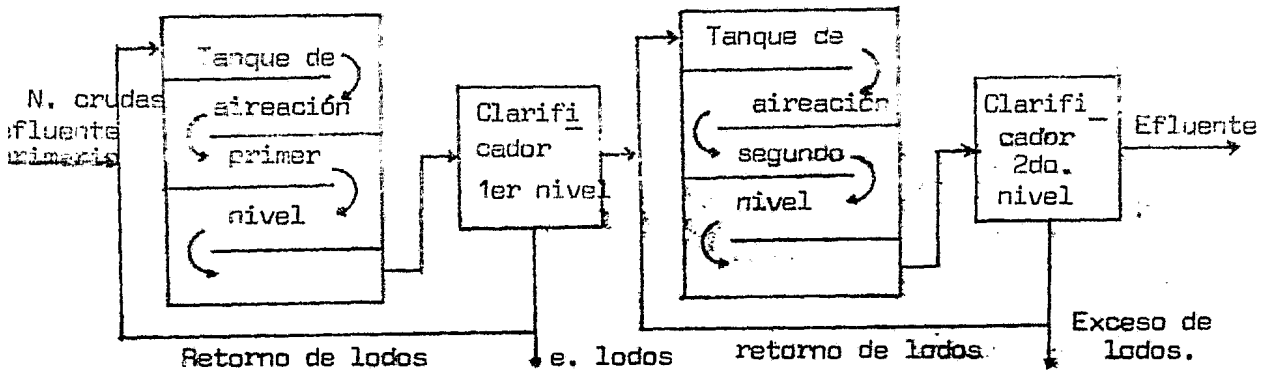


FIG. 9 PLANTA DE LODOS ACTIVADOS DE DOS ETAPAS.

LODOS ACTIVADOS DE OXIGENO PURO

El uso de oxígeno puro para el tratamiento de lodos activados, se ha convertido en competitivo con el uso de aire, debido al desarrollo de sistemas eficientes de disolución de oxígeno. La utilización eficiente del oxígeno puede lograrse a través de dos métodos:

- a) La oxigenación se lleva a cabo en un reactor por etapas, cubierto, en el cual el oxígeno se recircula dentro del sistema hasta que llega a un nivel de impureza, al cual ya no puede usarse. Este método se utiliza en la actualidad en varias plantas de tratamiento municipales e industriales y se muestra en la figura # 10.
- b) La oxigenación se lleva a cabo en un reactor abierto, en el cual se utilizan difusores extremadamente finos para generar pequeñas burbujas de oxígeno que se absorben completamente antes de interrumpir la burbuja, en tanques de profundidad normal. Este método se ha implantado en plantas de trata-

miento a escala natural.

El uso de oxígeno puro tiene las ventajas de un volumen reducido del reactor, alto disuelto efluente, y un control efectivo del olor. Posibles ventajas adicionales incluyen menos producción de lodos del residuo y mayores concentraciones del lodo del residuo. Las desventajas incluyen la complejidad de operación tanto de la generación de oxígeno como de los sistemas de disolución y una excesiva depresión del pH en aguas residuales de baja alcalinidad, cuando se agrega el alumbre para la remoción del fósforo o cuando tiene lugar la nitrificación.

El oxígeno puede producirse en el lugar de la planta, ya sea por una unidad criogénica o en el caso de plantas mas pequeñas, por dispositivo de cedazo molecular. Se recomienda generalmente un tanque de almacenamiento de oxígeno líquido para proporcionar una capacidad de carga de reserva y de carga pico. En el diseño del reactor cubierto, la transferencia y mezcla del oxígeno se lleva a cabo con aireadores de superficie para profundidades del tanque de 5 a 6 m. (como se muestra en la fig. #10). o alternativamente con regaderas surgidas de turbina y compresores de recirculación del gas para tanques más profundos.

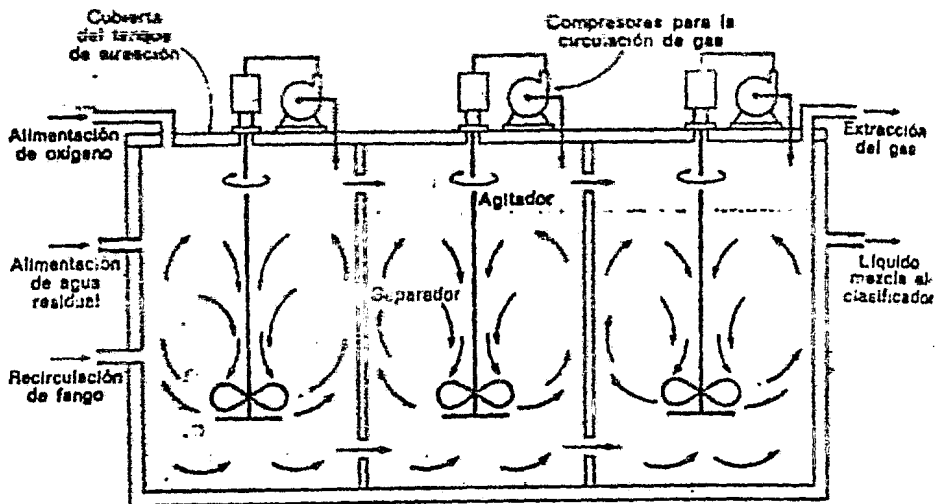


FIG. 10 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN SISTEMA DE
AIREACION DE OXIGENO DE MULTIPLES
NIVELES..

Los sistemas de oxígeno puro están normalmente diseñados para manejar cargas volumétricas de la DBO que varían de 2.4 a 3.6 kg·DBO/día/ m³, pero en algunos casos se han reportado cargas mucho mayores.

La C/M pueden variar de 0.07 a más de 1.0, pero los valores normales de diseño son de 0.5 a 0.8. La tabla # 10 resume los datos de operación de las plantas que utilizan oxígeno puro. Los estudios en plantas piloto de oxígeno puro -- han indicado que un C/M dado, aumenta el consumo de oxígeno con proporciones más altas de COD/DBO, tal como se indica en la Fig. Este aumento en el requerimiento del COE que no se mide en la prueba estándar de la DBO. Los requerimientos de oxígeno para los sistemas de oxígeno puro, por cuanto a las aguas residuales domésticas típicas, van normalmente de 0.6 a 1.3 kg O₂/kg· DBO removido en el sistema.

Dado que el sistema de oxígeno puro funciona a altas --
concentraciones de SSML, frecuentemente el clarificacor está
sujeto a cargas aumentadas de sólidos. Las concentraciones -
de SS en la corriente del fondo clarificador, pueden variar=
de 1.0 a 3.5%, dependiendo de la composición del sedimento -
y del tiempo de retención del sedimento del clarificador.

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg	RECIRCULACION DE Lodos Porcentaje.	DBO SECUNDARIA		TANQUE DE AIREACION mg/l. SSLM.	CARGA ORGANICA kg DBO día kg SSLM.	CARGA VOLUMETRICA kg DBO día m ³ .	TIEMPO DE DETENCION DE AIREACION Horas	AIRE SUMINISTRADO Por kg de DBO removido/m ³	EFICIENCIA EN LA REMOCION DBO SECUNDARIA Porcentaje
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.						
Michigan	0.219	32	182	19	1,844	0.43	0.058	7.0	12.334	90
Illinois	12.618	48	129	11	1,930	0.78	0.031	8.7	14.032	92
Orae	3.807	25	52	12	2,180	0.13	0.025	7.7	25.629	87
Indiana	0.653	30	161	14	2,420	0.16	0.036	10.0	11.742	91
Maryland	0.171	32	254	33	1,808	0.39	0.065	8.8	8.009	87

TABLA 4
DATOS DE OPERACION PARA PLANTAS CONVENCIONALES DE Lodos ACTIVADOS.

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg	RECIRCULACION DE Lodos Porcentaje.	SECUNDARIA		TANQUE DE AIREACION mg/l. SSLM.	CARGA ORGANICA kg DBO día kg SSLM.	CARGA VOLUMETRICA kg DBO día m ³ .	DETENCION DE AIREACION Horas	AIRE SUMINISTRADO Por kg de DBO removido/m ³	REMOCION DE LA DBO SECUNDARIA Porcentaje
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.						
New York	4.819	24	74	12	1,170	0.49	0.054	3.1	14.57	84
New York	4.162	28	115	16	3,300	0.28	0.086	2.9	-	86
Indiana	1.503	52	121	18	3,300	0.22	0.067	4.3	14.59	86
Pennsylvania	7.811	28	87	12	2,780	0.23	0.060	3.2	14.85	86
Ontario, Canada	8.018	16	115	11	1,500	0.40	0.057	4.5	25.31	90

TABLA 5
DATOS DE OPERACION DE PLANTAS DE AIREACION POR ETAPAS DE Lodos ACTIVADOS.

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg	RECIRCULACION DE LODOS Porcentaje	DBO		SSLM TANQUE DE CONTACTO mg/l.	TIEMPO DE RETENCION T DE CONT minutos.	SSLM TANQUE DE REACCION mg/l.	TIEMPO DE RETENCION T DE REAC minutos.	CARGA ORGANICA kg DBO/dia kg SSLM.	CARGA VOLUMETRICA kg DBO/dia m ³	REMOCION DE LA DBO SECUNDARIA Porcentaje
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.							
Texas	0.276	46	330	22	2,321	61	7,072	392	0.34	0.183	93
	0.332	39	331	19	1,377	51	6,050	383	0.49	0.222	94
	0.377	39	299	18	1,829	45	6,084	338	0.49	0.208	93
	0.394	55	354	23	2,432	58	6,930	308	0.39	0.226	93
	0.285	56	358	21	2,533	59	6,917	312	0.38	0.205	94

TABLA 6
DATOS DE OPERACION PARA PLANTAS DE ESTABILIZACION POR CONTACTO.

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg	RECIRCULACION DE LODOS Porcentaje.	DBO SECUNDARIA		TANQUE DE AIREACION SSLM mg/l	CARGA ORGANICA kg DBO dia kg SSLM	CARGA VOLUMETRICA kg DBO dia m ³ .	TIEMPO DE DETENCION DE AIREACION Horas	AIRE SUMINISTRADO por kg de DBO removido/m ³	EFICIENCIA EN LA REMOCION DBO SECUNDARIA Porcentaje.
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.						
Illinois	0.084	21	80	13	6,000	0.20	0.109	1.8	11.07	84
Minnesota	0.439	158	177	15	3,750	0.31	0.109	3.6	-0.01	93
Nebraska	0.202	62	250	17	3,920	0.43	0.179	4.0	2.91	94
Nebraska	0.219	200	280	6	4,500	0.38	0.173	3.8	3.26	98
Nebraska	0.019	40	227	32	5,460	0.42	0.211	2.5	-	86
Texas	0.011	82	115	9	3,820	0.21	0.074	3.7	-	92

TABLA 7
DATOS DE OPERACION PARA PLANTAS DE MEZCLA COMPLETA DE LODOS ACTIVADOS

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg	RECIRCULACION DE Lodos Porcentaje.	DBO SECUNDARIA		TANQUE DE AIREACION SSLM mg/l.	CARGA ORGANICA kg DBO día kg SSLM	CARGA VOLUMETRICA kg DBO día m ³ .	TIEMPO DE DETENCION DE AIREACION Horas	AIPE SUMINISTRADO Por kg de DBO removida/m ³	EFICIENCIA EN LA REMOCION DBO SECUNDARIA Porcentaje.
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.						
New York	6.660	20	202	24	2,000	0.9	0.158	2.6	-	88
Florida	2.445	6	125	33	360	6.2	0.185	1.7	15.89	69
	2.173	6	165	66	345	4.2	0.789	2.5	17.56	60
Washington	11.786	12	154	49	606	2.8	0.156	2.1	10.72	68
	12.136	11	146	39	714	3.3	0.199	1.5	10.24	73

TABLA 8
DATOS DE OPERACION PARA PLANTAS DE AIREACION MODIFICADA.

LOCALIZACION DE LA PLANTA	GASTO DEL INFLUENTE m ³ /seg.	RECIRCULACION DE LÓOS Porcentaje	DBO SECUNDARIA		TANQUE DE AIREACION SSLM mg/l	CARGA ORGANICA kg DBO m ³ /dia kg SSLM	CARGA VOLUMETRICA kg DBO m ³	TIEMPO DE DETENCION DE AIREACION Horas	EFICIENCIA EN LA REMOCION DBO SECUNDARIA Porcentaje.
			INFLUENTE mg/l.	EFLUENTE mg/l.					
New York	0.058	53	237	22	5,890	0.35	0.187	2.9	91
Washington	0.005	38	116	14	8,120	0.22	0.161	1.7	88
New York	0.911	30	156	9	1,690	0.55	0.243	1.4	94
Virginia	0.482	14	158	14	2,820	0.48	0.199	2.1	91
Indiana	0.193	50	84	10	5,150	0.15	0.074	2.5	88

TABLA 10
DATOS DE OPERACION DE PLANTAS DE OXIGENO PURO DE LÓOS ACTIVADOS

CAPITULO 3

FILTROS GOTEADORES O ROCIADORES.

En este caso no está correctamente empleada la palabra "filtro", porque no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante. En realidad un filtro goteador es un -- dispositivo que pone en contacto a las aguas residuales con un cultivo biológico. El nombre correcto debería ser "lechos de oxidación biológica", pero el tiempo y el uso han popularizado el término de filtros goteadores y es el que generalmente se emplea para describir este tipo de unidad.

El primer filtro goteador se puso en funcionamiento en Inglaterra en 1893. El concepto de filtro goteador nació del uso de los filtros de contacto, que eran estanques impermeables rellenos con piedra machacada. En su funcionamiento, el lecho de contacto se llenaba con el agua residual desde la parte superior y se dejaba que se pudiese en contacto con el medio durante un corto período de tiempo. El lecho se vaciaba a continuación y se permitía que reposase antes de que se repitiese el ciclo. Un ciclo típico exigía 12 horas de las cuales había 6 horas de reposo. Las limitaciones del filtro de contacto incluían; una posibilidad relativamente alta de obturaciones, prolongado período de tiempo de reposo, y la carga relativamente baja que podía utilizarse.

En el filtro arrojador, ideado para superar estas limitaciones, el agua residual es rociada sobre la piedra-

y se deja que filtre a través del lecho. El filtro goteador consiste en un lecho formado por un medio sumamente -- permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm. de diámetro y la profundidad de las piedras varía con cada diseño particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m. con una profundidad media de 1.8 m. Existen filtros goteadores que utilizan unos medios filtrantes plásticos que se construyen con profundidades de 9 a 12 metros.

El lecho del filtro es generalmente circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio. Antiguamente, el lecho era rectangular y el agua residual se aplicaba mediante unas boquillas rociadoras fijas. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separados del medio.

Este sistema de desagüe inferior es importante tanto como instalación de recolección como por su estructura porosa a través de la cual el aire puede circular (véase Fig.1).

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adheridos al medio. Esta materia orgánica es absorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas (véase Fig. # 2) es degradada por los microorganismos --

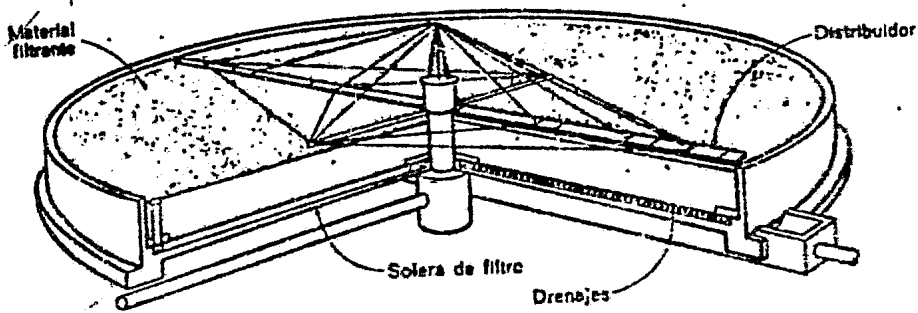


FIG. 1 Vista en sección de un filtro rociador.

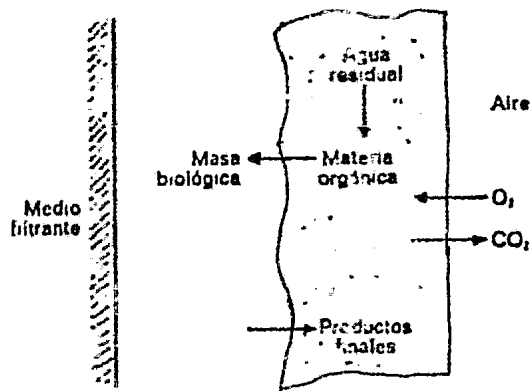


Fig. 2 Representación esquemática de la sección transversal de una película biológica de un filtro percolador.

situados cerca de la superficie del medio filtrante. El resultado de no disponer de una fuente orgánica externa de carbono celular, es que los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se encuentran en la fase endógena de crecimiento, en la que pierden capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones el líquido a su paso a través del medio arrastra la película y comienza el crecimiento de otra nueva. Este fenómeno de la pérdida de la película biológica es fundamentalmente función de la carga hidráulica y orgánica del filtro ya que la carga hidráulica, origina las velocidades de arrastre y la carga orgánica influye en la velocidad del metabolismo en la película biológica. En base a estas cargas hidráulica y orgánica, los filtros suelen dividirse en dos clases: de baja carga y de alta carga.

Un filtro de baja carga es un dispositivo relativamente sencillo y de funcionamiento sumamente seguro que produce una calidad estable del efluente, sin perjuicio de que el afluente sea de naturaleza cambiante.

Predomina en él una gran población de bacterias nitrificantes, por lo que el efluente es pobre en amoníaco y rico en nitratos y nitritos. La pérdida de carga a través del filtro puede ser de 1.5 a 3 m. lo que puede ser disminuido si el tiempo es adecuado para permitir

tir la circulación por gravedad. Con una pendiente favorable, la posibilidad de utilizar la circulación por gravedad es una ventaja; sin embargo, los filtros de este tipo también tienen algunos inconvenientes. Los olores son un problema frecuente, especialmente si el agua residual es poco reciente o séptica o si el clima es cálido por lo que los filtros no deberán colocarse en donde los olores puedan crear problemas.

En un filtro de alta carga, la recirculación del -- efluente permite la aplicación de mayores cargas orgánicas. Los diagramas para diversas configuraciones de filtros goteadores de alta carga se muestran en la Fig. 3. La recirculación del efluente del clarificador permite - que el filtro alcance la misma eficiencia de eliminación de los filtros de baja carga. La recirculación del efluente alrededor del filtro (primero de los diagramas de la figura 3 a y b) da como resultado el retorno de organismos viables, produciendo frecuentemente una mejor efi---ciencia del tratamiento. Por otra parte, la recircula---ción evita la obstrucción del filtro y reduce los proble---mas derivados del olor.

La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de protozoos, incluyendo bacterias - facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. Suelen también encontrarse algunos animales sug

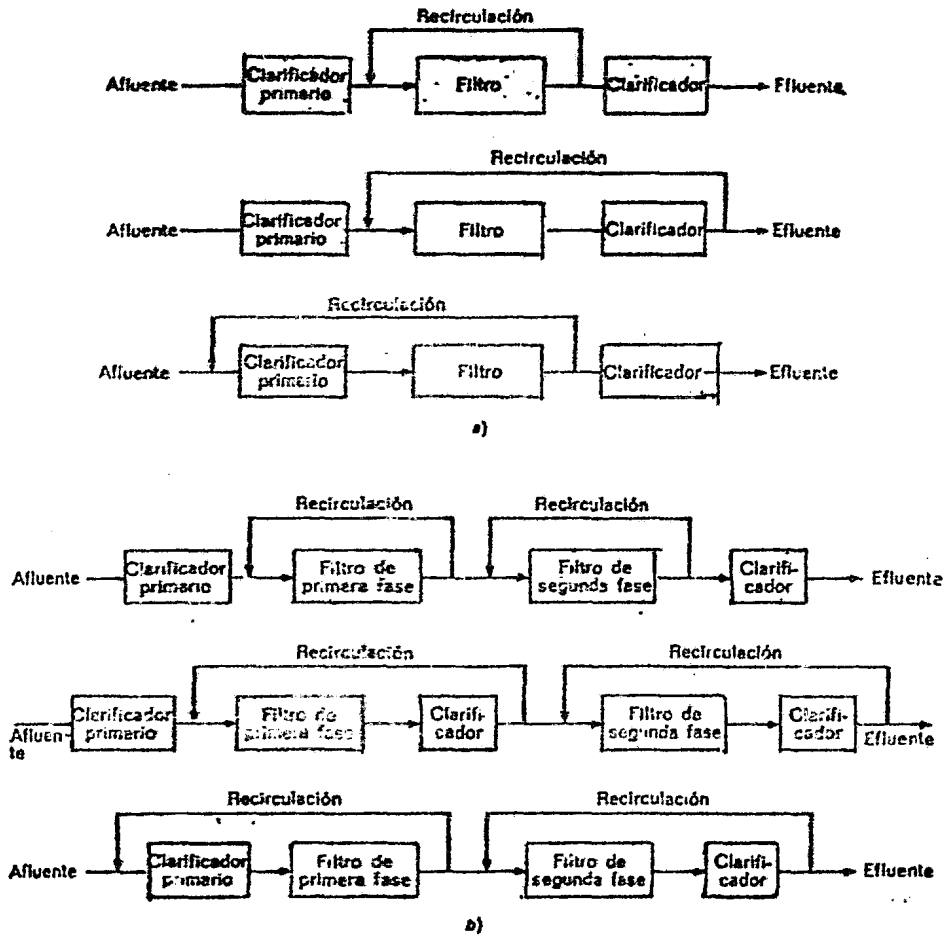


Fig. 3. Diagramas de flujo de filtros de alta carga con diversos sistemas de recirculación. a) Filtros de una sola fase, y b) filtros de dos fases

riores, como gusanos, larvas de insectos y caracoles.

Las bacterias facultativas son los microorganismos -- predominantes en el filtro goteador y, junto con las bacterias aerobias y anaerobias, su misión es descomponer la materia orgánica del agua residual. Los hongos presentes son también los causantes de la estabilización del agua residual, pero su contribución sólo es importante a pH bajo o con ciertas aguas residuales industriales. Las algas sólo pueden crecer en las capas superiores del filtro donde puede llegar la luz solar, por lo que se considera que generalmente estas no toman parte directa en la degradación de los residuos, aunque durante las horas diurnas añaden oxígeno al agua residual que se está filtrando. Desde un punto de vista operacional, las algas son un estorbo, ya que pueden causar el taponamiento de la superficie del filtro.

Los protozoos que se pueden encontrar en el filtro son predominantemente del grupo Ciliata. Al igual que en el proceso de lodos activados su función no es estabilizar el agua residual sino controlar la población bacteriana. Animales superiores como caracoles, gusanos e insectos se alimentan de las capas biológicas del filtro y, al hacerlo así, ayudan a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o de rápida utilización del alimento.

Al igual que el proceso de lodos activados, la instalación de sedimentación juega un papel muy importante en el proceso del filtro goteador, ya que es necesaria para eliminar los sólidos suspendidos desprendidos durante los períodos de descarga en los filtros de baja carga así como de las cantidades menores de sólidos desprendidos continuamente en los filtros de alta carga. Si se utiliza recirculación, una parte de los sólidos sedimentados podría reciclarse y el resto desecharse, pero la recirculación de los sólidos biológicos sedimentados no es tan importante como en el proceso de los lodos activados. En el proceso del filtro goteador, la mayoría de los microorganismos activos se adhieren al medio filtrante y no salen del reactor como sucede en el proceso de los lodos activados. Aunque la recirculación podría ayudar a la inoculación del filtro, los objetivos principales de la recirculación son diluir las aguas residuales cargadas afluentes y hacer que el efluente del filtro se ponga de nuevo en contacto con la población biológica para su tratamiento adicional. La recirculación casi siempre forma parte de los sistemas de filtros goteadores de alta carga.

DISEÑO DE LAS INSTALACIONES.

Los factores a considerar en el diseño de filtros goteadores son:

1) Tipo y características de alimentación del sistema de distribución; 2) tipo de medio filtrante a utilizar; 3)- configuración del sistema de drenaje inferior; 4) provisión de la ventilación adecuada ya sea corriente de aire natural o forzada, y 5) diseño de los depósitos de sedimentación requeridos.

SISTEMAS DE DISTRIBUCION. El distribuidor rotativo para la filtración por goteo ha llegado a ser un elemento estándar del proceso por su fiabilidad y facilidad de mantenimiento. Consiste en dos o más brazos montados sobre un pivote en el centro del filtro que giran en un plano horizontal. Los brazos son huecos y tienen boquillas por las cuales se descarga el agua residual sobre el lecho de filtro. El distribuidor puede ser impulsado por la reacción dinámica del agua residual que descarga por las boquillas o bien por un motor eléctrico. La velocidad de giro variará con el caudal en la unidad accionada por reacción, pero deberá ser del orden de una vuelta cada 10 minutos, o menor en el distribuidor de dos brazos. Se dejará un espacio de 15 a 22 cm. entre el foco del brazo del distribuidor y la parte superior del lecho. Ello permitirá que el agua residual salga de las boquillas y se extienda y cubra uniformemente todo el lecho.

Los brazos del distribuidor pueden ser de sección triangular o circular en las unidades pequeñas, o de se-

cción decreciente a fin de mantener una velocidad mínima de transporte. Las boquillas están espaciadas irregularmente de forma que se consiga más flujo por unidad de longitud cerca de la periferia que en el centro. Para obtener una distribución uniforme sobre toda la superficie del filtro, el flujo por unidad de longitud deberá ser proporcional a la distancia del centro del filtro. La pérdida de carga a través del distribuidor es del orden de 0.6 a 1.5 m. Las características más importantes que hay que tener en cuenta al elegir un distribuidor, son la robustez de construcción, facilidad de limpieza, capacidad de manejar grandes variaciones del caudal manteniéndola adecuada velocidad de giro, resistencia a la corrosión del material y su sistema de recubrimiento. Los distribuidores se fabrican para lechos con diámetros hasta de 60 m.

Pueden usarse tanques de alimentación de operación intermitente o recirculación por bombeo para asegurar que el caudal mínimo sea suficiente para hacer girar el distribuidor de cuatro brazos con un sistema de vertederos que limitan el caudal a sólo dos brazos, durante los caudales mínimos.

Los sistemas de distribución de boquilla fija consisten en una serie de boquillas pulverizadoras situadas en los vértices de un conjunto de triángulos equiláteros que cubren el lecho del filtro. Un sistema de tuberías distri

buye uniformemente el agua residual a las boquillas. Se emplean unas boquillas especiales, que efectúan un rociado plano, variándose la carga sistemáticamente, de modo que el rociado caiga primero a una distancia máxima de la boquilla y, a continuación a una distancia decreciente -- cuando la carga descienda lentamente, logrando con esto -- una alimentación uniforme sobre toda la superficie del lecho. También se utilizan boquillas de media pulverización que tienen el fondo en pendiente de manera que proporcione más volumen a mayor carga (requerida por la mayor superficie de rociado), alimentan las boquillas descargando a través de sifones automáticos y están dispuestos de forma que se llenen y descarguen alternativamente. A caudal máximo, debe haber un período mínimo de reposo de 30 segundos entre las alimentaciones; el período de reposo aumenta cuando el caudal disminuye. La carga requerida medida desde la superficie del filtro al nivel máximo de agua en el tanque de alimentación, es normalmente de 2.4 a 3 m

MEDIOS FILTRANTES. El medio filtrante ideal es un material que posea una elevada área superficial por unidad de volumen, que sea económico, duradero y que no se obstruya fácilmente. El material más aconsejable suele ser grava o piedra triturada clasificada por tamaños uniformes generalmente 2.5 a 7.5 cm. la roca volcánica es bastante adecuada para este fin, aunque suelen ser útiles o-

tros materiales tales como escoria, cenizas o antracita. Las piedras con diámetro inferior a 2.5 cm. no proporcionan suficiente espacio de poros entre las piedras que permitan la libre afluencia del agua residual y de los sólidos arrastrados y darán, pues, como resultado la obstrucción del medio y estancamiento del agua dentro del filtro o en la superficie. Las piedras de gran diámetro evitan el problema de la obstrucción pero tienen un área superficial relativamente pequeña por unidad de volumen;--- por ello no pueden soportar una población biológica tan grande. La uniformidad del tamaño es un modo de asegurar el espacio adecuado de los poros; las especificaciones -- dentro de una gama de tamaños de 2.5 a 7.5 cm son por lo general, más restrictivas, como por ejemplo las de 2.5 a 5 cm., o 3.15 a 7 cm.

Una importante característica del medio filtrante es su resistencia y durabilidad. Esta última puede determinarse mediante el ensayo del sulfato de sodio, que en el manual ASCE 13 Materiales filtrantes para plantas de tratamiento de aguas residuales se encontrarán especificaciones detalladas para los medios filtrantes.

Recientemente se han utilizado con éxito medios sintéticos para el tratamiento de residuos industriales fuertes, que consisten en láminas de plástico entrelazadas, - dispuestas como un panal de miel para producir medios su-

mamente porosos y antiobstrucción. Las láminas se venden sin montar, exigiendo poco espacio comparado con el volumen final de los medios ya montados. Las hojas son onduladas, de modo que cuando los medios estén ya instalados, se forme un enrejillado fuerte pero ligero. Los submontajes de los medios forman módulos que pueden disponerse para ajustarse a cualquier configuración del filtro. Se han llegado a construir filtros muy profundos de hasta 6 m. Su elevada capacidad hidráulica y resistencia a obstrucciones se aprovecharán mejor en un filtro de alta carga.

DRENAJE INFERIOR. Un filtro rociador consta de tres sistemas primarios: distribución, tratamiento (el medio filtrante) y recolección. El sistema de recolección recibe el agua residual filtrada y los sólidos descargados del medio filtrante y los conduce hasta el tanque de sedimentación final. El sistema se compone de la solera del filtro del canal de recolección y de los drenes inferiores. Los drenes inferiores están constituidos por bloques de arcilla vitrificada, especialmente diseñados, con las partes superiores que admiten agua residual y soportan el medio filtrante. El cuerpo del bloque consiste en dos o tres canales con las partes inferiores curvadas, que forman los canales de drenaje inferior cuando se extienden de lado a lado y cubren toda la solera del filtro.

Los drenes se colocan directamente sobre la solera -

del filtro, que tiene una pendiente de 1 al 2% hacia el canal colector. Los drenes pueden estar abiertos en ambos extremos, de modo que puedan inspeccionarse fácilmente y evitar que haya obstrucciones, para lo cual se limpian con una descarga de agua. Los drenes inferiores también ventilan el filtro, proporcionado aire para los microorganismos que viven en la película biológica de éste y deberán estar abiertos -al menos- a un canal periférico para la ventilación en la pared así como el canal colector --- central.

VENTILACION. La ventilación normal tiene lugar por gravedad dentro del filtro. Como generalmente existe una diferencia de temperatura entre el agua residual y el aire ambiente habrá un proceso de intercambio de calor dentro del lecho del filtro. El cambio de la temperatura de aires dentro del filtro causa un cambio de densidad y de esta manera se establece una corriente de convección. La dirección del flujo de aire a través de un filtro es descendente si la temperatura del aire es mayor que la del agua residual. En tiempo frío, cuando las temperaturas son bajas el flujo de aire será ascendente.

La ventilación natural ha resultado ser adecuada para los filtros goteadores, siempre y cuando se tomen las siguientes precauciones:

1.- Los drenes inferiores y canales de recogida han de di

señarse para que fluyan llenos solamente hasta la mitad de la altura, proporcionando así paso para el aire.

2.- En ambos extremos del canal central de recolección se instalarán cámaras de registro para la ventilación, provistas de rejilla abierta.

3.- Los filtros de gran diámetro deberán tener canales colectores secundarios con orificios o chimeneas de ventilación situados cerca de la periferia del filtro.

4.- La zona abierta de las ranuras, en la parte superior de los bloques de los drenes inferiores, no será inferior al 15% del área del filtro .

5.- Por cada 25m^2 del área del filtro deberá proporcionarse un área total de 0/1 metros cuadrados de rejilla abierta en las cámaras y chimeneas de ventilación.

En el caso de filtros sumamente cargados o extremadamente profundos, se encontrará alguna ventaja en la ventilación forzada si se proyecta, instalar y hacer funcionar adecuadamente. Un proyecto de este tipo deberá poseer un flujo de aire de $0.3\text{m}^3/\text{m}^2$ de área del filtro en cualquier dirección.

En épocas con temperaturas del aire muy bajas puede convenir limitar a través del filtro para evitar su congelación. La cantidad de aire requerida por un filtro es del orden de $0.03\text{ m}^3/\text{min m}^2$ de área del filtro.

Los filtros se diseñan de modo tal que todo el medio

filtrante puede inundarse con agua residual y, a continuación, desaguarse sin provocar rebosamiento. La inundación es un eficaz método para lavar un filtro, corregir el estancamiento y controlar las larvas de moscas que se acumulan en el filtro.

TANQUES DE SEDIMENTACION PARA FILTROS GOTEADORES.

La función de los tanques de sedimentación situados a continuación de los filtros goteadores es producir un efluente clarificado. Difieren de los tanques de sedimentación de lodos activados en que no existe recirculación de lodos, - que ya se ha visto es esencial para este último proceso. Todo el lodo existente en los tanques de sedimentación de los filtros goteadores es extraído y enviado a las instalaciones de tratamiento de lodos. El diseño de estos tanques es similar al de sedimentación primaria, excepto en que la carga de superficie se basa en el caudal de planta más el de recirculación (véase fig 4). La carga superficial a caudal punta no excederá de $48 \text{ m}^3/\text{día m}^2$.

CAPITULO 4

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

El término "Estanque de Oxidación" es frecuentemente usado como sinónimo. Los estanques son de uso muy corriente en pequeñas comunidades, ya que sus bajos costos de construcción y funcionamiento ofrecen una notoria ventaja económica sobre otros métodos de tratamiento conocidos. Asimismo, estos estanques se usan mucho en el tratamiento de residuos industriales y mezclas de residuos industriales y agua residual doméstica susceptibles de tratamiento biológico. Instalaciones de este tipo presentan hoy servicio en industrias como refineries de petróleo, mataderos, centrales lecheras, plantas de preparación de aves, etc.

En los estanques aerobios, el oxígeno es suministrado mediante la aireación superficial natural y por la fotosíntesis de las algas. Exepto por la población de algas, la comunidad biológica presentes en los estanques de estabilización es semejante a la de un sistema de lodos activados. El oxígeno liberado por las algas a través del proceso de la fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. Los nutrientes y el anhídrido carbónico liberados en la deradación son a su vez, utilizados por las algas. Esta reacción cíclica simbiótica se ---

Fig. 1. Los animales superiores como los peces y

---, también se hallan presentes en el estanque

--- consistirá en mejorar la calidad del
---.

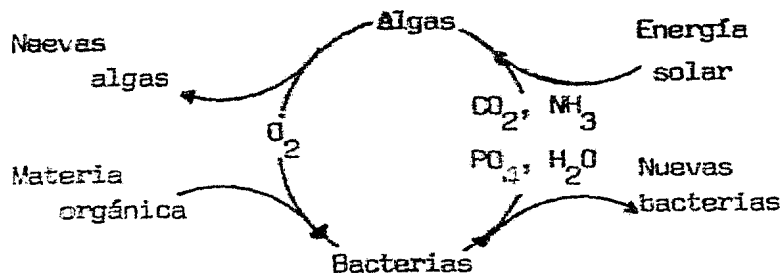


FIG. 1 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA RELACION SIMBIOTICA ENTRE ALGAS Y BACTERIAS.

Debido a la presencia de las instalaciones de aireación, las algas no tienen tanta importancia en los estanques de estabilización aerados. Las instalaciones de aireación sirven también para mezclar el contenido del estanque y evitar la sedimentación de los sólidos suspendidos, ya que si se permitiese el depósito de los sólidos, estos se acumularían en el fondo formando una capa de lodo anaerobio convirtiéndolo el estanque en facultativo.

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier sección del estanque aerobio dependerá de factores tales como: la carga orgánica, grado de mezcla del estanque, pH, nutrientes, luz solar y temperatura. La temperatura ejerce un profundo efecto sobre el funcionamiento de los estanques aerobios, especialmente en zonas que sufran inviernos o los cuales puede ser posible que el hielo cubra la superficie del estanque. La temperatura del agua bajo la capa de hielo es solo ligeramente superior a la de congelación.

ción y, por ello, las actividades metabólicas de los microorganismos se reducen considerablemente. Del mismo modo, la capa de hielo disminuye notoriamente las actividades fotosintéticas y supone dificultades operacionales en las instalaciones de aireación; consecuentemente, las condiciones anaerobias se impondrán enseguida por todo el estanque. En primavera, - cuando se funde el hielo y se consigue una mejor aireación y mezclado en el estanque, se liberan a la atmósfera algunos productos finales anaerobios malolientes, tales como el sulfuro de hidrógeno. Por tanto, es posible que durante algún corto período de la primavera se tropiese con problemas derivados de malos olores.

En los Estados Unidos, las lagunas de estabilización se colonizan generalmente por algas tanto verdes como verde-azules. El número de células es generalmente grande, pero el número de géneros que componen aun a los crecimientos fuertes - es pequeño. Las especies comunes son miembros de los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Chlamydomonas*, y *Euglena*, entre las verde-azules. La *Chlorella* es el organismo que más prevalece, quizá debido a su resistencia a la destrucción por anaerobiosis y su tolerancia a los extremos de la temperatura. Las células son pequeñas (10 en diámetro) y no se remueven fácilmente del agua en que se encuentran suspendidas. Las *Chlamydomonas* y *Euglena* son más sensitivas a la adversidad del me-

dio. Su muerte súbita puede ocasionar fuertes disminuciones en los recursos de oxígeno de las aguas receptoras.

Las variaciones diurnas en la ecología de los estanques de estabilización hacen difícil determinar su eficiencia y optimizar su operación. Las concentraciones de oxígeno disuelto y el pH aumentan durante las horas de luz y disminuyen por la noche. Las pruebas de la DBO y sólidos suspendidos son oscurcidas por la presencia de algas en las muestras de las lagunas y de los efluentes.

CLASIFICACION

Las lagunas de estabilización son estructuras sencillas de tierra, abiertas al Sol y al aire, los cuales constituyen los recursos naturales a que pueden recurrir para lograr su misión. Las lagunas de estabilización adquieren una de las siguientes formas:

1.- Lagunas aeróbicas, en las que las sustancias desagradables suspendidas y disueltas son estabilizadas por las poblaciones aeróbicas microbianas abastecidas del oxígeno necesario mediante la fotosíntesis de las algas, así como por la transferencia de gas en la superficie de la laguna, algunas veces con el soporte de aireación mecánica o difundida.

2.- Lagunas anaeróbicas, en las que las sustancias desagradables son estabilizadas por las poblaciones microbianas anaeróbicas en ausencia continua de OD.

3.- **Lagunas facultativas**, en las que las sustancias degradables son estabilizadas por poblaciones facultativas, -- debido a cambios cíclicos de condiciones aeróbicas, como los cambios diurnos y estacionales en la fotosíntesis. Por ser las lagunas facultativas las más comunes en México solo se tratará sobre ellas.

Son ejemplos: 1) Las lagunas de estabilización para las aguas crudas y su tratamiento completo; 2) las lagunas de oxidación para aguas residuales sedimentables sujetas a tratamiento secundario; 3) las lagunas anaeróbicas introducidas antes de las aireadas, entre otras razones con el fin de evitar el desprendimiento de olores por las unidades aeróbicas, y 4) lagunas de maduración o pulido, que constiutyen un eslabón en la cadena de la renovación del agua, siendo su objetivo principal la remoción del nitrógeno y del fósforo para -- proteger a las aguas receptoras contra la eutroficación.

ESTANQUES FACULTATIVOS.

Los estanques de estabilización facultativos son aquellos en los que la capa superior es aerobia, la zona central contiene bacterias facultativas y la zona de lodos de fangos del fondo es realmente anaerobia. En la actualidad la mayor parte de los estanques de estabilización que tratan aguas residuales crudas son del tipo facultativo. Los sólidos sedimentables forman en el fondo del estanque una capa de lodos y de organismos animales y vegetales. En los estanques facultativa

tivos que reciben aguas residuales crudas, la formación de sólidos sedimentables está en función de la temperatura pero, en cualquier caso, los sólidos degradables ejercen una gran influencia en el funcionamiento del estanque.

Los estanques facultativos se oxigenan principalmente de la actividad fotosintética llevada a cabo por las algas bajo la influencia de la radiación solar, aunque en los grandes estanques la aireación superficial del viento también aporta una importante proporción de oxígeno.

Como la fotosíntesis depende directamente de la intensidad y penetración de la luz la formación de oxígeno suelen quedar limitada por la capa superior. Si no hay mezcla se producen gradientes de oxígeno disuelto, que descienden desde un valor máximo en la superficie a cero o casi cero en las zonas mas profundas.

El viento representa usualmente la principal fuente de energía en la mezcla del agua en los estanques facultativos, pero una causa secundaria de la mezcla que puede ser importante en las zonas tropicales cuando la velocidad del viento es baja en el calentamiento diferencial. La mezcla es un parámetro físico importante que afecta al crecimiento de las algas, ya que muchas algas no son móviles por sí mismas y se precisa la mezcla para llevarlas a la zona de penetración efectiva de la luz. La reducción de la duración de la mezcla durante el ciclo diurno usual puede provocar una reducción de la cantidad de algas y desplazar y el predominio de ciertas es-

pecies hacia otras, además, la mezcla durante las horas de luz diurna contribuye a la distribución del oxígeno disuelto.

La temperatura es de gran importancia porque a la velocidad de la degradación bioquímica. La temperatura media, las fluctuaciones diarias y las variaciones anuales influyen todas ellas en los procesos biológicos, físicos y químicos del estanque.

METODOS PARA EL PROYECTO DE ESTANQUES FACULTATIVOS.

En la práctica, el proyecto de un estanque facultativo depende de una gran variedad de condiciones locales; sin embargo, a pesar de ello, se han establecido algunos procedimientos útiles y racionales para ese fin. En esta sección se describen dos métodos basados en: 1) carga por unidad de superficie; 2) el procedimiento empírico.

METODO BASADO EN LA CARGA POR UNIDAD DE SUPERFICIE

La experiencia ha demostrado que se pueden hacer ciertas generalizaciones en relación con la carga orgánica que puede aceptar un estanque de estabilización facultativo. En el cuadro siguiente se expresan las cargas de la DBO que se han usado con éxito en diversas áreas geográficas; por supuesto, conviene ser muy cauto al utilizar estos valores para establecer un proyecto.

GENERALIZACION DE LA CARGA DE LA DBO POR UNIDAD DE SUPERFICIE Y POR DIA EN DISTINTAS CONDICIONES CLIMATICAS.

Carga de superficie (kg DBO ₅ /ha por día) ^a	Habitantes por ha ^b	Tiempo de detención (días) ^c	Condiciones ambientales ^d
Menos de 10	Menos de 200	Más de 200	Zonas muy frías, con cobertura de hielo estacional, aguas con temperaturas uniformemente bajas y nubosidad variable
10- 50	200-1000	200-100	Clima estacional frío, con cobertura de hielo estacional y temperaturas templadas de verano en una estación corta
50-150	1000-3000	100- 33	Clima entre templado y semitropical, cobertura ocasional de hielo, sin nubosidad persistente
150-300	3000-7000	33- 17	Clima tropical, soleamiento y temperatura uniformes, sin nubosidad estacional

^a Estos valores se han calculado en el supuesto de que el volumen del efluente es igual al del afluente, es decir, que la suma de las pérdidas por filtración y evaporación no excede del volumen de las precipitaciones.

^b En el supuesto de una cifra de 50 g de DBO₅ por persona y por día en las zonas en desarrollo.

^c Calculado sobre la base de un volumen de entrada de 100 litros de agua residual por persona y por día.

Estos valores se han calculado suponiendo que el volumen del efluente es igual al del afluente, es decir, que la suma de las pérdidas por filtración y evaporación no excede del volumen de las precipitaciones.

Suponiendo 50g de la DBO₅ por persona y pérdida en las zonas en desarrollo.

Calculado sobre la base de un volumen de entrada de 100 litros de agua residual por persona y por día.

Uno de los problemas que pueden presentarse es la producción de malos olores por distintos factores: temperaturas entre mas estacionales, superficies insuficientes, distribución desigual de los sólidos sedimentalbes pueden mejorarse utilizando varias entradas de agua y estanques mas profundos (1.5-2m). El mantenimiento de la profundidad de la masa líquida depende principalmente del control de las filtraciones y de la evaporación. Como es fácil de comprender, el funcionamiento del conjunto del sistema de estanques depende la carga volumétrica de la carga de DBO por unidad de superficie y de la concentración de la materia orgánica en el agua residual. Si el contenido de agua es bajo puede ser difícil mantener una cantidad suficiente de líquido sobre los sólidos sedimentados, en cuyo caso se debe añadir agua o proyectar el estanque sin ningun aliviadero.

PROCEDIMIENTO EMPIRICO

Después de estudiar los resultados de numerosos estanques experimentales, plantas piloto de mayor tamaño y más de 200 estanques en operación, se han desarrollado varias fórmulas que permiten establecer una relación entre el volúmen del estanque y la temperatura, la DBO, el volúmen del agua residual efluente y la toxicidad. En la ecuacion:

L_p ; DBO₅ del estanque y del agua efluente (mg/litro).
la eficiencia de la reducción de la DBO se evalúa en 85-95%.

El volúmen requerido por un estanque facultativo puede determinarse con ayuda de la fig. 4 el factor de carga (F.C.) se calcula multiplicando el número de personas que aportan agua residual (N) por el producto de la aportación por persona y día en litros (a) y la DBO (La). (La DBO₅ debe usarse para aguas poco cargadas o para efluentes previamente sedimentadas y la DBO, para aguas muy cargadas o no tratadas). En la práctica se ha visto que si se conoce la temperatura media del agua en el mes mas frio del año la nubosidad no dure más que unos pocos días cada vez; este gráfico permite establecer un proyecto bastante exacto. Trazando una línea vertical desde el factor de carga calculado hasta la temperatura elegida, puede obtenerse el volúmen requerido (en m³) en la ordenada de la izquierda y la superficie necesaria para el estanque en la ordenada de la derecha.

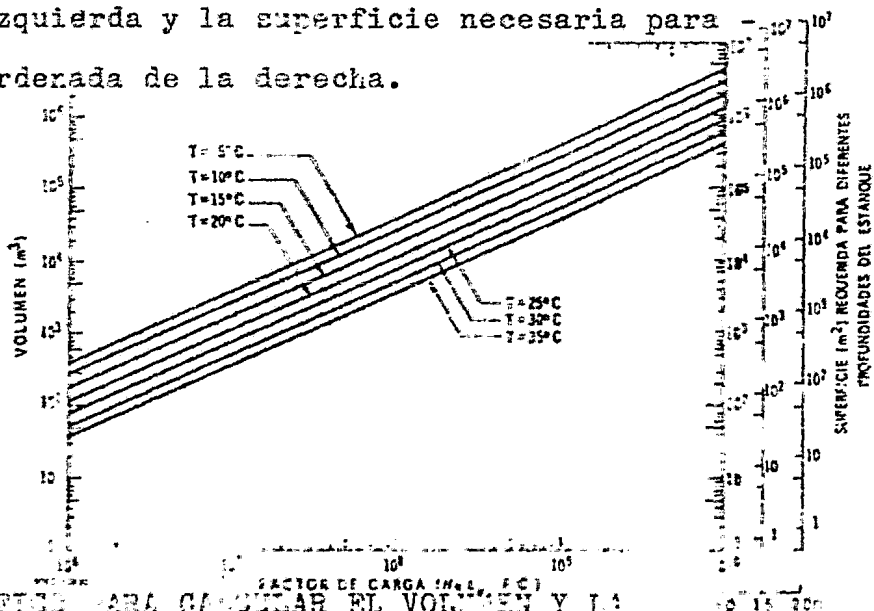


FIG. 4 GRÁFICO PARA CALCULAR EL VOLUMEN Y LA SUPERFICIE NECESARIA PARA UN ESTANQUE FACULTATIVO.

La intensidad de la luz, el total de sólidos disueltos y una multitud de otros factores pueden interferir en el volumen requerido ahora bien, cuando el agua residual es de origen doméstico el factor más importante que ha de tenerse en cuenta suele ser la temperatura, la Fig. 4, se basa en la fórmula:

$$V = (3.5 \times 10^{-5}) Nq \text{ la } (35 - T_m)$$

V; volumen del estanque (m^3)

N; número de personas que aportan agua residual.

q; producción de agua residual por persona (litros/día).

; coeficiente de temperatura de reacción + 1.085

T_m ; Temperatura media del agua en el mes más frío ($^{\circ}\text{C}$)

El volumen y la superficie deben aumentarse cuando las aguas residuales contienen más de 500 mg/litro de ion sulfato. También se requiere un mayor volumen para las aguas industriales que no son fácilmente degradables o que reducen el contenido de clorofila.

Si se dan por supuestos los valores de la DBO y del volumen del agua residual por persona, la fig. 4 puede ser utilizada con otros fines; así por ejemplo, se puede trazar un nuevo gráfico que indique las aportaciones admisibles de la población a un estanque dado sometido a diferentes condiciones de temperatura. Si se parte de las siguientes hipótesis:

Superficie	= 1ha.
Profundidad	= 1.5 m.
BBO_5 (la)	= 300 mg/litro

Volúmen de agua residual = 100 litros por habitante

Se puede obtener el factor de carga de la siguiente manera, calcular la población tomando como referencia el valor de la población (cuadro 1).

Factor de carga (F.C.)=NqLa.	T _m ⁰ C	N=F.c. x La
4 x 10 ⁷	5	1.3 x 10 ⁸
6 x 10 ⁷	10	2 x 10 ⁸
9 x 10 ⁷	15	3 x 10 ⁸
1.5 x 10 ⁸	20	5 x 10 ⁸
2 x 10 ⁸	25	6.7 x 10 ⁸
3 x 10 ⁸	30	1 x 10 ⁹
4.2 x 10 ⁸	35	1.4 x 10 ⁹

Cuadro No. 3 DATOS TIPO PARA EL CALCULO DE DESCARGAS ADMISIBLES DE AGUAS RESIDUALES EN ESTANQUES DE TRATAMIENTO. TATIVOS.

La profundidad apropiada del estanque está determinada por las condiciones del medio ambiente, por la temperatura residual que hay que tratar y por los factores de seguridad general con que se desee contar. Una vez calculado el volumen requerido, se elige la profundidad con la que se muestra en el cuadro 4, si el estanque es demasiado superficial (menor de 1 m), la vegetación puede destruirlo y se pueden producir malos olores durante la estación cálida. Las

de más de 1.5 m permiten retener los lodos y proporcionar una reserva de capacidad para el tiempo frío.

Profundidad recomendada (m).	Condiciones del medio ambiente y tipo de agua residual.
1.0	Temperatura cálida uniforme agua residual presedimentada.
1.0-1.5	Temperatura cálida uniforme agua residual cruda.
1.5-2.0	Temperatura con fluctuaciones estacionales moderadas, aguas residuales cruda con sólidos sedimentables.
2.0-3.0	Temperatura con amplias variaciones estacionales; gran cantidad de arenas y sólidos sedimentables.

CUADRO 4. PROFUNDIDADES RECOMENDADAS PARA ESTANQUES FACULTATIVOS EN RELACION CON LAS CONDICIONES DEL MEDIO AMBIENTE Y TIPO DE AGUA RESIDUAL.

FORMA Y PROFUNDIDAD DE LOS ESTANQUES FACULTATIVOS.

La relación entre la longitud y el ancho de los estanques puede variar entre 1:1 y 2:1. Las fluctuaciones de temperatura en las diferentes estaciones pueden obligar hacer más profundos los estanques. Los resultados obtenidos y las observaciones efectuadas en estanques en Texas muestran que los estanques cuya profundidad es solo de 75 cm. no proporcionan

una estabilización ideal. A causa de su poca profundidad, esos estanques pueden alcanzar altas temperaturas durante el día, lo cual puede afectar de modo adverso la producción de algas. Además, en los estanques poco profundos la capa de lodo puede elevarse o volverse séptica y causar malos olores.

CAPA DE LODO

La evolución de la formación de gas en la capa de lodo es un índice muy sensible la actividad biológica en los estanques de fondo de los estanques facultativos.

La influencia de la capa de lodo en el estanque puede explicarse del siguiente modo. Durante el período inicial de explotación de un estanque facultativo primario que recibe sólidos sedimentables, parte de la reducción de la DBO observada en el estanque se debe a la sedimentación de la materia orgánica en forma de lodo. En este lodo se produce una fermentación anaerobia que reduce su carga orgánica pero que libera productos de la fermentación que pasan a la masa líquida. En condiciones uniformes de sedimentación y temperatura el volumen del lodo irá en aumento, con la consiguiente liberación de cantidades cada vez mayores de productos de fermentación, hasta alcanzar un estado de equilibrio en el que la DBO añadida al lodo por nuevas sedimentaciones sea igual a la DBO liberada en forma de productos de fermentación.

Durante la estación fría se produce poca descomposición del lodo y el fondo del estanque actúa primordialmente como una zona de almacenamiento de lodos. Durante la esta---

ción cálida los productos de fermentación del lodo aumentan la DBO en la masa líquida del estanque. Por último, se alcanza un estado característico por una variación cíclica anual del volumen del lodo que se eleva en invierno y baja en verano. Durante el verano, la adición de productos de fermentación del lodo pueden hacer que se rebase la capacidad de reoxigenación del líquido del estanque y que éste se transforme en aerobio, lo cual es particularmente grave si las temperaturas más elevadas coinciden con una nubosidad que reduce el efecto de la radiación solar.

En los trópicos y zonas subtropicales se pueden utilizar altas cargas superficiales de la DBO. Sin embargo, si el consumo de agua por habitante es bajo, el lodo ocupará una mayor proporción del volumen del estanque y su influencia puede convertirse en un factor dominante del proyecto.

M E Z C L A .

Las características de la mezcla de las aguas en un estanque facultativo dependen, en general, de varios factores, de los cuales lo más importantes probablemente son el viento y el calor. La mezcla producida por la energía del viento depende de la estación superficial del estanque. El efecto máximo del viento puede obtenerse cuando éste encuentra un poco libre de obstáculos de 100-200 m. En consecuencia, los estanques pequeños tienden más a permanecer estratificados que los de mayor tamaño.

El efecto de la mezcla en el funcionamiento del estanque es muy importante. Durante el día, la mezcla proporciona una distribución uniforme de la temperatura y del oxígeno en toda la masa del agua del estanque, estableciendo así condiciones aerobias hasta las zonas más profundas de éste. La mezcla también sirve para transportar las algas que carecen de movimiento propio a las zonas donde existen energía luminosa utilizable. Durante los períodos prolongados de estratificación las algas sin movimiento propio se sedimentan gradualmente sobre la capa de fango, con lo que la concentración de algas en el líquido se reduce considerablemente. Sólo las algas móviles sobreviven independientemente de su número, lo cual quizá explique el predominio de las formas móviles de Euglena que se observa a veces. En varios países se ha visto que los estanques pueden aparecer verdes por mañana, cuando las algas Euglena están cerca de la superficie y que se vuelven grises a media que avanza el día y las algas se alejan de la intensa luz solar y de las capas superficiales calientes. Es típico el que las algas móviles formen una densa capa de algunos centímetros de espesor por encima de la termoclina. La termoclina es la capa de agua que separa una zona superior de una zona inferior más fría.

Es típico que durante la mañana, si hay un poco de viento, haya un período de mezcla completa en la cual la temperatura es uniforme en todo el estanque, pero durante el cual, di-

bido a la absorción y a la irradiación, la temperatura aumenta gradualmente. En algún momento, usualmente durante un corto período de calma del viento, la estratificación se desa-rrolla de golpe y forma una termoclina. La temperatura por - encima de la termoclina aumenta hasta un máximo y después de crece, mientras que bajo la termoclina cae rápidamente hasta un valor aproximadamente igual al del suelo y de ahí en ade-lante permanece prácticamente constante.

Después del mediodía y por la tarde, puede iniciarse un segundo período de mezcla en la forma que se indica a conti-nuación:

a) Encima de la termoclina y en condiciones de calma, - sin viento, las capas superiores pierden su calor más rápidamente que las capas del fondo. Las capas superiores más ----frias se hunden, provocando una mezcla, de lo cual resulta que la temperatura bajo la termoclina permanece aproximada-mente uniforme pero decrece gradualmente. La termoclina des-ciende gradualmente y a medida que prosigue el enfriamiento ' la mezcla puede iniciarse y mantenerse en todo el estanque.

b) Cuando sopla el viento, en general, durante el período de temperaturas decrecientes, la energía transmitida por el viento al agua situada por encima de estratificación (ocasionando que la temperatura sea uniforme en toda la masa del líquido).

Es posible que durante el verano, cuando las velocidades del viento son bajas, el enfriamiento por radiación no sea suficiente para homogenizar la temperatura en todo el estanquey persista la termoclina.

CAPITULO 5

PROCESO DE DISCOS BIOLOGICOS.

En 1900 Weigand ideó por primera vez, en Alemania, un contador rotativo para el tratamiento del agua residual siendo este un cilindro compuesto de tabilllas de madera. Estas unidades experimentaron graves problemas con el atascamiento de las tabilllas, por lo que no se llegó a considerar una buena alternativa de tratamiento.

En los Estados Unidos de América, en 1929, Doman realizó pruebas con discos metálicos giratorios. Esta era la primera vez que se investigaban los discos como medios de contacto, pero los resultados no fueron alentadores, y no se realizó trabajo posterior en los Estados Unidos de América.

En las postrimerías de la década de los 1950, en la Universidad de Stuttgart, se realizaron extensas pruebas utilizando discos de plástico de 1.0 m de diámetro. Más o menos al mismo tiempo, en esta Universidad se utilizó el poliestireno expandido, debido a que era un material de construcción no muy caro dando como resultado un nuevo proceso comercial de tratamiento de aguas residuales.

En 1957, en Tultlingen, Alemania Occidental, se comenzó a fabricar discos de poliestireno expandido. La primera instalación entró en operación en 1960 y el uso del proceso se difundió rápidamente por toda Europa a virtud de su simplicidad y su bajo consumo de energía. Aunque brinda una

mayor simplicidad en la operación, y menores requisitos de energía, el sistema de discos de poliestireno ha quedado restringido a instalaciones relativamente pequeñas, debido a los altos costos de construcción comparados con los costos de construcción de un sistema de lodos activados.

En 1972, la Compañía Autotrol en los Estados Unidos de América realizó la innovación de unas nuevas medias de contactores rotativos construidos de hojas corrugadas de polietileno planas y concéntricas para formar una estructura parecida a un panal de miel, al cual se ha llamado discos biológicos o biodiscos.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El proceso de biodiscos o discos biológicos es un sistema secundario de tratamiento biológico de aguas residuales. Consiste de una media de plástico corrugado de diámetro grande, montados sobre un eje horizontal y colocados sobre un tanque. (figura # 1).

La media se hace girar lentamente al mismo tiempo que aproximadamente el 40% del área de la superficie está sumergida en el agua residual. Inmediatamente después de la puesta en marcha, los microorganismos que se encuentran presentes en forma natural en el agua residual, comienzan adherirse a las superficies rotatorias y se multiplican hasta que, aproximadamente en una semana, se cubre toda la superficie con una capa de biomasa (masa biológica) de aproximadamente-

0.5 mm de espesor la cual contiene aproximadamente 50,000 mg/l de sólidos suspendidos. Si se quitara la biomasa y se colocara en una solución mixta, la concentración resultante de sólidos suspendidos en la solución mixta sería de 10,000 a 20,000 mg/l, y esta enorme población microbiana es la que produce altos grados de tratamiento para tiempos de retención del agua residual relativamente breves.

El cultivo de microorganismos proporciona una amplia -- área de superficie biológica activa, mucho más grande que el área de la superficie de la media, exponiendo en la rotación una película de agua residual al aire, donde se absorbe oxígeno el cual es posteriormente utilizado en la estabilización de materia orgánica.

EL oxígeno disuelto no usado en la película se mezcla con el contenido de la solución mixta, lo que mantiene una concentración de oxígeno disuelto en la solución mixta.

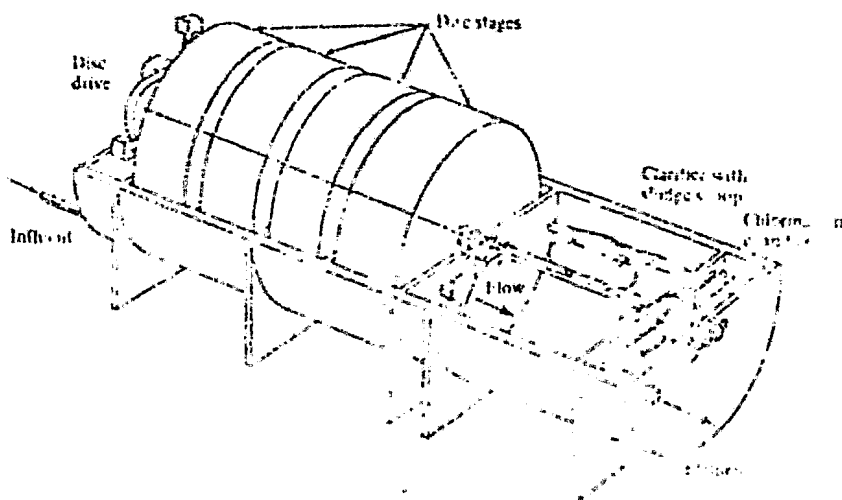


FIG. 1 PLANTA PAQUETE DE
SIODISCS

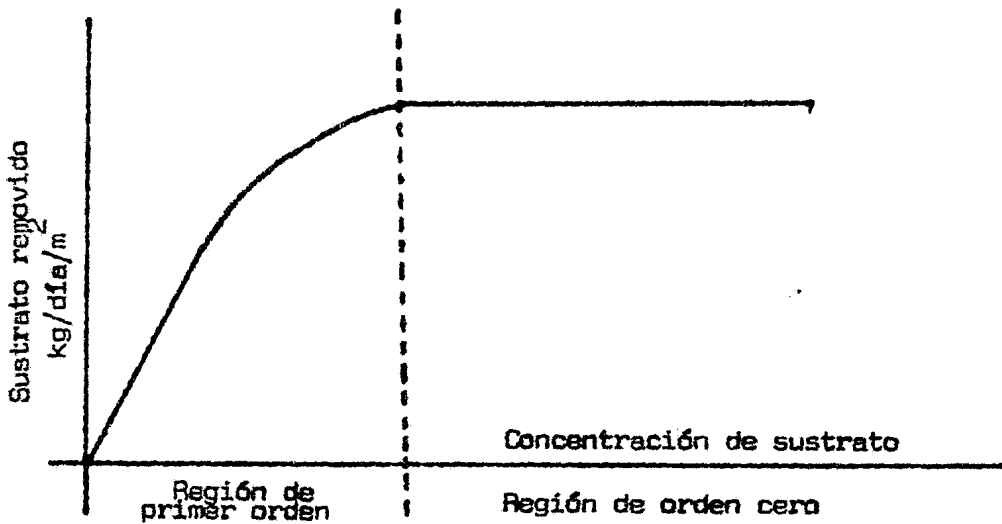


FIG. 5 SUSTRATO REMOVIDO VS. CONCENTRACION DE SUSTRATO.

Para los residuos domésticos y para los residuos industriales más comunes, la conducta de orden cero comienza aproximadamente a 50 mg/l de la DBO soluble a una tasa máxima de 0.010 kg diarias por m² de área de superficie para medias de Biodiscos accionadas mecánicamente. Para el proceso Aero-surf, la conducta de orden cero comienza aproximadamente a 70 mg/l de la DBO soluble y una tasa máxima de remoción de 0.015 kg diarias por m². Las aguas residuales que tienen componentes con pesos moleculares significativamente mayores o menores que los residuos domésticos, tendrán una capacidad de difusión significativamente diferentes y requerirán de pruebas en plantas piloto para determinar los criterios apropiados de diseño.

Dado que para la mayoría de las aguas residuales domésticas las condiciones de diseño caen dentro de la región de primer

orden para la remoción de la DBO y del nitrógeno amoniacal, se usa la carga hidráulica como el principal criterio de diseño. Para simplificar los cálculos de diseño, la carga hidráulica se expresa como el gasto por unidad de tiempo por unidad de área de superficie cubierta por cultivo biológico, (6 lts. por día y por m^2). Podría parecer que el tiempo de retención sería el mejor modo de determinar la carga hidráulica. Sin embargo, dado que el tiempo real de retención solo puede ser estimado a partir del volúmen de las medias cubiertas por biomasa y esto no puede traducirse directamente a las necesidades específicas de equipo rotatorio, la carga hidráulica en la superficie cubierta por la biomasa se usa para determinar los requisitos de equipo. Por lo que el principal problema para el diseño y selección de equipo para una planta de tratamiento de agua residual, es determinar el requerimiento para el área de superficie cubierta por el cultivo, como se muestra en la figura 6.

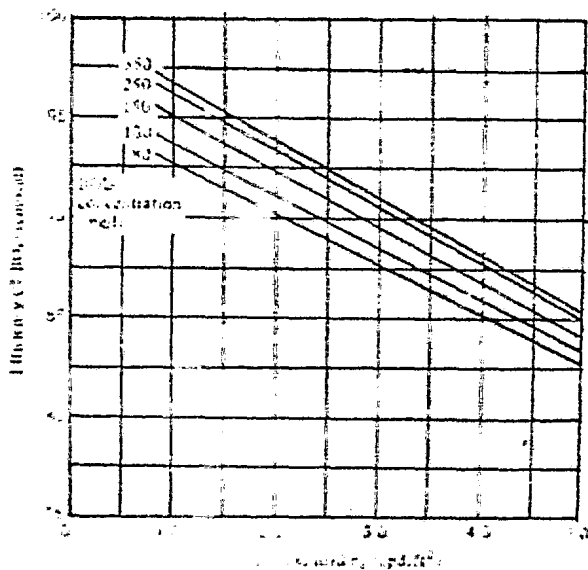


FIG. 6
Curvas de eficiencia para el proceso de Biorreactores a temperatura de 20°C

Las fuerzas cortantes ejercidas sobre la biomasa conforme pasa a través del agua residual, quitan el exceso de biomasa de las medias manteniendo un espesor uniforme de la biomasa y eliminando al mismo tiempo el atascamiento de las medias. Al mismo tiempo, la acción mezcladora de las medias rotatorias mantienen en suspensión los sólidos quitados de las medias hasta que el agua residual tratada sea retirada del proceso para su separación y disposición en procesos posteriores.

Esta forma de operación de los discos biológicos tiene como objetivo llevar a cabo las siguientes funciones:

- * Proporcionar una área superficial para el desarrollo de un cultivo biológico grande y fijo.
- * Proporcionar un contacto vigoroso y uniforme -- del cultivo biológico en el agua residual.
- * Airear eficazmente la masa biológica.
- * Proporcionar un medio efectivo para eliminar -- continuamente el exceso de biomasa.
- * Agitar la solución mixta para mantener en suspensión los sólidos quitados de la media y mezclar completamente cada etapa del tratamiento.

La naturaleza del cultivo biológico adherido es muy diferente de la que se desarrolla en los sistemas de filtros asociadores (figura 2). En un filtro asociador, el cultivo es suave y frecuentemente tiene una apariencia gelatinosa; uno

consecuencia, generalmente se denomina al cultivo como limo o lama. El sustrato y el oxígeno disuelto es suministrado a la porción de la biomasa que se encuentra cerca de la media de soporte, mediante difusión y dado que la mayor parte del oxígeno disponible es utilizado en la zona exterior de la lama, frecuentemente la porción interior es anaerobia. - Se consideró que esta actividad anaerobia es el mecanismo principal de la eliminación periodica de grandes cantidades de cultivo, ya que al estar limitadas el oxígeno y el sustrato unicamente a la porción exterior del cultivo, sólo esa -- fracción de la biomasa total, trata activamente al agua residual.



FIG. 2 CULTIVO BIOLÓGICO ADHERIDO.

Por el contrario la biomasa en la media del disco biológico es lanuda y se proyecta hacia la película adyacente de agua residual proporcionando un área superficial biológica -- mucho activa que es mayor que el área superficial de la media de soporte. Esto hace posible que el sustrato y el oxígeno disuelto lleguen a una porción más grande de la biomasa dis-

ponible y lo hagan aeróbicamente activa.

A diferencia de los filtros rociadores, el proceso de discos biológicos utiliza la fuerza cortante hidráulica controlada como el mecanismo principal para la remoción del exceso de cultivo y espesor, hasta que ya no pueda resistir -- las fuerzas ejercidas por el efecto de rotación. El cultivo es eliminado de la media en forma de agregados de biomasa -- densa relativamente grandes que se sedimentan rápidamente en un clarificador final.

La rotación de la media proporciona también turbulencia en la interfaz entre la biomasa y el agua residual, -- para que el oxígeno disuelto y el sustrato soluble estén --- igualmente disponibles para la porción interior de la biomasa a través del mecanismo de mezcla, así como del de difu--- ción.

OPERACION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO A BASE DE DISCOS BIOLOGICOS.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo del proceso pa ra una planta de tratamiento secundario que utiliza el proceso de discos biológicos. El agua residual cruda fluye prize ramente a través del tratamiento primario para la elimina--- ción de objetos grandes y materia flotante y sedimentable. Este afluente primario fluye a unas unidades de discos bioló gicos de etapas múltiples, donde los cultivos aerobios fijsa de microorganismos absorben la materia orgánica disuelta del agua residual y floculan la materia orgánica suspendida para

separación subsecuente en los clarificadores secundarios.

Parte de la materia orgánica absorbida se oxida a bióxido de carbono y agua, y parte se sintetiza en biomasa adicional. Simultáneamente, conforme degrada la biomasa adicional, el exceso de biomasa se separa de la media rotativa por las fuerzas cortantes ejercidas por el agua residual.

Cada etapa de biodiscos opera como un reactor biológico de película completamente mezclada y fija, con un equilibrio dinámico entre la tasa de cultivo biológico y la tasa de biomasa que se separa.

Conforme el agua residual trata y la biomasa separada pasan a través de cada eje subsecuente de biodiscos el agua residual, es sometida a un grado de tratamiento progresivamente creciente por los distintos cultivos biológicos que se desarrollan en las etapas sucesivas.

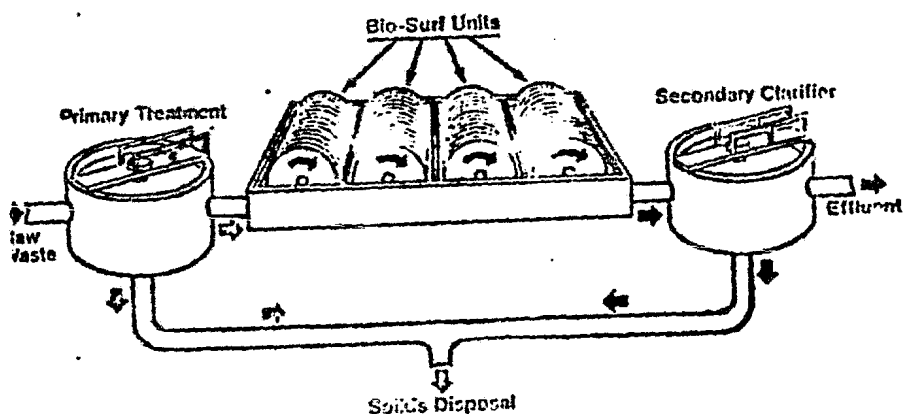


FIG. 3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.

en el proceso; como resultado se considera que la DBO soluble es el parámetro de control en el diseño del proceso de biodiscos. El agua residual cruda doméstica contiene aproximadamente un tercio de la DBO suspendida y después de la clarificación primaria, el agua residual contiene alrededor de la mitad de la DBO soluble y la mitad de la DBO suspendida. Los residuos industriales y las mezclas de residuos domésticos e industriales pueden contener de 50 a 100% de la DBO soluble.

Numerosas pruebas de campo han demostrado que la presencia o ausencia de materia suspendida tiene poco efecto en la remoción de la DBO soluble por el proceso de Biodiscos; esto ha sido observado en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo residuos domésticos e industriales. Se ha establecido que el principal mecanismo de remoción del sustrato utilizando el proceso de biodiscos es la difusión de la materia soluble hacia la capa biológica donde es metabolizada por lo que la velocidad de remoción del sustrato está determinada en base a la velocidad a la cual este sustrato puede difundirse hacia la bio-película. La presencia o ausencia de materia suspendida en el agua residual no tiene efecto en la velocidad de difusión del sustrato soluble y por lo tanto no afecta su remoción.

En el pasado, los criterios de diseño de Biodiscos se establecieron a partir de los datos de plantas piloto y se a

ban basadas en la remoción de la DBO total a diferentes etapas de tratamiento; actualmente, con el funcionamiento de muchas plantas de Biodiscos en los Estados Unidos de América y en Europa, ha sido posible copilar datos que permiten un mejor entendimiento de la dinámica de remoción del sustrato bajo condiciones reales de operación.

Dado que no puede determinarse o controlarse con precisión la cantidad de biomasa activa en la media, no es práctico un modelo de diseño basado en la edad del lodo, o en la remoción de la DBO por unidad de biomasa como se hace en otros procesos biológicos; en consecuencia, se considera que el enfoque más adecuado es determinar la cantidad de la DBO soluble removida por unidad de superficie de disco para cada etapa, cuando se trate de un sistema de Biodiscos de etapas múltiples. Toda vez que la cantidad de biomasa activa que se desarrolla en cada etapa esta determinada por la concentración de la DBO a la cual está expuesta, obtenemos indirectamente un modelo basado en la remoción de la DBO por unidad de biomasa. La remoción de DBO soluble en cada etapa de plantas de Biodiscos de etapas múltiples, es determinada mediante la recolección de muestras compuestas en 24 horas del agua residual en cada etapa y el análisis de las mismas para determinar el contenido de DBO soluble. Los resultados son graficados (figura 5) en función de la remoción de DBO soluble contra la concentración del DBO soluble en cada etapa.

que es la concentración de la DBO soluble a la cual está expuesta la biopelícula). Para bajas concentraciones de DBO soluble, la remoción de la DBO (en Kg/día/m³) es directamente proporcional a la concentración de la DBO; consecuentemente la remoción de DBO está determinada totalmente por el grado de difusión de la DBO soluble hacia la bio-película. Esto sucede debido a que el oxígeno absorbido del aire por los medios rotativos se difunde en la biopelícula a una velocidad suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo aerobio para metabolizar la DBO soluble por lo que en esta región, la remoción de DBO está limitada por la concentración de sustrato y consecuentemente la carga hidráulica (o el tiempo de retención) es el principal criterio de diseño convirtiéndose así la operación de etapas múltiples muy importantes para llevar al máximo la eficiencia de los biodiscos.

A concentraciones más altas de la DBO la velocidad a la que el oxígeno es suministrado a la bio-película no es suficiente para metabolizar la gran cantidad de sustrato y entonces se alcanza un grado máximo de remoción mas allá de la cual la implementación mediante etapas múltiples es de poco valor y la carga orgánica se convierte en el principal criterio de diseño. La concentración a la cual comienza la conducta de orden cero y se alcanza la tasa máxima de remoción del sustrato, puede variar con el tipo de agua residual y depende de la capacidad de difusión de los componentes solubles.

Las etapas iniciales de biodiscos, que reciben la más alta concentración de materia orgánica, desarrollan cultivos de bacterias heterotróficas y conforme la concentración de materia orgánica disminuye en las etapas subsiguientes, las bacterias nitrificantes comienzan a aparecer junto con diversos tipos de formas de vida más altas, tales como protozoarios, rotíferos y otros predadores.

Una vez que el agua residual con materia flocculada sale de la última etapa de biodiscos pasa a un clarificador secundario donde se separan los sólidos para su disposición y el efluente clarificado continúa para la desinfección o tratamiento posterior.

El proceso se opera sobre una base de paso único sin necesidad de reciclado del efluente, además de que como la biomasa adherida crece continuamente, aunque hay necesidad de reciclar el sedimento. La figura muestra las eficiencias logradas en la reducción de la DB5 en una planta de biodiscos.

CRITERIO DE DISEÑO

La materia orgánica suspendida que entra al proceso de biodiscos se bio-flocula y fluye hacia el reactor con el efluente, para separarse en el clarificador final. En virtud de que no hay reciclado de lodos, así que los sólidos permanecen en el reactor durante un período de tiempo igual al tiempo de retención de agua residual de 1 a 2 horas, los sólidos suspendidos ejercen una demanda de oxígeno

y se deja que filtre a través del lecho. El filtro goteador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm. de diámetro y la profundidad de las piedras varía con cada diseño particular, generalmente de 0.9 a 2.4 m con una profundidad media de 1.8 m. Existen filtros goteadores que utilizan unos medios filtrantes plásticos que se construyen con profundidades de 9 a 12 m. El lecho del filtro es generalmente circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio. Antiguamente, el lecho era rectangular y el agua residual se aplicaba mediante unas boquillas rociadoras fijas. Cada filtro posee un sistema de desagüe inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio. Este sistema de desagüe inferior es importante tanto como instalación de recolección como por su estructura porosa a través de la cual el aire puede circular (véase Fig. 1)

La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adheridos al medio. Esta materia orgánica es absorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas (véase Fig. 2) es degradada por los microorganismos

CONCLUSIONES

La amplitud del tema no permitió un estudio mas a fondo de los procesos de tratamiento para aguas residuales incluidas en este trabajo; sin embargo, es claro que la elección de un determinado proceso depende de diversos factores, tales como: calidad del agua a tratar, calidad deseada en el efluente, origen del agua residual, condiciones climatológicas, tamaño de la población, terreno disponible, etc. Esto nos lleva a la conclusión de que para un determinado caso, la elección del proceso de tratamiento depende de la evaluación económica y de obtención de los objetivos deseados. Por ello, como parte final de este trabajo he decidido exponer un resumen de las ventajas y desventajas de los procesos tratados anteriormente como una ayuda en la evaluación de la mejor alternativa a utilizar.

LODOS ACTIVADOS:

En un principio, el proceso de lodos activados era usado en ciudades grandes, en las que la proporción de la capacidad asimiladora del río con la carga de residuos era pequeña, pero ultimamente los requerimientos de tratamiento son mas rigurosos. Para preservar el medio ambiente, se han venido usando tambien en ciudades pequeñas.

El sistema de lodos activados convencional se basa en cargas volúmetricas de 0.3 a 0.3 kg DBO/día/m³., cargas orgánicas (C/M) de 0.2 a 0.4 kg DBO/día/KG. Los tiempos de aireación son comunmente de 6 a 8 horas en presencia de una porción de -

de lodo secundario de alrededor de 25% y un radio de circulación de kidei que varía de un mínimo de 15 a un máximo de 75%. Los tiempos de retención del lodo para este proceso son normalmente de 5 a 11 días. La eficiencia en la remoción de la DBO - secundaria varía de 85 a 92%.

Una de las limitaciones de este sistema es que en el extremo de la cabeza del tanque de aireación se experimenta una alta demanda inicial de oxígeno, además de la falta de estabilidad operativa por las variaciones extremas en las cargas hidráulicas y orgánicas.

Las plantas de aireación por etapas se diseñan para cargas volumétricas de 0.6 a 0.9 kg BDO/día/m³., con un radio C/M de 0.2 a 0.4 kg/día/kg. SSLM. Los tiempos de aireación son menores que los del sistema convencional y los tiempos de retención del lodo son iguales, La eficiencia lograda es 85 a 95% de la remoción de la DBO.

Las plantas de estabilización por contacto, las cargas volumétricas de la DBO, C/M, TRL y la eficiencia de remoción, -- son iguales a los del sistema de aireación por etapas, las proporciones de regreso del lodo varían de 25 a 100% del flujo de diseño.

En el proceso de mezcla completa puede cargarse a niveles comparables a los sistemas de aireación por etapas y estabilización por contacto tan sólo con ligeras reducciones de la eficiencia de remoción de dichos procesos.

Las plantas de aireación modificada están diseñadas para procesar cargas volumétricas de la DBO que varían de 1.2 a 1.4 Kg DBO/día/m³, alcanzan de 60 a 75% de remoción de la DBO, los G/M varían de 1.5 a 5.0 kg DBO/día/kg SSLM, los TRL varían de 0.2 a 0.5 por día, la tasa de lodo de regreso varía de 5 a 15% del flujo del influente, los requisitos de aireación son menores que los del sistema convencional.

Los sistemas de oxígeno puro se diseñan para manejar cargas volumétricas de la DBO que varían de 2.4 a 3.6 kg DBO/día/m³, la G/M puede variar de 0.07 a más de 1.0, las eficiencias logradas en la remoción de la DBO varían de 84 a 97%.

Entre las ventajas del proceso figuran, un efluente claro brillante, no expuesto a putrefacción; ausencia de olores desagradables durante el funcionamiento, naturaleza del líquido saliente variable, de acuerdo con la calidad y las características del agua de disolución disponible además de un costo de instalación relativamente bajo.

El proceso de lodos activados, no es aplicable cuando no se disponga de personal que pueda atenderlo de un modo constante y con competencia, debido al equipo mecánico que hay que hacer funcionar y conservar, y a la naturaleza química, física y biológica del proceso, por esto es uno de los inconvenientes de este proceso, el alto costo de operación y mantenimiento - bajo algunas condiciones.

FILTROS ROCIADORES:

El tamaño de la población en que se puede aplicar un sistema de filtros goteadores varía de 5,000 a 300,000 habitantes. Entre las ventajas de un filtro goteador se puede incluir, su capacidad para producir un efluente de buena calidad, con una gran variedad de calidades del líquido entrante; su capacidad para funcionar bajo condiciones climatológicas extremas, particularmente con temperaturas bajas; una eficiencia satisfactoria de 75 a 90% en la remoción de la DBO y en los sólidos en suspensión en aguas residuales domésticas y un costo de operación relativamente bajo.

Un inconveniente para la instalación de filtros goteadores es el costo de construcción relativamente alto, también es la carga que se pierde a través del filtro, esta pérdida de carga puede variar entre 1.5 a 3.3 m aparte de la profundidad del filtro que puede ser de 1.8 a 3.0 m. Entre otros inconvenientes figuran, la producción de olores, el desarrollo de moscas. Usualmente es necesario recurrir a la sedimentación, para eliminar los sólidos sedimentables. Durante el período de sedimentación secundaria, puede alterarse la calidad del líquido procedente de los filtros. Los filtros desprenden a veces olores desagradables en tiempo caluroso y se pueden desarrollar moscas en cantidades tales, que constituyen un gran inconveniente, si no se toman medidas preventivas. Si se construyen los filtros de modo que puedan llenarse de aguas residuales, esto suele ser satisfactorio para la destrucción de las moscas. La

diseminación de malos olores es especialmente notable durante el tratamiento de aguas residuales alteradas o sépticas. El tratamiento de aguas residuales recientes rara vez da lugar a malos olores.

Los filtros rociadores no son adecuados para zonas urbanas a causa de los olores que producen. La carga necesaria para su funcionamiento puede requerir bombeo; para que pueda funcionar satisfactoriamente, se precisa una atención constante; y es necesario un tratamiento preliminar a base de cribas o tanques. El líquido saliente o efluente es de alta calidad.

Las aguas residuales brutas no pueden tratarse con éxito en los filtros rociadores, deben separarse las partículas gruesas por cribado y el filtro. Los líquidos salientes de los tratamientos primarios, serán probablemente, en su mayoría, con la excepción de los procesos de las fosas sépticas, un material bueno para ser tratado por estos filtros. El líquido procedente de una fosa séptica, puede estar tan alterado que sea perjudicial para la acción biológica del filtro.

LAGUNAS DE ESTABILIZACION:

Las lagunas de estabilización pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben aguas residuales crudas, o como un tratamiento secundario para aguas residuales sedimentadas, también como tratamiento adicional para efluentes de procesos secundarios. Se han usado generalmente como tratamiento secun-

dario de efluentes primarios.

La mayoría de las lagunas de estabilización tienen una -- profundidad de 60 a 120 cm. con flujo continuo a través de cel-- das, se han diseñado para cargas de una hectárea por cada 1,000 habitantes y 470 kg DBO por hectarea y por día, con períodos - de retención que generalmente son mayores de 30 días. El suelo natural en que se localicen, debe ser practicamente impermea-- ble, de tal manera que las infiltraciones no afecten sensible-- mente al nivel superficial de las aguas residuales en la lagu-- na.

Estas lagunas son de construcción barata y requieren un - mínimo de operación. Su uso se limita a las poblaciones peque-- ñas en donde pueda disponerse de terreno ya que se requieren - grandes superficies y bastante aisladas.

Las lagunas de estabilización se usaron primero en zonas en las que prevalecen los climas calurosos y los días soleados pero se ha visto que operan también con resultados satisfacto-- rios en climas más fríos y más nublados. Las lagunas de estabi-- lización se pueden usar casi en cualquier parte, variando la - velocidad a que puedan operar, con la temperatura, la energía luminosa y otras condiciones locales.

El proceso de la descomposición de la materia orgánica - que hay en las aguas residuales se verifica en dos etapas. La materia orgánica carbonosa de las aguas residuales es primero desintegrada por los organismos aerobios, con formación de ---

bióxido de carbono, el cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso natural que se lleva a cabo en los tejidos verdes de los vegetales, bajo la influencia de la luz y la presencia de clorofila, que es la sustancia a que deben el color verde los vegetales vivos.

En este proceso, el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas. Como resultado de esto, la materia orgánica de las aguas residuales es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener la interior descomposición aerobia. Los sólidos de las aguas residuales entran a la laguna en un estado altamente putrescible y salen en forma de células de algas muy estables, las cuales, dentro de ciertos límites, pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos deletéreos.

BIODISCOS:

En el proceso de Biodiscos, la biomasa pasa a través del agua residual, en lugar de que ésta pase sobre la biomasa. Esta diferencia clave da como resultado varias ventajas; separación controlada, que evita el atascamiento de los medios, dado que las fuerzas cortantes separan continua y uniformemente los excesos de cultivo; el humedecimiento continuo de toda la biomasa, evita el desarrollo de moscas del filtro, que frecuentemente se asocian con la operación de filtros goteadores.

Tanto la intensidad del contacto entre la biomasa y el agua residual como la tasa de aireación pueden controlarse fá-

cilmente diseñando una adecuada velocidad rotatoria del Biodisco. El tiempo de retención del agua residual en el proceso se controla también seleccionando un tamaño adecuado del tanque, así pueden obtenerse grados muy altos de tratamiento.

El bajo mantenimiento y el bajo consumo de energía del proceso de Biodiscos son dos de sus características más atractivas cuando se le compara con el proceso de lodos activados. En el proceso de Biodiscos no se necesita diseñarse los clarificadores secundarios para adaptarse a las altas proporciones de reciclado del lodo que se requieren en el proceso de lodos activados, a diferencia de este proceso, el proceso de Biodiscos puede diseñarse para cualquier grado de tratamiento, y el lodo secundario se asentará bien.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Leonard Metcalf y Harrison P Eddy "tratamiento y depuración de las aguas residuales". Editorial Labor, S.A. España (1977).
- 2.- Harold E. Babbitt y E. Robert Baumann "Alcantarillado y tratamiento de aguas negras". C.E.C.S.A. México (1980).
- 3.- Gordon Maskew Fair, Jhon Charles Aeyar, Daniel Alexander Okun "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Volumen II Editorial Limusa México 1979
- 4.- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York "Manual de tratamiento de aguas negras" Editorial Limusa (1980).
- 5.- Earnest F. Gloyna "Estanques de estabilización de aguas residuales". Organización Mundial de la Salud Ginebra (1980).
- 6.- "Nuevos Métodos de tratamiento de agua". (Memorias del Simposio realizado en Asunción Paraguay, Agosto 1972) Serie Técnica de Ing. y Ciencias del Ambiente ES-14, 1973. CEDIS.
- 7.- R. L. Antonie, D. L. Kluge y V. H. Mielle. "Evaluación de una planta de tratamiento de aguas residuales a base de Biodiscos " Vournal Walter Pollution Control Federation. - 46, No. 3 (1974).
- 8.- John W. Clark, Warren Viessman, Jr. "Water supply & Pollution Control Harper & Row Publisheis.
- 9.- W. PCF Manual of Practice No. 8 "Sewage Treatment Plant Design".
- 10.- Torpey, W. y Chasick A. H. "Principles of Activated Sludge Operation "Reinhold Publishing Company, New York City (1956)
- 11.- "Operating Data and Report" Departament of Water Resuorces New York City (May 1972- January 1973).
- 12.- Eckenfelder, W. W. "Industrial Water Polluttión Control Mc Graw- Hill Book Company, New York City (1966).