

2ej 164

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



---

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

MUNICIPALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A

MARCO ANTONIO SORIA SALAZAR

1 9 8 1



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES"

- I. Estudios.
- II. Operaciones.
- III. Procesos biológicos aerobios.
- IV. Procesos biológicos anaerobios.
- V. Dispositivos de tratamiento.
- VI. Anteproyecto de una planta seleccionando las --  
operaciones y procesos adecuados a los datos y-  
estudios.

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 los líquidos y desechos-  
arrastrados por el agua, procedentes de las casas habitación, edificios comerciales, además de los provenientes de --  
los establecimientos industriales, y las aguas subterráneas superficiales ó de precipitación que puedan filtrarse.

El volumen de las aguas residuales que se produzcan varía --  
de acuerdo con la población y depende de muy diversos factores. Una población exclusivamente residencial que tenga alcantarillas bien construidas a las que no entre el agua de precipitaciones pluviales, pueden producir unos 150 Lts. --  
por habitante por día, mientras que una población industrial o que tenga un gasto de agua para usos domésticos muy alto, podrá producir unos 300 Lts. ó más por habitante por día. Se considera como promedio razonable la cifra de 80% de la dotación, lo que en términos generales anca en el orden de los 300 Lts. por habitante por día, esta cifra tiende a aumentar por el uso cada vez mayor de máquinas automáticas, como lo son lavadoras de ropa, de platos, etc. Además, el promedio es mayor cuando las aguas pluviales entran a las alcantarillas, dependiendo esto de la calidad de la construcción del drenaje, el porcentaje de área pavimentada

y techada, el tipo de suelo, la topografía, etc. Existen varias teorías para calcular este costo, una establece que se puede calcular en función de la precipitación media anual y el área que es drenada, otra indica que el costo de infiltración se encuentra entre 0.137 y 1.1 Lts/seg/km. siendo el primer valor para tuberías por arriba del nivel de aguas freáticas, y el segundo es para el caso en que la tubería se encuentra bajo el nivel de aguas freáticas.

Las aguas negras pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales.
- b) Desperdicios caseros.
- c) Corrientes pluviales.
- d) Infiltraciones de aguas subterráneas.
- e) Desechos industriales.

Los desechos humanos y animales son las exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales, mediante los sistemas hidráulicos de los sanitarios, y en otro grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes, por lo que se refiere a la salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre, por lo que su tratamiento seguro y eficaz constituye el principal problema de acondicionamiento de las aguas residuales para su disposición.

Los desperdicios caseros proceden de las manipulaciones domésticas del lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos y el lavado de los

utencillos para comer. Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de uso comen en las labores domésticas.

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, ojas y otras basuras. En algunas poblaciones se deja que estos pluviales vayan al alcantarillado o drenajes que sirven para coleccionar los desechos propios de la comunidad, formando parte importante de las aguas negras.

El drenaje de una población va por abajo del nivel de la superficie, por lo que algunas veces se puede encontrar a un nivel inferior del de aguas freáticas, especialmente cuando éste es muy alto a causa de una excesiva precipitación en la temporada de lluvias. Como las juntas entre las secciones de tuberías que forman las alcantarillas no quedan perfectamente ajustadas, existe siempre la posibilidad de que se infiltre el agua subterránea. Los drenajes colectores usualmente no funcionan a presión, sino que el flujo a través de ellos es meramente gravitatorio y por esto es que las infiltraciones no solamente son posibles, sino que son siempre considerables.

Los productos de desecho de los procesos fabriles son parte importante de las aguas residuales de una población y deben tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen, pues depen

den de la clase de establecimiento fabril ubicado en la localidad. En muchas regiones se colectan los desechos industriales junto con los otros componentes de las aguas residuales de la población para su tratamiento y eliminación finales. En algunos casos es tal el volumen y características de los desechos industriales, que es necesario disponer de sistemas separados para su recolección y disposición. Muchos desperdicios industriales contienen agentes espumantes, detergentes y otras sustancias químicas que interfieren con la disposición final de las aguas residuales de la comunidad o que dañan las alcantarillas y otras estructuras. Por esa razón no pueden agregarse directamente a las aguas residuales, sino que deben recibir un tratamiento preliminar, o eliminarlos valiéndose de medios especiales y por separado.

Sólidos.-

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, pero es la fracción que presenta el mayor problema para su tratamiento y disposición adecuados. El agua provee solamente el volumen y es el vehículo para el transporte de los sólidos.

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales según su composición o su condición física. Pueden ser sólidos orgánicos e inorgánicos, los cuales a su vez pueden estar suspendidos o disueltos.

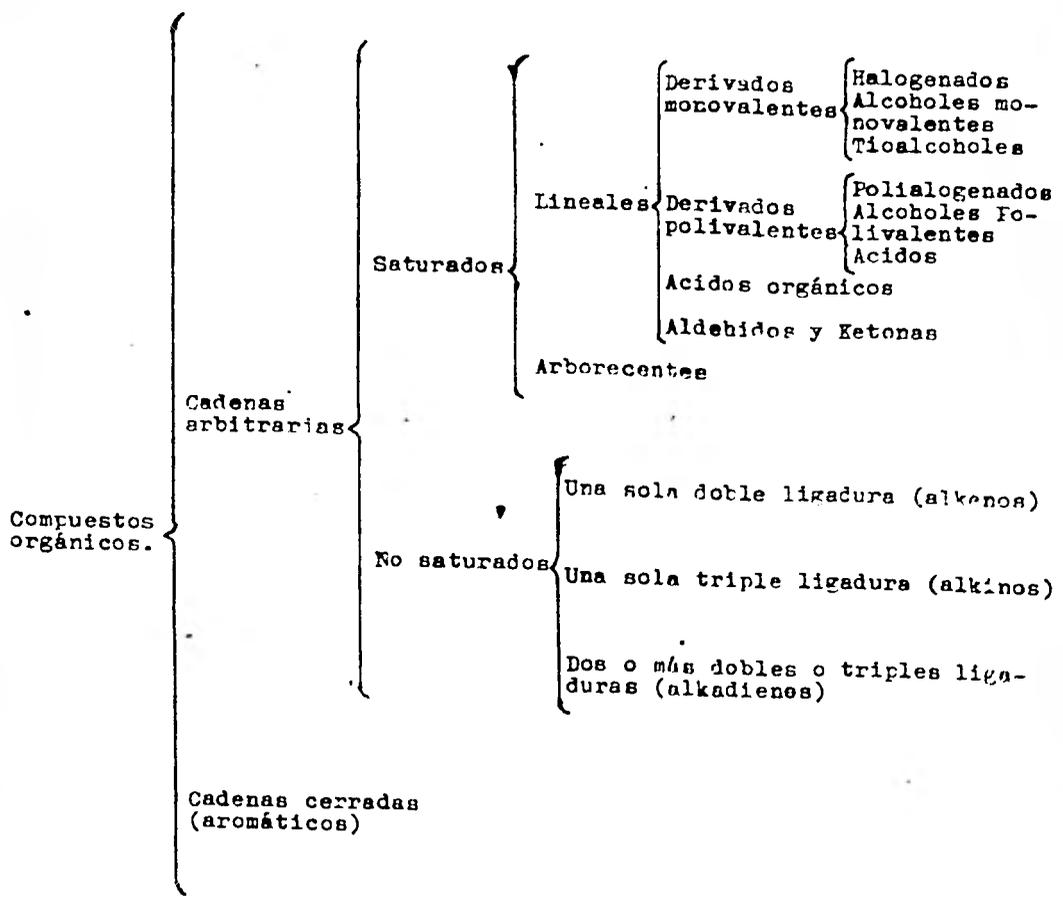
Sólidos  
(según su composición)

Orgánicos

Inorgánicos

Los sólidos orgánicos en general son de origen animal o vegetal, que incluyen los productos de desecho de la vida animal y vegetal, la materia animal muerta, organismos o tejidos vegetales; pero pueden incluirse también compuestos orgánicos sintéticos. Son sustancias que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pudiendo estar combinadas algunas con nitrógeno, azufre o fósforo. Los grupos principales -- son las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas, -- junto con sus productos de descomposición. Están sujetos a degradación o descomposición por la actividad de las bac

terias y otros organismos vivos, son combustibles y en ellos no hay transmisión de corriente eléctrica.



Los sólidos inorgánicos son sustancias inertes que no están sujetas a la degradación. Ciertos compuestos minerales hacen excepción a estas características, como los sulfatos, - los cuales bajo ciertas condiciones pueden descomponerse en sustancias más simples, como suceden en la reducción de sulfatos a sulfuros. Comúnmente a los sólidos inorgánicos se les denomina minerales, por ejemplo el arena y la grava

CONDICION FISICA Y COMPOSICION DE LOS SOLIDOS CONTENIDOS EN UN AGUA NEGRA DOMESTICA MEDIA.  
(las cifras indican partes por millón)

Sólidos totales 600	Sólidos suspendidos 200 (retenidos por la capa filtrante de un crisol Gooch)	Sólidos sedimentables 120	Orgánicos 90	Sólidos sedimentables 120
			Inorgánicos 30	
		Sólidos coloidales 80	Orgánicos 55	Sólidos coloidales 120
	Inorgánicos 25			
Sólidos disueltos 400 (pasan a través de la capa filtrante de un crisol Gooch)	Sólidos coloidales 40	Orgánicos 30	Sólidos coloidales 120	
		Inorgánicos 10		
	Sólidos disueltos 360	Orgánicos 125	Sólidos disueltos 360	
	Inorgánicos 235			

Los sólidos suspendidos son aquellos que están en suspensión y que son perceptibles a simple vista en el agua. Pueden separarse de las aguas en gras por medios físicos o mecánicos como la sedimentación y la filtración. Una definición más exacta es la que los establece como sólidos que quedan retenidos por la capa filtrante de asbesto, en un crisol Gooch. Incluyen las partículas flotantes mayores que consisten en arena, polvo, arcillas, sólidos fecales, papel, astillas de madera, partículas de alimentos y de basura y otros materiales similares. Están constituidos aproximadamente por un 70 por ciento de sólidos orgánicos y por un 30 por ciento de sólidos inorgánicos.

#### Sólidos disueltos.

El término "Sólidos disueltos" que se utiliza ordinariamente en los estudios de aguas en gras no es técnicamente correcto. En realidad no todos estos sólidos están verdaderamente disueltos, ya que se incluyen algunos sólidos en estado coloidal. Según la costumbre el término incluye todos los sólidos que pasan a través de la capa filtrante de asbesto de un crisol Gooch. De los sólidos disueltos totales, aproximadamente un 90 por ciento está verdaderamente disuelto y un 10 por ciento en estado coloidal.

#### Sólidos Sedimentables.-

Son la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso es suficiente para que se sedimenten en un período determinado, --

qué generalmente es de una hora. Están constituidos aproximadamente de un 75 por ciento de sólidos orgánicos y 25 por ciento de sólidos inorgánicos.

#### Sólidos totales.-

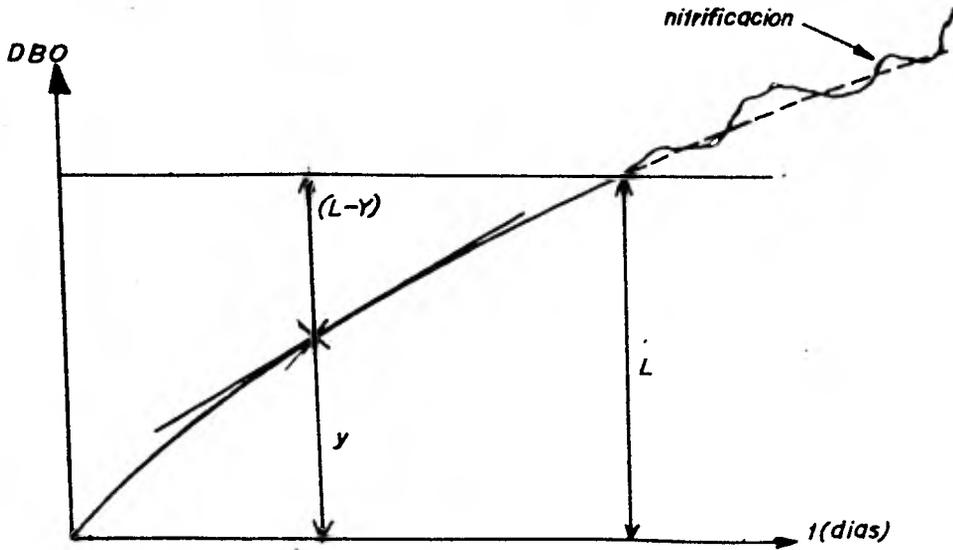
Como lo indica el mismo término, bajo este nombre se distinguen todos los constituyentes sólidos de las aguas negras. Son la totalidad de sólidos orgánicos e inorgánicos, o la totalidad de sólidos suspendidos y disueltos. En las aguas negras domésticas de composición media, cerca de la mitad son orgánicos y la otra mitad inorgánicos y aproximadamente unas dos terceras partes están en solución y una tercera parte en suspensión. La mi tad orgánica de los sólidos sujeta a degradación es la que cons tituye el problema principal del tratamiento de las aguas negras.

El grado de contaminación de las aguas residuales se pueden medir física, química y biológicamente. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias contaminantes y de los usos que la vasareceptora de agua vaya a satisfacer, se pueden hacer mediciones de turbidez, color, olor, nitrógeno en sus varias formas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), materia orgánica, oxígeno disuelto (OD) y otros gases, además de la composición de la flora y fauna acuática, para conocer hasta que grado está contaminada el agua. La turbidez de las aguas no es agradable para el público, exigiéndose hoy en día límpida que no contenga residuos industriales, ni productos de la corrosión. Por otro lado parece ser que los olores son innumerables y se sabe que cambian de característica conforme varía la intensidad del olor, o sea la concentración del compuesto odorífero. Sin embargo, una clasificación cuidadosa de los olores indica que puede haber ciertos olores fundamentales, a partir de los cuales se podrían componer todos los demás. El menor número de ellos es cuatro: dulce o fragante, agrio o ácido, quemado o empuerfático y caprino o caprónico. El olor fragante es suave y delicioso; el agrio acre, desabrido; los olores empuerfáticos son generalmente ingratos y a veces nauseabundos que forman las sustancias animales y algunos vegetales sometidas a fuego lento; el olor caprónico se presenta en el proceso de convertir las grasas en jabón. Los ensayos para valorar las materias orgánicas se realizan principalmente para averiguar las necesidades de oxígeno de las aguas negras. Estos ensayos comprenden el de necesidades bioquímicas de oxígeno (DBO), el de demanda química de oxígeno, --

el oxígeno consumido y el de estabilidad relativa.

Los organismos de las aguas negras necesitan oxígeno para su crecimiento, y el ensayo de las necesidades bioquímicas de oxígeno mide la cantidad de oxígeno disuelto preciso para la descomposición de sólidos orgánicos durante un período determinado de tiempo y a una temperatura constante. La medición normalizada se hace durante 5 días a 20°C y es una buena medida de la contaminación de las aguas negras. Como la medición de este ensayo comprende las necesidades biológicas y químicas de oxígeno, otro ensayo, el de la demanda química de oxígeno, se emplea algunas veces para medir separadamente la misma.

Tanto la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como el oxígeno disuelto (OD) se miden en mg/l; la cantidad de oxígeno disuelto mínimo que requieren las aguas de un río para que garantice su limpieza es de 3mg/l, si se presentara una cantidad de oxígeno disuelto (OD) menor, provocaría la desaparición de vida acuática, como lo es la muerte de peces y plantas. A mayor concentración de carga orgánica (mayor grado de contaminación) habrá una mayor demanda bioquímica de oxígeno (DBO), ya que el oxígeno disuelto será consumido en mayor grado y con una rapidez más grande.



La rapidez instantánea (tangente) con que aumenta la DBO es proporcional a:

$$\frac{dy}{dt} = k(L-y)$$

$$\frac{dy}{(L-y)} = k_1 dt$$

$$\int_0^t \frac{dy}{(L-y)} = \int_0^t k_1 dt$$

$$-\ln(L-y) = k_1 t + c$$

$$\text{si } t = 0, y = 0 \quad c = \ln L$$

$$\ln(L-y) - \ln L = -k_1 t$$

$$\ln \frac{(L-y)}{L} = -k_1 t$$

$$\frac{L-y}{L} = e^{-k_1 t}$$

$$\boxed{y = L(1 - e^{-k_1 t})}$$
 ecuación de la DBO

El objetivo primordial de las normas que rigen la calidad de las aguas receptoras es el de la prevención de molestias y la conservación de la belleza de las aguas naturales; para lograr esto es necesario tener un control mediante el cual se eviten cargas muy altas o muy concentradas, para evitar los olores ofensivos, ni que existan sólidos visibles flotantes, y en general prescribir descargas de residuos que agoten el contenido de oxígeno disuelto (OD) de las aguas receptoras. Para lograr esto es necesario encontrar un balance en calidad y cantidad de las descargas y de las aguas receptoras.

Por lo que se refiere a las corrientes naturales como aguas receptoras existen 3 clases de normas: 1) normas que protegen la calidad del agua receptora al fijar el grado de dilución de las mismas; 2) normas que rigen el grado de calidad requerido de los efluentes, para que se permita la descarga de los mismos en las aguas receptoras; y 3) normas respecto a las corrientes, mediante las cuales se controlará la calidad requerida en las aguas receptoras en sí, después de haber recibido las aguas residuales o efluentes.

**Media Aritmética.-**

La media aritmética o media de un conjunto N de números se define como:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N} = \frac{X}{N}$$

**Mediana.-**

La mediana de una colección de datos ordenados según su magnitud es el valor de la muestra de enmedio o la media aritmética de los dos valores que se encuentran enmedio.

Por ejemplo, la mediana de los números 3, 4, 4, 5, 6, 8, 8, 8, 10, será 6. Para el conjunto de números 5, 5, 7, 9, 11, 12, - 15, 18, su mediana será  $1/2 ( 9 + 11 ) = 10$

**Moda.-**

La moda de una serie de número es aquel valor que se presenta con mayor frecuencia, es decir, es el valor más común. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única. Una -- distribución que tiene una sola moda se llama unimodal.

Para curvas de frecuencias unimodales que sean moderadamente -- sesgadas (asimétricas) se tienen las posiciones relativas de la media, mediana y moda como se muestran en la figura.

La degradación de la materia orgánica se puede lograr mediante 2 procesos, el aeróbeo y el anaeróbeo. El proceso aeróbeo es en presencia de oxígeno libre, es inofensivo, es ventajoso para la vida del hombre, el proceso anaeróbeo es ofensivo, con un PH bajo ( 7 ), existen desprendimientos de gases (CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S), olores ofensivos, además de que proliferan organismos patógenos.

Normalmente el agua contiene oxígeno que se encuentra disuelto en su seno (OD), esta cantidad de oxígeno disuelto puede disminuir o aumentar en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) anteriormente cuesta aquí, la cual a su vez depende de la cantidad y tipo de vida que se presente en este líquido; el rango de valores del oxígeno disuelto varía de cero, que es el caso de agua contaminada en su máximo grado y que no existe ningún tipo de vida, hasta un valor máximo que es de 6.7 mg/l en condiciones normales. A este último valor se le llama oxígeno de saturación (OS); la diferencia de oxígeno de saturación y de oxígeno disuelto se le conoce como Deficiencia de Oxígeno (D).

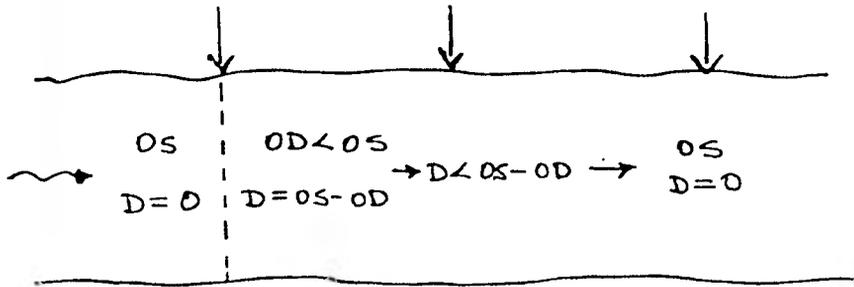
$$D = OS - OD$$

Se observa que el oxígeno disuelto es igual o menor que el oxígeno de saturación, de ahí que la deficiencia de oxígeno sea igual

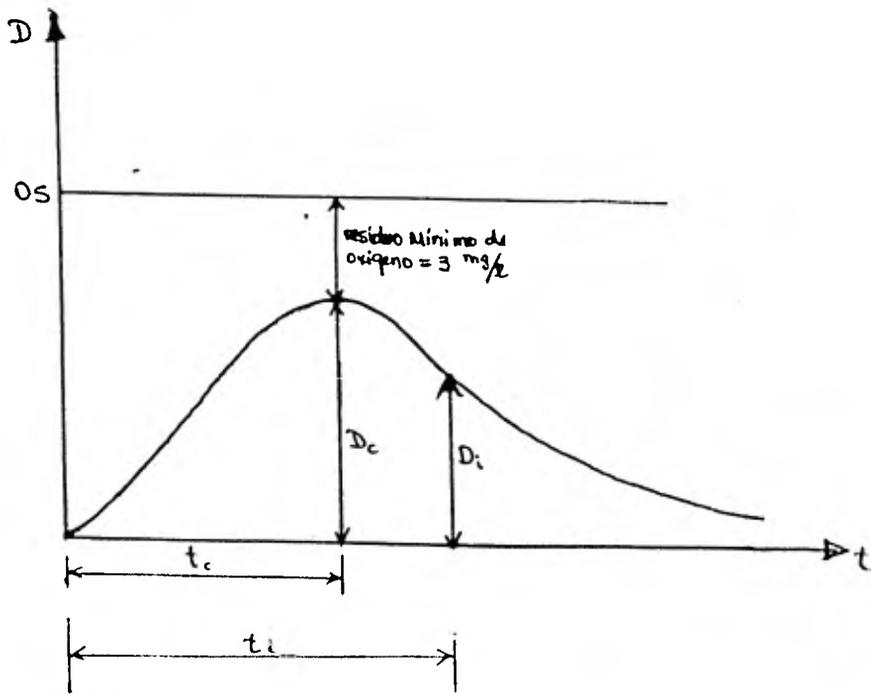
o mayor que el oxígeno de saturación.

En condiciones normales la deficiencia de oxígeno de una corriente natural es nula, o sea que se presenta el oxígeno de saturación, si esta corriente recibe una descarga de aguas negras, la deficiencia aumenta hasta un valor de  $D_0 - OS - OD$ , la rapidez instantánea con que aumenta la deficiencia es proporcional a la concentración de materia orgánica; después de transcurrida una determinada distancia, esta deficiencia disminuye, ya que la corriente estará recibiendo oxígeno de la atmósfera, hasta recuperar de nuevo su oxígeno de saturación; éste se presentará en un tiempo que depende de la concentración de las aguas negras, del volumen de las mismas y del caudal de la corriente. Por otro lado se tiene que la rapidez instantánea con que disminuye la deficiencia es proporcional a la deficiencia en el instante considerado.

El perfil del oxígeno disuelto de una corriente natural se puede esquematizar de la siguiente manera:



La gráfica de la deficiencia de oxígeno es como sigue:



La variación instantánea de la deficiencia está dada por:

$$\frac{dD}{dt} = k_1(L - y) \quad \text{aumento}$$

$$\frac{dD}{dt} = -k_2(D) \quad \text{disminución}$$

$$\frac{dD}{dt} = k_1(L_a - y) - k_2D$$

$$\text{como } y = L_a(1 - e^{-k_1 t})$$

$$\frac{dD}{dt} = k_1(L_a - L_a + L_a e^{-k_1 t}) - k_2D$$

$$\frac{dD}{dt} = k_1 L_a e^{-k_1 t} - k_2D$$

$$\frac{dD}{dt} + k_2D = k_1 L_a e^{-k_1 t}$$

$$e^{k_2 t} \left( \frac{dD}{dt} + k_2D \right) = k_1 L_a e^{-k_1 t} e^{k_2 t}$$

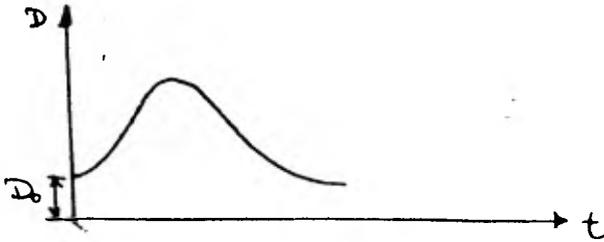
$$\int e^{k_2 t} \left( \frac{dD}{dt} + k_2D \right) = \int k_1 L_a e^{-k_1 t} e^{k_2 t}$$

$$De^{k_2 t} = k_1 L_a \int e^{t(k_2 - k_1)} dt$$

$$De^{k_2 t} = \frac{k_1 L_a}{(k_2 - k_1)} \int e^{t(k_2 - k_1)} dt (k_2 - k_1)$$

$$De^{k_2 t} = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} e^{t(k_2 - k_1)} + C$$

$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} e^{-k_1 t} + Ce^{-k_2 t}$$



$$\text{si } t = 0 \Rightarrow D = D_0$$

$$D_0 = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} + C$$

$$C = D_0 - \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1}$$

$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} e^{-k_1 t} + \left( D_0 - \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} \right) e^{-k_2 t}$$

$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} ( e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t} ) + D_0 e^{-k_2 t}$$

factor de autopurificación

$$f = \frac{k_2}{k_1}$$

según la siguiente nomenclatura se tiene que:

$$k_1 = k$$

$$k_2 = r$$

$$f = \frac{r}{k}$$

$$D = \frac{L_a}{f - 1} e^{-kt} \left\{ 1 - e^{-(f-1)t} \left[ 1 - (f-1) \frac{D_0}{L_a} \right] \right\}$$

Demostrar que si

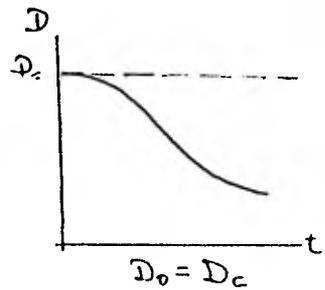
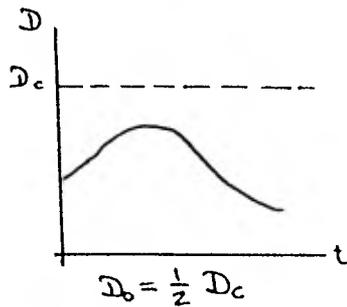
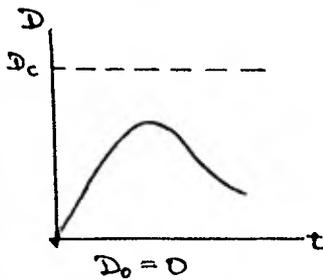
$$D = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} ( e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t} ) + D_0 e^{-k_2 t}$$

$$y \quad 1 - k_1 = k ; k_2 = r ; f = \frac{k_2}{k_1} = \frac{r}{k}$$

entonces:

$$D = \frac{L_a}{f - 1} e^{-kt} \left\{ 1 - e^{-(f-1)t} \left[ 1 - (f-1) \frac{D_0}{L_a} \right] \right\}$$

para encontrar la Deficiencia inicial (  $D_0$  ) se cuenta con tres opciones.



$$D_c = \frac{L_a e^{-kt_c}}{f}$$

$$t_c = \frac{2.3}{k(f-1)} \log \left\{ f \left[ 1 - (f-1) \frac{D_c}{L_a} \right] \right\}$$

$$t_i = \frac{2.3}{k(f-1)} \log \left\{ f^2 \left[ 1 - (f-1) \frac{D_i}{L_a} \right] \right\}$$

$$D_i = \frac{f+1}{f^2} L_a e^{-kt_i}$$

algunos valores de f

estanques pequeños y remansos .....	0.5 - 1.0
corrientes lentas, lagos, represas grandes...	1.0 - 1.5
corrientes grandes de baja velocidad.....	1.5 - 2.0
corrientes grandes de velocidad moderada....	2.0 - 3.0
corrientes grandes de gran velocidad.....	3.0 - 5.0
rápidas y cascadas.....	> 5.0

algunos valores de k

aguas negras domésticas .....	0.23 día <sup>-1</sup>
aguas negras de Ciudad Universitaria D.F.	0.43 día <sup>-1</sup>

## Proceso de Tratamiento.-

### Descripción:

Las aguas negras básicamente están formadas por dos componentes: agua y materia orgánica degradable; ya que el tratamiento de estas aguas residuales está destinado a convertirlas después en aguas que no sean ofensivas a los sentidos ya sea para usarlas posteriormente en industria, riego o simple descarga en corrientes naturales, lagos, océanos, etc. y evitar contaminación. Para lograr este cambio de características físicas y químicas del agua es necesario - eliminar o estabilizar la materia orgánica putrescible en forma controlada. Debido a que el abastecimiento de agua se está convirtiendo en un problema crítico, la polución de una fuente de abastecimiento mediante la descarga de aguas negras no tratadas o inadecuadamente tratadas, poniendo así en peligro las fuentes de agua, no puede ser tolerada.

El tratamiento de aguas negras normalmente se lleva a cabo en dos fases. En la primera, llamada tratamiento primario los sólidos grandes se separan de las aguas negras utilizando mallas y sedimentación. La segunda fase, llamada -- tratamiento secundario involucra la oxidación biológica de la materia orgánica hacia las formas estables. Normalmente a esta oxidación le sigue una sedimentación final y una desinfección.

Aunque en muchos aspectos las aguas negras son comparativamente uniformes en cantidad y calidad, hay algunas variaciones importantes. En la mayoría de los alcantarillados, el flujo durante las altas horas de la noche es bajo y su intensidad también es menor a la promedio. Cuando la vida de la comunidad se activa durante las horas de la mañana, hay un incremento tanto en volumen como en intensidad.

Cuando las condiciones sean favorables, el efluente que se obtiene del tratamiento primario se puede descargar directamente en la corriente de agua. Este tratamiento se llama dilución. Se requiere un tratamiento especial para los sólidos separados del líquido en el proceso primario.

El principal factor que determina si la dilución es o no suficiente es la relación entre la carga orgánica debido al flujo de aguas negras y el volumen, contenido de oxígeno y carácter de la corriente. A pesar de que en algunas ocasiones se descargan aguas negras no tratadas en una corriente, esta práctica no debe ser permitida; la aprobación de la descarga del efluente del tratamiento primario depende del uso que las comunidades aguas abajo den a la corriente.

Factores que favorecen a la práctica de la dilución son: - frescura de las aguas negras, carencia en las aguas negras de materias y sólidos flotantes capaces de sedimentarse, mezclado concienzudo de las aguas negras con el agua dilutora, de elevado contenido de oxígeno, corrientes que

lleven las aguas negras a puntos de dilución ilimitada, au  
sencia de areas que tiendan a facilitar la sedimentación -  
de los sólidos y la formación de depósitos de lodos y equili  
brio biológico.

Es necesaria una dispersión adecuada de las aguas negras -  
en las corrientes naturales para lograr una dilución exitos  
a. En el caso de que el volumen de aguas negras sea con-  
siderable, se recomienda varios desfoques para lograr la -  
máxima dilución posible.

Ejemplo.-

Datos sobre la corriente receptora:

Q de la corriente	810 lts/seg
Oxígeno de saturación de la corriente	7.2 mg/lts.
Oxígeno mínimo para preservar la vida acuática	3.0 mg/lts
DBO 5 días a 20°C	9.0 mg/lts

$$k = 0.23 \text{ día}^{-1}$$

$$r = 0.575$$

$$f = \frac{r}{k} = \frac{k_2}{k_1} = \frac{0.575}{0.23} = 2.5$$

Datos de la descarga de aguas negras

q de la descarga de aguas negras	220 lts/seg
DBO 5 días a 20°C	142 mg/lts

DBO de la mezcla

$$9 \times 810 = 7290$$

$$142 \times 220 = 31240$$

$$\frac{7290}{1030} \quad \frac{31240}{38530}$$

$$\frac{38530}{1030} = 37 \text{ mg/lit}$$

Primer tanteo.-

No hay tratamiento.

Carga que puede soportar el río

$$7.2 - 3 = 4.2 \text{ mg/lit de oxígeno disponible del río}$$

$$\frac{4.2 \text{ mg/lit} \times 810 \text{ lts/seg} \times 86400 \text{ seg/día}}{10^6} = 294 \text{ kg/día de oxígeno}$$

Carga de aguas negras

$$\frac{220 \text{ lts/seg} \times 142 \text{ mg/lt} \times 86400 \text{ seg/día}}{10^6 \text{ mg/kg}} = 2700 \text{ kg/día de oxígeno.}$$

$$2700 \times 1.46 = 3940 \text{ kg/día de oxígeno}$$

$$3940 - 294 = 3646$$

$$\frac{3646}{3940} = 0.927 = 93\% \text{ (eficiencia de la planta)}$$

Segundo tanteo.-

Suponiendo una eficiencia de la planta de tratamiento

$$E_t = 85\%$$

$$142(1-0.85) = 21.3 \text{ mg/lt de DBO}$$

$$\text{corriente} \quad 9 \times 810 = 7290$$

$$\text{efluente} \quad 21.3 \times \frac{220}{1030} = \frac{4680}{11970}$$

$$\frac{11970}{1030} = 11.6 \text{ mg/lt para la DBO de la mezcla en 5 días -}$$

Para una situación crítica

$$\text{DBO} = 11.6 \times 1.46 = 16.93 = L_a$$

$$\text{Suponiendo } D_o = \frac{1}{2} D_c = \frac{1}{2} (4.2) = 2.1$$

$$t_c = \frac{2.3}{k(f-1)} \left\{ \log \left[ f \left[ 1 - (1-f) \frac{D_o}{L_a} \right] \right] \right\}$$

$$t_c = \frac{2.3}{0.23 (2.5-1)} \log \left\{ 2.5 \left[ 1 - (1-2.5) \frac{2.1}{16.93} \right] \right\} = 2.046 \text{ días}$$

$$D_c = \frac{L e^{-kt_c}}{f} = \frac{16.93 e^{-0.23 \times 2.046}}{2.5} = 4.23$$

$$\text{con } E_t = 80\% \Rightarrow D_c = 4.7$$

$$\text{con } E_t = 90\% \Rightarrow D_c = 3.77$$

$$\text{con } E_t = 84\% \Rightarrow D_c = 4.33$$

$$\text{con } E_t = 85\% \Rightarrow D_c = 4.23$$

Existen diversos tipos de tratamientos, como lo son los que se efectúan por medio de procesos físico-mecánicos, procesos biológicos y procesos químicos. Los procesos físico-mecánico se llevan a cabo de distintas formas, unos por medio de rejillas, otros por medio de rejillas y cribas y por medio de la sedimentación, la cual puede ser de partículas en sedimentación, de partículas floculentas y de partículas floculentas en suspensiones densas.

Es importante prever la eliminación de arenillas en el tratamiento de aguas negras, la arenilla en realidad está formada por arena, vidrios rotos, cenizas, tierra y algunas veces pequeños fragmentos de metal. Si no se elimina la arenilla molestará en diferentes procesos de la planta, especialmente en el manejo y digestión de los lodos. La eliminación de la arenilla se basa en el hecho de que es más pesada que los sólidos orgánicos de las aguas negras. La gravedad específica de la arena es aproximadamente de 2.65, y la de los sólidos orgánicos varía entre 1.0 y 1.2. La función de una cámara para la eliminación de arenilla es disminuir la velocidad de las aguas negras exactamente lo suficiente para permitir la sedimentación de las partículas de mayor peso específico en tanto que arrastran las partículas orgánicas más ligeras.

En la eliminación de arenillas se ha encontrado que un período de retención de un minuto en la cámara es bueno, además de una velocidad de 0.30 m/seg. El problema estriba en mantener una velocidad cerca de la deseada. En condiciones-

normales el volumen máximo durante el día puede ser  $2\frac{1}{2}$  veces o más que el de la noche, además que en época de lluvias puede excederse en gran forma esta relación. Estas variaciones en el flujo complica el diseño de un tanque desarenador, debido a que es difícil mantener la velocidad deseada en el tanque bajo todas las condiciones de flujo. Una manera de obtener velocidades de flujo más o menos constantes es el uso de un pequeño tanque de retención y un control de salida que viene siendo un vertedor o desfogue ajustable. Después de su lavado, las arenillas se descargan mediante un transportador, pudiendo usarse estas éstas como material de relleno cuando han sido bien lavadas.

Si un tanque de sedimentación de arenillas tiene un tiempo de retención de 1 minuto y la velocidad es de 0.30 m/seg. la longitud necesaria del tanque es  $0.30 \times 60 = 18$  m. También, si la profundidad considerada para la retención de las aguas negras se supone de 1 m. y se proporcionan 0.60 m adicionales para el almacenaje de las arenillas y 0.20 m para bordo libre, la longitud total es de 1.80 m.

Con una profundidad de 1 m y una longitud de 18 m suponiendo un gasto de  $30,000 \text{ m}^3/\text{día}$  y un periodo de retención de 1 minuto se tiene que:

$$\frac{30,000}{60 \times 60 \times 24} = 0.347 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por lo que el ancho requerido será:

$$\frac{0.347 \times 60}{18 \times 1} = 1.15 \text{ m}$$

Con estas dimensiones, la velocidad de flujo será:

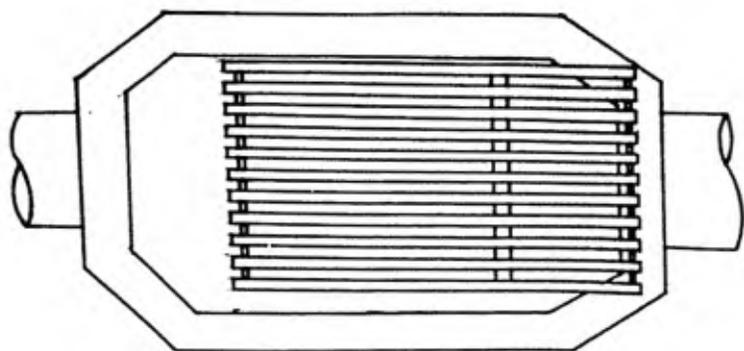
$$\frac{0.347}{1.15 \times 1} = 0.3 \text{ m/seg}$$

Si se presentara un flujo máximo de aproximadamente el doble - del antes mencionado, 2 canales de 1.80 m de profundidad, - - - 1.15 m de ancho y 18 m de largo serían satisfactorios.

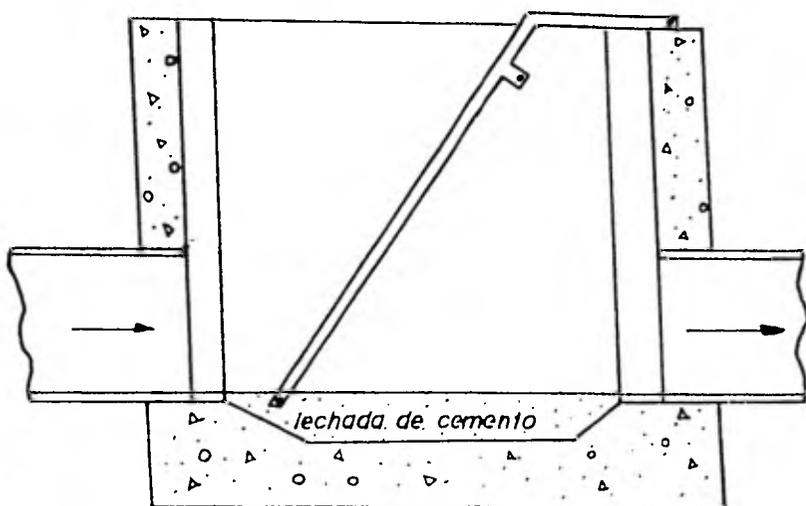
Existen 2 métodos para eliminar los sólidos orgánicos flotan-- tes grandes de las aguas negras, uno es mediante una rejilla - o malla formada por barras de hierro que se interpone al flujo de aguas negras, deteniendo los sólidos flotantes para después enterrarlos, quemarlos o molerlos. El otro método consiste en el uso de un triturador o malla cortadora que intercepta el ma-- terial grueso y lo corta en pequeños pedazos para regresarlos-- al flujo de aguas negras y así evitarse el problema de la eli-- minación de estos sólidos.

La rejilla está constituida por barras de hierro planas coloca-- das de canto en el canal de entrada. Las barras deben de ir - separadas de tres a cuatro centímetros de claro libre. El an-- cho y largo de la rejilla debe escogerse de tal manera que el-- area de las proyecciones verticales de las aberturas disponi-- bles para el flujo de las aguas negras sea cuando menos el do-- ble del area de la alcantarilla. Generalmente estas mallas se-- colocar con un angulo de 30° a 60° con respecto a la horizon-- tal, aunque pueden ir verticales.

Una malla de barras, normalmente elimina sólidos de aguas negras a una velocidad de 8 a 15 lts por millón de litros. La cámara de la malla no debe ser tan grande que las aguas negras permanezcan lo suficiente para permitir que sólidos se depositen en ella. También hay que considerar que las mallas deber limpiarse con la frecuencia necesaria para evitar que las aguas negras inviertan su sentido de flujo con la consecuente deposición de los sólidos.



planta



elevacion

fig. 2.- Rejilla para eliminacion de solidos flotantes grandes.

Ejemplo. Supóngase una alcantarilla de 45 centímetros que lleve a una planta un flujo medio de 20 lts. por segundo, un flujo máximo de 100 lts/seg, y un flujo mínimo de 60 lts. por segundo. Proyectar una malla de barras limpiada manualmente con aberturas que tengan un area total de 200% el area de la alcantarilla.

Solución: El area de la alcantarilla es  $(\frac{0.45}{2})^2 = 0.16 \text{ m}^2$

El area de las proyecciones verticales de las aberturas es --

$$2 \times 0.16 = 0.32 \text{ m}^2$$

La rejilla estará formando un angulo de  $60^\circ$  con respecto a la horizontal, por lo que el area de las aberturas será de - - -

$$0.32 \times \text{sen } 60^\circ = 0.37 \text{ m}^2$$

Al canal se le dotará un bordo libre de 20 cm., por lo tanto el ancho de las aberturas será

$$\frac{0.37}{0.45 + 0.20} = 0.57 \text{ m}$$

Si se utilizan barras de  $3/8$  de pulgada con claros libres de  $1 \frac{3}{8}$  de pulgada se deben tener

$$\frac{0.57}{1.375 \times 0.0254} = 16.32$$

O digamos 17 aberturas, como es deseable tener barras en las dos paredes exteriores del canal, se tendrán 18 barras. El ancho total de la cámara será:

$$18 \times 3/8 \times 0.0254 + 17 \times 1\frac{3}{8} \times 0.0254 = 0.765$$

o digamos 0.80 m

Como se puede esperar de 8 a 15 lts. de desperdicio por millón de lts. de aguas negras, el volumen total medio para un gasto de 80 lts/seg será de:

$$\frac{80 \times 86,400}{1,000,000} \times 8 = 55$$

$$\frac{80 \times 86,400}{1,000,000} \times 15 = 105$$

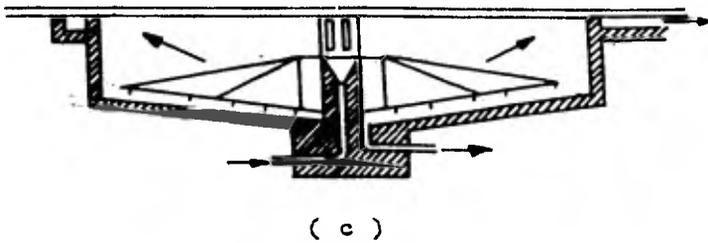
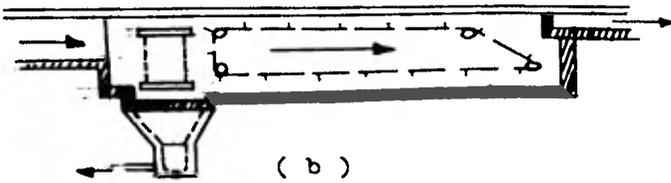
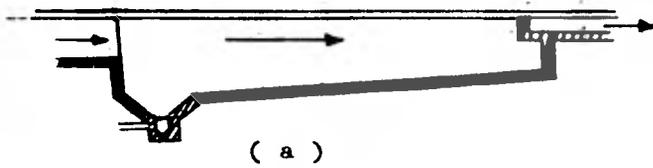
O sea de 55 a 105 lts/día.

Las aguas negras no pueden tratarse completamente en una sola etapa, sino en varias, cada una con una función específica. Los tanques desarenadores eliminan las arenillas y materia orgánica sedimentable mayor de 0.2 mm aproximadamente, -- después están las rejillas que eliminan los sólidos flotantes grandes, para después continuar con la etapa de sedimentación, en la cual se eliminan las partículas más pequeñas -- de materia mineral, así como los sólidos orgánicos más ligeros, aunque sedimentables, que existen en las aguas negras. Los tanques utilizados para este fin se llaman tanques sedimentadores, o en algunas ocasiones tanques clarificadores. La rapidez de sedimentación depende de la viscosidad del agua, que a su vez depende de la temperatura, del peso específico de las partículas, de su resistencia a la sedimentación debida a la fricción, y otros factores.

Teóricamente la sedimentación se puede llevar a cabo en tanques que utilizan el proceso de llenado-y-vaciado, o en tanques de flujo continuo. Los primeros son menos prácticos -- que los segundos, ya que requieren habilidad de operación, --

personal, o mecanismos adicionales, desperdiciando también la carga debida a la profundidad del tanque, además de que se -- pierde tiempo para llenar y vaciar el tanque.

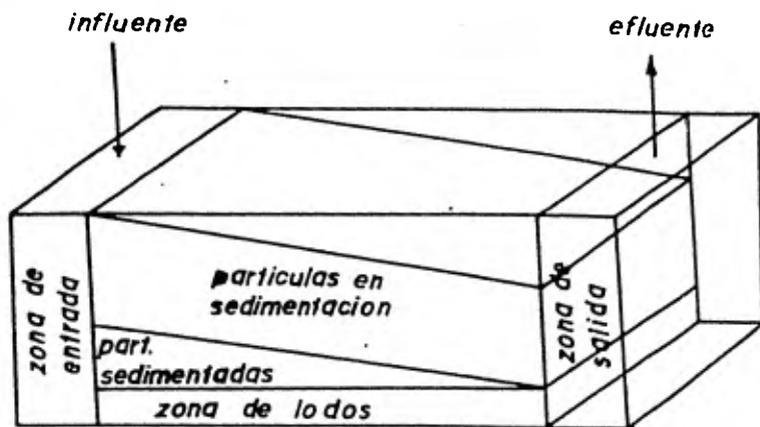
La sedimentación se puede lograr en tanques de flujo vertical en los que las aguas negras entran por el fondo y fluyen hacia arriba; en tanques de flujo horizontal, en los que las aguas negras entran por un extremo y salen por el otro de un tanque rectangular; y en tanques circulares; en donde las aguas negras entran por el centro y fluyen hacia la periferia. Frácticamente todos los tanques utilizados en los métodos de tratamiento de aguas negras son del tipo horizontal y de flujo continuo.



Diseños representativos de tanques sedimentadores de flujo horizontal. a) Tanque rectangular con flujo longitudinal. b) tanque rectangular mecanizado. c) tanque circular con flujo radial.

Para efectos de estudio, un tanque de sedimentación de flujo - continuo se puede dividir en cuatro zonas:

- 1) Una zona de entrada en la que el flujo y la materia suspendida se desplazan a través de la sección transversal del tanque - en angulo recto al flujo.
- 2) Una zona de sedimentación en la que las partículas en suspención se sedimentan en el seno del agua.
- 3) Una zona de fondo, en donde los sólidos sedimentados se acumulan y son removidos por medio de un flujo inferior.
- 4) Una zona de salida, en la que el flujo y las partículas en - suspensión permanente se llevan al conducto del efluente.



*trayectorias de sedimentación en tanques de flujo horizontal (idealizado)*

Para tener una base en el estudio de la sedimentación en los tanques de flujo continuo, se introducen las siguientes suposiciones simplificativas:

1. El asentamiento que se presenta en la zona de sedimentación es exactamente, como el que se presentaría en un recipiente en reposo de la misma profundidad.
2. El flujo es estable, y a partir de donde empieza la zona de sedimentación, la concentración de las partículas en suspensión de cada uno de los tamaños es uniforme a lo largo de la sección transversal perpendicular al flujo.
3. Las partículas que llegan al fondo ya no se levantan y son removidas por fuerzas exteriores.

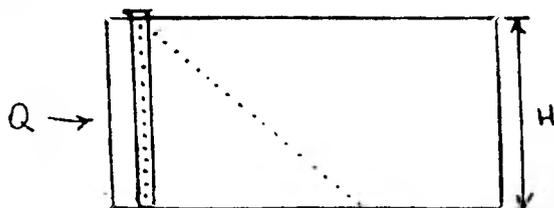
Al tiempo que tarda una partícula en sedimentarse a lo largo de toda la profundidad del tanque (H) con una velocidad  $V_s$  se le llama tiempo de retención ( $T_r$ ), por lo que se tiene:-

$$T_r = \frac{H}{V_s}$$

Se sabe además que:

$$T_r = \frac{Vol}{Q}$$

Si estas dos expresiones se igualan, estaremos suponiendo - que el tiempo que tarda una partícula en recorrer una distancia horizontal es el mismo que tarda en desplazarse una distancia vertical, o sea que su trayectoria de sedimentación - es de  $45^\circ$



$$\frac{V}{Q} = \frac{H}{V_s}$$

Dividiendo entre H

$$\frac{A_h}{Q} = \frac{1}{V_s}$$

En donde  $A_h$  es el area horizontal del tanque.

$$V_s = \frac{Q}{A_h}$$

Como H no interviene, se concluye que la velocidad de sedimentación de partículas separables no es función de la profundidad.

La velocidad con que el flujo se desplaza horizontalmente es igual a:

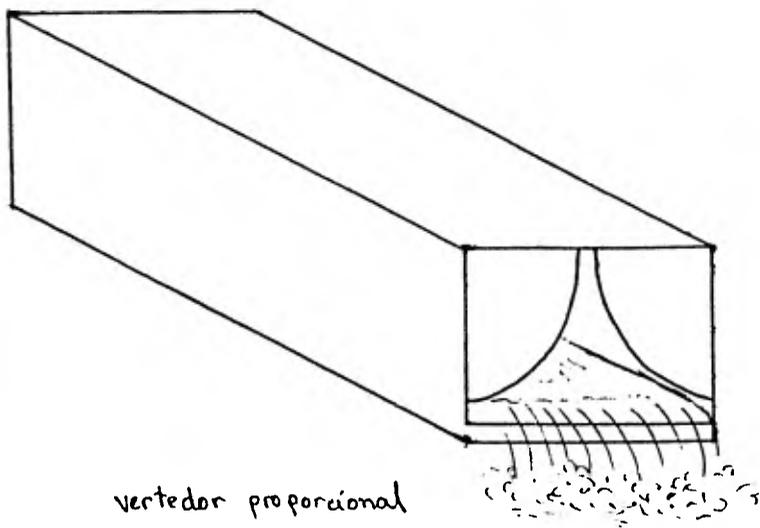
$$V_{horiz} = \frac{Q}{A_{vert}}$$

Esta velocidad se tiene que encontrar dentro de un rango de valores, ya que existe una velocidad, tal que a valores menores se presentará sedimentación de materias orgánicas, lo cual no es conveniente, y existe otra velocidad, en la que si existen valores mayores que ella, las partículas sedimentables son arrastradas por el flujo sin que se puedan sedimentar. El rango

de velocidades horizontales generalmente es el siguiente:

$$0.30 \text{ m/seg} \leq V_{\text{horiz}} \leq 0.60 \text{ m/seg}$$

En vista de que la velocidad horizontal tiene que restringirse a ciertos valores, que facilmente pueden ser rebasados, - ya que el gasto también es variable se hace uso de un vertedor proporcional o sutro, el cual sirve para controlar los - valores de la velocidad horizontal y no se salga del rango - establecido.



Las trayectorias que siguen las partículas discretas al sedimentarse están determinadas por las sumas vectoriales de la velocidad de sedimentación  $V_s$  de la partícula y la velocidad de desplazamiento  $V_d$  a través del tanque. Todas las partículas con una velocidad de sedimentación  $V_s \geq V_0$  se separan, no se sedimentan, siendo  $V_0$  la velocidad de las partículas que caen a través de la profundidad total  $h_0$  de la zona de sedimentación en el tiempo de retención  $t_0$ . Se tiene que:

$V_0 = h_0/t_0 = C/Q$ , y  $C/h_0 = A$ , en donde  $Q$  es la velocidad de flujo,  $C$  la capacidad volumétrica de la zona de sedimentación y  $A$  su área superficial. Por lo tanto  $V_0 = Q/A$  es la carga superficial o velocidad de derrame del tanque. Para partículas  $y_0$  que posean una velocidad de sedimentación  $V_s \leq V_0$ , la proporción  $y/y_0$  de las partículas separadas en un tanque de flujo horizontal se convierte en:

$$y/y_0 = h/h_0 = (V_s t_0)/(V_0 t_0) = V_s/V_0 = V_s/(Q/A)$$

Según Hazen, para partículas discretas y sedimentación no disturbada, la eficiencia del tanque es, solo función de la velocidad de sedimentación de las partículas y del área del tanque en relación a la velocidad del flujo, las cuales en combinación, constituyen la carga superficial o velocidad de derrame. La eficiencia es, por otra parte, independiente de la profundidad del tanque y del tiempo de desplazamiento o tiempo de retención. Por lo tanto las partículas con velocidad de sedimentación  $V_s \geq V_0$  no se sedimentan, y que las particu-

las  $V_s$   $V_o$  pueden capturarse totalmente en tanques de flujo horizontal si se colocan fondos falsos o charolas a intervalos  $h = V_s t_o$ .

La eficiencia en los tanques de sedimentación se ve reducida por la presencia de algunas corrientes, entre las que se cuentan: 1) las corrientes turbulentas debidas a la inercia del fluido entrante; 2) las corrientes superficiales debidas al viento en los tanques abiertos; 3) las corrientes - verticales de convección, debido a que no todo el fluido se encuentra a la misma temperatura, si no que hay diferencias de temperaturas; y 4) las corrientes debidas a la densidad - que originan que el agua pesada recorra el tanque por la - parte inferior y el agua ligera fluya a través de la superficie,

Todas estas corrientes hay que minimizarlas hasta donde sea posible para aumentar la eficiencia de los tanques de sedimentación, lográndose ésto por medio de una situación externa provocada por dispositivos mecánicos.

### Vertederos Proporcionales

Los vertederos proporcionales son de tal forma que el gasto que pasa a través de ellos es proporcional a la altura del agua con respecto a la base del vertedor.

Si el vertedor proporcional tiene la misma altura que el tanque de sedimentación, el gasto también es directamente proporcional a la profundidad del tanque y la velocidad promedio es uniforme.

La fórmula para un vertedor proporcional es:

$$Q = 7.8 bh$$

en donde  $Q$  es el gasto pies cúbicos por segundo,  $h$  es la altura en el vertedor y  $b$  es una constante que depende de la forma del vertedor.

Esta constante  $b$  tiene el valor  $b = 1\sqrt{h}h$

Si la cresta del vertedor coincide con el fondo del tanque de sedimentación, la altura para un máximo gasto será la profundidad del tanque y el ancho será tal que se obtenga la velocidad deseada.

Si el tanque de sedimentación tiene una profundidad adicional para almacenar sólidos, la velocidad es afectada.

### Sedimentación de partículas floculentas.

Muchas veces los agregados que se encuentran en las aguas residuales se aglomeran, con lo que dan lugar a cúmulos de diferentes tamaños, forma y peso.

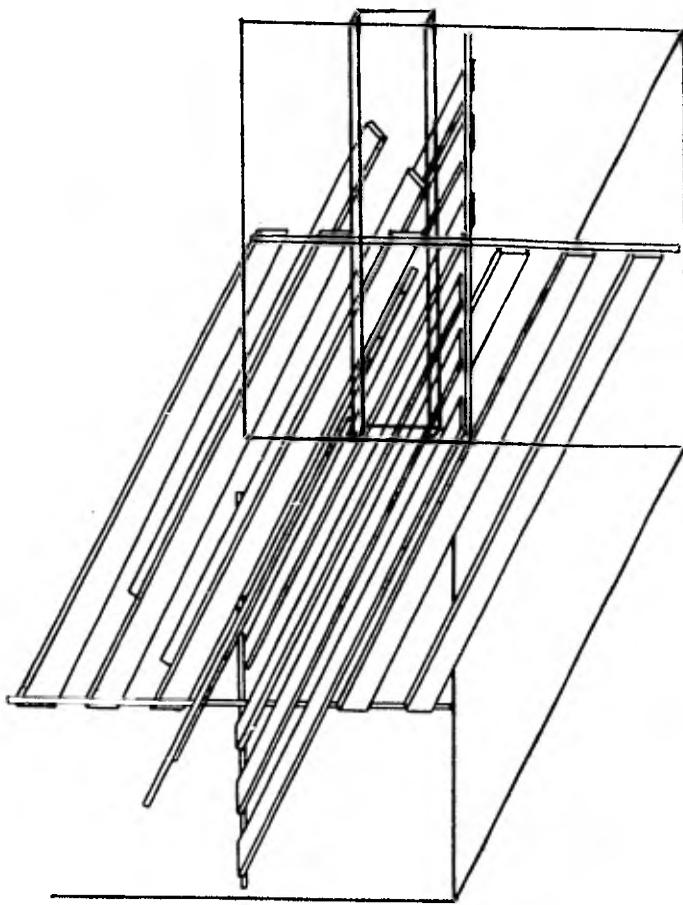
Normalmente, estos cúmulos se sedimentan con mayor rapidez que las partículas o flóculos que los constituyen. Para una gran concentración de partículas de tamaño grande, de peso relativo elevado y que tengan una gran diferencia en tamaños en un líquido de viscosidad reducida (por ejemplo el agua de altas temperaturas), el contacto, y por lo tanto la agregación de partículas es mayor.

Conforme van aumentando en tamaño, los gradientes de velocidad de los flóculos van aumentando también, hasta llegar a un determinado tamaño, límite en que se rompen estos flóculos. Como regla, las suspensiones floculentas que entran a los tanques de sedimentación en las plantas de tratamiento de aguas negras no han alcanzado todavía este tamaño, límite con lo que se puede mejorar la sedimentación sustancialmente mediante un crecimiento adicional de los flóculos, induciendo este crecimiento mediante coagulación química; en este caso, la agitación controlada ayuda al crecimiento de los flóculos, esta alteración se logra mediante impulsores que generan tanto flujos de masa como turbulencia. Los que más se utilizan son las paletas, las turbinas y las hélices.

Las paletas son hojas de gran longitud en relación con su anchura, que van sujetas directamente a flechas verticales u horizontales. Las hojas móviles pueden complementarse con paletas estacionarias que son las que se oponen al movimiento rotativo de las aguas negras, evitando la formación de vórtices. Las paletas giran a velocidades bajas (de 2 a 15 rpm).

Las turbinas son hojas planas que se conectan mediante un brazo radial a una flecha horizontal o vertical y operan en un rango medio de velocidades (de 10 a 150 rpm).

Las hélices tienen una forma similar a la de los buques, estando los alabes montados sobre una flecha horizontal o inclinada trabajando en un rango alto de velocidades (de 150 a 1500 rpm). Las hélices se emplean principalmente en mezcladores instantáneos.



*Impulsor para Mezclado*

### Cárcamos de Bombeo

Nunca las aguas negras se bombean directamente del tubo, sino que siempre se utiliza un depósito para su operación de bombeo. Estos últimos son los llamados cárcamos de bombeo y proveen una gran ayuda para la eficiencia en el bombeo.

En los cárcamos de bombeo se recomienda instalar dos o más bombas de aguas negras y un mecanismo de control apropiado para arrancar y parar las bombas de acuerdo como se llena el depósito y de nuevo que arranquen en forma tal que la extracción de las aguas negras sea la adecuada. Cuando no se puede contar con dos o más bombas se recomienda que la única instalada sea protegida contra daños debidos a los sobreflujos mediante un desagüe. Como las bombas deben de captar todo el flujo del cárcamo la capacidad de ellas debe de ser mayor en un 25 o 50% al flujo máximo esperado. Esta capacidad extra tomará los periodos de descanso. El tamaño del cárcamo determinará la frecuencia de arranque y la capacidad de las bombas, y el flujo de entrada determinará el tiempo que las bombas deben operar en cada ciclo.

Algunas veces las bombas están en operación todo el tiempo porque no es posible almacenar grandes volúmenes de aguas negras o porque es necesario operar la planta de tratamiento uniformemente y a un régimen proporcionado, en todo lo posible, con el flujo promedio de aguas negras.

Para proyectar una estación de bombeo lo primero es determinar el flujo horario de las aguas negras. Por ejemplo, para

una comunidad de 10,000 habitantes, con un flujo diario de -  
aguas negras de 1 mgd, y con un gasto máximo de 1,600 gpm --  
es de corta duración, se debieron instalar tres bombas, una -  
de 300 gpm, para el flujo nocturno y las otras de 700 y - --  
1000 gpm. La capacidad total rebasa en un 25% al flujo máxi-  
mo, aún así sería bueno instalar una cuarta bomba de 700 o -  
1000 gpm para el caso de que hubiera una infiltración conside-  
rable hacia las alcantarillas durante o después de las llu-  
vias.

En general, la capacidad del cárcamo será tal que las bombas  
trabajen cuando menos durante 45 minutos después de arrancar.  
Si no existe flujo de entrada, la bomba de 1000 gpm requerirá  
un pozo de bombeo de 45,000 galones.

### Tanques de Sedimentación.

El principal parámetro que rige en el diseño de los tanques de sedimentación es la velocidad de flujo, o velocidad de sedimentación de la superficie, es el volumen de flujo en una unidad de tiempo por unidad de área de tanque. Generalmente se expresa por  $m^3$  por día por  $m^2$  de área de tanque. Con la velocidad de flujo establecida, el período de retención está regido por la profundidad del tanque.

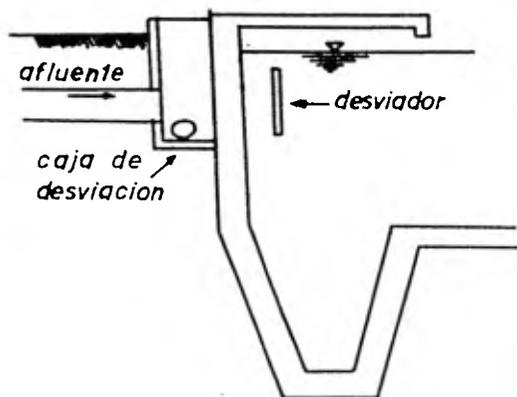
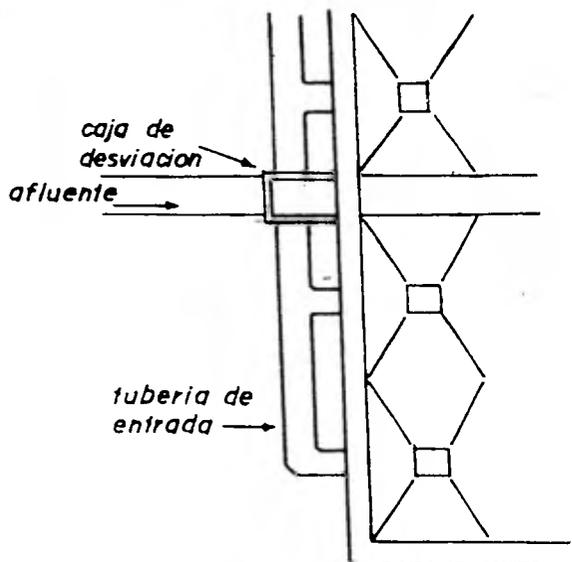
Dentro de la gran variedad de tanques, existen ciertas dimensiones que restringen el diseño de los mismos. Estas distancias se han fijado en base a experiencias que se han tenido en el funcionamiento de estos depósitos de sedimentación. La profundidad de los tanques varía de 2 a 4.5 m, siendo 3.0 m el valor que más se usa. Los tanques circulares pueden llegar a alcanzar un diámetro de 60m., pero se acostumbra construirlos de 30m para evitar los problemas que causa el viento. Comúnmente los tanques cuadrados son más pequeños, generalmente alcanzan los 20 m por cada lado. En los tanques rectangulares, las longitudes pueden llegar hasta los 90m., por lo general miden 30m su ancho está determinado por la longitud de las rastras disponibles para el caso de los limpiados mecánicamente.

El fondo de los tanques de sedimentación tienen pendiente suave, para tanques circulares y cuadrados esta pendiente puede ser del 8%, y del 1% para tanques rectangulares. Las pendientes de las tolvas recolectoras de los lodos varían de 1.2:1 a 2:1.

Para que las aguas negras se lleven dentro del tanque a baja velocidad y para que se distribuyan uniformemente a todo lo ancho o periferia del tanque se utilizan las bocas de entrada.

En los tanques circulares se logra esto llevando el flujo de entrada hacia un pozo de afluente colocado en el centro mediante un tubo a través del cuerpo del tanque o por un flujo hacia arriba a través de un elevador central de un tubo que entra bajo el tanque, auxiliándose además de un desviador circular para obtener una distribución satisfactoria de flujo. En tanques rectangulares, para la boca de entrada se utilizan tubos cortos para distribuir el flujo que llega a través de un tubo de visita de alimentación central para entregarlo en varias descargas, evitando así, relativamente, los desagradables objetos flotantes.

Además para ayudar a la distribución de las aguas negras se proporciona un desviador. Otro método utilizado es el de un canal de entrada transversal, que es normal al sentido del flujo, o algún otro aparato similar.



*toma para un tanque de sedimentacion rectangular*

### Tanques Sépticos.

Antiguamente uno de los dispositivos más usados para tratamiento primario eran los tanques sépticos, los cuales eran diseñados para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja - y bajo condiciones anaerobias, por un período de 12 a 24 horas durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentables. Estos sólidos se descomponen en el fondo del tanque, produciéndose gases que arrastran a los sólidos y los obligan a subir a la superficie, permaneciendo como una nata o capa hasta que escapa el gas y vuelven a sedimentarse. Esta continua flotación y subsecuente sedimentación de los sólidos los lleva con la corriente de aguas negras hasta la salida, por lo que eventualmente salen algunos sólidos con el efluente, frustrando así parcialmente el propósito del tanque. Debido a los largos períodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario.

### Tanques Imhoff.

El Dr. Karl Imhoff, en cuyo honor llevan su nombre los tanques de doble acción (Tanques Imhoff) ideó éstos para corregir los dos defectos principales del tanque séptico, en la forma siguiente:

- a) Impedir que los sólidos que se han separado de las aguas negras se mezclen nuevamente con ellas, permitiendo la retención de estos sólidos para su descomposición en la misma unidad.

b) Proporcionar un afluente adaptable a un tratamiento posterior.

El contacto entre las aguas negras y los lodos que se digieren anaeróbicamente queda prácticamente eliminado y disminuye el período de retención en el tanque.

Un tanque Imhoff se divide en tres compartimientos o cámaras, - que son: 1) La sección superior que se conoce como cámara de derrame continuo o compartimiento de sedimentación; 2) La sección inferior que se conoce como cámara de digestión de los lodos, y 3) El respiradero y cámara de natas. Es recomendable que se pueda invertir la dirección del flujo, para evitar el depósito excesivo de sólidos en un solo extremo de la cámara de derrame -- continuo. Invertiendo el flujo cada mes se logrará que los lodos se acumulen por parejo en todo el fondo del tanque.

Durante la operación todas las aguas negras fluyen a través del compartimiento superior. Los sólidos se depositan en el fondo - de este compartimiento, que tiene pendientes de aproximadamente 1.4:1, resbalando y pasando por una ranura que hay en el fondo. Una de las partes inclinadas del fondo se prolonga cuando menos 15cm. más allá de la ranura, lo cual hace de trampa que impide que los gases o partículas de lodos en digestión que hay en la sección inferior, se pongan en contacto con las aguas negras - que hay en la sección superior. Los gases y particular ascendentes de lodo son desviados hacia la cámara de natas y respiradero. Este elimina la principal desventaja del tanque séptico. -- Las ventilas deben tener una superficie de cuando menos un 20% de la superficie total del tanque.

Para obtener una eficiente operación de un tanque Imhoff, debe prestarse atención a las siguientes actividades:

a) Eliminar diariamente las grasas, natas y sólidos flotantes, del compartimiento de sedimentación.

b) Raspar semanalmente los lados y fondos inclinados del compartimiento de sedimentación, con un cepillo de goma, para quitar los sólidos que se hayan adheridos y que pueden descomponerse.

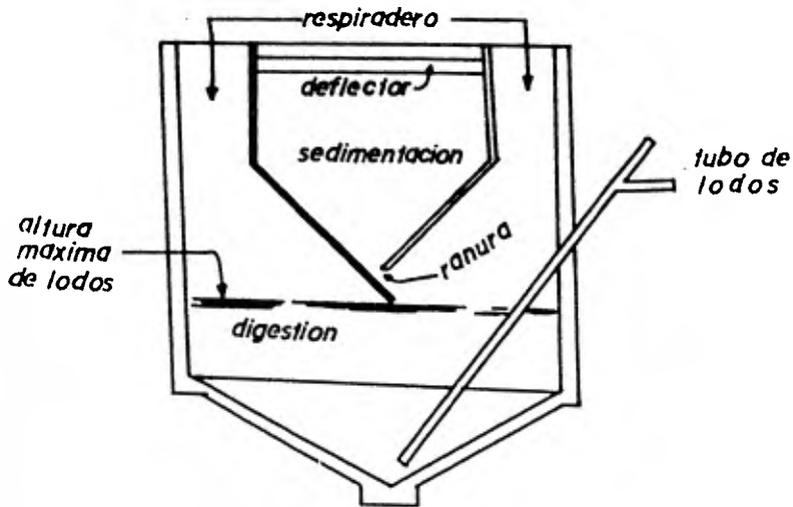
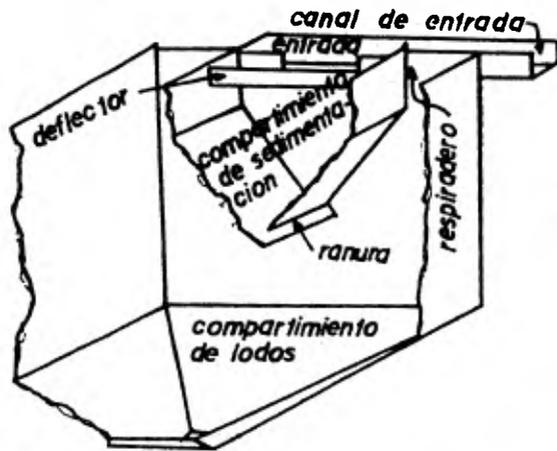
c) Limpiar semanalmente la ranura del compartimiento de sedimentación. Esto puede hacerse con una rastra de cadena.

d) Cambiar el sentido del flujo cuando menos una vez al mes, cuando así esté previsto en el diseño del tanque.

e) Controlar la nata en la cámara de natas, rompiéndola por medio de chorros de mangueras a presión, manteniéndola húmeda con aguas negras del compartimiento de sedimentación y quitándola cuando su espesor llegue a unos 60 ó 90 cm.

f) La descarga de lodos debe hacerse antes de que su nivel llegue a estar cerca de 45 cm. de distancia de la ranura del compartimiento de sedimentación. Es mejor descargar pequeñas cantidades con frecuencia, que grandes cantidades dejando pasar mucho tiempo. Los lodos deben descargarse a una velocidad moderada y regular para que no se forme un canal a través de los lodos que deje que se descarguen lodos parcialmente digeridos y parte del líquido que haya sobre los lodos digeridos. Antes de que lleguen las temperaturas invernales, deben descargarse casi todos los lodos, con excepción de los que se necesitan para siembra (un 20% aproximadamente), dejando así el -

espacio necesario para los que se acumulen durante el espacio ne  
cesario para los que se acumulen durante el invierno, que es cu  
do la digestión es muy lenta.



TANQUE IMHOFF

### Tanques de digestión separados.

Los tipos de unidades que se usan para la digestión de lodos se pueden clasificar en unidades digestoras que forman parte del tanque de sedimentación y en tanques separados que se usan exclusivamente para digestión.

La ventaja que tienen los tanques de digestión separados sobre los tanques de dos niveles es que no necesitan tanta profundidad y costos requeridos, además de que en los tanques de dos niveles no es posible calentar los compartimientos en forma efectiva para así obtener dimensiones reducidas.

La razón del calentamiento en los tanques de digestión, es el costo extra que representa el contruir un lugar de almacenamiento para conservar los lodos durante largo período de digestión, en comparación con un espacio mucho menor. La capacidad de un tanque con calentamiento es del orden de la mitad de la capacidad de un tanque sin calentamiento. Otra razón importante para calentar los digestores es que la producción de gas es más rápida a temperaturas más altas, utilizándose este elemento para la obtención de calor y energía.

Los tanques de digestión separados se dividen en:

a) Cubiertos o descubiertos. En los tanques descubiertos los gases escapan a la atmósfera, y en los cubiertos, el gas se atrapa para ser usado como combustible para motores de gas o para calefacción. En los tanques cubiertos, las cubiertas pueden ser fijas o móviles, en este último caso, el nivel depende de la -

cantidad de lodos y gases que se acumulen.

b) Con o sin calentamiento.

c) Con o sin agitadores o dispositivos para el mezclado.

Para obtener un buen funcionamiento en los tanques de digestión separados es importante observar ciertos aspectos de procedimiento como lo son el bombeo de los lodos, la digestión en dos etapas, el control de la temperatura, el control de PH, la agitación y la descarga del sobrenadante.

Los lodos deben extraerse de los tanques de sedimentación antes de que se vuelvan sépticos, y deben ser lo más espesos que sea posible para evitar agua innecesaria que ocupa espacio y que además hay que calentar, además los lodos deben encontrarse en un estado en el que puedan manejarse satisfactoriamente a través de las bombas y la tubería.

Los lodos deben agregarse al digestor en intervalos frecuentes, por ejemplo dos o más veces por día, para obtener un abastecimiento alimenticio más constante para los organismos, y así, una velocidad de digestión más uniforme. En los digestores de cubierta fija, la velocidad de adición debe ser más lenta para que haya menos movimiento en el sobrenadante, el cual se descarga del digestor al mismo tiempo que se está agregando el lodo. En los digestores de cubierta flotante esto no es tan importante, ya que no es necesariamente descargado el sobrenadante al mismo tiempo.

La digestión en dos etapas requiere de dos tanques, separando la digestión en dos períodos, el inicial, con una digestión violenta y el final en el que la digestión es más lenta. En el diges-- tor primario, los lodos que entran se mezclan de una manera efec-- tiva por medio de agitadores mecánicos o por medio de recircula-- ción, pero aún así, no es raro que ocurra alguna separación de - lodos, por lo que el material más pesado se deposita en el fondo del tanque. En el tanque secundario, en donde la digestión se -- completa, existe una producción de gases menor, y se obtiene un-- sobrenadante mucho más claro que el que se obtendría si la diges-- tión se efectuara en un solo tanque.

Cuando la digestión se verifica en dos etapas, con un digestor - primario de cubierta fija, al bombear lodos crudos al digestor - primario, normalmente se traslada también sobrenadante y lodos - ligeros pero ahora al digestor secundario. . Si el digestor pri-- mario tiende a perder su equilibrio y baja el PH, se puede bom-- bear lodos del fondo del tanque secundario al primario para man-- tener alcalina la digestión.

La temperatura en un digestor se debe mantener constante hasta - donde se pueda; se recomienda que la temperatura debe mantenerse dentro de un rango de 2 ó 3 grados F alrededor de la fijada, la-- cual, usualmente se encuentra entre 85 y 95° F (30 a 35°C). Cuan-- do el digestor es calentado por medio de serpentines, el agua -- que circula por ellos por ellos debe estar lo suficientemente ca-- liente para mantener la temperatura de los lodos, pero nunca re-- basar los 55°C (130°F), ya que a temperaturas de 60°C (140°F) o

superiores, los lodos se pegan sobre los serpentines y forman una capa aislante que provoca una disminución en la transmisión del calor.

Cuando se dispone de mecanismos para agitación, éstos deben usarse a intervalos bastantes frecuentes para poder garantizar que sea adecuada la siembra de sólidos frescos con los lodos en etapas avanzadas de digestión, con esto se logra una digestión más rápida y uniforme, además de impedir la formación de espuma.

El sobrenadante es el líquido del digestor que queda sobre los lodos sólidos. Es el licor que se ha separado de los sólidos de los lodos. Aunque el sobrenadante contenga pocos sólidos disueltos, es muy rico en materia orgánica que se descompone rápidamente, produciendo malos olores, por lo que el sobrenadante generalmente se sujeta a un tratamiento antes de su disposición.

El sobrenadante se descarga del digestor para disminuir el volumen de los lodos que quedan en el tanque, y así concentrar los sólidos dejando espacio para agregar los sólidos frescos.

En los digestores de cubierta fija, el sobrenadante se extrae al mismo tiempo que se agregan los lodos crudos y a la misma velocidad. Esta es otra razón por la cual los lodos crudos deben bombearse a intervalos frecuentes y durante períodos cortos, para evitar una gran descarga de sobrenadante.

Es muy importante que la salida del sobrenadante esté siempre limpia, ya que si se obstruye, el agregar lodos frescos pueden aumentar la presión interna, llegando al punto en que la cubierta pueda levantarse o romperse.

En los digestores de cubierta flotante, la cubierta no es de tanta importancia, y es posible descargar el sobrenadante durante un largo periodo de tiempo.

Cuando los lodos se mezclan por medio de agitadores o por recirculación, los lodos deben dejarse reposar durante algunas horas para separar el sobrenadante del resto del contenido del digestor - para poder descargarlo.

### Lodos Activados.

Es éste uno de los procesos de tratamiento secundario de las aguas negras. Es un proceso biológico de contacto, en el que los organismos vivos aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aerobia de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las aguas negras, es importante para la eficacia de este método el que éstas contengan oxígeno disuelto durante todo el tratamiento.

El proceso de lodos activados se emplea generalmente después de la sedimentación primaria, por lo que las aguas negras contienen algunos sólidos suspendidos y coloidales, por lo que al agitarse en presencia de aire, los sólidos suspendidos forman núcleos en torno a los cuales se desarrolla vida biológica, con lo que se van formando gradualmente partículas más grandes de sólidos que se conocen como lodos activados.

Los lodos activados están formados por flóculos parduscos que consisten principalmente, en materia orgánica procedente de las aguas negras, poblados por gran cantidad de bacterias y otras formas de vida biológica. Los organismos vivos de los lodos activados tienen la propiedad de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta de las aguas negras, con lo que disminuye la cantidad de sólidos suspendidos. Los organismos biológicos utilizan como alimento al material absorbido, convirtiéndolo en sólidos insolubles no putrescibles.

Algunas bacterias atacan las sustancias complejas originales, - produciendo como desecho compuestos más simples. Otras bacte- - rias usan estos desechos, produciendo compuestos aún más sim- - ples, continuando así el proceso hasta que los productos fina- - les de desecho no puedan ser usados como alimento por las bacte- rias.

El proceso de generación de lodos activados es lento, de manera que la cantidad que se forma es muy pequeña para cualquier volúmen de aguas negras durante su período de tratamiento con lo que no se tiene un tratamiento eficaz. Para lograr la deseada concen tración de lodos activados, se recolectan los lodos producidos - por el tratamiento de aguas negras y usándolos en el tratamiento de volúmenes subsecuentes. Los lodos que se vuelven a emplear en esa forma se conocen como lodos recirculados. Al ser éste un pro ceso acumulativo, habrá un excedente de lodos al efectuar un de- terminado número de tratamientos, llamado exceso de lodos activa dos, el cual 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 negras, por lo que se requiere un método de agitación, con lo que el proceso de lodos activados consta de las siguientes etapas:

- 1) Mezclado de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.
- 2) Aereación y agitación de este licor mezclado durante el - - tiempo que sea necesario.

- 3) Separación de los lodos activados, del licor mezclado.
- 4) Recirculación de la cantidad adecuada de lodos activados, para mezclarlos con las aguas negras.
- 5) Disposición del exceso de lodos activados.

Antes de estudiar estas etapas conviene definir dos términos de uso común en el proceso de lodos activados.

Indice volumétrico de los lodos. Este Índice indica el porcentaje de la materia en suspensión en el licor mixto, en volumen. - Se obtiene dejando en reposo un litro del licor mixto durante - 30 minutos y midiendo el volumen de los lodos sedimentados. A - continuación se determina la concentración en peso seco de los sólidos en suspensión en el licor mixto. La relación del segundo resultado con el primero es el índice de volumen de lodos. - Por ejemplo, si el porcentaje de lodos derivado de la prueba de sedimentación es 20 y la concentración en peso seco de los sólidos en suspensión es 0.25%, el índice volumétrico de los lodos es  $\frac{20}{0.25} = 80$ . En una planta de buena operación, los valores usuales están entre 50 y 150 para una instalación con aire difuso, y entre 200 y 300 para una aereación mecánica. El índice volumétrico de los lodos es útil en la operación como una indicación acerca del volumen de lodos que deben ser regresados para mantener el porcentaje deseado de sólidos en suspensión en el licor mixto. En cada planta debe determinarse cuál es el índice volumétrico adecuado, considerando que puede variar de día a día, y que al aumentar indicará que va creciendo el volumen que ocupa un gramo de lodos, lo que causa una disminución en la densidad y por lo tanto un abultamiento de las aguas negras.

Los lodos deben ser de apariencia granulosa, bien delimitados, de color pardo dorado y de olor a moho. Cuando cambian las características de los lodos disminuyendo su sedimentabilidad, - lo que se pone de manifiesto por un aumento importante de su índice volumétrico, se desarrolla una condición en el tanque de sedimentación final que recibe el nombre de abultamiento -- de los lodos. Como una parte de los lodos no se sedimenta en el tanque y es arrastrada por el efluente, la calidad de éste empeora notablemente llevando una carga orgánica adicional a las aguas receptoras.

Algunas de las causas del abultamiento de los lodos son:

El acortamiento del período de aereación como resultado de un flujo excesivo; desechos industriales de alto contenido orgánico o que contengan sustancias químicas que ejerzan efectos tóxicos sobre el desarrollo bacterial; contenido de sólidos demasiado alto o demasiado bajo en los tanques de aereación; aereación insuficiente que falle en mantener la debida concentración de oxígeno disuelto a través de todo el sistema o posibilidad de que se use demasiado aire, lo cual tiende a desintegrar los flóculos; aguas negras sépticas en la sedimentación primaria; interrupción de la continuidad de recirculación de los lodos al tanque de aereación, o intervalos demasiado largos para eliminar el exceso de lodos de las unidades del proceso, y; una preponderancia de hongos que formen filamentos en los lodos.

Todas estas causas pueden resumirse bien diciendo que el abul-

tamiento de los lodos resulta de una sobrecarga o de un balance inapropio entre las tres variables: carga de la DBO, concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado y cantidad de aire que se use en la aereación.

No existen reglas infalibles para la prevención ni para el control del abultamiento de los lodos. Si esta condición se desarrolla, la solución final consiste en determinar la causa u proceder a corregirla o eliminarla, o tomar medidas de compensación en las diferentes etapas de control del proceso.

#### Edad de los lodos.

Es el tiempo promedio durante el cual las partículas de los sólidos en suspensión permanecen en aereación. En las plantas convencionales, parece ser efectiva una edad de 3 a 4 días. En base a la experiencia se ha observado que en métodos modificados es mejor una edad menor, por ejemplo 0.5 días. La edad de los lodos se obtiene al dividir el peso de los sólidos secos en suspensión en los tanques de aereación y el peso de los sólidos secos suspendidos en las aguas negras que entran a dicho tanque. Esta edad se puede obtener por la siguiente fórmula:

$$\text{Edad de los lodos} = \frac{V \times A}{Q \times C}$$

en donde

V- Volúmen del aereador, en millones de galones o en metros cúbicos.

A- Concentración promedio de los sólidos en suspensión en el aereador, en miligramos por litro.

Q- Flujo de aguas negras, en millones de galones por día o en metros cúbicos por día.

C- Concentración de sólidos suspendidos en las aguas negras que entran al tanque de aereación en miligramos por litro (excluyendo los lodos recirculados).

Con un flujo de aguas negras de 1 mgd, un aereador con volumen de 300,000 gal., una concentración promedio de 2000 mg/lt. de sólidos en suspensión en el licor mixto, y un contenido de sólidos en suspensión de 200 mg/lt. en las aguas negras que entran al tanque de aereación, la edad de los lodos es:

$$\text{Edad de los lodos} = \frac{0.30 \times 2000}{1 \times 200} = 3 \text{ días.}$$

Mezclados de los lodos activados con las aguas negras que se van a tratar.

Es importante lograr una buena mezcla de los lodos activados con las aguas negras, esto se logra introduciendo los lodos activados en la parte en que se encuentra la alimentación del tanque de aereación, donde la agitación efectúa un mezclado rápido y satisfactorio.

Aereación y agitación del licor mezclado.

En esta etapa se logran tres objetivos muy importantes: El mezclado de los lodos recirculados con las aguas negras, mantener en suspensión los lodos debido a la agitación y el suministro de oxígeno que se requiere para la oxidación biológica. Generalmente se utilizan dos métodos para la aereación y agitación de la mezcla, uno es por medio del aire difuso acompañado de equipo mecánico para la agitación y dispersión del aire; y el otro utiliza aire inducido o aspirado de la atmósfera y aereación superficial. En el método del aire difuso, la mayor parte del oxígeno necesario llega en forma de pequeñas burbujas de aire, las que se difunden bajo presión en el fondo del tanque de aereación. En la aereación mecánica el aire de la atmósfera se lleva hasta las aguas negras mediante tubos de aspiración, hélices u otros aparatos.

Entre más eficiente sea este abastecimiento, mayor será la capacidad de tratamiento. Algunas veces se utilizan ambos métodos.

**Sistema de difusión de aire.**

Hay en la actualidad, un gran número de criterios acerca de la cantidad de aire difuso necesaria para un tratamiento. Dos de los que se utilizan con mayor regularidad son aire por galón - de aguas negras y aire por libra de DBO eliminada.

Una base establecida hace mucho tiempo, que no toma en consideración la concentración de las aguas negras, indica que hay -- que proporcionar 1.0 a 1.5 pies cúbicos de aire libre por galón de aguas negras tratadas. Para un flujo de un millón de galones por día, la cantidad necesaria es:

$$1 \text{ mgd} = 1 \text{ gal.} \times \frac{10^6}{86400 \text{ seg.}}$$

$$\therefore \text{aire necesario} = \frac{1.0 \times 10^6 \times 60}{86400} = 695$$

$$= \frac{1.5 \times 10^6 \times 60}{86400} = 1042$$

Una cantidad suficiente es de 700 a 1050 pies cúbicos por min. De acuerdo con otra base, se necesitan de 500 a 700 pies cúbicos de aire por libra de DBO eliminada. En la práctica, se instala 150 a 200% de la capacidad requerida por esta base.

La frescura de las aguas negras afecta las necesidades de aire ya que las aguas negras carentes de oxígeno, pero aún sin putrefacción utilizan el oxígeno del aire más lenta o menos eficazmente que las aguas frescas. También los lodos carentes de oxígeno, pero aún sin putrefacción, tienen una gran demanda de

oxígeno rico, y una retención indebidamente prolongada en el tanque de sedimentación secundario es, por lo tanto, indeseable.

El aire difuso se aplica en el fondo o cerca de él, generalmente a una presión de 8 a 10 libras por pie cuadrado, mediante sopladores, y se hace pasar a través de diversos tipos de material poroso, en placas, o en tubos que reparten el aire. Estas placas o tubos están colocados de tal manera en el tanque de aereación, - que imprimen un movimiento giratorio a la mezcla de aguas negras con lo que se absorbe una gran cantidad de aire atmosférico. Las placas difusoras están compuestas de alúmina cristalina fundida - o de una arena de alto contenido de sílice, fijándose en recipientes hechos generalmente de concreto armado. Los tubos difusores se hacen de material similar y últimamente se han hecho de tubería de acero inoxidable corrugado, con múltiples orificios - de salida.

Estos difusores van suspendidos en secciones sobre el tanque de aereación de manera que puedan ser desconectados desde arriba de la superficie de las aguas negras y así puedan sacarse para su limpieza o reposición.

Para impedir que se obstruyan las placas o tubos de los difusores, conviene filtrar el aire con que se alimentan, para quitarle el polvo, el aceite u otras impurezas. La tubería debe ser de material anticorrosivo.

### Aereación mecánica.

Cuando se utiliza este método los tanques pueden ser circulares, cuadrados, rectangulares o exagonales. Estos tanques tienen profundidades de 8 a 15 pies y llegan a tener hasta 18. Los diámetros y las distancias horizontales oscilan entre los 14 y 30 pies. Los fondos de los tanques pueden ser planos o en forma de tolvas, dependiendo del diseño.

Como la capacidad de oxigenación por métodos mecánicos es menor que la de aire difuso, la concentración de sólidos en el licor mixto del tanque de aereación es más baja, por lo que se requiere un mayor período de retención, considerándose razonable un tiempo de 8 horas.

La finalidad de los aereadores mecánicos es la de producir aereación superficial en las aguas negras mediante agitación, y al mismo tiempo, producir un movimiento circular o helicoidal, para evitar la sedimentación de los sólidos y obtener una aereación óptima. Antiguamente se producía este movimiento por paletas o hélices; en la actualidad se tiene a utilizar una combinación de equipo mecánico con rociadores para producir las finas burbujas que se necesitan para una transferencia efectiva de oxígeno. Estas mejoras son con el fin de aumentar las velocidades de oxigenación, para así obtener una mayor concentración de sólidos y un volumen mayor de flóculos en un tanque de un determinado volumen.

### Separación de los lodos activados del licor mezclado.

Antes de que pueda disponerse de las aguas negras tratadas en un tanque de aereación hay que separar los lodos activados. - Esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria, los cuales son de diseño similar a los de sedimentación primaria.

La remoción de los lodos en los tanques secundarios tiene mayor importancia que en los tanques primarios, pues cierta proporción de lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el tanque de aereación. El exceso de lodos debe eliminarse antes que pierda su actividad por la muerte de los organismos aerobios debido a la falta de oxígeno en el fondo del tanque. Cuando se dispone de recursos adecuados, es posible reactivar los lodos recirculados en tanques de reaereación separados, antes de agregarlos a las aguas negras. Sin embargo se recomienda conservar la actividad de los lodos mediante su retiro rápido del tanque.

Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados para mezclarlos con las aguas negras.

La cantidad de lodos regresados al tanque de aereación ha de ser suficiente para producir la purificación deseada en el tiempo disponible para la aereación. Debido a las variaciones en las características y concentración de las aguas negras, - así como el tipo de plantas, la cantidad de lodos recirculados puede variar desde 10 hasta 50% del volumen de las aguas negras en tratamiento.

Sin embargo hay muchas variables que intervienen en el volumen del flujo. Para mantener las óptimas condiciones de operación, puede ser necesario variar la proporción de los sólidos en el tanque de aereación, con lo que se variaría el volumen de los lodos de retorno. Por lo tanto, deben tomarse las precauciones necesarias en el proyecto para manejar flujos de retorno iguales al 150% de los requisitos del proyecto.

### Prácticas empíricas para el proyecto.

Para poblaciones que cuentan con 5,000 a 10,000 habitantes, se recomienda que utilicen el sistema de aire comprimido para aereación y agitación. Para poblaciones mayores se acostumbra utilizar aire comprimido en combinación con equipo mecánico. El proyecto de las prácticas se puede basar en prácticas empíricas, cumpliendo con ciertos requisitos, como son los siguientes:

1. Eliminación del 90% de la DBO aplicada.
2. Existencia de 2 o más unidades de aereación preparadas para funcionar independientemente.
3. Profundidad comprendida entre los 10 y 15 pies.
4. Existencia de por lo menos 2 mg/lt. de aire en todas las partes del tanque, excepto en las tomas.
5. Para el mecanismo de aire difuso, un abastecimiento de -- 1000 pies<sup>3</sup> de aire por libra de DBO de 5 días.
6. Capacidad de 150% de la carga.
7. Los tanques deben trabajar con los siguientes períodos de retención: para capacidades comprendidas entre 0.2 y 0.8 mgd, 8 hr; para capacidades comprendidas entre 0.8 y 1.0 mgd, 6 a 8 hr; y para capacidades mayores de 1mgd, 6 hr.

**Proyecto de los tanques de aereación.**

Existen tres cantidades sobre las que se puede basar el proyecto de los tanques de aereación. Estas son: período de retención, DBO, y sólidos de aereación. Suponiendo que el flujo de aguas negras es 1 mgd producido por una población de 10,000 habitantes, que la eliminación de la DBO en el tanque de sedimentación primario es el 30%, y que el flujo de los lodos de retorno es del 25%.

Para un proyecto basado en el período de retención, se proporcionará un período de retención de 6 hr. para un flujo de 1mgd más el 25% para los lodos de retorno, o un flujo total de 1.25 mgd.

La capacidad necesaria es  $6 \times 1.25/24 = 0.3125$  millones de galones, o sea 41700 pies<sup>3</sup>, o sea 41800 pies<sup>3</sup>. Suponiendo un tanque de 15 pies de profundidad y 20 pies de ancho, la longitud es:

$$\frac{41800}{15 \times 20} = 139 \text{ pies}$$

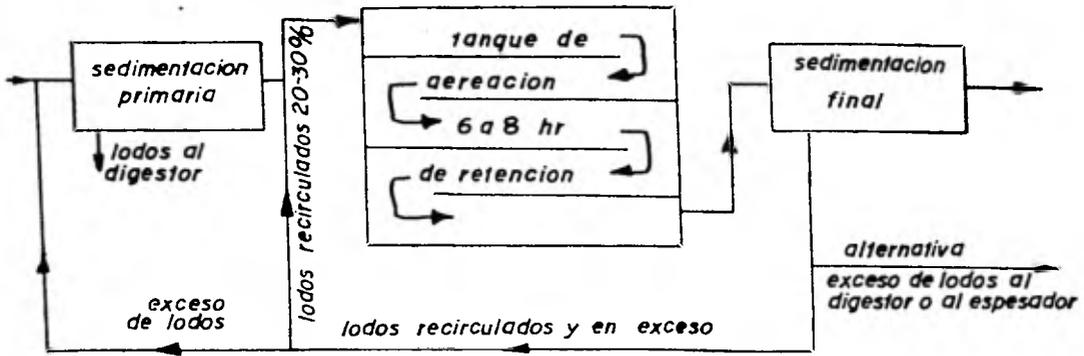
Para un proyecto basado en la DBO por unidad de volumen, se considerarán 30 lb. de DBO por 1000 pies<sup>3</sup> de capacidad de tanque.

Como la DBO de los aereadores es  $10,000 \times 0.17 \times 0.70 = 1,190$  lb. por día, la capacidad necesaria es - - - - -  
 $1,190 \times 1000/30 = 39,700$  pies<sup>3</sup>. Si se utiliza una sección de - -  
15 x 20 pies, la longitud sera  $\frac{39.700}{15 \times 20} = 132$  pies.

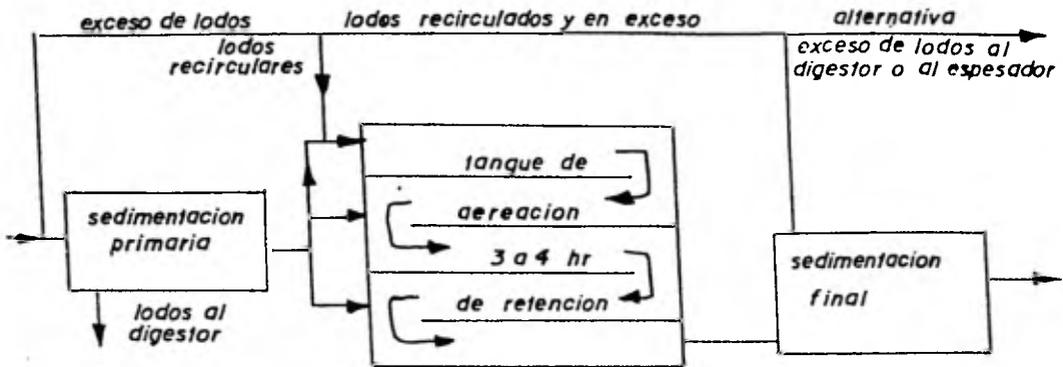
Cuando el proyecto está basado en los sólidos bajo aereación, se considerarán 35 lb. de DBO por 100 lb. de sólidos en el licor mixto y una concentración de sólidos de 2000 mg/lt en el licor. La DBO de los aereadores será de 1,190 lb por día, como en el párrafo anterior.

Si se considera en un 25% adicional para los lodos de retorno, la carga total será de  $1,190 \times 1.25 = 1,488$  lb. por día. La cantidad correspondiente de sólidos será de - - - - -  
 $1,488 \times 100/35 = 4,230$  lb., y la cantidad de sólidos en 1 millón de galones del licor mixto será  $2000 \times 8.34 = 16,680$  lb. Para 4,230 lb. de sólidos, el volumen del tanque de aereación debe ser  $4,230/16,680 = 0.254$  millones de galones, o sean - - -  
 $33,950$  pies<sup>3</sup>. Si se utiliza una sección de  $15 \times 20$  pies, la longitud necesaria es  $\frac{33,950}{15 \times 20} = 113$  pies.

De los tres métodos, y para el caso de que se conozcan todos los factores con exactitud, es preferible el cálculo utilizando los sólidos bajo aereación.



PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS



PROCESO MODIFICADO DE LODOS ACTIVADOS

**Modificaciones al proceso convencional de lodos activados.**

En esta modificación, las aguas negras entran al tanque de aereación por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas negras. Por lo tanto, la concentración de sólidos de los lodos en el licor mezclado, es mayor en la primera etapa o lugar de entrada y disminuye a medida que se introducen más aguas negras en las siguientes etapas. Esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aereación.

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

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

### Filtros de escurrimiento.

En realidad estos dispositivos no son filtros, ya que no se efectúa ninguna acción coladora ni filtrante, sino que son dispositivos que ponen en contacto a las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. Un nombre más correcto podría ser lechos de oxidación biológica, pero el término de filtros de escurrimiento se ha popularizado ya en gran forma.

Los filtros de escurrimiento o filtros goteadores son unidades resistentes que no se dañan fácilmente por cargas violentas, además de que tienen una gran estabilidad en su funcionamiento y son capaces de resistir malos tratos. Estos filtros ocupan grandes extensiones y su construcción es muy costosa.

Las aguas negras se aplican a la superficie del lecho en láminas delgadas o como rocío, y escurre hacia abajo rodeando las partículas de piedra hasta un sistema de drenaje inferior colocado en el fondo. Después de un corto período de uso, se forma una película gelatinosa en las partículas del filtro. Esta película que es de la misma familia de los flóculos producidos en el proceso de los lodos activados, mantiene bacterias oxidantes. A medida que las aguas negras fluyen en láminas muy delgadas sobre esta película, las bacterias estabilizan la materia orgánica mediante una oxidación.

Un filtro de escurrimiento típico, consiste en tres partes:

- a) el lecho o medio filtrante; b) un sistema recolector; c) un mecanismo para distribuir uniformemente las aguas negras sobre la superficie del lecho.

a) La selección del medio filtrante depende generalmente del material de que se disponga en la localidad, o del costo del acarréo del material. Para construir este lecho se han usado las piedras del suelo, la grava, la piedra triturada, las escorias de los altos hornos. También se han usado los bloques de madera de pino, así como material inerte moldeado en formas adecuadas; por ejemplo, los bloques de mosaico vitrificado, que se utilizan en el tratamiento de desperdicios industriales. Estos bloques tienen aproximadamente el doble de la habilidad oxidante de la piedra. La experiencia ha demostrado que la piedra quebrada o la escoria aceptan cargas hasta de 4 a 5 lb. de DBO por yarda cúbica, pero con una carga mayor pierde eficiencia. La arcilla vitrificada, ya sea en forma de bloques perforados o en forma de anillos de arcilla, aceptan cargas hasta de 8 lb. por yarda cúbica.

Cualquiera que sea el producto que se emplee para formar el lecho de escurrimiento, debe ser homogéneo, duro, limpio y sin polvo e insoluble con los constituyentes de las aguas negras. La forma del material debe ser casi cúbica, para impedir que se apelmace, y de un tamaño tal que pase a través de una malla de 12.5 cm. de abertura pero que sea retenido por una malla de 5 cm. La capa del medio filtrante no debe ser menor de 1.5 m. ni mayor de 2.1 m. El lecho puede ser rectangular o circular. El primero se usa cuando las aguas negras se distribuyen mediante aspersores fijos, y el segundo cuando se usan sistemas distribuidores giratorios. El medio filtrante sirve para propor

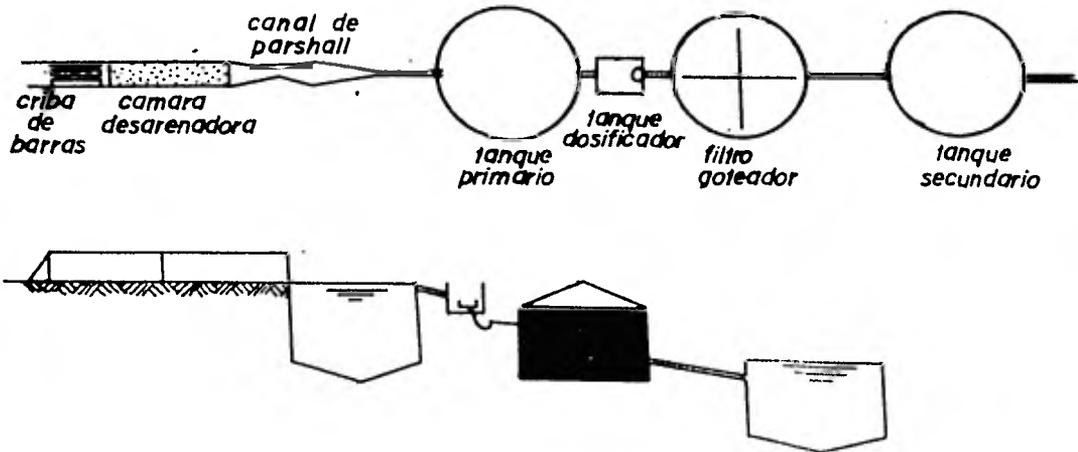
cionar una gran superficie sobre la cual puedan formarse los lodos y películas gelatinosas que producen las bacterias y para -- que queden suficientes huecos que permitan que el aire circule -- libremente por todo el filtro.

b) Los colectores satisfacen dos propósitos: 1) retirar las aguas negras que han pasado a través del filtro para aplicarles el tratamiento subsecuente y se disponga de ellas; 2) proporcionar ventilación al filtro para mantenerlo en condiciones aerobias. La dirección de la circulación del aire a través del filtro, depende -- de la diferencia de temperaturas entre el filtro y las aguas ne-- gras que se utilicen. Cuando las piedras del filtro están más ca-- lientes que las aguas negras, la corriente de aire es hacia arriba. Cuando las aguas negras están más calientes que las piedras, -- la circulación del aire es hacia abajo. El drenaje consiste en -- una serie de bloques de arcilla vitrificada que tienen aberturas -- en su parte superior para que las aguas negras se introduzcan y -- que puedan salir a través de los túneles interiores de los blo-- ques. La pendiente de los bloques está dirigida a un canal cen-- tral de salida.

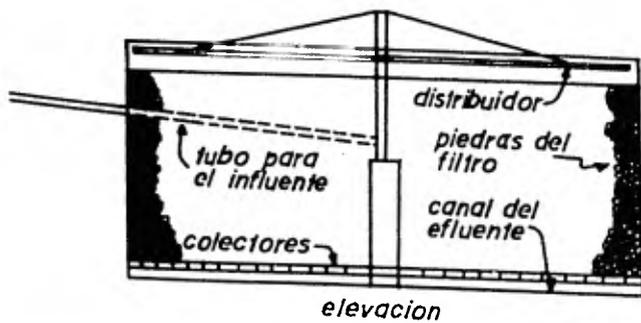
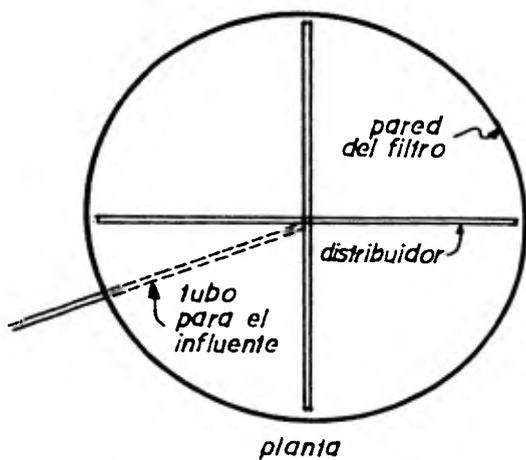
c) Distribuidores. Las agua negras se distribuyen en la superfi-- cie del lecho por medio de aspersores fijos o distribuidores gira-- torios. Antiguamente se utilizaban los aspersores fijos, para lo-- cual se necesita un tanque dosificador para poder contar con la -- carga hidráulica necesaria, este sistema es intermitente, o sea -- que hay que esperar a que el tanque dosificador esté lleno, ade-- más de que no se tiene una aspersión de aguas negras regular en --

toda la superficie del lecho. Los distribuidores giratorios son de uso reciente y son los que se usan actualmente con más regularidad.

Por medio de ellos se logra una distribución más regular en toda la superficie del lecho, además de que en este proceso, si se desea, se puede contar con una continuidad. Las aguas negras llegan al distribuidor giratorio por medio de una tubería subterránea, la cual se conecta a un tubo vertical, por medio del cual sube el flujo para llegar a los aspersores. El distribuidor puede ser sencillo, de brazo doble, o de cuatro brazos. Aún en las mejores condiciones, la distribución de las aguas negras por este método no es completamente pareja y siempre quedan fracciones de superficie del filtro sobre las cuales cae muy poca cantidad de aguas negras.



Plano y perfil de una planta con filtro de escurrimiento



FILTRO DE ESCURRIMIENTO

### Carga del filtro.

Los filtros tienen dos tipos de cargas, la hidráulica y la orgánica. La carga hidráulica es la cantidad de litros o metros cúbicos de aguas negras que se aplican por metro cuadrado o por hectárea por día. Para mayor precisión y a causa de los diferentes espesores de las capas, la carga hidráulica también se expresa en metros cúbicos por hectárea-metro y por día. La carga orgánica es la cantidad de kilogramos de DBO por metro cúbico que se aplica al medio filtrante por día, también se expresa en kilogramo por hectárea-metro por día o en libras por pie cúbico de medio filtrante por día.

Según sus cargas hidráulica y orgánica, los filtros se clasifican en filtros de gasto normal y filtros de gran gasto. Los filtros de gasto normal operan con cargas hidráulicas de 10,000 a 40,000 metros cúbicos por hectárea y por día, con una carga de 0.08 a 0.40 kilogramos de DBO por metro cúbico de medio filtrante y por día (5 a 30 lb. por 1000 pies cúbicos de medio filtrante y por día).

La forma de calcular las cargas se ilustran con el siguiente ejemplo.

Supóngase que un filtro de 30 metros de diámetro y de 1.90m. de espesor, recibe 2,000 metros cúbicos por día de un efluente de tanque primario, con una DBO de 150 ppm.

$$\text{Superficie del filtro} = \frac{d^2}{4 \times 10000} = \frac{(30)^2}{4 \times 10,000} = 0.0707 \text{ hectáreas}$$

$$\text{Carga hidráulica} = \frac{2,000}{0.0707} = 28,289 \text{ m}^3 \text{ Ha. y por día.}$$

Dilogramos de DBO aplicados =  $150 \times 2 = 300$  Kg. por día.

$$\text{Volúmen del medio filtrante} = \frac{d^2}{4} \times h = \frac{(30)^2}{4} \times 1.9 = 1,343 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga de DBO} = \frac{300}{1,343} = 0.223 \text{ Kilogramos de DBO por metro cúbico de medio filtrante por día.}$$

Como se observa, las cargas se encuentran dentro de los rangos mencionados anteriormente, con lo que se tendrá un filtro de gas to normal.

Los filtros de gran gasto son aquellos que operan con las siguientes cargas: cargas hidráulicas de 80,000 a 400,000 metros cúbicos por hectárea y por día y con cargas orgánicas de 0.40 a 0.80 kilogramos por metro cúbico (25.0 a 50.0 libras por 1,000 pies cúbicos) de medio filtrante u por día. El rango intermedio de cargas entre el límite superior de los filtros de gasto normal y el límite inferior de los filtros de gran gasto no tiene clasificación alguna.

Otra clasificación de los filtros es según su profundidad, la cual, al igual que la clasificación según sus cargas, no tiene una línea divisoria que separe perfectamente las distintas unidades; en general un filtro con una profundidad menor a los cinco -

metros se considera poco profundo y un tanque que tenga una profundidad mayor a los cinco metros es considerado profundo.

#### Recirculación.

La recirculación es el regreso de una parte de las aguas negras ya tratadas. Esta recirculación se puede hacer de varias formas, de el tanque de sedimentación secundaria a el tanque de sedimentación primaria o al filtro, la recirculación también se puede originar en el efluente del filtro. La recirculación sirve para aumentar la carga hidráulica y la carga orgánica, el gasto hidráulico se aumenta mezclando el efluente del filtro con el gasto normal de aguas negras en proporciones que pueden llegar hasta de diez a uno como es el caso del tratamiento de desperdicios industriales concentrados. Para aguas negras domésticas, esta relación de recirculación es de 0.5 a 1.5. La recirculación afecta a los tanques de sedimentación, tanto los primarios como secundarios debido a que el flujo que pasa a través de ellos se incrementa. Si la recirculación es del efluente del tanque de sedimentación secundario a la boca de entrada del tanque de sedimentación primario, ambos tanques tienen que hacerse de un tamaño mayor. Por ejemplo, con un flujo de 1.0 mgd. y una relación de recirculación de 0.5, los dos tanques deben proporcionar el período de retención y el vertido necesarios para un flujo de 1.5mgd y el volumen debe ser 50% mayor. Si la recirculación se inicia antes del tanque de sedimentación secundario, esta unidad no tiene que hacerse más grande, ya que el período de retención y el vertido permanecen constantes. El volumen del filtro no se --

afecta por la recirculación, pero el distribuidor debe tener la capacidad suficiente para manejar el flujo aumentado.

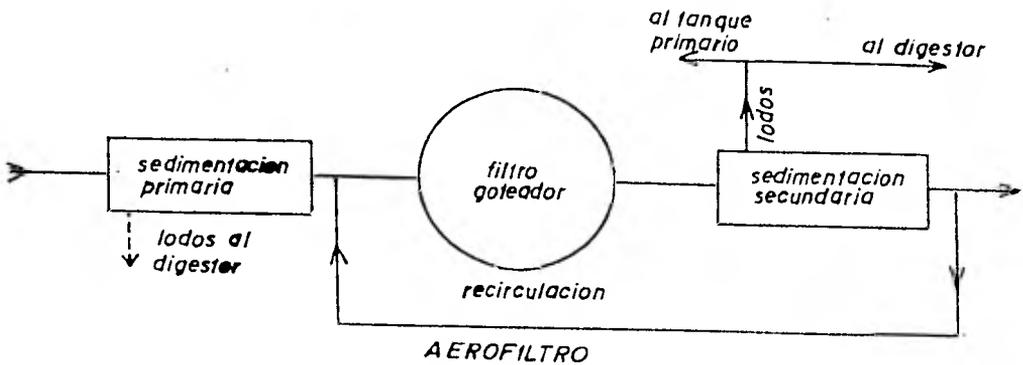
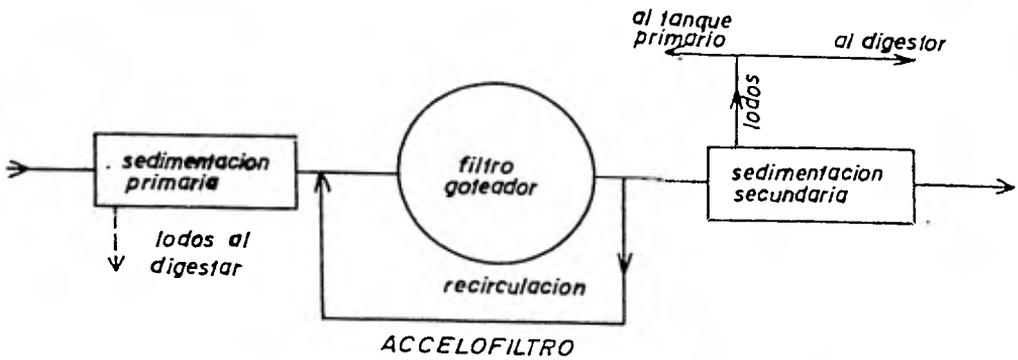
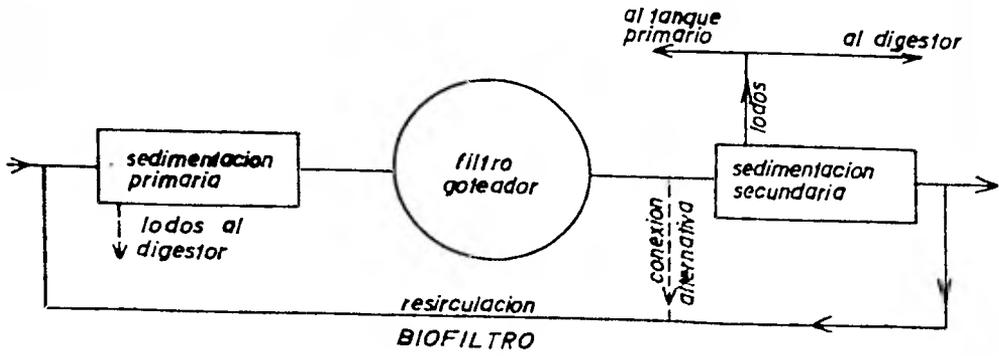
Las distintas maneras de llevar a cabo la recirculación han sido patentadas y adoptadas por casas comerciales, sus nombres -- son el Biofiltro, el accelofiltro y el aerofiltro.

El Biofiltro es un filtro poco profundo, por lo general de 4 a 5 pies de profundidad que se usa en un proceso que incluye recirculación y una alta velocidad de aplicación. En este caso, -- la recirculación incluye al regresar, parte del efluente del -- filtro o del tanque de sedimentación secundaria, al tanque de -- sedimentación primaria. Si se llega a necesitar tratamiento adi cional para reducir el contenido de DBO en el efluente, se puede proporcionar un filtro de dos etapas. También la calidad del efluente final está sujeta a modificaciones mediante la alteración de la velocidad de carga así como de la relación de recirculación.

El Accelofiltro tiene normalmente de 6 a 8 pies de profundidad, y se utiliza para hacer recircular directamente el efluente del filtro, otra vez al filtro mismo. La recirculación se utiliza -- al igual que en el Biofiltro para llevar a cabo el grado de tra tamiento deseado.

En el Aerofiltro se distribuyen las aguas negras mediante un ti po especial de distribuidor que las aplica en forma de "gotas -- de lluvia". Para lechos chicos, la distribución se efectúa me-- diante un disco distribuidor que gira a una velocidad de 260 a-- 370 rpm, colocado a 50 cm. sobre la superficie del filtro.

En los lechos grandes, un gran número de ramales, 10 o más, ayudan a conseguir una mejor distribución de las aguas negras. La recirculación se utiliza únicamente durante los períodos de bajo volumen de aguas negras, y solo en cantidades necesarias - para asegurar una operación apropiada del distribuidor.



Algunas veces pueden llegar al alcantarillado sustancias químicas que provienen por lo general de plantas industriales, estos desechos cuando llegan en concentraciones considerables pueden ser tóxicos o venenosos para la vida biológica de un filtro, de allí que cuando la eficiencia sufra una baja considerable, se recomienda llevar a cabo investigaciones para conocer los desechos industriales tributarios al alcantarillado y de ser necesario, hacer la notificación para que la industria verifique su pretratamiento.

Un aspecto que no puede aparentar importancia para la buena distribución de las aguas negras sobre el lecho es el de los tornillos tensores de los tirantes de los miembros. Los distribuidores rotatorios necesitan un ajuste periódico de los tornillos tensores de los tirantes de los miembros distribuidores para -- que tengan un nivel adecuado y siempre tengan la misma altura -- con respecto a la superficie del filtro. En tiempo de calor los tirantes se alargan por el efecto de la temperatura sobre el metal, de allí que los tornillos tensores deban apretarse para -- compensar la expansión, y en tiempo de frío, cuando el metal de los tirantes se contrae, los tornillos tensores deben aflojarse.

Los filtros se encharcan algunas veces, siendo esto, una indicación de que algo en la planta no funciona bien, estos encharcamientos se deben a varias causas; por ejemplo si las unidades -- primarias no eliminan correctamente las grasas o los aceites, -- la película biológica del medio filtrante se recubre de estos y se priva de oxígeno a los organismos, impidiendo también que --

las aguas negras entren en contacto con los mismos. También puede suceder que la instalación no corresponde a la carga de la planta, lo cual se soluciona con la instalación de unidades adicionales. Otra razón de los encharcamientos es que las ventilas del medio filtrante se obstruyen debido a que las piezas de éste, son muy chicas, o que se haya desintegrado el medio filtrante; la forma de corregir esto, es remplazar el medio filtrante por otro cuyo material sea del tamaño y calidad adecuados. Si a pesar de esto, las ventilas se llenan de proliferaciones de organismos y de lodos, se recomiendan tomar ciertas medidas correctivas, como son: limpiar la superficie encharcada con un chorro de manguera contra incendios; aplicar fuertes dosis de cloro durante períodos cortos, estas dosis pueden ser de hasta 5 ppm, con lo que se exterminan las proliferaciones del filtro; aislar el filtro, dejándolo fuera de servicio, sin usarlo durante varios días.

Otra condición que perturba el funcionamiento correcto de los filtros de escurrimiento, es la existencia de la mosca de los filtros, la mosca psychoda. Estas moscas son tan pequeñas que pueden pasar a través de las mallas que se usan en las ventanas siendo muy molestas para el personal de la planta y para los vecinos cercanos.

Las larvas de las moscas se desarrollan en lugares húmedos, pero no demasiado, por lo que es más común encontrarlas en filtros de gasto normal dosificados intermitentemente que en filtros de gran gasto dosificados continuamente.

La presencia de estas moscas se debe a que es uno de los organismos biológicos naturales que se alimentan de los lodos y de la película que se forma en los filtros, ayudando en el proceso de descomposición de la materia orgánica, pero una cantidad excesiva de este insecto indica que la vida biológica del filtro no está en equilibrio, debido probablemente a una sobrecarga orgánica.

El control de las moscas se logra de dos maneras, una es la inundación de los filtros, llenándolas con aguas negras, y permitiéndoles reposar durante 24 horas o más, destruyendo el anegamiento las larvas, una variante de este método es el secar el filtro, de modo que quede en condiciones desfavorables para el desarrollo de la mosca.

La otra manera de combatir la mosca *psychoda* es mediante el uso de insecticidas, como el DDT, el clordano, el Lindano, el hexacloruro de benceno y otros. El uso de estos insecticidas en las distintas etapas de la vida de la mosca, tales como huevecillo, larva y adulto provoca que la mosca desarrolle una resistencia en contra de ellos, con lo que empieza a disminuir su eficacia, con lo que se recomienda emplear algunos insecticidas en rotación, pero este tratamiento es caro y se requiere un cuidado extremo porque una dosificación demasiado fuerte puede exterminar toda la vida biológica que es necesaria y deseable en el filtro. La dosis requerida normalmente es de 1 a 2 mg/lt, de acuerdo con el flujo diario de aguas negras aplicandose durante un período de 2 horas más o menos.

### Lagunas de Oxidación.

Un método para el tratamiento de aguas negras es el de Lagunas de oxidación, que consiste en el almacenamiento de los desperdicios en una laguna artificial.

Es de importancia fundamental en las lagunas de oxidación la relación entre las bacterias aerobias y las algas. La demanda bioquímica de oxígeno de las primeras es satisfecha mediante el consumo del oxígeno disuelto proveniente de la atmósfera convirtiendo las bacterias a la materia orgánica propia de descomposición en productos más estables como lo es el bióxido de carbono. Las algas utilizan estos productos para su consumo produciendo un exceso de oxígeno (fotosíntesis) el cual a su vez es utilizado por las bacterias para cerrar el ciclo biológico.

Este tipo de tratamiento se usa generalmente en pequeñas ciudades en las que se disponga de grandes extensiones de terreno para su localización y sin necesitar practicamente mano de obra especializada.

Las cargas que actúan en las lagunas de oxidación están expresadas en lb de DBO por acre de laguna y en número de personas por acre. La experiencia indica que las lagunas de oxidación operan satisfactoriamente con cargas de 300 personas por acre o 40 a 50 lb de DBO por acre de superficie. Estos datos no indican que las lagunas utilizaron pretratamiento mediante sedimentación, pero de cualquier manera se recomienda este pretratamiento para evitar la formación de bancos de lodos cerca de la toma de entrada

con la correspondiente descomposición anaeróbia.

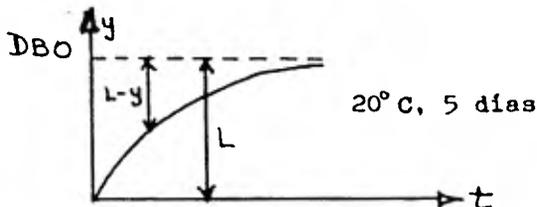
Las lagunas de oxidación deben estar localizadas cuando menos a 1/2 milla de las residencias, y de ser posible en el lado de so ta ven to, recomendándose rodearlas con cerco de 5 a 6 pies de al to y diseñando las orillas de tal forma que se puedan limpiar - fácilmente ya que en esas partes crece una gran cantidad de yerba.

Una laguna podría ser suficiente para poblaciones pequeñas, para ciudades mayores puede ser necesario tener dos o más lagunas conectadas en serie o en paralelo. Si se tuvieran conectadas varias lagunas en serie, se recomienda recircular el efluente de la última a la entrada de la primera para tener unas aguas negras más frescas y revitalizar las condiciones aerobias.

En la página 12 de esta Tesis se vió que:

$$\frac{d y}{d t} = k (L - y)$$

$$y = L(1 - e^{-kt})$$



Por otro lado, Vann Hoff Arrhenius, en base a pruebas en el laboratorio encontró que la relación de los valores de k con la temperatura son:

$$\frac{k_2}{k_1} = e^{\frac{E}{R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)}$$

en donde E — energía de activación

R — constante universal de los gases

T — temperaturas

además encontró que cuando las temperaturas se encontraban en los rangos  $4^{\circ} \leq T < 35^{\circ} \text{C}$ , el valor

$$e^{\frac{E}{R} \frac{1}{T_1 T_2}} = \text{cte} = \theta \begin{cases} 1.047 \\ 1.080 \end{cases}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \theta^{(T_2 - T_1)}$$

Una de las teorías que más aceptación tiene en el diseño de lagunas de oxidación es la de Lloyna.

Este investigador hizo sus trabajos de laboratorio con una temperatura constante de 35°C y encontró que:

$$\frac{d c}{d t} = -k c \quad c = c_0 e^{-kt}$$

$$\frac{d y}{d t} = k (L - y)$$

Además concluyó que para una eficiencia constante de 80%, los tiempos de reacción varían con la temperatura en la misma relación que los valores de k

$$\frac{t_2}{t_1} = \theta^{(T_2 - T_1)}$$

siendo  $t_2$  y  $t_1$  también tiempos de retención para eliminar el 80% de la materia orgánica.

Lloyna encontró además en el laboratorio que la cantidad de materia transformada por unidad de gasto, con índice  $T_1$  era:

$$C_{T1} = C_0 - C_0 e^{-k T_1 t_{T1}}$$

$$C_{T2} = C_0 - C_0 e^{-k T_2 t_{T2}}$$

en donde t ————— tiempo

T ————— temperatura

igualando  $C_{T_1}$  y  $C_{T_2}$

$$C_0 - C_0 e^{-k_{T_1} t_{T_1}} = C_0 - C_0 e^{-k_{T_2} t_{T_2}}$$

$$e^{-k_{T_1} t_{T_1}} = e^{-k_{T_2} t_{T_2}}$$

$$k_{T_1} t_{T_1} = k_{T_2} t_{T_2}$$

$$t_{T_2} = \frac{k_{T_1} t_{T_1}}{k_{T_2}}$$

$$\frac{k_2}{k_1} = \theta^{T_2 - T_1}$$

$$t_{T_2} = \frac{k_{T_1} t_{T_1}}{k_{T_1} \theta^{T_2 - T_1}}$$

$$t_{T_2} = \frac{t_{T_1}}{\theta^{T_2 - T_1}}$$

$$t_{T_2} = t_{T_1} \theta^{T_1 - T_2}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$\frac{V}{Q} = t_{T_1} \theta^{T_1 - T_2}$$

$$V = t_{T_1} Q \theta^{T_1 - T_2}$$

en donde  $T_1 = 35^\circ\text{C}$

$t_{T_1} = 3.5$  días

$\theta = 1.072$

Sustituyendo estos valores

$$V = 3.5 Q 1.072^{(35-T_2)}$$

En Estados Unidos se experimentó para una DBO media de 200 mg/l, con lo que para cualquier valor Y de la DBO, la fórmula anterior queda como:

$$V = 3.5 Q 1.072^{(35-T_2)} \frac{Y}{200}$$

Se tiene además que

$N_p$  ————— Número de habitantes

$q$  ————— aportación (l/hab/día)

$Q$  —————  $N_p q \times 10^{-3}$  (gasto en  $m^3$ /día)

$$\therefore V = 3.5 N_p q \times 10^{-3} \times 1.072^{(35-T_2)} \frac{Y}{2 \times 10^2}$$

$$V = 3.5 N_p q \times 10^{-5} \times 1.072^{(35-T_2)} Y$$

Ejemplo:

Laguna facultativa

$h = 2.00$  de profundidad

$N_p = 15,000$  hab.

$q = 144$  lts/hab/día (aportación)

$$Q = \frac{0.144 \times 15,000}{86400} = 0.025 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = 2160 \text{ m}^3/\text{día}$$

$T_2 = 15^\circ \text{C}$  temperatura del agua en invierno

$Y = 100 \text{ mg/lts DBO}$  de las aguas negras en laboratorio

$$V = 3.5 K_p q \times 10^{-5} \times 1.072^{(35-15)} \times 100$$

$$V = 30,368.09 \text{ m}^3$$

si  $h = 2\text{m}$

$$\text{Area} = \frac{30,368.09}{2} = 15,184.05 \text{ m}^2$$

$$\text{Area} = 1.52 \text{ Has.}$$

Otras de las teorías usadas en lagunas de oxidación es la de - -  
Marais-Shaw, en la que se establece que:

$$P = \frac{P_0}{1 + k_t R}$$

siendo  $P_0 = \text{DBO}$  de las aguas negras influentes

$P = \text{DBO}$  de las aguas negras efluentes

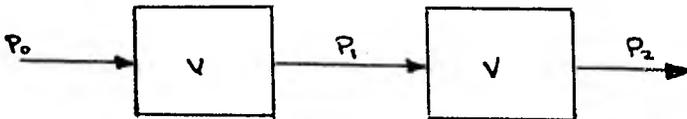
$$R = \frac{V}{Q} = \text{tiempo de retención}$$

con lo que la eficiencia queda expresada por

$$\eta = \frac{P_0 - P}{P_0}$$

Aplicando la teoría de Marais-Shaw en el problema anterior se tendría lo siguiente.

Si se utilizaran dos lagunas con el mismo volumen, con la misma eficiencia y conectadas en serie



$$P_2 = \frac{P_1}{1+k_t R} \quad \text{--- 1)}$$

$$P_1 = \frac{P_0}{1+k_t R} \quad \text{--- 2)}$$

sustituyendo 2) en 1) :

$$P_2 = \frac{P_0}{(1+k_t R)^2}$$

por otro lado se tiene que:

$$P = \frac{P_0}{1+k_t R} \quad R = \frac{V}{Q} = \frac{30,368.09}{2,160} = 14.06 \text{ días}$$

$$P_0 = 100 \text{ mg/lit} \quad K_{15} = 0.24$$

$$P = \frac{100}{1+0.24 \times 14.06} = 22.9 \text{ mg/lit}$$

$$\text{eficiencia } \eta = \frac{100-22.9}{100}$$

$$\eta = 77.1\%$$

en igualdad de eficiencia se tendría

$$P_2 = \frac{P_a}{(1+k_t R)^2} \quad R = \frac{V}{Q}$$

$$22.9 = \frac{100}{(1+0.24 \frac{V}{2160})^2}$$

$$22.9 = \frac{100}{(1+0.00011V)^2}$$

$$22.9 = \frac{100}{1+0.00022V + 1.2 \times 10^{-8} V^2}$$

$$22.9(1 + 2.2 V \times 10^{-4} + 1.2 \times 10^{-8} V^2) = 100$$

$$22.9 + 50.38 \times 10^{-4} V + 27.48 \times 10^{-8} V^2 - 100 = 0$$

$$27.48 \times 10^{-8} V^2 + 50.38 \times 10^{-4} V - 77.1 = 0$$

$$V = 9,927 \text{ m}^3$$

con  $h = 2$

$$\text{Area} = \frac{9,927}{2} = 4,963 \text{ m}^2$$

Area = 0.5 Ha

En lugar de tener una laguna de 1.5 has., se pueden tener dos lagunas de 0.5 has. c/u.

### Teoría sobre algunos métodos de tratamiento.

Las dos teorías más importantes en el tratamiento de aguas negras son la "NRC" (National Research Council) y la de "Rapidez de crecimiento de la masa biológica" (Monod).

Las dos teorías coinciden al afirmar que la eficiencia depende de la oportunidad de contacto y de la relación alimentos/microorganismos.

La oportunidad de contacto es auxiliada cuando hay una multiplicidad de áreas y cuando hay movimiento. Se tiene además que el alimento se estima mediante la DBO y los microorganismos se miden en SSV (Sólidos suspendidos volátiles.)

### Teoría de la rapidez de crecimiento de la masa biológica.

El tratamiento de aguas negras consiste en una sedimentación primaria y en un proceso biológico. A continuación se verá la relación de la eficiencia total a las eficiencias parciales.

$P$  = eficiencia total

$P_1$  = eficiencia de la sedimentación primaria

$P_2$  = eficiencia del proceso biológico.

### Procesos biológicos

1. lodos activados
2. filtros rociadores
3. Aireadores de contacto
4. lagunas de oxidación

De 1, 2 y 3, la eficiencia es controlable durante la operación.

A continuación se tienen los siguientes conceptos.

A = carga orgánica total aplicada al conjunto de los dos procesos.

$\eta_1$  = eficiencia del proceso primario en decimal

$A_1$  = fracción de A eliminada por el proceso primario

$A - A_1$  = fracción que queda en el efluente del proceso primario

" = carga que se aplica al proceso biológico (secundario)

$\eta_2$  = eficiencia del proceso secundario en decimal

$(A - \eta_1 A) \eta_2$  = fracción que elimina el proceso secundario

$$(A - \eta_1 A) - (A - \eta_1 A) \eta_2 = A - \eta_1 A - A \eta_2 + A \eta_1 \eta_2$$

la fracción eliminada por los dos procesos es:

$$A - (A - A \eta_1 - A \eta_2 + A \eta_1 \eta_2)$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 - \eta_1 \eta_2$$

multiplicando por 100

$$\underbrace{100 \eta}_P = \underbrace{100 \eta_1}_{P_1} + \underbrace{100 \eta_2}_{P_2} - \underbrace{100 \eta_1}_{P_1} \underbrace{\eta_2}_{P_2/100}$$

$$P = P_1 + P_2 - \frac{P_2}{100} P_1$$

$$P = P_1 + \frac{P_2}{100} (100 - P_1)$$

$$P_2 = \frac{100 (P - P_1)}{100 - P_1}$$

### Teoría NRC.

Esta teoría, en base a pruebas y ensayos llevados a cabo en el laboratorio indica que

$$P_2 = \frac{100}{1 + m i^n}$$

$m$  = coeficiente característico del proceso y del sistema de unidades.

$i$  = intensidad de la carga

$n$  = coeficiente característico del proceso y del sistema de unidades.

### Lodos activados

$$i = \frac{Y_0}{w t}$$

$Y_0$  = carga de DBO en kg/día aplicada al proceso

$w$  = miles de kg de SSV en el volumen  $V$  del tante de aireación.

$t$  = tiempo de retención del aireador  $t = \frac{V}{Q}$

$m = 0.03$

$n = 0.42$

$$P_2 = \frac{100}{1 + 0.03 \left(\frac{Y_0}{w t}\right)^{0.42}}$$

Hay que hacer notar que como la cantidad de microorganismos depende de la razón de recirculación (gasto del influente/gasto - recirculado), entonces la eficiencia depende de la razón de recirculación.

Filtros rociadores

$$i = \frac{Y_0}{VF}$$

V = volúmen del filtro en m<sup>3</sup>

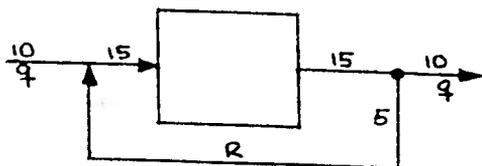
F = factor de recirculación

$$m = 0.443$$

$$n = 0.5$$

$$P_2 = \frac{100}{1 + 0.443 \left( \frac{Y_0}{VF} \right)^{0.5}}$$

Recirculación



$$\frac{q}{R} = \text{Razón de recirculación}$$

$$\frac{q}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ la razón de recirculación puede ser } > 1$$

$$q + R = \text{gasto grueso}$$

$$\frac{q + R}{q} = F \text{ (factor de recirculación)}$$

Aireadores de contacto o placas de contacto

Este sistema es muy parecido a los filtros rociadores, con la diferencia que se usan placas en lugar de piedra o grava

$$i = \frac{y_a}{A t}$$

$$m = 0.076$$

$$n = 0.746$$

$$P_2 = \frac{100}{1 + 0.076 \left(\frac{y_a}{A t}\right)^{0.746}}$$

Disposición de los lodos

Se ha visto en capítulos anteriores los distintos tipos de tratamiento para las aguas negras, con lo que ahora se describirá los diferentes métodos que existen para la disposición de los lodos, a saber, filtros de vacío, lechos de secado, incineración y abonos.

La filtración al vacío consiste en un tambor sobre el cual descansa el medio filtrante formado por una tela de algodón, lana, nylon, fibra de vidrio o de plástico, o una malla de acero inoxidable, o también una doble capa de limaduras de acero inoxidable. El tambor va montado en un tanque sobre su eje horizontal y sumergido aproximadamente una cuarta parte en el lodo acondicionado. Las válvulas y la tubería están dispuestas de manera que, a medida que el tambor gira lentamente aplicando el vacío en el interior del medio. - - -

filtrante, va extrayendo el agua de los lodos y manteniendo el lodo adherido a él. Se continúa la aplicación del vacío hasta que el tambor gira fuera del lodo hasta llegar a la atmósfera. Esto hace que el agua salga del lodo, dejando una capa o torta húmeda sobre la superficie exterior, la cual es raspada, soplada o levantada del tambor, justamente antes de que vuelva a entrar nuevamente en el tanque de lodo.

Al filtrar lodos crudos, los lodos y sólidos de aguas negras frescas se filtran más fácilmente que los lodos sépticos o rancios. Usualmente se filtran más fácilmente los lodos, para que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70%.

Los lechos secadores consisten en dos capas. La superior, de arena limpia, de 15 a 23 cm. de profundidad, y la inferior, de grava de tamaño regular de 30 cm. de profundidad. Bajo la capa de grava van unos colectores de tejas de junta abierta, que deben de tener cuando menos, 15 cm. de grava sobre ellos y separados 6 M. como máximo. La tubería que descarga los lodos al lecho debe de tener una altura cuando menos de 30 cm. sobre la superficie de arena.

Sobre el lecho deben colocarse placas distribuidoras y protectoras de concreto, en los puntos en los que se descarguen los lodos. Los lechos pueden ser cubiertos o descubiertos, siendo más comunes los primeros.

La superficie de los lechos secadores varía desde 1 hasta 2 pies cuadrados per cápita para lechos descubiertos, y desde 0.75 hasta 1.5 pies cuadrados per cápita para lechos cubiertos.

El secado de los lodos sobre los lechos es el resultado de la combinación de dos factores: drenaje y evaporación. Al aplicarse los lodos, el desprendimiento de los gases ocluidos y disueltos tiende a hacer que floten los sólidos, quedando abajo una capa de licor que escurre o se drena hacia abajo a través de la arena. Se puede aumentar el desprendimiento de gases agregando alumbre.

Durante las primeras 12 a 18 horas se presenta el escurrimiento más importante, después, el secado se debe principalmente a la evaporación del agua. A medida que los lodos se van secando, se van enjutando y se agrietan en la superficie, pero al irse profundizando las grietas, permiten que haya evaporación en las capas inferiores.

Cuando los lodos sean incinerados deben ser secados por calentamiento hasta un punto en el que puedan encenderse y quemarse. Existen dos tipos principales, los instantáneos y los de hogar múltiple.

Para los incineradores instantáneos, previamente la torta de lodo mezclada con lodos secados, pasa a un molino de martillos donde las partículas de lodo se secan casi instantaneamente a medida que se dispersan y se mantienen en suspensión en una corriente de gases calientes. Las partículas de lodo así obtenidas, pasan a un separador donde el lodo seco es separado de los gases cargados de humedad. Este es un material ligero que se introduce al hogar para ser incinerado.

El calor de combustión se aprovecha para los secadores.

El horno de hogar múltiple se considera como un secador y como un incinerador, ya que cumple con las dos funciones. Este horno consiste en un cilindro vertical forrado con ladrillo o con cualquier otro material que resista altas temperaturas, en el cual hay cuatro o mas hogares uno encima del otro. Normalmente los lodos parcialmente deshidratados alimentan el hogar superior, en donde son secados parcialmente para bajar al horno inmediato inferior, y así sucesivamente mediante cepillos rotatorios o rastroillos mecánicos, hasta que alcanzan tal grado de sequedad que entran en ignición y se consumen.

El lodo de las aguas negras contiene muchos elementos que son vitales para la vida vegetal, como son el nitrógeno, el fósforo, el potasio, y algunos nutrientes menores como el boro, el calcio, el cobre, el hierro, el magnesio, el manganeso, el azufre y el cinc. El humus del lodo es un gran acondicionador del suelo ya que le aumenta su capacidad de retención de agua, además de suministrar alimento a los vegetales.

No todos los suelos tienen las mismas necesidades de fertilizantes, por otro lado, los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas se dividen en dos grupos, los que provienen del agua y del aire, y los que se encuentran en el suelo o deben agregarse a intervalos determinados. En el primer grupo se encuentran el hidrógeno, el oxígeno y el carbono, y en el segundo están el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Los principales elementos fertilizantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, y la - - -

cantidad que se requiere de cada uno depende del suelo, de las condiciones climatológicas y del tipo de cultivo.

Se consideran buenos fertilizantes a los lodos de las aguas ne gras, secos o deshidratados aunque haya necesidad de que sean reforzados con nitrógeno, fósforo y potasio. Los mejores son -- los lodos activados crudos secados por calentamiento, tanto -- desde el punto de vista químico como higiénico, aunque despre dan olores al usarlos. Los lodos digeridos secados por calentamiento contienen mucho menos nitrógeno y se utilizan más comúnmente como acondicionadores de suelo.

BIBLIOGRAFIA.-

1. Fair, Geyer y Okun. Purificación de aguas y tratamiento y re moción de aguas residuales. Limusa.
2. E.C. Crocker Flavor. Mc Graw-Hill, Nueva York, 1945.
3. Real Academia Española. Diccionario de la lengua Española. - Espasa-Calpe, S.A.
4. Apuntes de la clase de sistemas de Alcantarillado.. Ing. Francisco Montejano. F.I., UNAM.
5. W.A. Hardenbergh y Eduard B. Rodie. Ingeniería Sanitaria. C E C S A .
6. Manual de tratamiento de aguas negras. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York.
7. Ernest W. Steel. Water supply and sewerage. Mc Graw-Hill Kogakusha.
8. Standar Methods for the examination of water and wastewater. APHA, AWWA, WPCF, 1971.