

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TEORIAS PARA
EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
JOAQUIN ARELLANO NUÑEZ

MEXICO, D. F.

1 9 8 2



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-121

Al Pasante señor JOAQUIN ARELLANO NUNEZ,
P r e s e n t e .

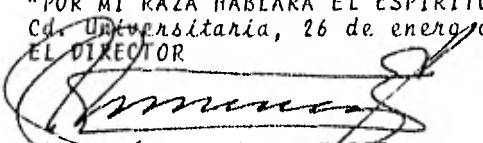
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor M. en C. Francisco Montejano Uranga, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.


"ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TEORIAS PARA EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS"

- I. Introducción.
- II. Descripción del proceso biológico para lodos activados.
- III. Unidades para expresar la materia orgánica degradable y la concentración de microorganismos.
- IV. Eficiencia de los procesos biológicos (para lodos activados)
- V. Teoría de la recirculación o de la N.R.C.
- VI. Teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa.
- VII. Estudio comparativo de las dos teorías.
- VIII. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 26 de enero de 1982
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


JJET/08/17/ser

ESTUDIO COMPARATIVO DE DOS TEORIAS PARA
EL PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

- I INTRODUCCION
- II DESCRIPCION DEL PROCESO BIOLOGICO PARA LODOS
ACTIVADOS
 - II 1) Origen del proceso.
 - II 2) Descripción diagramática de una planta de l
dos activados.
- III UNIDADES PARA EXPRESAR LA MATERIA ORGANICA
DEGRADABLE Y LA CONCENTRACION DE MICROOR-
GANISMOS.
 - III 1) Descripción de la prueba del D.B.O. en el
laboratorio.
 - III 2) Descripción de la determinación de los S.S.V.
- IV EFICIENCIA DE LOS PROCESOS BIOLOGICOS (PARA
LODOS ACTIVADOS).
- V TEORIA DE LA RECIRCULACION O DE LA N.R.C.

- VI TEORIA DE LA RAPIDEZ DE CRECIMIENTO DE LA BIOMASA
- VII ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DOS TEORIAS
- VIII CONCLUSIONES.

I INTRODUCCION

El avance tecnológico logrado por el hombre en las últimas décadas, ha incrementado notablemente la tasa de explotación de los recursos naturales, a tal grado que muchos de ellos que se habían considerado como infinitos, actualmente son insuficientes.

Esta situación es evidente en el recurso agua, debido a que hasta hace algunos años se tenía la creencia de que la naturaleza, a través del ciclo hidrológico, proporcionaba indefinidamente al hombre el agua que requería para satisfacer sus necesidades.

Sin embargo, a nivel mundial ésta creencia ha ido desapareciendo conforme se va incrementando la población y sus diferentes actividades, ya sean industriales o comerciales.

Anteriormente, la preocupación principal se enfocaba hacia la cantidad, dándosele atención mínima al aspecto cualitativo de las aguas. Los proyectos hidráulicos, generalmente se desarrollaban en función de un beneficio o aprovechamiento único; como por ejemplo, la irrigación, el abastecimiento para uso municipal o industrial, la generación de energía, etc.

Al irse incrementando la demanda de agua, es necesario llevar la planeación del recurso a proyectos de máxima utilización con propósitos múltiples, lo cual implica una atención decisiva al aspecto de prevención de la contaminación y conservación de la calidad de las aguas, pues debido a la limitación de recursos y disponibilidad de líquido, el continuo incremento de la demanda nos obligará a reutilizar el recurso.

ANTECEDENTES

Para llevar a efecto la reutilización de las aguas, es necesario efectuar una serie de procesos de tratamiento biológico, los cuales desde el punto de vista práctico y en función de las condiciones bajo las cuales se estabiliza la materia orgánica, pueden clasificarse en tres categorías: aerobios, anaerobios y facultativos.

Es de esperar que, como en cualquier clasificación, existen procesos que no pueden ubicarse totalmente en algunas de estas categorías; sin embargo, en general todos los procesos de tratamiento de desechos líquidos, en especial los que han sobrepasado la etapa experimental, pueden considerarse básicamente en uno de los grupos que se mencionan a continuación.

Sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, comúnmente utilizados en la actualidad.

1. Sistemas aerobios

a) microorganismos en suspensión

Proceso convencional

Completamente mezclado

Aireación por etapas

Estabilización por contacto

— Lodos activados Aireación extendida

Zanja de oxidación

Aireación de acuerdo con de
manda de oxígeno puro

Carrusel

Krauss

— Lagunas aireadas

b) microorganismos adheridos al medio fijo.

— Filtros rociadores Alta tasa

Baja tasa

— Biodiscos

c) combinación

— Medio granular fluidizado

— Torres de madera resistentes

2. - Sistemas anaerobios

- a) microorganismos en suspensión
 - Tratamiento por contacto anaerobio

- b) microorganismos adheridos a un medio
 - Filtro anaerobio

- c) combinación
 - Medio granular fluidizado

- d) sistemas estratificados
 - Lagunas anaerobias
 - Tanques imhoff
 - Fosas sépticas

3. - Lagunas de estabilización

- a) Lagunas facultativas
- b) Lagunas aerobias.

OBJETIVO

Dentro de los procesos biológicos que se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual y que no pueden separarse en tanques de sedimentación, uno de los más utilizados para hacer frente a los requerimientos específicos exigidos por el tratamiento, es el de lodos activados, basado en la eficiencia que ofrece el desarrollo de dicho proceso.

En base a esta situación el objetivo de este trabajo es hacer la comparación de dos teorías, la de la N.R.C. (National Research Council) y la teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa, basada esta comparación en las expresiones de la eficiencia de cada una de las teorías, haciendo la aclaración que el desarrollo de éstas es una forma empírica o sea que muchas de las fórmulas utilizadas fueron obtenidas de observaciones en plantas ya construidas o de experimentos en el laboratorio.

II DESCRIPCION DEL PROCESO PARA LODOS ACTIVADOS

II 1) Origen del proceso

Históricamente el tratamiento biológico de las aguas residuales se inicia, principalmente, con las granjas de aguas negras y continua a través de los filtros intermitentes de arena y los lechos de contacto, hasta los filtros y las unidades de lodos activados.

El tratamiento se inició como una práctica agrícola; las aguas negras de los sistemas urbanos de drenaje vertidas en los campos, podían irrigar y enriquecer los suelos carentes de agua y escasos de nutrientes; sin embargo, cuando la tierra fue insuficiente y disminuyeron los ingresos de los suelos irrigados con aguas negras, se abandonó ésta práctica.

Posteriormente se procedió a construir tanques de sedimentación en los que se tenían lechos llenos de escoria y piedra quebrada. Estos lechos estaban bien adaptados para colonizarlos por grandes poblaciones microbianas, las que al alimentarse, removían de las aguas entrantes, los sólidos no sedimentables y disueltos, incluyendo los orgánicos putrecibles. Con el tiempo, la carga efectiva y el rendimiento de los lechos, que originalmente se operaban sobre un ciclo de llenado y -

vaciado seguido de reposo, pudieron aumentar apreciablemente al añadir boquillas que descargaban las aguas residuales entrantes sobre el medio de contacto en corrientes relativamente constantes y más o menos saturadas de oxígeno.

Por otra parte, ya no se continuó llenando los lechos con aguas residuales, si no que se dejaron abiertas al aire libre a todo lo largo de su profundidad, de manera que las aguas residuales pudiesen gotear sobre las superficies de contacto hacia el sistema inferior de drenado, mientras que el aire barría los lechos y los mantenía aeróbicos. Estos lechos fueron llamados en Inglaterra lechos bacterianos y posteriormente filtros percoladores; en E.E.U.U., se conocieron con el nombre de filtros rociadores.

Poco tiempo después, investigaciones en laboratorio condujeron a la construcción de las UNIDADES DE LODOS ACTIVADOS, en donde se busca una proliferación de bacterias aerobias mediante la oxigenación forzada en los tanques de aireación.

II 1.1) Desarrollo del proceso

Al igual que en los filtros rociadores, los lodos activados son un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras, se mezclan en un medio ambiente favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos.

Como el medio ambiente está formado por las mismas - aguas negras, la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en dichas aguas durante todo el tratamiento.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación simple. Las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales, de manera que cuando se agitan en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más grandes de sólidos que se conocen como " lodos activados ".

Los lodos activados tienen la propiedad de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco de las aguas negras que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrecibles. Casi toda esta transformación es un proceso que se verifica gradualmente. Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacterias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desechos no pueden ya ser usados como alimento por las bacterias.

La generación de lodos activados o flóculos en las aguas negras, es un proceso lento, de manera que la cantidad así formada en

cualquier volumen de aguas negras, durante su período de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápida y eficazmente, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados.

Esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volumen de aguas negras tratadas y usándolas nuevamente para el tratamiento de volúmenes subsecuentes. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como " lodos recirculados ".

Por otra parte si los lodos activados deben mantenerse en suspensión durante su período de contacto con las aguas negras a tratar mediante algún método de agitación, es importante que durante el proceso intervengan las siguientes etapas:

- Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.
- Aireación y agitación de este licor mezclado durante el tiempo que sea necesario.
- Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- Recirculación de la cantidad adecuada a lodos activados, para mezclarlos con aguas negras.
- Disposición del exceso de lodos activados.

II 2.) Descripción diagramática de una planta de lodos activados.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales se efectúan

tuan una serie de operaciones unitarias que se desarrollan en muchas combinaciones y secuencias diferentes que tienden a cumplir con las condiciones que prevalecen respecto a la concentración, composición del influente, la condición y especificación de la calidad del efluente.

Para efectuar ésta serie de operaciones es necesario describir aunque en forma general, una secuencia lógica del funcionamiento de las plantas antes mencionadas.

II 2.1) Secuencia (*)

Las aguas que van a ser tratadas ya sean residuales domésticas o residuales industriales, generalmente tienen acceso a las plantas de tratamiento por medio de tuberías o bien canales de aproximación (1); los cuales están provistos de válvulas o compuertas (2); cuya función es controlar el caudal de entrada a la planta, el cual a su vez es interceptado por rejillas (3); que detendrán todos aquellos sólidos en suspensión y flotantes mayores que las aberturas de dichas rejillas, como ejemplo de éstos sólidos se pueden nombrar; remoción de hojas, trozos de madera y otros residuos.

Por otra parte, para permitir la remoción de sólidos del agua, es necesario que ésta pase a cámaras desarenadoras (4); en donde por medio de sedimentación diferencial y arrastre, se separan los sólidos inertes minerales más pesados; son ejemplo: arena, limos, etc.

Siguiendo con ésta secuencia el agua pasa a un cárcamo de bombeo (5); la instalación de éste muchas veces dependerá de la situación de la planta de tratamiento con respecto a la red de descarga o influente; su fin, como el nombre lo indica, es el de servir como fuente de bombeo entre la descarga y la planta.

Posteriormente a éste paso, el agua pasa a tanques de se di me ntación primaria o preliminar (6), cuya función es la de colectar gran parte de impurezas en suspensión. Los sólidos aquí sedimentados, comúnmente llamados " lodos primarios ", que vienen siendo especie de desechos semifluidos y que contienen una concentración de sólidos totales (TSS), aproximadamente del 1.5 al 5% para aguas residuales domésticas, pero que obviamente éste porcentaje variará para aguas residuales industriales.

Los lodos primarios así obtenidos pasan a un digestor anaerobio (11) en donde son estabilizados para su posterior disposición.

Ahora bien, los sólidos no sedimentables en esta fase pa san a un tanque aireador (7) en donde se efectúa el proceso biológico, que consiste en la estabilización de la materia orgánica disuelta o en suspensión (forma coloidal).

Con la aireación se logran tres objetivos: el mezclado de los lodos recirculados con las aguas residuales, mantener los lodos en suspensión por la mezcla y el suministro de oxígeno que se requiere

para la oxidación biológica.

El aire se agrega generalmente por medio del sistema de aireación por difusión o aireación a presión o por aireación mecánica.

Antes de que se pueda disponer de las aguas tratadas en el tanque de aireación, descargándolas en aguas receptoras, hay que separar los lodos activados. Esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria (8), de los lodos aquí obtenidos una parte se utilizará como lodos recirculados en el tanque de aireación, la cantidad restante de lodos conocido como exceso de lodos se trata generalmente en digestores, para posteriormente disponer junto con los lodos de los tanques de sedimentación primaria.

Por otra parte, el agua separada de los lodos pasa a lo que se llama tanques de cloración (9), que es un depósito regulador, de donde se descargará a la corriente como aguas tratadas para un posterior uso.

Por otra parte el exceso de lodos obtenidos se tiene que tratar para su disposición final, esto se hace mediante la función de digestión, cuyo propósito es estabilizar el lodo crudo mediante la descomposición de la materia orgánica putrecible, transformándola en compuestos orgánicos e inorgánicos inertes.

El proceso de digestión se lleva a cabo en 3 etapas: la pri

mera es la etapa de fermentación ácida donde los microorganismos ataca a los sólidos solubles, formando ácidos orgánicos y gases como anhídrido carbónico y ácido sulfhídrico; la segunda etapa tiene lugar cuando hay período de digestión ácida donde cierto tipo de microorganismos atacan los ácidos orgánicos y los compuestos nitrogenados; en la tercera etapa conocida como período de digestión intensa, los microorganismos atacan los materiales nitrogenados más resistentes (proteínas, aminoácidos, etc.), produciendo grandes volúmenes de gases, principalmente metano y dióxido de carbono; este proceso se realiza por medio de los digestores anaerobios (11), a una temperatura generalmente de 35 - 36°C, que es la temperatura a la cual se logra una velocidad óptima de digestión.

Los gases obtenidos (metano, dióxido de carbono) son depositados (14) y aprovechados para calentamiento del mismo digestor, así como también pueden ser aprovechados para activar mecanismos que intervengan en la generación de aire (10), que puede ser aprovechado en los tanques aireadores.

El subproducto obtenido, o sea los lodos digeridos, tienen que ser desechados para remover la porción líquida del lodo, con objeto de obtener un material sólido que se puede disponer más fácilmente. El desecado puede efectuarse por diferentes métodos, tales como lechos de secado (12), filtración al vacío (13), centrifugación, filtros prensa etc.

Los lechos de secado consisten en una cama filtrante compuesta por arena (15 - 25 cm de espesor), sobre una capa de grava de tamaño regular (25 - 30 cm de profundidad), bajo la capa de grava se debe localizar el sistema de drenado (tubos concreto simple 10 a 15 - cm de \emptyset).

El área del lecho de secado generalmente estará cercada por un borde no mayor de 30 cm de altura para evitar sombras en el área de secado.

El área total de éstos lechos dependerá de las cargas efectivas para una determinada zona.

La filtración al vacío es una operación que generalmente se lleva a cabo en un tambor cilíndrico rotatorio, cuya superficie la constituye un medio filtrante que puede ser tela de algodón o una malla de alambre de acero. El tambor filtra los lodos mediante la aplicación de vacío en la superficie del filtro. Un vacío de 38 cm de Hg. se considera como límite máximo práctico.

Efectuado el procedimiento por cualquiera de los métodos mencionados anteriormente, la disposición final de los lodos resultantes se hace mediante métodos de disposición aceptables tales como: relleno de terrenos, aplicación a tierras de cultivo (como fertilizantes) e incineración.

(*) Diagrama del proceso de una planta de tratamiento
(Lodos Activados) (fig. II.1).

(*) El concepto de sólidos totales mencionados; se puede determinar de dos formas.

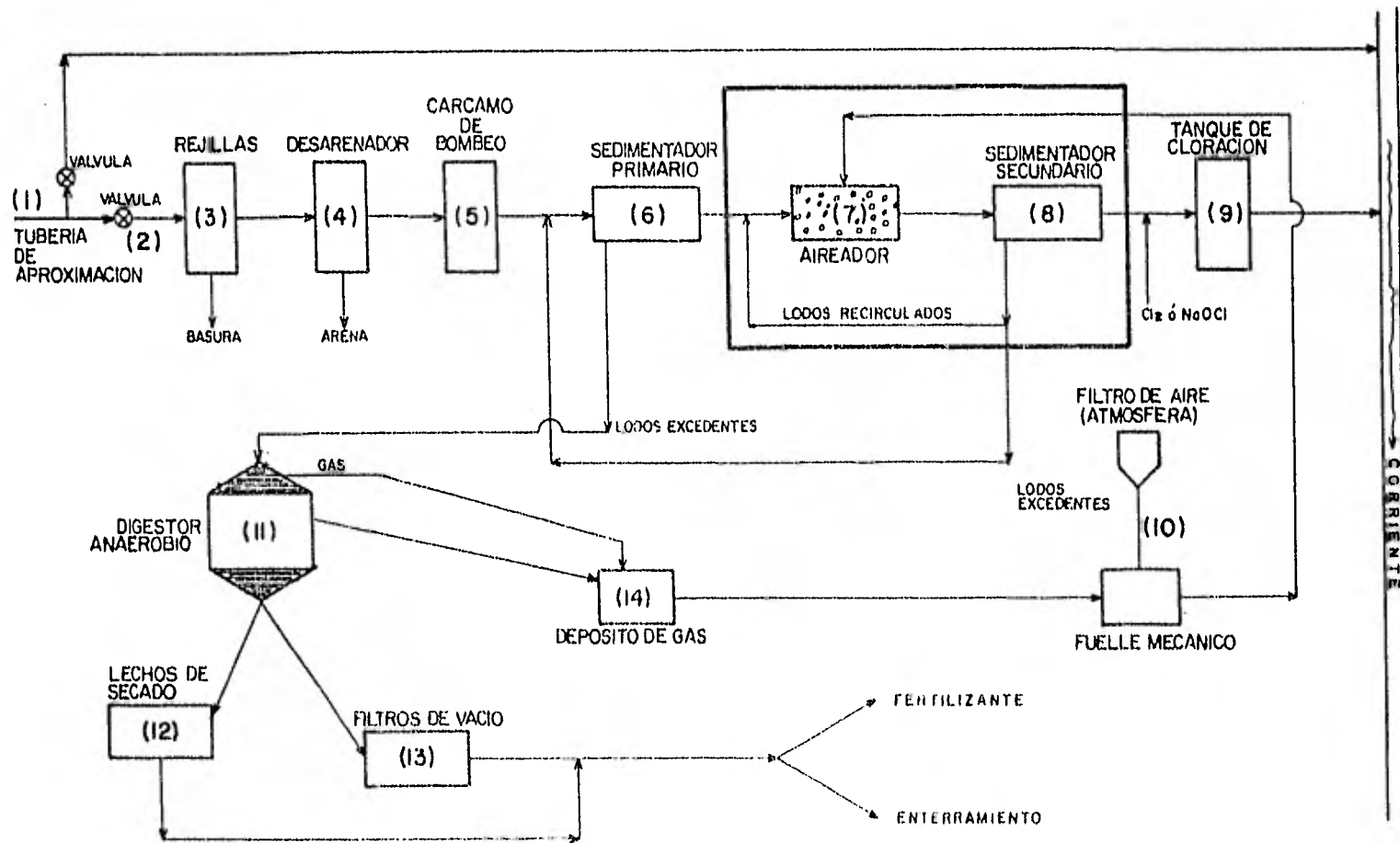
1a. - Sólidos totales Sólidos sedimentables
 Sólidos no sedimentables

Estas se determinan por unidad de volumen, mediante el cono INHOFF.

2a. - Sólidos totales Sólidos suspendidos
 Sólidos disueltos.

Estas se determinan, por peso seco por unidad de volumen.

DIAGRAMA DEL PROCESO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO (Lodos Activados)



(Fig. II)

III UNIDADES PARA EXPRESAR LA CONCENTRACION DE MATERIA ORGANICA DEGRADABLE Y LA CONCENTRACION DE MICROORGANISMOS

III 1.) Descripción de la prueba de laboratorio de la D.B.O. (*)

Esta prueba está basada en la determinación sucesiva de O.D. (oxígeno disuelto) antes y después de la incubación, siendo una de las más importantes, ya que es la que cuantifica mejor la contaminación y mide la cantidad de oxígeno que consume la materia orgánica para su transformación, ya que como se sabe, ésta al descomponerse comienza a oxidarse y toma el oxígeno del agua.

III 1.1.) Método directo

El procedimiento consiste en tomar una muestra a 20° C y airearla cerca de la saturación; normalmente se hace en cuatro frascos, a dos de ellos se les determina de inmediato su O.D., y los dos restantes son incubados durante cinco días a 20° C; después de cinco días se determina la cantidad de O.D. en las muestras y la D.B.O₅ es calculada por la substracción del O.D₅ . y el O.D₀. Se hacen las muestras en dos frascos, por seguridad y para sacar un promedio.

III 2.) Descripción de la determinación de los S.S.V.L.M. (*)

Existen diferentes maneras de determinar los sólidos volátiles, una de ellas es la siguiente:

III 2.1) Método directo (en laboratorio)

Se toma una muestra de licor mezclado (lodos activados) en una cápsula de porcelana la cual ha sido pesada previamente, se lleva al horno de la estufa y se somete a una temperatura de 103°C durante una hora para que se evapore el agua y quede unicamente la materia sólida y se lleva a la mufla donde se somete a una temperatura de 600°C durante un cuarto de hora, se saca y se pesa nuevamente y la diferencia de pesos de la cápsula sometida a las temperaturas indicadas nos dará la cantidad de sólidos volátiles.

III 2.2) Concentración de lodos en tanques aireadores,

Esta es otra forma de hacer notar la concentración de materia orgánica en tanques aireadores a los cuales nos referimos en el capítulo anterior.

III 2.2.1) Concentración en porcentaje por volumen.

Esto se obtiene tomando una muestra de licor mezclado

en una probeta de un litro, la cual se deja sedimentar durante media hora para obtener una relación entre los sólidos sedimentados y el resto del agua.

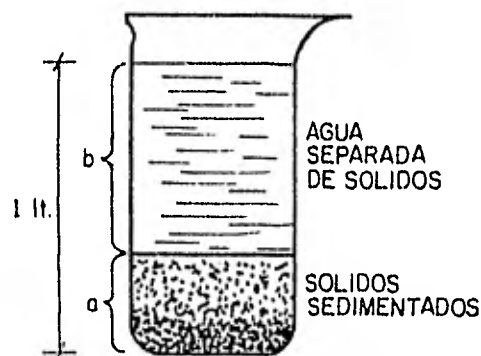


FIG. (III. a)

(*) D.B.O. Demanda bioquímica de oxígeno

(‡) S.S.V.L.M. Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado

Sacando una relación entre a y b y multiplicada por 100 obtendremos la concentración en por ciento por volumen.

$$Pr = \frac{a}{b} \times 100 \quad \text{ó} \quad Pr = \frac{R}{q} \times 100$$

en donde:

Pr = concentración en por ciento por volumen.

a = R = sólidos sedimentados de la muestra.

b = q = agua separada del sólido.

para que el funcionamiento de una planta de tratamiento sea correcto se tendrá un límite para Pr el cual debe estar entre:

$$10\% < Pr < 30\%$$

III 2.2.2) Concentración por volumen en por ciento de la revoltura.

Para hacer ésta medición se tomará en cuenta la muestra del inciso anterior (fig. III. a); haciendo la relación de los sólidos sedimentados entre el total de la muestra se obtiene la siguiente relación:

$$P_v = \frac{a}{a+b} \times 100 \quad \text{ó} \quad P_v = \frac{R}{q+R} \times 100$$

en donde:

P_v = concentración por volumen en por ciento de la revoltura.

Para que el funcionamiento de una planta de tratamiento - sea correcto los límites de P_v se encontrarán entre:

$$10\% < P_v < 25\%$$

III 2.2.3) Índice volumétrico de lodos.

Se expresa como una relación de P_v y P_w .

$$I_v = \frac{P_v}{P_w} = \frac{(\text{volumen})}{(\text{peso})} = \frac{(\text{ml.})}{(\text{gr.})}$$

en donde:

I_v = volumen en c.c. que ocupa un gramo de lodos.

P_w = sólidos suspendidos en el licor mezclado, para que los sólidos sedimentados (lodos) sean buenos microorganismos, el índice volumétrico (I_v) debe variar entre:

$$50 \text{ c.c./gr. lodo} < I_v < 100 \text{ c.c./gr. lodo}$$

III 2.2.4) Sólidos suspendidos en el licor mezclado expresado como porcentaje en peso (residuo seco)

Para que una planta de tratamiento trabaje eficientemente el P_w debe encontrarse entre los siguientes límites:

$$0.06 \% < P_w < 0.4 \%$$

En donde $P_w \approx$ S.S.V.L.M., expresado en porcentaje de peso por volumen y con unidades en gr./100 c.c.

Por otra parte para transformar la concentración dada en $\%$ a mg./lt., se tendrá que multiplicar por 10000.

Las relaciones determinadas anteriormente se podran hacer intervenir directamente en la teoría de la recirculación que se verá en el capítulo V.

Si $r = \frac{R}{q}$ razón de recirculación y conocemos l_v y P_w podemos encontrar una relación que haga intervenir estos términos de la siguiente manera:

$$l_v = \frac{P_v}{P_w} = \frac{\frac{R}{R+q} \times 100}{P_w} = \frac{R}{(R+q) P_w} \times 100$$

$$\text{Si } \frac{q+R}{R} = \frac{100}{l_v P_w}$$

$$\frac{q}{R} + 1 = \frac{100}{l_v P_w}$$

$$\frac{q}{R} = \frac{100}{l_v P_w} - 1$$

Si sacamos inverso a ambos términos tenemos:

$$\frac{R}{q} = \frac{1}{(100/l_v P_w) - 1}$$

Multiplicando ésta ecuación por 100 para que quede expresada en porcentaje, tendremos lo siguiente:

$$100 \frac{R}{q} = \frac{100}{(100/v P_w) - 1} \dots\dots (Ec. III.1)$$

De esta manera la (Ec. III.1) nos representa las relaciones anteriores en términos de la recirculación.

IV EFICIENCIA EN LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

IV 1) Descripción en particular para lodos activados.

Los lodos activados son utilizados generalmente como tratamiento secundario y tratamiento completo de las aguas residuales con o sin sedimentación primaria.

En estos procesos los desechos líquidos son alimentados continuamente a un tanque aireador, donde los microorganismos metabolizan y biológicamente flocculan los compuestos orgánicos.

Los microorganismos, (Lodos Activados) son sedimentados bajo condiciones estáticas en el sedimentador secundario y retornados al tanque de aireación.

El sobrenadante clarificado del sedimentador secundario es el efluente del sistema

Al contenido del tanque de aireación se le denomina licor mezclado y contiene primordialmente microorganismos en suspensión, - parte de los cuales son desechados del sistema parcialmente estabilizado, después de períodos variados sujetos a respiración endógena y procesos biológicos.

El tiempo que la masa biológica debe permanecer en el sistema, (tiempo de retención celular), depende de varios factores tales como, el nivel de la eficiencia deseada, la estabilización requerida de la materia orgánica y las consideraciones a la cinética de crecimiento.

En términos generales, la eficiencia de éstos procesos en lo que se refiere a la remoción de materia orgánica degradable biológicamente, depende de la relación alimento a masa de microorganismos y de las oportunidades de contacto entre los organismos y el alimento, esta oportunidad de contacto se puede hacer variar de acuerdo a :

- a) Recirculación de la masa de microorganismos.
- b) Tiempo de residencia de la masa de microorganismos en un reactor.

Estas formas de hacer variar las oportunidades de contacto, dan origen a dos teorías para el tratamiento de lodos activados.

1. - Teoría de la N.R.C. (National Research Council).
2. - Teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa.

La teoría de la N.R.C. se basa principalmente en la recirculación de los flujos de aguas residuales a través de los tratamientos biológicos, ésta distribuye la carga de impurezas aplicadas a las unidades y suaviza las velocidades del flujo. En esta forma se pueden afectar favorablemente tanto las cargas normales como las bruscas.

Por otra parte la teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa, se basa principalmente en el tiempo de residencia de los microorganismos en la unidad de tratamiento (reactor).

Este tiempo dependerá del ritmo con que los microorganismos se desarrollen, el cual está en relación directa con el ritmo con que se metabolicen o utilicen la materia orgánica.

El desarrollo de cada una de estas teorías se hará en los capítulos siguientes.

V TEORIA DE LA RECIRCULACION (N.R.C.)

En cierto sentido la recirculación es una forma de operación a contra corriente que añade uniformidad y flexibilidad especialmente a las operaciones de tratamiento de aguas residuales.

Además de distribuir más efectivamente la carga de las impurezas aplicadas, proporciona la oportunidad de uniformizar el caudal del flujo, aplicado mediante un ajuste de la recirculación.

En las mejores circunstancias la velocidad de flujo puede mantenerse substancialmente constante. Al mismo tiempo la calidad del efluente se altera en forma apreciable por la recirculación.

Esto se puede mostrar al comparar la operación de una unidad de tratamiento que recibe una cantidad unitaria de agua que se aplica una vez, contra una unidad que trata la misma cantidad de agua aplicada a base de recirculación, cuando una cantidad unitaria de efluente se agrega al flujo entrante.

Para esto es necesario obtener una expresión que nos de el número medio de pasos de las partículas de un gasto de agua que re-

circula.

Esto se puede expresar por medio del gasto del efluente y el gasto de recirculación en función del gasto grueso, como se puede ver en la figura (V. 1).

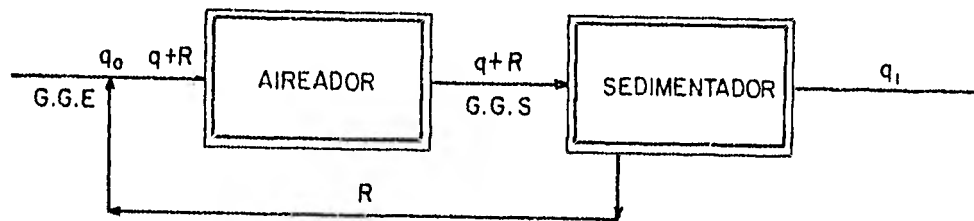


FIG. V.1

en donde:

G.G.E. = gasto grueso de entrada .

G.G.S. = gasto grueso de salida.

$$q = \frac{q}{q+R} (q+R) \quad \text{gasto del efluente.}$$

$$R = \frac{R}{q+R} (q+R) \quad \text{gasto de recirculación.}$$

Se entendera al gasto, como un número de partículas por unidad de tiempo.

Tratando de explicar el esquema de la (fig. V.1) de una manera más sencilla tenemos lo siguiente:

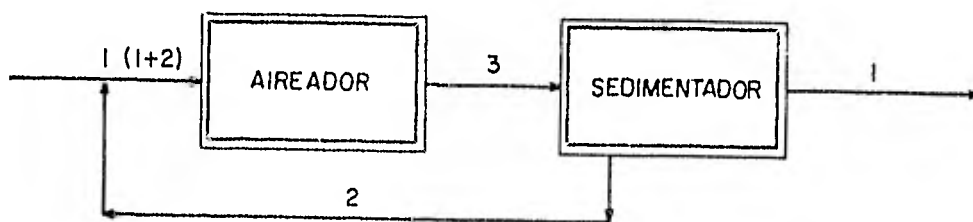


FIG. V.2

Si $\frac{q}{q+R} + \frac{R}{q+R} = 1$ entonces para la

(fig. V.2) tenemos lo siguiente:

$$\frac{1}{1+2} (3) = 1$$

$$\frac{2}{1+2} (3) = 2 \text{ etc.}$$

Que serían los llamados gastos gruesos; esto se hará para los pasos siguientes o sea que si se inicia por primera vez el funcionamiento de la unidad de tratamiento, se tendrá la circulación de partículas con cero pasos o sea que para la (fig. V.1) sería q_0 (los índices nos indicarán el número de veces que cada grupo de q partículas pasan por la unidad de tratamiento).

Una forma de representar este proceso algebraicamente sería la siguiente:

Valiéndonos del esquema de la (fig. V. 3 y fig. V. 1)
tendremos la siguiente tabla:

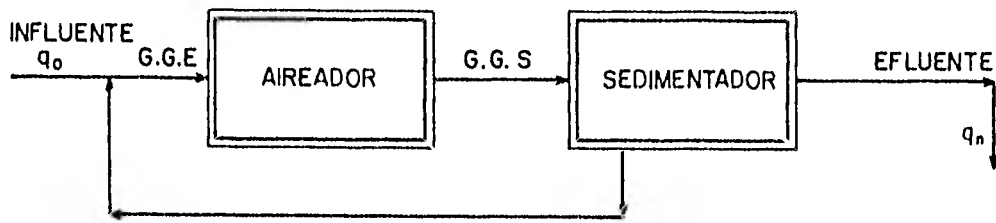


FIG. V. 3

INFLUENTE	G.G.E	G.G.S	EFLUENTE
q_0	q_0	q_1	$\frac{q}{q+R} q_1$
	$\frac{R}{q+R} (q_1)$	$\frac{R}{q+R} (q_2)$	$\frac{q}{q+R} \frac{R}{q+R} (q_2)$
	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^2 (q_2)$	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^2 (q_3)$	$\left(\frac{q}{q+R}\right) \left(\frac{R}{q+R}\right)^2 (q_3)$
	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^3 (q_3)$	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^3 (q_4)$	$\left(\frac{q}{q+R}\right) \left(\frac{R}{q+R}\right)^3 (q_4)$
	°	°	°
	°	°	°
	°	°	°
	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^n (q_n)$	$\left(\frac{R}{q+R}\right)^{n-1} (q_n)$	$\left(\frac{q}{q+R}\right) \left(\frac{R}{q+R}\right)^{n-1} (q_n)$

Por lo tanto el gasto de salida o del efluente estara expresado por los términos que forman la siguiente ecuación:

$$q = \frac{q}{q+R} (q_1) + \left(\frac{q}{q+R} \right) \left(\frac{R}{q+R} \right)^1 (q_2) +$$

$$\left(\frac{q}{q+R} \right) \left(\frac{R}{q+R} \right)^2 (q_3) + \dots + \left(\frac{q}{q+R} \right) \left(\frac{R}{q+R} \right)^{n-1} (q_n) \dots$$

... (Ec. V.1)

Ahora, si se escoge un determinado segundo, después de un número n muy grande de segundos, contando a partir del instante de que se inició la operación de recirculación, en ese preciso segundo están saliendo de la unidad de tratamiento un número q partículas.

La (Ec. V.1) las agrupa en cada segundo de acuerdo con el número de pasos:

La primera fracción de partículas ha pasado una vez.

La segunda fracción de partículas ha pasado dos veces,

etc.

Ahora para obtener el número total de pasos de esas q partículas habrá que multiplicar cada número de partículas (cada segundo) por el correspondiente número de pasos, generándose así la siguiente ecuación:

$$N = \frac{q}{q+R} (q) + \frac{q}{q+R} \left(\frac{R}{q+R} \right)^1 (2)q + \dots + \frac{q}{q+R} \left(\frac{R}{q+R} \right)^{n-1} (n)q \dots$$

..... (Ec. V. 2)

Dividiendo ambos miembros entre q se tendrá el número medio de pasos de las partículas y sacando como factor común $\left(\frac{q}{q+R}\right)$ tendremos:

$$\frac{N}{q} = \frac{q}{q+R} \left[1 + \frac{R}{q+R} (2) + \left(\frac{R}{q+R}\right)^2 (3) + \dots + \left(\frac{R}{q+R}\right)^{n-1} (n) \right] \quad \dots (Ec. V.3)$$

En donde el valor del paréntesis rectangular es semejante a:

$1 + 2 X + 3 X^2 + \dots + n X^{n-1}$ que es una serie de potencias en donde: $X = \frac{R}{q+R}$; por otra parte si le sacamos límite al término $n X^{n-1}$ obtendremos el siguiente término.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} n x^{n-1} = \frac{1}{(1-x)^2} \dots \text{ de tal manera que en la serie de potencias sus términos podrán sustituirse por los siguientes:}$$

$$\frac{1}{(1-x)^2} \text{ ó } \frac{1}{\left(1 - \frac{R}{q+R}\right)^2} \text{ ó } \frac{1}{\left(\frac{q}{q+R}\right)^2} \text{ ó por } \frac{(q+R)^2}{q^2}$$

esto se puede demostrar por medio de una serie de MACLAURIN de la forma siguiente:

$$f(x) = f(0) + \frac{f'(0)X}{1!} + \frac{f''(0)X^2}{2!} + \dots + \frac{f^n(0)X^n}{n!}$$

$$f(x) = \frac{1}{(1-x)^2} \quad ; \quad f(0) = 1$$

$$f'(x) = \frac{-(-2)(1-x)}{(1-x)^4} = \frac{2}{(1-x)^3} \quad ; f'(0) = 2$$

$$f''(x) = \frac{(2)(3)(1-x)^2}{(1-x)^6} = \frac{6}{(1-x)^4} \quad ; f''(0) = 6$$

$$f'''(x) = \frac{24}{(1-x)^5} \quad ; f'''(0) = 24 \text{ etc.}$$

sustituyendo estos valores en la serie de MACLAURIN tenemos los siguientes:

$$f(x) = 1 + 2x + \frac{6x^2}{2!} + \frac{24x^3}{3!}$$

$$f(x) = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3$$

por lo tanto el término $\frac{1}{(1-x)^2}$ lo podemos igualar con la serie:

$$\frac{1}{(1-x)^2} = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + \dots + nx^{n-1}$$

lo cual nos demuestra la procedencia de los términos anteriores.

Volviendo nuevamente a la (Ec. V.3), solo que ahora sustituyendo el paréntesis rectangular por un término de la serie de potencias:

$$\frac{N}{q} = \frac{q}{q+R} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{R}{q+R}\right)^2} \right] \quad \text{ó} \quad \frac{N}{q} = \frac{q}{q+R} \left[\frac{1}{\left(\frac{q}{q+R}\right)^2} \right]$$

(Ec. V.4)

Si llamamos a $\frac{N}{q} = F'$ y lo sustituimos en la - - -

(Ec. V.4), tenemos que :

$$F' = \frac{q}{q+R} \cdot \frac{(q+R)^2}{q^2} = \frac{(q+R)}{q}$$

En donde como ya se dijo antes, F' es el número promedio de pasos por unidad de gasto, llamado también FACTOR DE RECIRCULACION.

Si llevamos el factor de recirculación a la (Ec. V.2), tendremos que dicho factor se podrá expresar en una forma general como:

$$F' = \frac{q}{q+R} (1) + \frac{q}{q+R} (2) \frac{R}{q+R} + \dots + \frac{q}{q+R} (n) \left(\frac{R}{q+R} \right)^{n-1}$$

(Ec. V.5)

Por otra parte, si se acepta que el porcentaje de eliminación de materia putrecible decrece a medida que el número de pasos se multiplique, para obtener una expresión satisfactoria en la práctica, hay que introducir un factor de contrapeso, de tal manera que nos sirva para apegar la ecuación teórica a una ecuación funcional, dicho factor debe ser siempre menor que uno ($f < 1$), logrando así obtener una ecuación que nos de EL NUMERO DE PASOS EFECTIVOS quedando dicha ecuación de la siguiente forma:

$$F = \frac{q}{q+R} f^0 + \frac{q}{q+R} \frac{R}{q+R} (2) f^1 + \frac{q}{q+R} \left(\frac{R}{q+R} \right)^2 (3) f^2 + \dots +$$

$$\frac{q}{q+R} (n) \left(\frac{R}{q+R} \right)^{n-1} f^{n-1} \dots \quad (\text{Ec. V.6})$$

$$F = \frac{q}{q+R} \left[1 + \frac{Rf}{q+R} (2) + \left(\frac{Rf}{q+R} \right)^2 (3) + \dots + \left(\frac{Rf}{q+R} \right)^{n-1} (n) \right] \quad (\text{Ec. V.7})$$

Como se podra ver la ecuación anterior también se puede expresar en términos de la serie de potencias como se hizo en la (Ec. V.4), quedando de la siguiente manera:

$$F = \frac{q}{q+R} \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{Rf}{q+R} \right)^2} \right] = \frac{q}{q+R} \left[\frac{1}{\left(\frac{q+R-Rf}{q+R} \right)^2} \right] = \frac{q}{q+R} \frac{(q+R)^2}{[q+R(1-f)]^2} =$$

$$\frac{q(q+R)}{[q+R(1-f)]^2} \text{ dividiendo entre } q^2$$

$$F = \frac{1 + R/q}{\frac{q+R(1-f)^2}{q^2}} = \frac{1 + R/q}{\left[\frac{q+R(1-f)}{q} \right]^2} \dots \quad (\text{Ec. V.8})$$

Siendo la (Ec. V.8) la que nos dara el número de pasos efectivos.

En la práctica el $f < 1$ depende del tipo y del método de tratamiento.

Una vez obtenido el factor "F" de recirculación nos servira para afectar la fórmula de la EFICIENCIA para cualquiera de los procesos biológicos (placas de contacto, filtros raciadores, lodos acti

vados, etc.), en la teoría de la N.R.C.

Esta teoría es la culminación de varias observaciones de muchas plantas de tratamiento: en donde la eficiencia queda determinada por la siguiente ecuación:

$$P_2 = 100 / (1 + mi^n)$$

en donde:

P_2 = eficiencia del proceso de eliminación de materia orgánica.

i = intensidad de carga.

m = depende de las unidades de medición empleada.

n = variabilidad de la eficiencia con la intensidad de carga.

Si consideramos que : $i = \frac{Y_0/W}{t} = \frac{Y_0}{Wt}$ se tendrá que la fórmula de la eficiencia queda de la siguiente manera:

$$P_2 = \frac{100}{1 + m \left(\frac{Y_0}{Wt} \right)^n} \quad \dots \quad (\text{Ec. V. 9})$$

Para nuestro caso del proceso de lodos activados tendremos que la fórmula de la eficiencia podríamos expresarla en función de la recirculación.

$$\text{Si } i = Y_0/Wt$$

$$W = f(P_w)$$

$$P_w = f(r) = f \left(\frac{R}{q} \right) \text{ esto se puede ver de la si-}$$

guiente manera:

$$P_w (q + R) = P_s R, \text{ en donde:}$$

P_s = sólidos en suspensión de los lodos activados
medidos en el caudal de recirculación.

$$P_w = \frac{P_s R}{q + R} = P_s \frac{R}{q + R} = P_s \frac{R/q}{1 + R/q}$$

$$P_w = P_s \frac{100R/q}{100 + 100R/q} \dots \dots \text{ (Ec. V. 10)}$$

Por lo tanto observando la ecuación (V.10) podemos llegar a la siguiente conclusión:

Si W es función de P_w y W interviene en la intensidad de carga (i) y como (i) interviene directamente en la eficiencia del proceso, resulta entonces que la eficiencia es función de la recirculación o sea de otra manera se puede decir que la eficiencia variará al variar la recirculación.

Por otra parte si :

$$W = \frac{P_w \text{ en } \% \times 10^4 \times V \text{ en } m^3 \times 1000}{10^6 \times 10^2}$$

en donde al hacer transformación de unidades P_w la podemos expresar en la siguiente forma:

$$P_w \text{ en } \% = \text{gr.} / 100 \text{ ml.}$$

$$P_w \text{ en } \% (10) \text{ gr.} / 100 \text{ ml.} = \text{g/lt.}$$

$$(P_w \times 10) (V \times 1000) = \text{gr.}$$

$$\frac{P_w \times 10 \times V \times 1000}{10} \longrightarrow \text{para Kg. en volumen.}$$

Por lo tanto:

$$W = \frac{P_w \times V}{10^2} \quad \dots \text{ (Ec. V.11)}$$

Despejando de la (Ec. V.11) el volumen tendremos:

$$V = \frac{W \times 10^2}{P_w} \quad \dots \text{ (Ec. V.12)}$$

Ahora si expresamos el tiempo de retención (en horas)
en función de q (en m³/dfa) y en función de V tendremos:

$$t = \frac{V}{q} ; t \text{ expresado en dfas.}$$

$$t = \frac{V}{q} \times 24 ; t \text{ expresado en horas.}$$

$$V = \frac{q t}{24} \quad \dots \text{ (Ec. V.13)}$$

Multi plicando las ecuaciones (Ec. V.12) y (Ec. V.13)
entre si tenemos que:

$$V = \frac{W t q \times 10^2}{24 P_w} \quad \text{de donde sacando razf cuadrada a am-}$$

bos miembros se llegara a la siguiente
ecuación:

$$V = 2.04124 \sqrt{\frac{W t q}{P_w}} \quad \dots \text{ (Ec. V.14)}$$

en donde:

V (m³)

W (miles de kg)

t (en hrs.)

q (m³/dfa)

P_w (% en peso)

Esta ecuación nos servirá para calcular el volumen del tanque de aireación.

Si igualamos las ecuaciones (Ec. V.13) y (Ec. V.14) se logrará obtener una ecuación que nos determine el tiempo de retención de la materia orgánica en el aireador.

$$\frac{qt}{24} = 2.04124 \sqrt{\frac{Wtq}{P_w}} \quad \text{despejando } t \text{ tendremos}$$

la siguiente:

$$t = \frac{2.04124 \times 24 \sqrt{\frac{Wtq}{P_w}}}{q}$$

$$t = 2.04124 \times 24 \sqrt{\frac{Wt}{P_w q}}$$

$$t = 48.98976 \sqrt{\frac{Wt}{P_w q}} \quad \text{expresado en cifras ente-}$$

ras tenemos que aproximadamente queda de la siguiente forma:

$$t = 49 \sqrt{\frac{Wt}{P_w q}} \quad \dots \dots \text{ (Ec. V.15)}$$

NOTA: en la ecuación anterior el término Wt se puede despejar directamente de la ecuación (Ec. V.9)

Para una mejor comprensión de esta teoría se procederá a resolver un ejemplo al final de este capítulo en donde se involucran las fórmulas citadas anteriormente.

E J E M P L O

La solución de este problema se hará basandose en las fórmulas descritas en la teoría de la N.R.C., para procesos biológicos.

Datos:

$$\begin{aligned} \text{Gasto de Proyecto} &= 220 \text{ lts. /seg.} \\ \text{DBO}_5 &= 142 \text{ mg. /lts.} \\ P_2 &= 78 \% \text{ (eficiencia de la corriente)} \\ P_1 &= 32 \% \text{ (eficiencia de la sedimentación primaria)} \end{aligned}$$

Incógnitas:

Diseño y Capacidad de Tanques de Aireación para los Datos Anteriores.

Solución:

$$P_2 = \frac{100}{1 + 0.03 \left(\frac{Y_0}{Wt} \right)^{0.42}} ; \text{ despejando } Wt.$$

$$Wt = \frac{Y_0}{4200} \left(\frac{P_2}{100 - P_2} \right)^{2.381}$$

Y_0 = carga orgánica en Kg. D.B.O.₅ 20.día

Si la composición en aguas negras es :

$$D.B.O._{5;20} = 142 \text{ mg. / lts.}$$

$P_1 = 32\%$; eliminación de D.B.O. de la sedimentación primaria.

$$142 (1 - 0.32) = 96.56$$

$$Y_0 \text{ (futuro)} = \frac{220 \text{ lts. / seg.} \times 96.56 \text{ mg. / lts.} \times 86400}{10^6}$$

$$= 1835.4 \text{ kg. / día}$$

$$W_t = \frac{1835.4}{4200} \left(\frac{78}{100 - 78} \right)^{2.381}$$

$$= \frac{1835.4}{4200} (3.545)^{2.381}$$

$$= 8.894 \text{ millares de kg. hr. de S. S.}$$

PRIMER TANTEO DEL VOLUMEN DEL TANQUE DE AIREACION.

Aceptado que: $P_w = 0.23\%$ ($0.06\% < P_w < 0.4\%$)

$$V = 2.04124 \sqrt{\frac{W_t \cdot q}{P_w}}$$

$$= 2.04124 \sqrt{\frac{8.894 \times 19008}{0.23}}$$

Si $q = 0.220 \times 86400$ tenemos que :

$$V = 1749.83 \text{ m}^3.$$

Esto sería; si los volúmenes de los tanques de aireación se considera que a ellos no entra el gasto neto q .

Para el cálculo del valor del tiempo de aireación t hay que tomar en cuenta que a los tanques de aireación entra además el cau

dal de recirculación de lodos activados, el cual aun no está calculado.

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de retención } t &= \frac{24 V}{q} \\ \text{para el gasto neto.} & \\ &= \frac{24 \times 1749.8}{19008} \\ &= 2.2093 \text{ hrs.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cálculo de la razón } r &= \frac{R}{q} \\ \text{de recirculación.} & \end{aligned}$$

Por otra parte se tiene que:

$$100 \frac{R}{q} = \frac{100}{\frac{100}{I_v P_w} - 1}$$

Y si se acepta que:

$$I_v = 75 \text{ gr/ml. } (50 < I_v < 100)$$

Manteniendo fijo $P_w = 23 \%$ tendremos.

$$100 \frac{R}{q} = \frac{100}{\frac{100}{75 \times 0.23} - 1} = 20.46 \%$$

Por lo tanto el gasto de recirculación será;

$$\text{Gasto de recirculación} = 220 \text{ lt/seg.} \times 0.20846 = 45.861 \text{ lt/seg.}$$

$$220 + 45.861 = 265.861 \text{ lts./seg.}$$

Para que el tanque de aireación tenga un tiempo de aireación de 2.2093 hrs., se necesita que tenga la siguiente capacidad.

$$10^{-3} \times 265.861 \times 2.2093 \times 3600 = 2114.5 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto el volumen del tanque de aireación es:

$$V = 2114.5 \text{ m}^3.$$

Como la capacidad requerida necesita de un tanque de dimensiones muy grandes, se puede pensar en proyectar un cierto número de unidades que nos den la misma capacidad.

Por ejemplo, si se piensa en proyectar 6 unidades, se tendrán las dimensiones y capacidad siguiente para cada uno de ellos.

$$V_6 = \frac{2114.5}{6} = 352.42 \text{ m}^3.$$

$$\text{Area} = 4.5 \times 4.5 - 4 \times 0.18 = 19.53 \text{ m}^2.$$

$$\text{Longitud} = \frac{352.42}{19.35} = 18.05 \text{ m.}$$

Para tratar de entender las dimensiones anteriores véase el siguiente esquema. (Fig. V. 4).

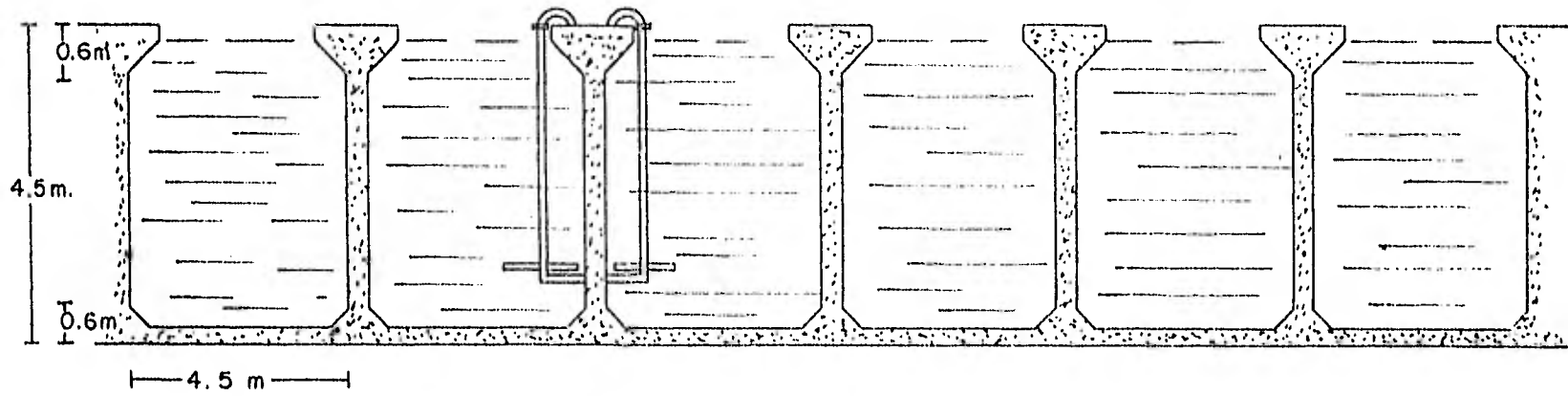


FIG. V. 4 - DIMENSIONES DE LOS TANQUES AIREADORES

VI TEORIA DE LA RAPIDEZ DE CRECIMIENTO DE LA BIOMASA

El control eficaz del medio ambiente en el tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el conocimiento de los principios básicos que gobiernan el crecimiento de los microorganismos.

Dentro del desarrollo de esta teoría es de primordial importancia el asegurar el crecimiento de dichos organismos, para el caso particular de lodos activados éste crecimiento se logra permitiendo que los microorganismos permanezcan en las unidades de tratamiento el tiempo suficiente para que se reproduzcan. Este periodo dependerá de la rapidez de crecimiento, la cual esta en relación con la proporción en que se metabolicen o consuman la materia orgánica.

Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, puede asegurarse una estabilización eficaz mediante el control de la rapidez de crecimiento de los microorganismos.

Una relación desarrollada empíricamente entre el crecimiento biológico y la rapidez de consumo de los nutrientes, que se emplea con frecuencia en los sistemas biológicos que estabilicen desechos orgánicos o inorgánicos es la siguiente:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dF}{dt} - K_d X \quad \dots \dots \dots (\text{Ec. VI. 1})$$

en donde:

$\frac{dX}{dt}$ = rapidez de crecimiento neto de los microorganismos, masa/volumen/tiempo.

Y = coeficiente de la rapidez de crecimiento, masa de microorganismos, masa de nutrientes utilizados.

$\frac{dF}{dt}$ = rapidez de consumo de los nutrientes por los microorganismos, en masa/volumen - tiempo.

K_d = coeficiente de mortandad de microorganismos, en tiempo⁻¹.

X = concentración de microorganismos, en $\frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$

La ecuación (VI. 1) con ligeras modificaciones, se ha usado con éxito por varios investigadores para describir los sistemas de tratamiento biológico tanto aerobios como anaerobios.

Por otra parte, la rapidez de consumo de nutrientes puede aproximarse mediante la siguiente expresión:

$$\frac{dF}{dt} = \frac{kXS}{K_s + S} = \frac{dS}{dt} \quad \dots \dots \text{(Ec. VI. 2)}$$

en donde:

- k = rapidez máxima de consumo de nutrientes por unidad de peso de los microorganismos, en tiempo⁻¹
- K_s = concentración de desechos en la cual la rapidez de consumo de éstos por unidad de peso es la mitad del ritmo máximo, en masa/volumen.
- S = concentración de desechos que rodean a los microorganismos en masa/volumen.

Una representación gráfica de la ecuación (VI. 2) se muestra en la fig. (VI. 1).

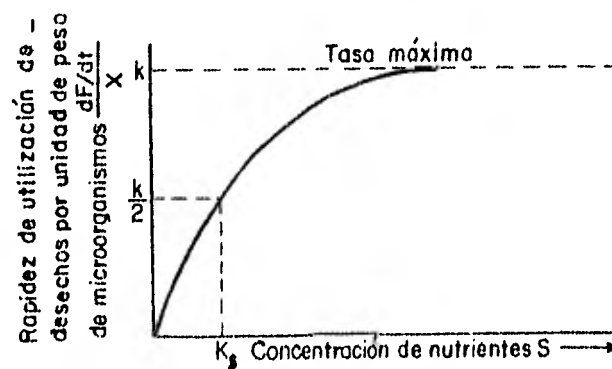


FIG. (VI. 1)

La ecuación (VI.2) es similar a la desarrollada por Monod para describir la relación entre la concentración de nutrientes limitantes y la rapidez de crecimiento de microorganismos.

Si dividimos ambos miembros de la ecuación (VI. 2) por X tendremos:

$$\frac{dX/dt}{X} = Y \frac{dF/dt}{X} - k_d \quad \dots \dots \text{ (Ec. VI. 3)}$$

En esta ecuación la rapidez neta de crecimiento (dX/dt)/X, puede quedar representado por la letra griega mu, μ . Utilizando ésta y la expresión para dF/dt dada en la ecuación (VI.1), la ecuación (VI.3) puede escribirse como:

$$\mu = \frac{Y_k S}{K_s + S} - k_d \quad \dots \dots \text{ (Ec. VI. 4)}$$

Generalmente $\hat{\mu}$ es usada para representar el producto de rapidez total de crecimiento Y, y la rapidez máxima de utilización de los desechos por unidad de peso de microorganismos, k. Al aplicarlo a la ecuación (VI.4) queda de la siguiente manera:

$$\hat{\mu} = \frac{\hat{\mu} S}{K_s + S} - k \quad \dots \dots \text{ (Ec. VI. 5)}$$

en donde:

$\hat{\mu}$ es el producto de Y por k y por lo tanto igual a μ máximo.

Escribiendo de nuevo la ecuación (VI.5), pero tomando una masa finita en un cierto tiempo en la cual el subíndice M indique una masa definida de microorganismos, se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{X_M / (\Delta X / \Delta t)_M} = Y \frac{(\Delta F / \Delta t)_M}{X_M} - k_d \dots \dots \dots (Ec. VI.6)$$

En la ecuación (VI.6) el término $(\Delta F / \Delta t)_M / X_M$ se conoce generalmente como factor de rendimiento del proceso, la utilización específica, la rapidez de remoción de los sedimentos o relación alimento - masa de microorganismos.

Generalmente éste término queda representado con la letra U quedando de la siguiente manera:

$$U = \frac{(\Delta F / \Delta t)_M}{X_M} \dots \dots \dots (Ec. VI.7)$$

en donde:

U = relación alimento - masa de microorganismos.

$(\Delta F / \Delta t)_M$ = representa la masa del sedimento utilizado por la masa de microorganismos X_M en un periodo finito de tiempo Δt .

Al término $X_M / (\Delta X / \Delta t)_M$ del miembro izquierdo de la ecuación (VI.6) se le denomina tiempo de retención de los sólidos, edad de los sedimentos o tiempo de permanencia de las células principales. Aquí se le denominará de la última manera y quedará representada

por θ_c .

$$\theta_c = \frac{X_M}{(\Delta X/\Delta t)_M} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 8})$$

en donde:

X_M = masa de microorganismos total activa en el sistema de tratamiento.

$(\Delta X/\Delta t)_M$ masa de microorganismos desechadas diariamente del sistema de tratamiento.

Esta cantidad desechada incluye a microorganismos que se pierden intencionalmente, así como aquellas que se pierden en el efluente.

Ahora bien, el recíproco de θ_c , $(\Delta X/\Delta t)_M / X_M$ es igual a el ritmo de crecimiento específico o parcial.

Si hacemos uso de las ecuaciones (VI.7 y VI.8) la ecuación (VI.6) puede escribirse como:

$$\frac{1}{\theta_c} = YU - K_d \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 9})$$

De ésta manera se puede concluir que si $1/\theta_c$ es la rapidez de crecimiento de los microorganismos y U la relación de alimento - masa de microorganismos están directamente relacionados. Lo cual quiere decir que si se controla θ_c o U puede lograrse la

EFICIENCIA deseada en el sistema de tratamiento.

El desarrollo de fórmulas y parámetros anteriores, pue den ser aplicadas a los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales. En el caso de lodos activados los recipientes o tanques donde se efectuá dicho tratamiento se denomina REACTORES.

Existen cuatro tipos importantes de éstos dispositivos que se clasifican dependiendo de las características del flujo hidráulico, en:

- a) Reactores de Flujo discontinuo.
- b) Reactores de Flujo de Pistón.
- c) Reactores de mezcla completa sin recirculación
con recirculación
- d) Reactores de Flujo arbitrario.

Para nuestro caso en particular, haremos referencia a los reactores de mezcla completa.

La mezcla completa tiene lugar cuando las partículas que entran al tanque son inmediatamente dispersadas por todo el recinto. Las partículas salen del tanque en proporción a su población estadfstica. La mezcla completa se lleva a cabo en tanques redondos o cuadrados, si el contenido de aquéllos esta uniforme y continuamente distribuido.

Mezcla completa sin recirculación

En este tipo de reactor cuyo esquema se muestra en la

fig. (VI.2), la mezcla es total y se supone que no hay microorganismos en el flujo entrante.

Por lo tanto para este sistema, el tiempo de retención hidráulico o del líquido (licor mezclado) θ es:

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 10})$$

en donde:

V : volumen del reactor.

Q : gasto o caudal que entra al reactor.

El tiempo de retención celular θ_c se define como:

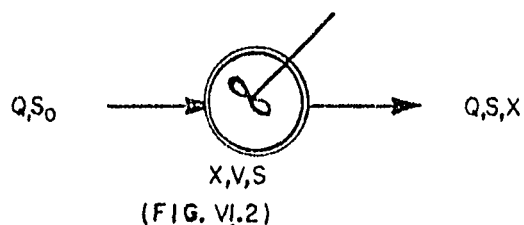
$$\theta_c = \frac{V X}{Q X} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 11})$$

en donde:

X : concentración de la masa de microorganismos en el reactor. Si simplificamos la ecuación (VI.11) tendremos que:

$$\theta_c = \theta \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 12})$$

Por lo tanto, el tiempo medio de retención celular en el sistema, es el mismo que el del líquido (licor mezclado). Siendo ésta una de las características importantes de la mezcla completa sin recirculación.



Reactor de mezcla completa sin recirculación.

Un balance material para la masa de microorganismos presentes en el reactor, puede expresarse de la siguiente manera;

$$v \left(\frac{dX}{dt} \right) = \left(Y \frac{dF}{dt} - k_d X \right) V - QX \quad \dots (\text{Ec. VI. 13})$$

rapidez de va
riación de la
concentración
de microorga-
nismos en el
reactor.

rapidez del creci-
miento de micro-
organismos en el
reactor.

cantidad de micro-
organismos que sa-
len del reactor.

En estado de equilibrio, $\frac{dX}{dt} = 0$ y la ecuación (VI. 13) será entonces:

$$\frac{Q}{V} = Y \frac{dF/dt}{X} - k_d \quad \dots \dots \dots (\text{Ec. VI. 14})$$

Sustituyendo las ecuaciones (VI.7) y (VI.8) en la ecuación (VI.14) se tendrá:

$$\frac{1}{\Theta_c} = YU - k_d \quad \dots \dots \dots (\text{Ec. VI. 15})$$

Si sabemos que para este sistema $\Theta_c = \Theta$, entonces la relación alimento a masa de microorganismos U está directamente relacionada con el tiempo de retención del licor mezclado del sistema Θ .

Así la relación de Θ_c , U y por consiguiente la de Θ con la eficiencia de la estabilización del residuo en el reactor puede definirse de la siguiente manera:

$$E = 100 \frac{S_0 - S}{S_0} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 16})$$

en donde:

- E : eficiencia de la estabilización de los desechos, en %.
- S_0 : concentración de los desechos en el flujo entrante.
- S : concentración de desechos entrantes no degradables biológicamente en el reactor y por lo tanto que aparecerá en el efluente.

Con el fin de obtener una expresión para la concentración de sedimentos en el efluente S , la ecuación (VI. 15) puede expresarse de la siguiente manera utilizando las ecuaciones (VI.2) y (VI. 7):

$$\frac{1}{\Theta_c} = Y \frac{kS}{K_s + S} - k_d \quad \dots \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 17})$$

Si despejamos la ecuación (VI. 17) para S tendremos:

$$S = \frac{K_s (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (Yk - k_d) - 1} \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. VI. 18)}$$

Comparando las ecuaciones (VI. 15) y (VI. 17), se ten
dra que :

$$U = \frac{kS}{K_s + S}$$

de donde obtenemos que :

$$S = \frac{UK_s}{k - U} \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. VI. 19)}$$

En consecuencia, la concentración de desechos en el efluente S es función directa de θ_c ó de U. El establecimiento de uno de - estos tres parámetros no solo fija a los otros dos, sino que también especifica la eficiencia de la estabilización biológica de los desechos.

Para este sistema de mezcla completa sin recirculación - que tiene un crecimiento específico, la fijación del tiempo medio de retención celular θ_c establece la concentración de los microorganismos en el reactor, esto puede demostrarse de la manera siguiente. La rapidez de utilización de alimento dF/dt puede calcularse para un tiempo finito.

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{Q}{V} (S_0 - S) \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. VI. 20)}$$

Si utilizamos las ecuaciones (VI. 10), (VI. 12), - - -
(VI. 20) la ecuación (VI. 14) puede despejarse, y la concentración de

la masa de microorganismos en el reactor X es :

$$X = \frac{Y (S_0 - S)}{1 + K_d \theta_c} \quad \dots \dots (\text{Ec. VI. 21})$$

Sin embargo en la ecuación (VI. 18) muestra que la concentración de desechos en el efluente S es también función de θ_c . Por lo tanto , en un sistema de mezcla completa sin recirculación, con un crecimiento específico, la concentración de microorganismos X sera función del tiempo medio de retención celular, θ_c .

Si graficamos las ecuaciones (VI. 16) y (VI. 18) para un sistema de mezcla completa sin recirculación y crecimiento específico se obtiene las siguientes curvas;

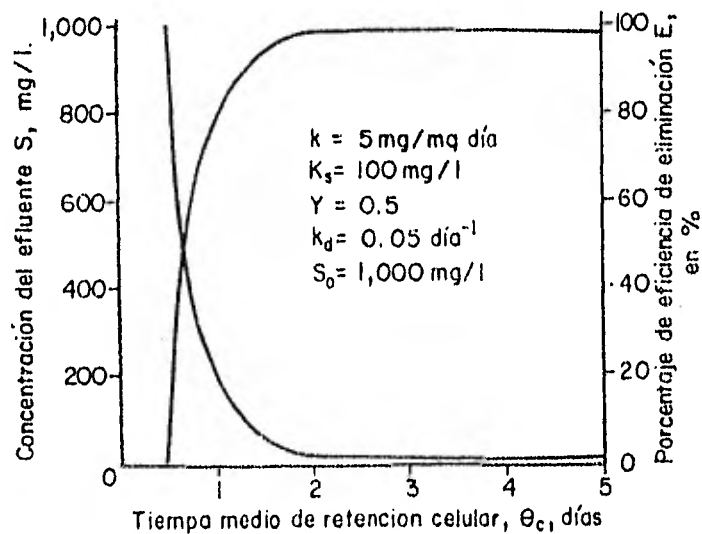


Fig. (VI. 3) concentración del efluente y eficiencia de eliminación en relación con el tiempo de retención celular para un reactor de mezcla completa sin recirculación.

Como puede comprobarse la concentración del efluente S y la eficiencia del tratamiento E están directamente relacionadas con θ_c , que es igual a θ . En un sistema como el indicado, no existe control específico de los microorganismos, ya que el tiempo medio de retención de microorganismos θ_c y el del licor mezclado θ son iguales.

Si se quiere obtener una gran eficiencia en el tratamiento ha de prolongarse θ_c al igual que θ .

Por otra parte, si se observa la Fig. (VI. 3) puede comprobarse que existe un valor de θ_c por debajo del cual no tienen estabilización los desechos . A este valor crítico de θ_c se le llama tiempo mínimo de retención celular θ_c^M . Físicamente, θ_c^M es el tiempo de retención en que las células se destruyen o son eliminadas del sistema - más rápidamente de lo que pueden reproducirse.

Este tiempo puede calcularse a partir de la ecuación - - (VI. 17) ya que para esta condición la concentración de desechos en el influente S_0 es igual a la concentración del efluente S :

$$\frac{1}{\theta_c^M} = Y \frac{k S_0}{K_s + S_0} - k_d \quad \dots \dots (Ec. VI. 22)$$

Con mayor frecuencia se halla que S_0 es mucho mayor que k_s , de modo que la ecuación (VI. 22) puede escribirse de la siguiente manera:

$$\frac{1}{\theta_c^m} \approx YK - k_d \quad \dots \dots \dots \text{ (Ec. VI. 23)}$$

El empleo de estas ecuaciones (VI. 22) y (VI. 23) nos permiten calcular el tiempo mínimo medio de retención celular θ_c^m .

Mezcla completa con recirculación

Para este sistema el contenido del reactor está en condiciones de mezcla completa y se supone que no existen microorganismos en el agua residual del influente. Este sistema, como se muestra en la Fig. (VI. 4) contiene un sedimentador en el cual las células del reactor se depositan y a continuación, son introducidas nuevamente al reactor.

Debido a la instalación del sedimentador, se establecen dos hipótesis para el desarrollo del modelo cinético para éste sistema.

- 1a) La estabilización del agua residual por los microorganismos solamente tiene lugar en el reactor.
- 2a) El volumen utilizado para calcular el tiempo medio de retención celular en el sistema incluye solamente el volumen del reactor.

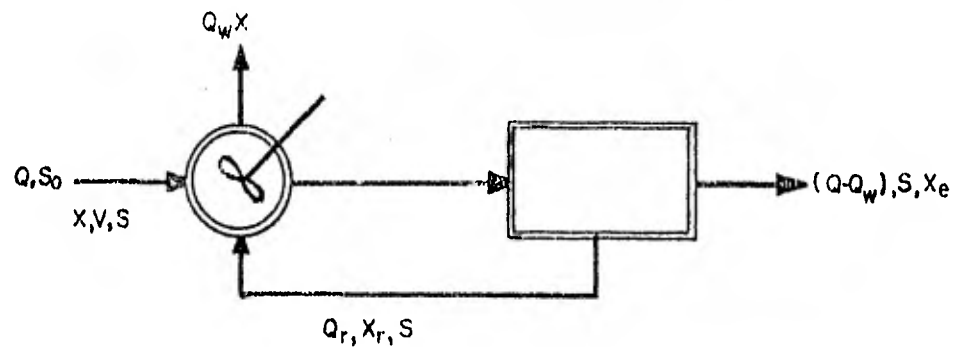


Fig. (VI. 4) Esquema de un reactor de mezcla completa con recirculación.

El tiempo medio de retención hidráulico para el sistema - Θ_s se expresará como:

$$\Theta_s = \frac{V_s}{Q} \quad \dots \dots \text{(Ec. VI.24)}$$

V_s : Volumen del reactor más volumen del tanque de sedimentación.

Q : Caudal del influente.

El tiempo medio de retención hidráulico para el reactor Θ se define como:

$$\Theta = \frac{V}{Q} \quad \dots \dots \text{(Ec. VI. 25)}$$

en donde:

V : Volumen del reactor.

Para el sistema como el de la Fig. (VI. 4) el tiempo medio de retención Θ_c definido por la ecuación (VI. 8) sera:

$$\Theta_c = \frac{VX}{Q_w X + (Q - Q_w) X_e} \quad \dots \text{ (Ec. VI. 26)}$$

en donde:

Q_w = caudal o gasto desechado.

X_e = concentración de microorganismos en el efluente del tanque de sedimentación.

En un sistema con una instalación de sedimentación que funcione adecuadamente, la cantidad de células o microorganismos en el efluente es muy pequeña, por lo tanto, la ecuación (VI. 26) puede simplificarse quedando:

$$\Theta_c \approx \frac{V}{Q_w} \quad \dots \text{ (Ec. VI. 27)}$$

Si comparamos las ecuaciones (VI. 27), (VI. 24) y (VI. 25) se puede comprobar que para un volumen dado del reactor, Θ_c es teóricamente independiente de Θ y de Θ_s . Sin embargo, en la práctica, Θ_c no puede ser del todo independiente de Θ y Θ_s .

Si hacemos un balance material para la masa de microorganismos del sistema (mezcla completa con recirculación) se podría expresar de la siguiente manera:

Rapidez del cambio de la concentración de organismos en el reactor. = Rapidez neta de crecimiento de organismos en el reactor. Cantidad de organismos que salen del reactor.

$$v \left(\frac{dx}{dt} \right) = \left(Y \frac{dF}{dt} - k_d X \right) v - [Q_w X + (Q - Q_w) X_e] \quad (\text{Ec. VI. 28})$$

Utilizando la ecuación (VI. 26) y considerando al sistema en condiciones de equilibrio, la ecuación (VI. 28) puede simplificarse de la siguiente forma:

$$\frac{l}{\theta_c} = Y \frac{dF/dt}{X} - k_d \quad \dots \dots (\text{Ec. VI. 29})$$

o considerando un intervalo de tiempo finito y usando la ecuación (VI.7) tendremos que :

$$\frac{l}{\theta_c} = YU - k_d \quad \dots \dots (\text{Ec. VI. 30})$$

Siendo la ecuación (VI. 30) igual que la ecuación (VI.15) desarrollada para un sistema de mezcla sin recirculación. En ambos sistemas existe una relación directa entre θ_c y U , siendo éstas funciones directas del tiempo de retención.

Sin embargo, en un sistema con recirculación θ_c y U son teóricamente independientes del tiempo de retención hidráulico θ y del sistema θ_s .

De esta manera, es posible alcanzar un elevado Θ_c y, consecuentemente una buena eficiencia del tratamiento sin que aumenten θ o Θ_s .

La concentración de la masa de microorganismos X en el reactor se obtendrá utilizando las ecuaciones (VI. 20), (VI. 25) y -- (VI. 29) y despejando X se tendrá la siguiente ecuación:

$$X = \frac{\theta_c}{\theta} \frac{Y(S_0 - S)}{1 + k_d \theta_c} \quad \dots \dots \dots \text{(Ec. VI. 31)}$$

Como se explicó anteriormente, si θ_c y U están directamente relacionados con la calidad del efluente o la eficiencia del tratamiento, demostrado esto con las ecuaciones (VI. 18) y (VI. 19), el hecho de controlar θ_c o U en un proceso de lo que puede efectuarse independientemente de θ o Θ_s para un sistema con recirculación. La elección del parámetro a utilizar para el control del tratamiento (θ_c o U) no es difícil. Por ejemplo, para determinar la relación alimento a masa de microorganismos U es preciso conocer el alimento utilizado y la masa efectiva de microorganismos. El alimento utilizado se calcula determinando la diferencia entre la DQO o DBO del influente y del afluente.

Para determinar la masa de microorganismos suele hacerse impráctico el uso de U como parámetro de control, por lo tanto casi siempre se utilizará θ_c como un parámetro de control.

El uso de Θ_c se basa simplemente en el hecho de que, - para controlar la rapidez de crecimiento de los microorganismos y por tanto, el grado de estabilización del agua residual, deberá desecharse - diariamente un porcentaje concreto de la masa celular (microorganismos) del sistema de tratamiento.

Para el sistema de mezcla completa con recirculación, - ésta eliminación de células se efectúa desde el reactor o tanque del licor mezclado como se indica en la ecuación (VI. 27) al desechar directamente las células del reactor, solo se necesitará conocer Q_w y V para determinar Θ_c .

Esto hace que al realizarse el desecho de esta manera de origen a un método directo para el cálculo de Θ_c .

En la mayoría de los procesos de tratamiento biológico el desecho de células se realiza extrayéndolas de la línea de recirculación de los lodos.

Si se hace de esta forma, la ecuación (VI. 26) quedará de la siguiente manera:

$$\theta = \frac{VX}{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e} \quad \dots \dots (Ec. VI. 32)$$

en donde:

X_r : es la concentración de microorganismos en la lí-

nea de recirculación de los lodos.

$Q'w$: caudal de desechos de células desde la línea de recirculación.

Si se supone que X_e es muy pequeño, la ecuación (VI.32) se expresará de la siguiente manera:

$$\theta_c \approx \frac{V X}{Q_w X_r} \quad \dots \dots \quad (\text{Ec. VI. 33})$$

Lo cual quiere decir que al efectuarse el desecho de las células desde la línea de recirculación supone el conocimiento previo de la concentración de microorganismos del licor mezclado y de los lodos de retorno o recirculación.

Como anteriormente se señaló, θ_c es independiente de θ sea cual fuere el punto desde el cual se efectúe el desecho de células. Sin embargo, hablando desde el punto práctico con vistas a lograr un buen funcionamiento en las plantas de tratamiento que haga uso de procesos - biológicos, deberá fijarse un tiempo mínimo de retención θ antes de que θ_c se convierta en un parámetro de control.

Para lograr un mayor entendimiento de las formulas y parámetros desarrollados en esta teoría, se procederá a resolver un ejemplo para el caso en particular de lodos activados.

E J E M P L O

Proyéctese un proceso de lodos activados de mezcla completa con recirculación, para tratar 220 lt/seg ; utilizando la teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa.

DATOS:

D.B.O₅. de aguas sedimentadas = 97 mg/lt.

Eficiencia del proceso biológico = 78 %

D.B.O₅. del efluente $(1 - .78) \times 97 = 21.34$ mg/lt.

Temperatura: 20°C.

SUPOSICIONES:

- a) Los sólidos suspendidos volátiles (S.S.V.) del influente del aireador son; despreciables.
- b) La concentración de sólidos en los lodos de recirculación es igual a :
S.S. _____ 1.25 % en peso = 12,500 mg/lt.
S.S.V. _____ 1.00 % en peso = 10,000 mg/lt.
- c) Sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado

(S.S.V.L.M.).

S.S.V.L.M. = 2300 mg/lt = 80% de los S.S.V.L.M.

S. S. = 2300 x .80 = 1840 mg/lt.

d) Tiempo de residencia de los lodos vivos.

$\theta_c = 10$ días

e) Régimen hidráulico del aireador = mezcla completa

f) Coeficiente de rendimiento $Y = \frac{0.65 \text{ Kg de células}}{\text{Kg. DBO}_5 \text{ utilizado}}$

Coeficiente de degradación ó decaimiento de lodos.

$K = 0.1 \text{ día}^{-1}$

g) El efluente contiene 22mg/lt. de sólidos biológicos, de los cuales el 65 % son biodegradables. Este se convierte a partir de la demanda final de D.B.O₅ por medio del factor 0.68 para un valor de $K = 0.1 \text{ día}^{-1}$.

SOLUCION:

a) Estimación de la D.B.O₅ soluble en el efluente.

D.B.O₅ total en el efluente. = D.B.O₅ soluble en el efluente que escapa del tratamiento. + D.B.O₅ de los sólidos biológicos degradables del efluente.

$21.34 = S + 22 (0.65) (1.42) (0.68)$

$$21,34 = S + 13,8$$

$$S = 7,5 \text{ mg/lit. de D.B.O}_5.$$

Esto significa que la eficiencia del tratamiento biológico - basado en la D;B.O₅, soluble será:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

$$E_s = \frac{97 - 7,5}{97} = \frac{89,5}{97} = 92,3 \%$$

- b) Cálculo del volumen del reactor. El volumen del reactor puede determinarse utilizando las ecuaciones (VI.31) y (VI.25).

$$XV = \frac{Y Q \theta_c (S_0 - S)}{1 + K_d \theta_c}$$

$$\begin{aligned} 1840 \text{ V} &= \frac{(0,65)(19008 \text{ m}^3/\text{dfa})(10 \text{ dfas})(97 - 7,5)}{1 + 0,10(10)} \\ &= \frac{11057904}{2} = \frac{5528952}{1840} \end{aligned}$$

$$V \text{ reactor} = 3004,8 \text{ m}^3$$

- c) Cálculo de la rapidez de producción de lodos.

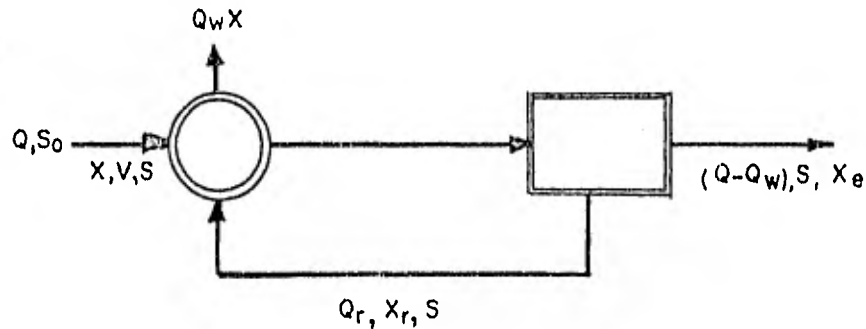
$$\frac{dX}{dt} = \frac{XV}{\theta_c} \quad X = 1840 \text{ mg/lit de S.S.V.} = 1,8 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{1840 (\text{mg/lit}) 3004,8 (\text{m}^3) 10^3 (\text{l/m}^3) 1/10^6 (\text{Kg/mg})}{10 \text{ dfas}}$$

$$\frac{dX}{dt} = 552,8 \text{ Kg/dfa.}$$

$$\text{rapidez de producción de S.S.T.} = \frac{552,8}{0,8} = 691,1 \text{ Kg/dfa.}$$

- d) Cálculo de la rapidez de eliminación de lodos excesivos, si se extraen directamente del reactor.



despreciando los sólidos que se pierden por el efluente, -
utilizando la ecuación (VI.27) tenemos:

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \frac{3004,8}{10 \text{ dfa}} = 300,5 \text{ m}^3/\text{dfa.}$$

Si la eliminación de lodos se hace desde la recirculación
usando la ecuación (VI.33) tendremos:

$$\begin{aligned} Q'_w &= \frac{VX}{\theta_c X_r} \frac{(3004,8)(1840)}{(10)(1000)} = 55,3 \text{ m}^3/\text{dfa} \\ &= 0,64 \text{ lt/seg.} \end{aligned}$$

- e) Cálculo de la razón de recirculación.

Concentración de S.S.V. en el aireador = 1840 mg/lt.

Concentración de S.S.V. en la recirculación = 1000 mg/lt.

$$1840 (Q + Q_r) = 10000 Q_r$$

$$1840 Q + 1840 Q_r = 10000 Q_r$$

$$1840 Q = (10000 - 1840) Q_r$$

$$1840 Q = 8160 Q_r$$

$$R = \frac{Q_r}{Q} = \frac{1840}{8160} = 0.2254 = 0.23$$

- f) Cálculo del tiempo de retención del reactor, sin tomar en cuenta el gasto de recirculación.

$$\Theta = \frac{V}{Q} = \frac{3004.8 \text{ m}^3}{0.220 \text{ m}^3/\text{seg.}} = 13658.1 \text{ seg} = 3.8 \text{ hrs.}$$

Para que los tiempos Θ y Θ_c sean realmente los calculados se necesita hacer las estimaciones tomando en cuenta el gasto de recirculación.

$$q + R = 0.220 + 0.2254 \times 0.220 \\ = 0.2695 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$V = 13658.1 \text{ seg} \times 0.2695 = 3680.8 \text{ m}^3$$

- g) Cálculo de la cantidad de oxígeno (sin contar la cantidad de oxígeno para la nitrificación) en base a la demanda final, D.B.O .

$$\text{Kg O}_2/\text{dfa} = \frac{dF}{dt} - 1.42 \frac{dX}{dt} \\ = \frac{97 - 7.5 (\text{mg lt}) (19008) \text{ m}^3/\text{dfa} \cdot 10 (\text{lt}/\text{m}^3)}{0.68}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1 \cdot 10^6 \text{ Kg/mg}}{1.42 (55.3)} \\ & = 2501.7 \cdot 78.5 = 2423.2 \text{ Kg/dia.} \end{aligned}$$

VII ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DOS TEORIAS

P u n t o s e n c o m ú n:

Para ambas teorías tanto en la N.R.C., como en la rapidez de crecimiento de la biomasa, la eficiencia de la remoción de la materia orgánica degradable, depende de la relación de alimento a masa de microorganismos.

En la teoría de la N.R.C., esto queda bien definido en la fórmula de la eficiencia. (Ec. V.9).

$$P_2 = \frac{100}{1 + m \left(\frac{Y_0}{W_t} \right)^n}$$

en donde:

$$\frac{Y_0}{W_t} = \frac{\text{alimento}}{\text{masa de microorganismos}}$$

Ahora, tomando en cuenta la teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa, un término estrechamente relacionado a la razón específica de utilización U , que es también comunmente usada en la practica como F/M siendo esta la razón de alimento - masa de microorganismos y que se define como:

$$\frac{F}{M} = \frac{S_0}{\Theta X} = \frac{\text{alimento}}{\text{masa de microorganismos}}$$

Ahora bien, los términos U y F/M están directamente relacionados por la eficiencia del proceso de la siguiente manera.

$$U = \frac{(F/M) E}{100}$$

Donde E es la eficiencia del proceso que está definida como:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. VI,6})$$

Se ve que la relación alimento a masa de microorganismos controla la concentración S del efluente.

Puntos en que difieren las dos teorías:

1. - Si en la teoría de la N.R.C., la eficiencia depende de la recirculación, de la ecuación (V.9) tenemos que la intensidad de carga queda expresada como:

$$I = \frac{Y_0}{W_t} \quad i \quad ; \quad \text{intensidad de carga}$$

$$W = \frac{P_w V}{10^2} \quad w \quad ; \quad \text{sólidos que existen en el reactor.}$$

entonces:

$$P_w = \frac{100 \frac{R}{q}}{100 + 100 \frac{R}{q}} P_s$$

V : volumen del reactor

P_w : sólidos en el reactor expresado en %

P_s : concentración de sólidos en la recirculación

$\frac{R}{q}$: razón de recirculación.

lo cual quiere decir, en base a las ecuaciones anteriores, que la eficiencia P₂ dependerá directamente de la razón de recirculación $\frac{R}{q}$.

Ahora bien, para la teoría de rapidez de crecimiento de la biomasa en la ecuación (VI.18).

$$S = \frac{K_s (1 + k_d \theta_c)}{\theta_c (Y_k - k_d) - 1}$$

Si a S₀ se le mantiene fija, entonces S dependerá directamente de θ_c y por consiguiente la eficiencia dependerá de θ_c , o sea del tiempo de residencia de los sólidos en el reactor.

Esta discrepancia entre las dos teorías se hace más evidente si como consecuencia de la comparación anterior se puede aumentar ó disminuir la eficiencia para el caso de la N.R.C., aumentando o disminuyendo

nuyendo la recirculación. Mientras que para el caso de la teoría de ra pidez de crecimiento se puede aumentar ó disminuir la eficiencia extra yendo más o menos cantidad de lodos excedentes, lo cual aumenta o dis minuye el valor de Θ_c .

Por ejemplo: si en un reactor de volumen = 5 U^3 se extrae $\frac{1}{2} \text{ U}$ por día, directamente del reactor, como $\Theta_c = \frac{V}{Q} = \frac{5}{1/2} = 10$, lo cual quiere decir que para la eliminación se requerirán 10 días.

Si se quisiera aumentar el valor Θ_c entonces $\Theta_c = \frac{5}{1/4} = 20$ días etc.

2. - En la época en que fue establecida la teoría de la N.R. C., no se conocía el origen de la formación de organismos de forma filamentosa ni el fenómeno de flotación de lodos (cápsulas, bacterias rotíferas, protozoarias, hongos, algas etc.)

Por esta razón se proyectaban tanques aireadores muy largos en comparación con el ancho.

Posteriormente se encontró, (cuando se estableció la teoría de la rapidez de crecimiento), que la presencia de organismos filamentosos tienen lugar cuando la relación alimento a masa de microorganismos es alta y, cuando es baja da origen al fenómeno denominado - "respiración endógena", que consiste en la eliminación de microorganismos

mos, o sea se devoran entre ellos, lo cual da origen en su mayor parte a las cápsulas que flotan y hacen difícil la separación de los sólidos y los líquidos en la sedimentación secundaria.

En la actualidad estos fenómenos se están corrigiendo por medio de la agitación mecánica dentro de los aireadores.

Por otra parte, la teoría de la rapidez de crecimiento - para eliminar ésta clase de fenómenos antes descritos, recomienda aireadores de forma circular y cuadrada, no de forma alargada como es el caso de la teoría de la N.R.C.

VIII CONCLUSIONES

1. - Aparece como mas racional la teoría de la rapidez de crecimiento de la biomasa, ya que ésta, toma en cuenta la rapidez con que crecen los microorganismos. Esto quiere decir que si se toma en cuenta el O_c (tiempo de residencia); y al proyectar, se desechan los sólidos suficientes para mantener una concentración constante de masa de microorganismos que permaneciendo el tiempo suficiente, se desarrollen y purifiquen las aguas residuales aplicadas, se obtendrá un diseño mas racional. Pero no toma en cuenta la influencia de la recirculación en el desarrollo del proceso y por lo tanto en la eficiencia.

Dicha influencia estriba en que la recirculación aumenta las oportunidades de contacto de los microorganismos con la materia orgánica (alimento), ésto último es un hecho comprobado en el laboratorio.

2. - Si en la teoría de la N.R.C., la recirculación es de influencia definitiva para el logro de una buena eficiencia, sería deseable asociar un gradiente de velocidad a las constantes de la teoría de la rapidez de crecimiento, el cual estaría en función de la recirculación.

Lo que sería la combinación de las dos teorías.

BIBLIOGRAFIA

1. - Influencia de la Agitación Mecánica en la Eficiencia del Proceso de Lodos Activados.

M. en C. Francisco Montejano Uranga

Departamento de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Q.F.B. Hortencia Martínez Rodríguez

CIECCA, DGPOE. S.A.R.H.

2º Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Monterrey, N.L. (1980).

2. - Wastewater Engineering.
Treatment, Disposal, and Reuse.
Metcalf & Eddy, inc.
Editorial Mc. Graw Hill (1979)

3. - Purificación de Aguas, Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales.
Fair. Geyer y Okun. Vol. II.
Editorial Limusa, México, D. F. (1979)

4. - Manual of Instruction for Sewage Treatment
Plant Operators.
New York State Department of Health.
Albany, N. Y. (1962).

5. - Aguas Residuales Industriales (Teorias, Aplicaciones
y Tratamiento)
Nemerow.
H. Blume Ediciones (1975).

6. - Manual de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas
Residuales Municipales
DGPOE, S. A. R. H.
México, D. F.