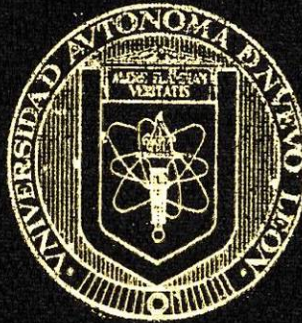


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE AGRONOMIA



CONTAMINACION DEL AGUA Y  
METODOS CORRECTIVOS

SEMINARIO (OPCION 11-A)  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA  
PRESENTA

JOSE RAUL MARTINEZ ROCHA

MARIN, N. L.

MAYO DE 1987

TD420

M3

C.1

T  
TD420  
M3  
C.1



1080062182

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



CONTAMINACION DEL AGUA Y  
METODOS CORRECTIVOS

SEMINARIO (OPCION 11-A)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

PRESENTA

JOSE RAUL MARTINEZ ROCHA

MARIN, N. E.

MAYO DE 1987

07558

T  
TD 420  
M3

040.628  
FA1  
1987  
C.5



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad



BURSA Rendel Files  
UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

*[Handwritten signature]*

CONTAMINACION DEL AGUA Y METODOS CORRECTIVOS

SEMINARIO

( OPCION 11 - A )

SOMETIDO AL COMITE DE TESIS COMO  
REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA

FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE  
NUEVO LEON PERMISO PARA SU PUBLICACION,  
REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL  
DEBE SER OBTENIDO EN  
DICHA UNIVERSIDAD

APROBADA

---

ASESOR PRINCIPAL

---

ASESOR TECNICO

---

ASESOR TECNICO

A mis Padres:

MARTINIANO MARTINEZ RODRIGUEZ

ROSA MA. ROCHA AYALA (+)

Como recompensa a su gran sacrificio el  
poder darme una carrera profesional.

A mis hermanos:

GUILLERMO

ARMANDO

ELISA

MARTIN

ROSALIO

GLORIA ELENA

Con mucho cariño

A mi abuelita:

SRA. MA. RODRIGUEZ VDA. DE MARTINEZ

Por el amor que siempre nos ha teni  
do a toda mi familia.

Al Sr:

FRANCISCO CRUZ RANGEL por  
sus consejos que siempre me inculcó  
para seguir adelante.

A mi Asesor:

PH. D. RIGOBERTO E. VAZQUEZ  
ALVARADO. Por el apoyo que  
siempre me brindo al reali-  
zar este trabajo.



## I N D I C E

LISTA DE TABLAS	-----	IX
LISTA DE FIGURAS	-----	X
RESUMEN	-----	1
INTRODUCCION	-----	3
REVISION DE LITERATURA	-----	6
I.	CONTAMINACION DEL AGUA	----- 6
I.1	LAS AGUAS SUPERFICIALES	----- 6
I.2	LAS AGUAS SUBTERRANEAS	----- 10
I.3	CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL AGUA	----- 11
I.4	PROCEDENCIA DE LAS AGUAS CONTAMINADAS	----- 12
I.5	CLASIFICACION DE CONTAMINANTES DEL AGUA DE ACUERDO A SU DEGRADACION	----- 13
I.5.1	CONTAMINANTES DEGRADABLES	----- 13
I.5.2	CONTAMINANTES NO DEGRADABLES	----- 13
I.5.3	CONTAMINANTES PERSISTENTES	----- 14
I.6	CARACTERISTICAS DE CONTAMINANTES DEL AGUA	----- 14

I.6.1	CONTAMINACION ORGANICA -----	14
I.6.2	AGENTES PATOGENOS -----	17
I.6.3	LOS NUTRIENTES -----	
I.6.4	COMPUESTOS ORGANICOS SINTETICOS -----	18
I.6.5	SUSTANCIAS QUIMICAS INORGANICAS Y SUSTANCIAS MINERALES---	20
I.6.5.1	ACIDEZ -----	20
I.6.5.2	SALINIDAD -----	21
I.6.5.3	TOXIXIDAD -----	21
I.6.6	SEDIMENTOS -----	23
I.6.7	EL CALOR -----	23
I.6.8	EL PETROLEO -----	23
I.6.9	MATERIALES RADIOACTIVOS -----	24
I.6.9.1	TIPOS DE RADIACION -----	25
I.7	DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO -----	25
II.	TRATAMIENTO DEL AGUA -----	28
II.1	PROCESO DE TRATAMIENTO PREELIMINAR -----	28
II.1.1	REJAS Y CRIBAS DE BARRAS -----	28

II.1.2	DESMENUZADORES -----	29
II.1.3	DESARENADORES -----	29
II.1.4	TANQUES DE PREAREACION -----	29
II.2	TRATAMIENTO PRIMARIO -----	30
II.2.1	TANQUES SEPTICOS -----	30
II.2.2	TANQUES DE SEDIMENTACION SIMPLE -----	31
II.2.2.1	TANQUES RECTANGULARES-----	32
II.2.2.2	TANQUES CIRCULARES -----	32
II.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO-----	34
II.3.1	FILTROS GOTEADORES O ROCIADORES -----	35
II.3.1.1	CARGA DEL FILTRO -----	39
II.3.1.1.1	DE GESTO NORMAL -----	39
II.3.1.1.2	DE GRAN GESTO -----	39
II.3.1.1.2.1	BIOFILTRO -----	40
II.3.1.1.2.2	FILTRO " ACCELO " -----	41
II.3.1.1.2.3	AEROFILTRO -----	42
II.3.2	TANQUES PARA LA SEDIMENTACION SECUNDARIA -----	44

II.3.3	LODOS ACTIVADOS -----	45
II.3.3.1	AEREACION Y AGITACION DEL LICOR MEZCLADO -----	46
II.3.3.2	RECIRCULACION DE LODOS -----	48
II.3.3.3	AEREACION ESCALONADA -----	52
II.3.3.4	AEREACION MODIFICADA -----	53
II.3.4	FILTROS DE ARENA INTERMITENTE -----	54
II.3.5	ESTANQUES DE ESTABILIZACION -----	57
II.4	PROCESOS DE TRATAMIENTO TERCARIO O AVANZADO -----	58
II.4.1	FILTRO DE CARBON ACTIVADO -----	58
II.4.2	FILTRO DE ARENA -----	58
II.4.3	PRECIPITACION QUIMICA -----	59
II.5	CLORACION -----	61
	CONCLUSIONES -----	64
	BIBLIOGRAFIA -----	66

LISTA DE TABLAS

	Pag.
1.- PRODUCCION DE COMPUESTOS ORGANICOS SINTETICOS-( 7 )-----	19
2.- PROCEDENCIA Y EFECTOS SOBRE LA SALUD DE ALGUNOS METALES PESADOS.-(6) -----	22
3.- SUBPRODUCTOS DE LOS PORCESOS DE DESCOMPOSICION DE LA - MATERIA ORGANICA EN LAS AGUAS NEGRAS. (4)------	35
4.- DATOS COMPARATIVOS Y CARACTERISTICAS DE FILTROS GOTEADORES DE GRAN GASTO Y DE GASTO NORMAL. (16) -----	44
5.- DATOS DE ESTACIONES DEPURADORAS DE ESTADOS UNIDOS.-(15)-----	51
6.- VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUBSTANCIAS TOXICAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES.-(24)-----	60
7.- CLORO RESIDUAL PARA DESINFECCION.-(16)-----	62

## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
1.- ZONIFICACION DE LOS LAGOS -----	8
2.- EVOLUCION DE LA TEMPERATURA Y EL OXIGENO DE LOS LAGOS (7) -----	9
3.- INTERRELACION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS (8) ----	10
4.- MOLECULA DE AGUA (7) -----	11
5.- SOLUBILIDAD DEL OXIGENO A DIVERSAS TEMPERATURAS Y ALTITUDES-(25)	15
6.- ESCALA PH Y VALORES DE ALGUNAS SOLUCIONES CONOCIDAS (27) -----	20
7.- FILTRO GOTEADOR (11) -----	38
8.- BIOFILTRO (11) -----	41
9.- FILTRO "ACCELO" (4) -----	41
10.- AEROFILTRO (4) -----	42

Pag.

11.- PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS (11) -----	50
12.- AEREACION ESCALONADA (16)-----	52
13.- AEREACION MODIFICADA (4) -----	53
14.- SECCION DE UN FILTRO DE ARENA (7) -----	55
15.- ESQUEMA DE UNA DEPURADORA URBANA (7)- -----	63

## R E S U M E N

El agua en su estado natural nunca es 100% pura, a medida que cae la lluvia recoge impurezas de la atmósfera y al contacto con las actividades -- del hombre aumenta la contaminación en varias formas, muchas de las cua-- les afectan la utilización que podemos hacer de ella.

Se entenderá por contaminación hídrica, la presencia en el agua de cual--- quier agente extraño, físico, químico ó biológico que tienda a disminuir su calidad en grado tal que lo convierta en un peligro ó en una molestia para su uso por el hombre, la fauna, la flora ó menoscabe su utilidad pre-- sente ó futura.

De acuerdo a su degradación los residuos nocivos descargados en las vías de agua se pueden clasificar en contaminantes degradables, no degradables y persistentes. Los contaminantes degradables son residuos orgánicos que pueden alimentar bacterias y otros microorganismos, los residuos domésticos son los desechos orgánicos más conocidos. Dentro de los contaminan-- tes no degradables se encuentran sustancias inorgánicas como la sal co-- mún y sales de numerosos metales pesados, que no sufren ningún cambio - - después de penetrar en alguna corriente; los contaminantes persistentes - - se denominan de ésta manera por que los seres vivos de las corrientes - - acuaticas no pueden atacar en forma efectiva, sus complejas cadenas molé-- culares. Los detergentes y plaguicidas son los más imtes.

Las posibles formas de contaminación que puedan encontrarse en un agua son las siguientes : Contaminación orgánica, agentes patógenos, los nu-- trientes, compuestos orgánicos sintéticos, sustancias químicas inorgáni-- cas y sustancias minerales, sedimentos, el calor, el petróleo y la - -



radiactividad. Se han ideado distintos procesos de depuración del agua, en éste trabajo se presentan los más utilizados en las depuradoras municipales como son : El pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. En el pretratamiento se remueven desechos que impedirían la actuación de procesos y mecanismos mayores, utilizando cribas, rejillas, desmenuzadores, etc.. El tratamiento primario está diseñado para retirar de las aguas negras, los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación. El tratamiento secundario elimina materia orgánica biodegradable, mediante diferentes procesos, y el tratamiento terciario está destinado a la supresión de substancias que quedarán después de un tratamiento secundario, utilizando métodos distintos de los cuales la más importante es la utilización de carbón activado.

El término del tratamiento del agua puede concluir con una cloración, donde el objetivo principal que se persigue es la eliminación de bacterias patógenas.

## I N T R O D U C C I O N

Para satisfacer sus necesidades vitales, el hombre ha utilizado durante toda su existencia los medios que la ha proporcionado su entorno natural, ha desarrollado distintas técnicas para su alimentación, para vestirse y alojarse que han iniciado cada vez con mayor intensidad sobre el medio ambiente (27 ).

Los primeros pobladores se dedicaron a la recolecta de frutos y más tarde a la caza, viviendo en tal armonía con la naturaleza. Como los demás animales formaban parte de los ecosistemas terrestres de los que constituyen, un elemento más con la aparición del cultivo durante el período neolítico, el hombre fue protagonista del primer gran cambio revolucionario. Taló árboles y quemó bosques a fin de ampliar la superficie de tierra utilizable para el desarrollo de sus actividades; domesticó los animales y se organizó socialmente. Como consecuencia de ello formó los poblados, el cambio fue tan importante que muchos autores lo apellidaron La Revolución del Neolítico, a pesar de que la transformación no se produjera de manera inmediata, sin embargo el asentamiento del hombre modificó muy poco el medio. En la actualidad el suelo ha quedado descubierto sin la protección natural, ni tampoco la protección humana que le proporcionara el campesino por medio de las técnicas de cultivo adecuadas. (9).

La revolución industrial modificó igualmente el modo de producción y de organización social, las consecuencias fueron graves, por lo que respecta a las relaciones entre el hombre y la naturaleza, las nuevas técnicas permitieron una actuación a la vez más intensiva y extensiva, --

Llegando a explotarse muchos recursos naturales, el crecimiento constante de la población durante los últimos siglos, incrementó la densidad de población concentrando a un gran número de habitantes en espacios reducidos. Todos éstos factores sumados al desarrollo industrial traen como consecuencia un aumento espectacular en el consumo de energía y materiales, y a la vez aparece un problema nuevo que dificultó más, si cabe la posibilidad de establecer un equilibrio entre el hombre y la naturaleza :

La contaminación.- La contaminación representó inicialmente un ataque a la salud humana, incidente sobre todo en la clase trabajadora que vivía en pésimas condiciones cerca de los núcleos de producción, pero poco a poco los efectos se extendieron a gran parte de la población. En la actualidad los efectos derivados de los distintos tipos de contaminación constituyen un gran peligro para los recursos naturales y para el mismo hombre; alteran los ecosistemas y son factor principal de muchos problemas más. ( 7 )

No se puede menospreciar el fenómeno de la contaminación considerándolo solamente como un efecto inevitable del crecimiento a una consecuencia inmediata del progreso técnico, el ambiente humano creado por el industrialismo nunca ha sido envidiable pero cabe reconocer que muchos países han luchado por mejorar la calidad de vida y embellecer su entorno. En nues país la necesidad por una parte de conseguir un desarrollo rápido con la única finalidad de aumentar la renta per-capita de la población, y por otra la situación no democrática que impedía a los poderes públicos hacer suyas las aspiraciones populares, menospreciaron los valores ambientales. (13)

Podemos entender ahora que los problemas de la contaminación, -

son tan viejos como la misma actualidad del hombre sobre la tierra, pero que en las últimas décadas se han acentuado fenómenos como crecimiento de la población, la migración del campo a la ciudad, la urbanización y la -- industrialización, y se han provocado desequilibrios ecológicos que constituyen verdaderos desafíos para la humanidad y un reto para que el hom-- bre ponga en juego sus mejores recursos morales e intelectuales y logre -- imponerse a un medio ambiente que se deteriora gradualmente y se vuelve -- más agresivo. ( 29 )

### O B J E T I V O

El objetivo principal del presente trabajo tiene como finalidad realizar una búsqueda en el material bibliográfico de las formas posibles en que pueden presentarse los contaminantes en el agua, posteriormente -- en una segunda parte presentar los tratamientos más comunmente usados para su eliminación, principalmente de los contaminantes de aguas negras.

## REVISION DE LITERATURA

### 1.- Contaminación del Agua.-

La vida empezó en el agua, alrededor de la cual giran la estructura de la materia viva y la propia vida. En el medio físico el agua es de tanta importancia como en el medio biológico : Como vapor, el agua absorbe las radiaciones caloríficas emitidas por la tierra, manteniendo una temperatura que hace posible la vida y el equilibrio de la humedad de los continentes. Como líquido, el agua erosiona y modela la superficie de la tierra, transporta y concentra minerales y modera su clima. Como sólido crea nuevo suelo al helarse el agua infiltrada en las rocas, pulverizándolas por efecto de la expansión. (20)

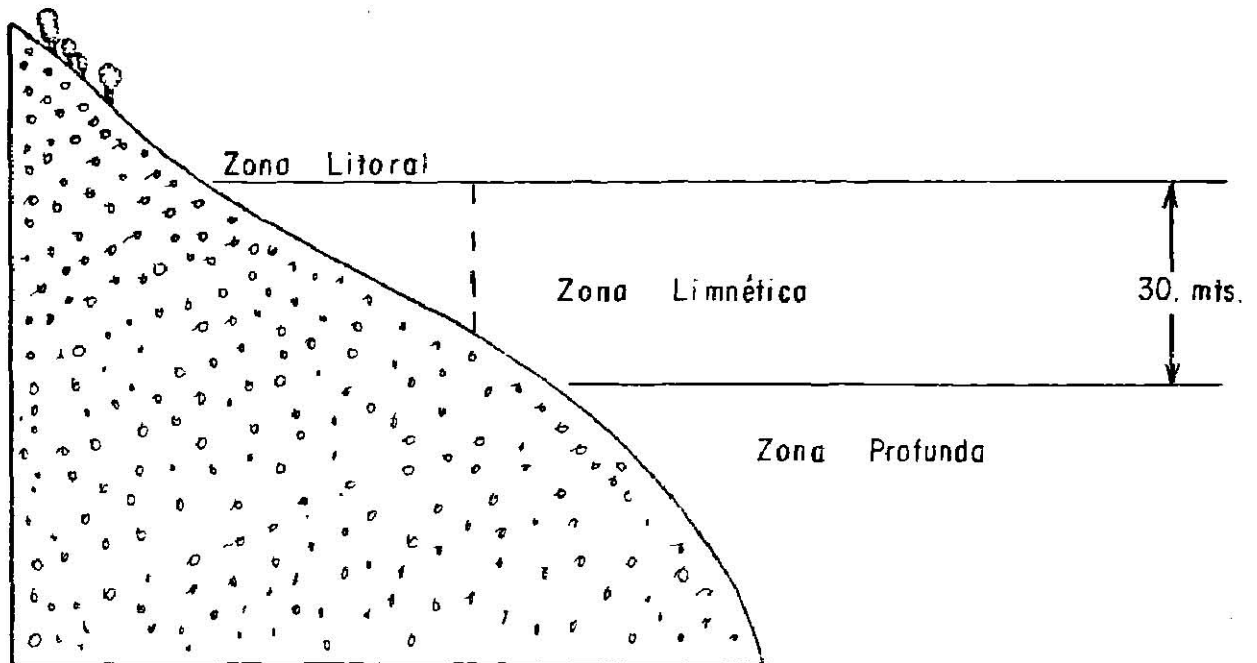
#### I.1 Las aguas superficiales

En la superficie el agua escurre por riachuelos y ríos, formando lagos cuando atravieza cavidades impermeables. El hombre aprovecha las condiciones favorables para constituir barreras y formar embalses que utilizará para sus fines. El río es un ecosistema abierto que se diferencia de los sistemas cerrados, como lagos y bosques, en que los principales elementos que lo componen se mueven continuamente, construyendo un flujo de materia de no cíclico. En los ríos viven plantas, animales y microorganismos que les proporcionan una vida activa, los microorganismos descomponen la materia orgánica que la naturaleza aporta constantemente, los fenómenos físicos también son de gran importancia : La turbulencia, los saltos de agua proporcionan a los ríos gran parte del oxígeno disuelto --

to, necesario para mantener la vida. A lo largo de su recorrido se produce una sedimentación constante de las partículas y materiales en suspensión. Los fenómenos señalados contribuyen no poco a eliminar las sustancias extrañas, éste proceso recibe el nombre de autodepuración. ( 13 )

Como en todo ecosistema los componentes (algas y peces..) los componentes no biológicos y las características físico-químicas del río se relacionan de tal forma que cualquier cambio notable en ello puede determinar un cambio en el sistema de vida de dicho medio. ( 14 )

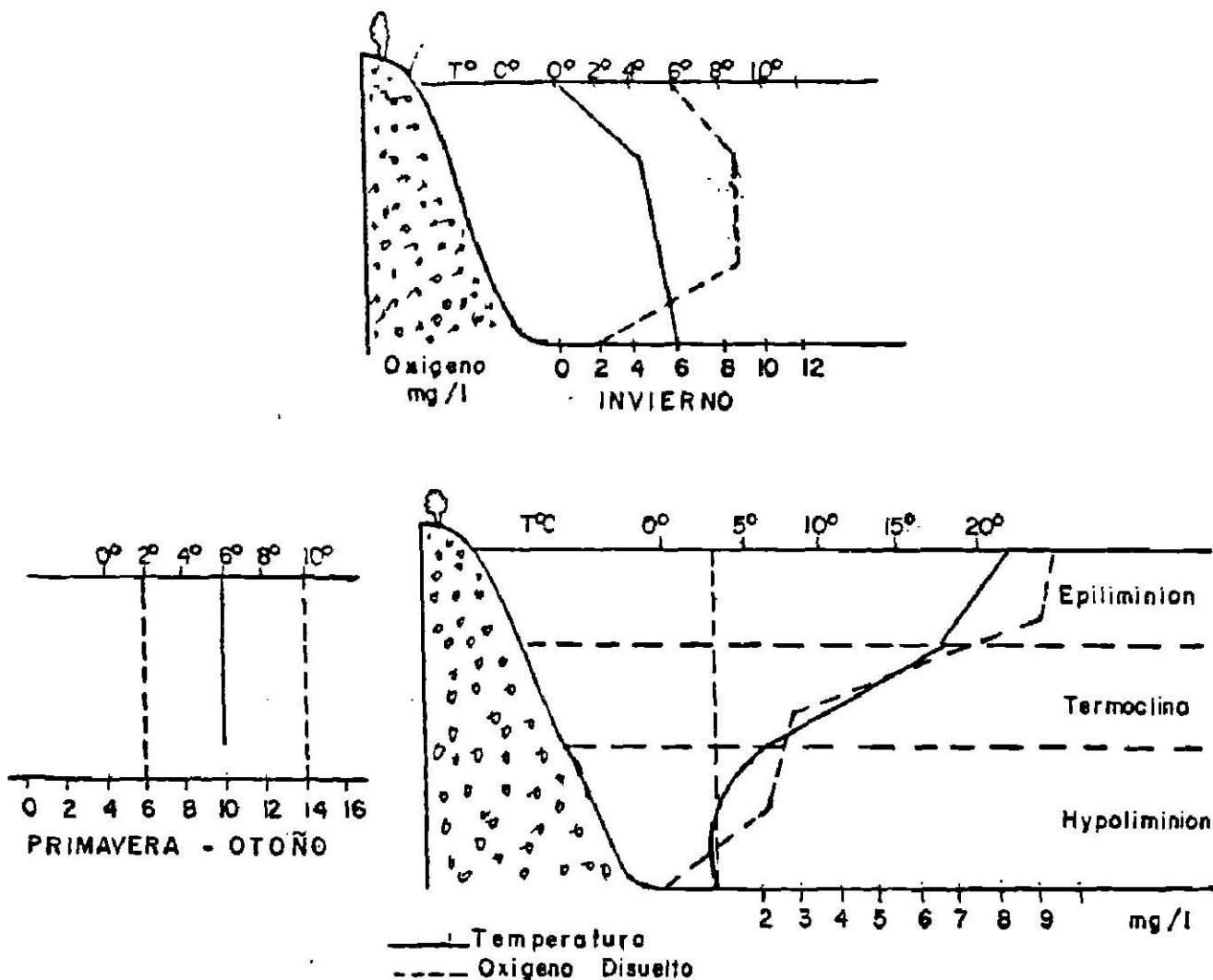
Un lago es un sistema cerrado donde la materia sigue un proceso ciclico a pesar de existir un flujo interior cuya importancia varía según los lagos, existe una zonificación vertical es decir las características del lago varían en función de su profundidad. En un río se produce una zonificación horizontal puesto que los cambios en las características se producen en el transcurso del recorrido. En un lago se diferencian tres zonas.- La zona Litoral situada cerca de las orillas, tiene poca profundidad y se caracteriza por contener plantas con raíces, siendo la zona que goza de mayor biomasa.- La zona Limnetica es la que recibe luz solar (hasta 20 metros), el oxígeno que consumen los animales se compensa con el producido por las algas minúsculas en suspensión (fitoplancton). La zona Profunda es aquella donde no alcanza luz solar, no existe, pues actividad fotosintética solo vive bacterias y hongos que descomponen (mineralizan) la materia orgánica que cae al fondo. La temperatura se mantiene alrededor de los 4 grados centígrados; las 3 zonas pueden observarse en la figura siguiente : ( 20 )



**Fig Nº 1 Zonificación de los Lagos**  
( 7 )

En un lago se produce una estratificación térmica del agua que influye en la capacidad de difusión del sistema, este proceso variable según las estaciones del año, evolucionan en la forma siguiente.- la temperatura aumenta hasta llegar a los 4 grados, en primavera la temperatura se uniformiza y gracias a la turbulencia creada por el viento se origina una mezcla de capas, en verano la superficie se calienta considerablemente y el lago se estratifica en 3 partes muy diferenciadas, la parte más superficial llamada EPILIMINION, se caracteriza por su elevada temperatura que varía poco en profundidad (menos de un grado por metro), la segunda capa el TERMOCLINA, constituye una barrera que impide la mezcla de aguas entre las capas superiores e inferiores, en otoño tiene otra homogenización de la temperatura y las aguas se mezclan de nuevo, presenta un importante cambio de temperatura (más de un grado por metro); En la tercera el HYPOLIMINION, el agua permanece homogéneamente a 4 grados.

En invierno debido a la poca actividad de los organismos vivos y a la mayor capacidad del agua fría para disolver el oxígeno, no aparecen -- problemas graves; pero en verano al aumentar la actividad de los organismos y disminuir la capacidad para disolver oxígeno, la estratificación -- del agua puede provocar un agotamiento del oxígeno disuelto en las capas frías ( eutrofización ), la figura siguiente nos representa la evolución de temperatura y oxígeno en los lagos. (7)



Fuente. La Contaminación Hoy  
 Eusebi Casanalles (7)

VERANO

Fig. N° 2 Evolución de la temperatura y el oxígeno en los lagos



## I.2 Las Aguas Subterráneas.-

Parte del agua se filtra bajo tierra, inmediatamente después de la superficie en una zona donde la porosidad retiene el agua y el aire -- (zona de aereación), la cantidad de agua absorbida depende del tipo de -- suelo, cuando la capacidad de retención del suelo esta saturada el agua -- sigue infiltrándose por debajo hasta llegar a una zona impermeable donde se va acumulando (zona de saturación). La interrelación del agua subterránea con la superficie es de gran importancia, los ríos llenan los acuíferos siendo gran parte de los ríos de origen subterráneo, los acuíferos -- segun las condiciones geológicas pueden acumular grandes cantidades de -- agua, formando verdaderos embalses subterráneos. El agua subterránea es buena para beber por que su recorrido experimenta una filtración. ( 8 )

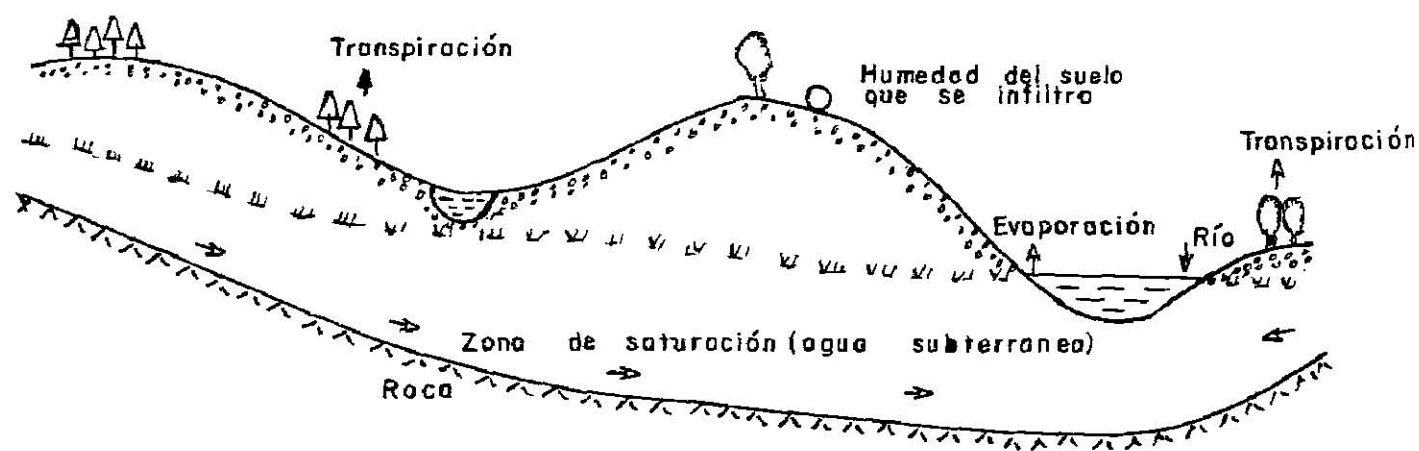
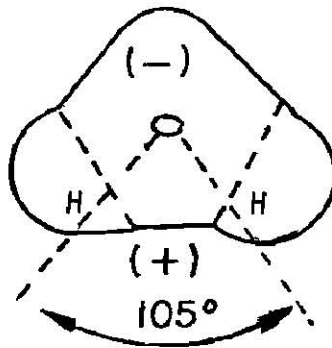


Fig. 3.- Interrelación de las aguas superficiales y subterráneas

Fuente: Hidrología Subterránea  
Emilio Custodio (8)

### 1.3 Características principales del agua.-

Las moléculas de agua están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno como se muestra en la figura # 4, es característica principal su gran polaridad que permite disolver otros compuestos polares, -- dado su gran número de substancias polares existentes es casi imposible -- encontrar agua pura ya que siempre contiene algún elemento extraño ( 7 )



Fig, 4. Molécula de agua

Fuente: La Contaminación Hoy,

Eusebi Casanellas. Ed. Teide.- Barcelona (7)

La calidad del agua se define según un conjunto de parámetros -- que en términos generales se pueden calificar en :

- Parámetros físicos
- Parámetros químicos
- Parámetros biológicos

Los parámetros físicos incluyen : Los sólidos totales en suspensión que se definen como la materia residual que queda al evaporar el -- agua a una temperatura de 103/105 °C, la temperatura, el color, el olor, etc.


Los parámetros químicos son la materia orgánica desintegrable o no

La materia inorgánica y los gases disueltos.

Los parámetros biológicos se componen de los microorganismos que --  
viven en el agua.

#### I.4 Procedencia de las aguas contaminadas.-

Según su procedencia las aguas residuales se dividen en agrícolas, domésticas, pluviales e industriales.

Las aguas residuales agrícolas e industriales son el resultado de -  
la irrigación y de otros usos agrícolas como las actividades de limpieza  
ganadera, que pueden aportar el agua grandes cantidades de estiércol y --  
orines, estas últimas afectan sensiblemente a algunos ríos de Cataluña, -  
región que concentra gran parte de la cría e industria porcina en España.  
El sobrante de las aguas de irrigación llega a los ríos o a las aguas - -  
subterráneas conteniendo sales, abonos, pesticidas y residuos de substan-  
cias químicas. Las aguas domésticas son las que provienen de las vivien-  
das contienen excrementos humanos, basuras, papeles, productos de limpie-  
za, jabones y detergentes; físicamente presentan un color gris y diversi-  
dad de materias flotantes, químicamente poseen los complejos compuestos -  
de nitrógeno de los excrementos humanos y del fósforo de los detergentes;   
biológicamente contienen gran cantidad de microorganismos algunos de los  
cuales pueden transmitir diversas enfermedades. Al llover el agua arras-  
tra toda la suciedad que se encuentra en su paso, estas son las aguas - -  
pluviales esta agua es en general más turbia que la que se deriva del con  
sumo doméstico. En las aguas industriales su contenido depende de los --  
tipos de industria y del proceso usado, los productos químicos vertidos -  
pueden ser muy diversos, los residuos orgánicos de algunas industrias por

ejemplo las de papel pueden ser iguales o más importantes que las de una comunidad media de habitantes. ( 27 )

## I.5 Clasificación de contaminantes del agua de acuerdo a su degradación

Uno de los modos de considerar los residuos nocivos descargados en las vías de agua sería dividiéndolos en 3 categorías : Contaminantes degradable, no degradable y persistentes.

I.5.1 Los contaminantes degradable son residuos orgánicos que pueden ~~alimentar~~ bacterias y otros microorganismos, los residuos domésticos son los más importantes pero en la combinación final, tanto la industria como la agricultura producen cantidades mayores de desperdicios, una vez entrados en el agua los residuos orgánicos comienzan a desdoblarse en sus partes componentes por acción de las bacterias utilizando el oxígeno disuelto en el agua. La principal medición cuantitativa de los desechos orgánicos se expresan en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), posteriormente se discutirá con más detalle. ( 17 )

I.5.2 Los contaminantes no degradable.- A estos no los atacan los seres vivos acuáticos y tampoco sufren mayor cambio después de penetrar en alguna corriente de agua, ésta no se purifica de ellos; dentro de ésta categoría se encuentran sustancias inorgánicas tales como la sal común y sales de numerosos ~~metales pesados~~, cuando estas sustancias están presentes en cantidades bastantes grandes dan por resultado toxicidad, dureza y gusto desagradable.

I.5.3 Los contaminantes persistentes.- Estos no pueden incluirse en las categorías de degradables ó no degradables, el mejor ejemplo de estos es el de los compuestos químicos, orgánicos y sintéticos como algunos plaguicidas y sustancias afines, estas sustancias se denominan persistentes -- por que los seres vivos de las corrientes de agua no pueden atacar en forma efectiva, sus complejas cadenas moleculares; los detergentes y los plaguicidas son los más importantes en esta clasificación. ( 16 )

A continuación se presenta una explicación más detallada de cada una de las sustancias contaminantes incluyendo sus características.

#### I.6 Características de contaminantes del agua.

1.6.1 Contaminación orgánica.- Son aquellos residuos que tienen un requerimiento de oxígeno, el oxígeno disuelto es una necesidad fundamental -- para la vida de las poblaciones animales y vegetales en cualquier extensión del agua; para una biota de agua templada, diversificada las concentraciones de oxígeno disuelto (OD) deben ser al menos de 5 mg/l (5 ppm), para una biota de agua fría son de desear concentraciones de (OD) saturadas o proximas a la saturación. El nivel mínimo no debe ser inferior a las (6 ppm), la cantidad de oxígeno disuelto varía con la temperatura del agua y la altitud; el valor al nivel del mar y a 20°C es de (9.1 ppm) a la misma temperatura decrece hasta (8.2 ppm a 900 m.) y a (7.4 ppm a 1800 m) esto se muestra en la siguiente gráfica.

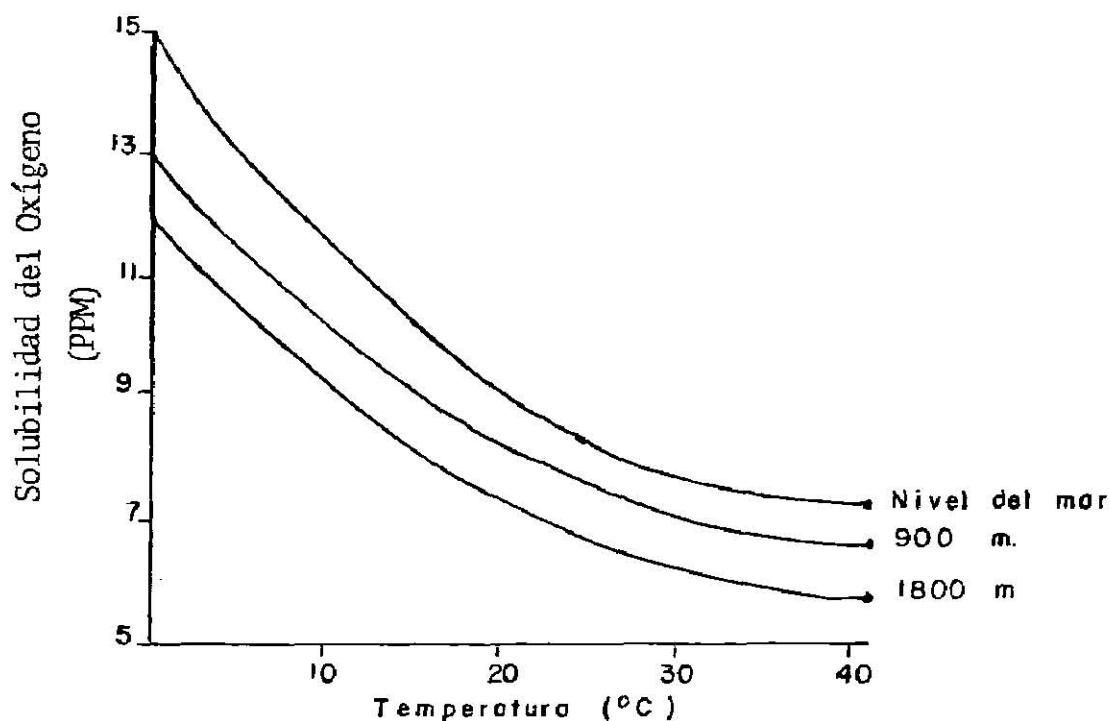


Fig. 5.- Solubilidad del oxígeno a diversas temperaturas y altitudes

Fuente. Química ambiental: Contaminación del aire y del agua  
 Stocker. H. y Seager, S. L. ( 25 )

Estos son compuestos que se degradan fácilmente debido a la actividad bacteriana en presencia de oxígeno. El oxígeno disponible es consumido por la actividad bacteriana, por lo que la presencia de tales materiales lleva con rapidez el agotamiento del O<sub>2</sub>. ( 25 )

La contaminación orgánica es la más importante en magnitud, los principales productos que la componen son papeles, excrementos, efluentes de mataderos y plantas empacadoras de carne; la mayoría de los compuestos implicados en éste tipo de contaminación contienen carbono como elemento principal. Una reacción que sufren con la ayuda bacteriana es la oxidación del carbono hasta CO<sub>2</sub>.



En ésta reacción se precisan 32 gms. de oxígeno para oxidar 12 de carbono, se necesita entonces 3 veces el peso en oxígeno para que tenga lugar la reacción. La medición de la materia orgánica existente en el agua se lleva a cabo de un indicador llamado demanda bioquímica de oxígeno (DBO), en una muestra de agua la (DBO) indica la cantidad de oxígeno disuelto que se gasta durante la oxidación de los residuos orgánicos, la cantidad de oxígeno consumida (DBO) se establece mediante la determinación química de la concentración de (OD) en el agua, antes y después de la incubación; una (DBO) de (1 ppm) es característico del agua casi pura, se conceptua como no muy pura con una (DBO) de (3 ppm) y de una pureza dudosa cuando se llega a las (5 ppm) la (DBO) se mide incubando una muestra de agua determinada durante 5 días a una temperatura de 20°C, el resultado se expresa en mg/lto. de oxígeno disuelto. Las pruebas de (DBO) proporcionan una estimación razonablemente realista de la calidad del agua, por lo que al oxígeno respecta, no obstante presentan el inconveniente de necesitar tiempo, son incómodas de realizar y proporcionar aproximadamente las 3/4 partes de la (DBO) total. (.5)

Uno de los métodos más modernos que pueden reemplazar o usarse conjuntamente con la prueba de la (DBO) es la demanda química de oxígeno (DQO). En ésta prueba las bacterias oxidantes de la (DBO) son sustituidas por un poderoso agente oxidante, como una solución de dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) en ácido sulfúrico; la oxidación tiene lugar con mucha rapidez y la prueba finaliza generalmente en menos de 3 horas, se mide la cantidad de dicromato empleado en el transcurso de la oxidación, las condiciones oxidantes más severas de la determinación de la (DQO) hacen que normalmente se obtengan resultados superiores a los de las pruebas de --

(DBO) efectuadas en las mismas muestras. ( 7 )

### I.6.2 Agentes patógenos.-

El agua es un agente potencialmente portador de microorganismos -- patógenos que pueden poner en peligro la salud y la vida, han sido causa de los graves epidemias que se han producido a lo largo de la historia de la humanidad. La preevención de enfermedades transportadas por el agua - constituyó la razón primaria del control de su contaminación, los micro-- organismos patógenos presentan un porcentaje pequeño con el número total de los que existen en el agua, algunos microorganismos que se hallan en - gran cantidad y no son patógenos, sirven para establecer una relación es-- tadística que permite estimar si los hay patógenos y en que cantidad; re-- ciben el nombre de indicadores, los más conocidos son las bacterias coli-- formes que viven en el intestino grueso y absorben nutrientes del medio - que las circunda; se dice que una persona evacua diariamente una cantidad que oscila entre 1,000.000 y 400,000. del numero total de coliformes - - hallados en el agua se deduce el número probable de organismos patógenos existentes.

Una ausencia de bacterias coliformes implica que no hay descargas fecales recientes en el agua, por lo que es de suponerse que no halla agentes patógenos. Las bacterias responsables de la descomposición de - los constituyentes orgánicos no son patógenos, no tienen importancia des-- de el punto de vista sanitario ni de salud pública. ( 14 )

### I.6.3 Los nutrientes.-

Los nutrientes son un importante factor limitante del crecimiento



en todas las plantas, se debe que las plantas verdes precisan de quince a veinte para crecer incluídas aquellas que viven en ambiente acuático. Entre los nutrientes necesarios estan el carbón, nitrógeno, potasio, fosforo, azufre y numerosos metales; las fuentes humanas más importantes de nutrientes son los abonos utilizados en el campo que por coladura van a parar a ríos y los detergentes utilizados en la limpieza de los hogares. El enriquecimiento natural del agua con nutrientes se denomina a menudo eutrofización, el término eutrófico significa bien nutrido en sentido estricto la eutrofización no se considera como contaminación del agua, ya que tiene lugar de manera natural y es parte necesaria porque si no la vida acuática no podría perdurar, pero se convierte en cuestión de importancia ambiental al acelerar los procesos de crecimiento acuático. Un exceso de nutrientes en el agua provoca el crecimiento de algas que al morir y descomponerse forman un exceso de materia orgánica sobre la que actúan los microorganismos, los cuales debido a la respiración pueden agotar el oxígeno disuelto. ( 20 ).

#### I. 6. 4. Compuestos orgánicos sintéticos.-

La industria considerada en su globalidad arroja una gran cantidad de productos, los compuestos incluídos en ésta categoría se usan como carburantes, plasticos, fibras, disolventes, detergentes, pinturas, pesticidas y productos farmaceuticos; de estos los pesticidas y los detergentes están considerados con mayor importancia en los Estados Unidos, la producción de las sustancias químicas se ha multiplicado por casi catorce veces, desde la terminación de la segunda guerra mundial; ésto puede verse en la tabla siguiente:

TABLA No. 1 Producción de compuestos orgánicos sintéticos-

A Ñ O	PRODUCCION ( Billones de Kgs. )
1943	4.5
1953	11
1963	27
1967	46
1968	51
1969	57
1970	62

FUENTE.- La contaminación hoy.

Eusebi Casanelles. Ed. Teide-Barcelona. ( 7 )

El problema de los pesticidas estriba en que casi todos son persistentes (no biodegradables), pudiendo una misma molécula presentar multi--ples efectos a lo largo de un tiempo. Al cabo de aproximadamente 40 años de estar presentes en la agricultura se ha podido observar que casi todos los seres vivos presentan en su cuerpo moléculas de dichos productos. Los efectos de los elementos persistentes en general aumentan a medida - que tienen lugar a lo largo de las cadenas alimenticias, una cadena alimentacia empieza cuando un animal come una planta y a su vez este es utilizado por otro como alimento, el problema de los elementos persistentes con--siste en que a medida que la cadena alimenticia evoluciona aumenta tam--bién su concentración en el cuerpo de los animales, por dicho motivo los animales situados en la escala superior de las cadenas como el hombre son los más perjudicados, por lo que respecta a los detergentes su mayor im--portancia se centra en que la mayoría de los compuestos fosfatados que al vertirse sobre las corrientes traen como consecuencia un aumento en la eutrofización, disminuyendo con esto la cantidad de oxígeno disuelto en - el agua. ( 25 )

### 1.6.5 Sustancias químicas inorgánicas y sustancias minerales

Esta categoría de contaminantes del agua comprende sales inorgánicas, ácidos minerales y metales o compuestos metálicos finamente divididos. La presencia de tales contaminantes en el agua ocasiona 3 efectos generales : puede aumentar la acidez, la salinidad y la toxicidad.

1.6.5.1 Acidez.- Las fuentes más importantes del aumento de la acidez en las aguas naturales son los drenajes de las minas y la lluvia ácida, ésta última se ha reconocido solo recientemente; los contaminantes presentes en las aguas de minas son el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) y los compuestos de hierro. En la actualidad se realizan grandes esfuerzos ya sea para impedir la formación de drenajes ácidos en las minas, o para la eliminación de contaminantes mediante tratamientos químicos, antes de liberar la descarga en las aguas naturales. ( 6 )

En la figura siguiente se observan valores de acidez de algunas soluciones conocidas.

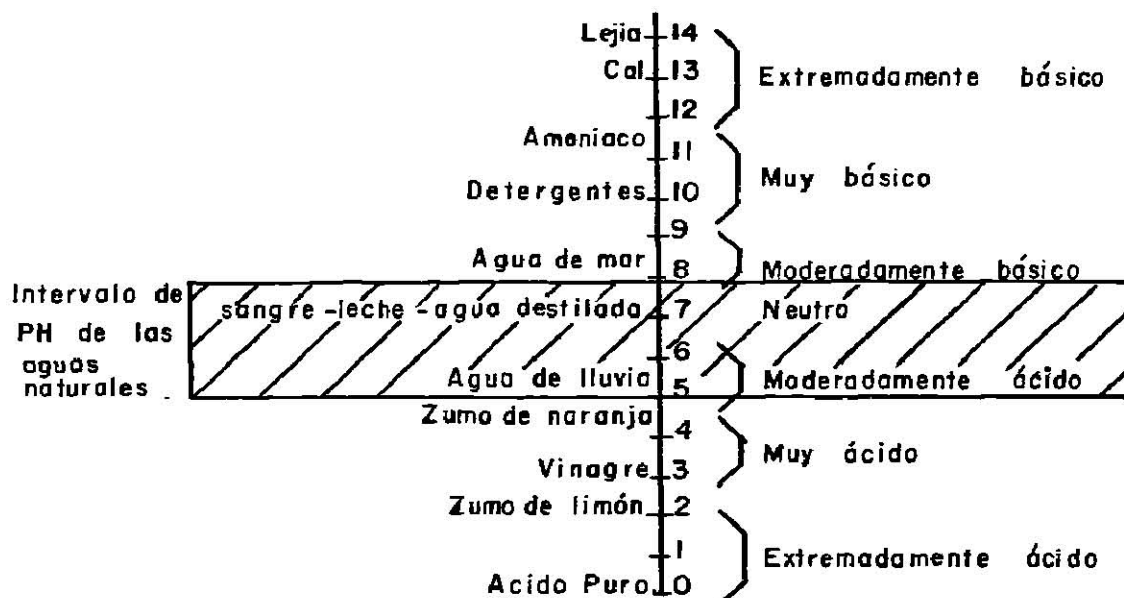


Fig. N°6 Escala PH y valores de algunas soluciones conocidas  
Fuente: Deterioro ambiental, sus causas y efectos  
Carlos Vázquez Y. ( 27 )

I.6.5.2 Salinidad.- Es frecuente observar salinidad en el agua, aproximadamente el 97% de toda el agua del mundo se encuentra en mares y océanos en forma de agua salada. Es del dominio público que ésta agua no es apropiada para el consumo humano, el 3% restante está calificada como -- agua dulce pero puede adquirir salinidad y de hecho así ocurre; las fuentes de salinidad son diversas dentro de estas tenemos los efluentes industriales que contienen sales inorgánicas, los regadíos donde el agua de -- riego disuelve grandes cantidades de minerales que percolan a travez del suelo, la utilización de sal en carreteras para fundir los hielos y la -- nieve invernales, niveles elevados de salinidad en el agua causan problemas suplementarios al de hacerla inadecuada para beber. Las substancias inorgánicas y minerales disueltos ejercen efectos directos sobre la vida acuática, vegetal y animal, provocando problemas de irrigación en la -- agricultura. ( 25 )

I.6.5.3 Toxicidad.- Desde hace años se conocen las propiedades toxicas -- de numerosos compuestos orgánicos, principalmente los de algunos metales pesados, algunos de éstos compuestos presentan propiedades deseables, -- por lo que son fabricados en forma rutinaria. El uso de éstos compuestos ha conducido a la introducción en el ambiente en forma directa ó indirecta, la detección de éstos elementos metálicos en el aire y el agua, en -- concentraciones que se aproximan a niveles tóxicos ha suscitado honda -- preocupación. Los compuestos de éste tipo que son más tóxicos, presisten -- y abundantes en el ambiente parecen ser los de mercurio (Hg) plomo -- (Pb), cadmio (Cd), Cromo (Cr) y níquel (Ni), se sabe que éstos metales -- se aumentan en el cuerpo de los organismos, permanecen largo tiempo en -- ellos y se comportan como venenos acumulativos. ( 16 )

La toxicidad de los metales pesados se puede observar en el cuadro siguiente :

CUADRO No. 2

Procedencia y efectos sobre la salud de algunos metales pesados.

ELEMENTO	F U E N T E	EFFECTOS SOBRE SALUD
Mercurio	Carbón: bacterias eléctricas.	Efectos sobre los riñones y el sistema nervioso; puede causar la muerte.
Plomo	Humo de los automóviles y pinturas.	Daños en el cerebro, hígado y riñones; combulciones enajenaciones mental; muerte.
Cadmio	Carbón: minas de zinc, humo de tabaco, combustión de plásticos	Aumenta la presión de la sangre, enfermedades cardiovasculares; interfieren en el metabolismo del zinc y el cobre.
Niquel	Gasoil; carbón, humo de tabaco, catalizadores y alineación no férreas.	Cáncer de pulmón.
Arsénico	Carbón, petróleo, detergente, insecticidas y actividad mineras.	Peligrosidad eventual, puede causar cáncer.
Germanio	Carbón.	Baja toxicidad.
Vanadio	Petróleo, catalizadores, acero y alineaciones no férreas.	Probablemente no comporta peligros a niveles bajos.
Antimonio	Industria	Acorta la vida de las ratas.

FUENTE : La protección del medio ambiente.  
Emil T. Chanlett. ( 6 )

#### I.6.6 Sedimentos.-

La contaminación por sedimentos se originan al producirse un movimiento de tierras cerca del sistema acuático, ó cuando debido a una acción natural o del hombre, el suelo queda sin protección y más tarde es erosionado por la lluvia, la limpieza de los sedimentos es una operación fácil que no presenta graves problemas. ( 29 )

#### I.6.7. El calor.-

Este no es considerado como un contaminante por muchas personas - al menos no en el mismo sentido de un producto corrosivo, no obstante la adición de calor en exceso a una masa de agua provoca efectos adversos - tan numerosos como muchos de los contaminantes químicos. Este problema procede originariamente de la practica de usar el agua como refrigerante en muchos procesos industriales, el principal peligro del aumento de temperatura del agua consiste en la automática disminución del oxígeno disuelto. ( 22 )

#### I.6.8 El petróleo.-

El petróleo crudo es una mezcla completa que contiene cientos de compuestos diferentes, la mayor parte de los cuales son hidrocarburos (compuestos que solo tienen carbono e hidrógeno). También se hallan presentes pequeñas cantidades de otros elementos como nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales (trazas), los efectos de contaminación por petróleo son los siguientes :

- Reducción de la transmisión de luz donde la fotosíntesis en la vida vegetal marina puede verse estorbada por prolongados períodos dependiendo de las condiciones.

- Dismutación del oxígeno disuelto, hay mediciones que han demostrado un nivel de OD en el agua significativamente inferior bajo una mancha de petróleo. Los efectos finales todavía no han sido determinados.
- Causa daños a las aves acuáticas al quedar cubiertas de petróleo.
- Asfixia las algas y líquenes, han sido destruidos debido a coberturas asfixiantes de petróleo que han llegado a ciertas áreas. ( 20)

#### I.6.9 Materiales radiactivos.

Algunos elementos (radionuclidos) contienen núcleos altamente inestables que se desintegran (descomponen) para formar partículas menores, - al tiempo que emiten radiación de elevada energía, la radiación resultante en estos procesos de desintegración radiactiva puede ser muy nociva -- incluso letal para los organismos vivos, los efectos reales sobre la salud resultan de una exposición a la radiación dependen de varios factores, que incluyen el tipo, la energía y la intensidad de la radiación emitida, así como de la medida en que el radionuclido responsable es absorbido por el organismo vivo. La mayor parte de la preocupación ambiental está relacionada con los residuos que proceden directa o indirectamente del uso del usuario, un elemento radiactivo que se encuentra normalmente en la naturaleza y cuya vida media es de millones de años. Las principales actividades en los que está implicado el usuario que son fuentes en potencia de - contaminantes radioactivos, son la minería y elaboración de minas para -- producir sustancias radiactivas, uso de materiales radiactivos en el armamento nuclear y empleo de materiales radiactivos en centrales energéticas nucleares. ( 7 )

### I.6.9.1 Tipos de radiación.-

De los diferentes tipos de radiaciones que se producen los más importantes son :

- Radiación  $\alpha$ . Se compone de dos neutrones y dos protones que viajan a un 10% de la velocidad de la luz, son poco penetrantes y no atraviesan la piel, sin embargo constituyen un peligro cuando se inhalan o ingieren por que afectan a los tejidos internos.
- Radiación  $\beta$ . Está constituida por un electrón que se desprende del núcleo, viaja al 90% de la velocidad de la luz y resulta muy destructiva, penetra un cm. ó más en la piel.
- Radiación  $\gamma$ . Es una radiación electromagnética idéntica a la de los rayos X., es muy penetrante atraviesa el cuerpo humano, hay además otros tipos de radiaciones entre los que cabe destacar la neutrónica que constituye la base de la bomba que lleva su nombre.

De los noventa elementos que existen en estado natural se conocen unos 300 isótopos, algunos de ellos son radiactivos es decir inestables, y sufren transformaciones nucleares para alcanzar un estado estable. Los radioisótopos son los que producen la mayor parte de la radiación natural. ( 25 )

### I.7 La demanda bioquímica de oxígeno (DBO).-

La cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas negras o desechos, es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se determina mediante una prueba de laboratorio. ( 9 )



Demanda de oxígeno.- Se entiende la cantidad de O<sub>2</sub> (mg/l) que consume el agua residual en un tiempo determinado, debe distinguirse entre:

- Demanda química (o inmediata de oxígeno) que es la cantidad consumida por diversos compuestos sin intervención de microorganismos, se produce en el cauce de evacuación inmediatamente después de la entrada del agua residual.

- (DBO) que es la cantidad de oxígeno necesario para que las bacterias y protozoos descompongan por oxidación, las sustancias orgánicas del agua. ( 11 )

En un agua residual que contenga aire, la materia orgánica sufre una degradación en dos etapas. En primer lugar se produce la descomposición de los compuestos de carbono (para una temperatura de 20°C concluye al cabo de unos 20 días), a los 10 días y a los 20°C comienza la descomposición de los compuestos nitrogenados que dura 60 días más, por lo general basta con prestar atención a la primera etapa que es susceptible de cálculo.

Durante el primer día y a 20°C se gasta un 20.6% del total de la (DBO); durante el segundo día se gasta un 20.6% de la cantidad restante y así sucesivamente. El porcentaje de descomposición depende de la temperatura del agua residual según Imhoff, 1962 se puede aceptar los siguientes valores :

Temperatura en grados centígrados....	5,	10;	15,	20,	25	y	30
Fracc. diaria descompuesta . . . . .	10.9	13.5	16.7	20.6	25.2	30.5	ex-
presada en ( % ).							

Cuando mayor sea la temperatura del agua más rápidamente tiene lugar la descomposición. ( 21 )

Para una temperatura de 20°C se suele contar con la (DBO) de los 5 primeros días después de la entrada del agua residual (DBO<sub>5</sub>).

A continuación se cita los valores aproximados que se forman en los casos siguientes.

- 1.- Para agua residual doméstica sin depurar DBO<sub>5</sub> es igual a 54 g/hab./día es decir que el agua residual diaria de cada habitante necesita su descomposición a lo largo de 5 días un total de 54 g de oxígeno, si se ha introducido en el cauce de evacuación sin depurar.
- 2.- Para agua residual doméstica depurada mecánicamente DBO<sub>5</sub> es igual a 35 g/hab./día.
- 3.- Para agua residual doméstica depurada mecánicamente y biológicamente DBO<sub>5</sub> es aproximadamente igual a 0 g/hab./día, es decir que la descomposición de la primera etapa se encuentra ya efectuada por la instalación depuradora. ( 3 )  
<sub>2</sub>

La DBO<sub>5</sub> se consume durante los 5 días en la proporción siguiente - 30% el primer día, 24% el segundo día, 19% el tercer día, 15% el cuarto día y el 12% el quinto día. ( 21 )

El agua residual depurada mecánica y biológicamente carece prácticamente de materia orgánica, sin embargo contiene muchas sustancias inorgánicas (procedentes de la desc. de la materia orgánica), que no llegan a influir sobre el consumo de oxígeno en el cauce de evacuación, pero -- que constituyen una buena sustancia de abono; con ello se favorece el -- crecimiento de plantas acuáticas por ejemplo, verdin en el cauce de evacuación llegando a obstruirlo, se procura paliar esta inconveniente por medio de segadoras subacuáticas. Los herbicidas químicos actualmente -

conocidos solo actúan sobre las partes de las plantas que sobresalen del agua. ( 11)

## II.- Tratamiento del agua.-

Cuando no es posible verter el agua residual debido a su grado de contaminación, no aceptable por el medio receptor, es preciso depurarla previamente, el tipo y grado de tratamiento a que debe someterse el agua dependen del tipo y grado de contaminación que contiene de la capacidad de difusión en el nuevo medio de la calidad de éste último, y por fin de la función que se dará al agua resultante existe gran cantidad de tratamientos para el agua residual en este seminario se presentaran los más comunes, utilizados en las depuradoras de las grandes ciudades. ( 7 )

### II.1 Procesos del tratamiento preeliminar.-

Bajo éste título de tratamiento previo indicamos aquellas medidas que por lo común se emplean para la remoción de aquellos desechos que -- impidieran la actuación de procesos y mecanismos mayores. Para lograr -- éste propósito se utiliza un equipo muy variado. ( 10 )

II.1.1 Rejas y cribas de barras están formadas por barras usualmente espaciadas desde 2 hasta 15 cm., generalmente tienen claros de 2.5 a 5 cm. -- aunque algunas veces se usan las rejas grandes en posición vertical, la -- regla general es que deben instalarse con un ángulo de 45 a 60° con la -- vertical. Los sólidos separados por estos utensilios se eliminan ente--- rrándolos ó incinerándolos. ( 11)

II.1.2 Desmenuzadores.- Los molinos, cortadores y trituradoras son dispositivos que sirven para cortar los sólidos hasta un tamaño tal que permitan que sean reintegrados a las aguas negras sin peligro de obstruir las bombas o las tuberías, o los sistemas de tratamientos posteriores, pueden disponerse aparte para triturar los sólidos que separan las cribas o pueden ser combinaciones de cribas y cortadoras que se instalen dentro del canal por donde fluyan las aguas negras, de manera que se logre su objetivo sin necesidad de separar los sólidos de las aguas negras. (21)

II.1.3 Desarenadores.- Las aguas negras contienen por lo general cantidades relativamente grandes de sólidos inorgánicos como arena, cenizas, grava, a lo que generalmente se les llama arena; ésta materia debe ser extraída de modo que no cause incomodidades tales como desgastes, obstrucciones, interrupciones y aun formaciones duras y compactas, para esto deben tomarse las debidas provisiones para su disposición, con este propósito se construyen los desarenadores los cuales constan de un estanque de sedimentación donde por control de la velocidad, la materia orgánica que es de menor gravedad específica, se sostiene en suspensión mientras la materia mineral por ser de mayor gravedad se deposita en el fondo (21)

II.1.4 Tanques de preareación.- A veces se procura una preparación de las aguas negras es decir una aereación antes del tratamiento primario para lograr lo siguiente :

- 1.- Obtener una mayor eliminación de sólidos suspendidos en los tanques de sedimentación.

- 2.- Ayudar a la eliminación de grasas y aceites que arrastran las aguas negras.
- 3.- Refrescar las aguas negras sépticas antes de llevar a cabo el tratamiento.
- 4.- Disminuir la (DBO). (11).

## II.2 Tratamiento primario.-

Los depósitos que se usan en el tratamiento primario están diseñados para retirar de las aguas negras los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, mediante el proceso físico de sedimentación, ésto se lleva a cabo reduciendo la velocidad del flujo. (23 )

Cuando las impurezas se separan de un flujo que las mantiene en suspensión solo mediante la acción de las fuerzas naturales (Ej. la gravedad) la operación recibe el nombre de "sedimentación simple", cuando se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar o favorecer la agregación y asentamiento de la materia finalmente dividida, sustancias coloidales y moléculas grandes, la operación se denomina "coagulación", cuando los productos químicos se agregan para separar de la solución las impurezas disueltas, la operación se describe como precipitación química. (15. )

II.2.1 Tanques sépticos.- El tanque séptico fue uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario que se usaron, está diseñado 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 vuelve a subsecuente sedimentarse, ésta continúa 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. Los tanques sépticos ya no se usan excepto en instalaciones muy pequeñas.

( 21 )

### II.2.2 Tanques de sedimentación simple.-

La sedimentación simple consiste en separar los sólidos sedimentables de las aguas negras, mediante el proceso de sedimentación los sólidos asentados se substraen continuamente o a intervalos frecuentes para no dar tiempo a que se desarrolle la descomposición con formación de gases los sólidos pueden irse acumulando por gravedad en una tolva o embudo o hacia un punto más bajo del fondo del tanque de donde se bombean o descargan con equipo mecánico, estos tanques que tienen mecánico para la recolección de los sólidos se conocen como tanque de sedimentación simple con limpieza mecánica. ( 16 )

Los tanques de sedimentación simple pueden ser rectangulares, circulares o cuadrados, operan por el mismo principio de recolectar los sólidos

dos sedimentados por medio de rastras de movimiento lento que los empujan hacia el sitio de descarga. ( 11 )

II.2.2.1 En los tanques rectangulares, las rastras se fijan cerca de las orillas a una cadena sin fin que pasa sobre engranes o ruedas dentadas, accionados por medio de motores, las rastras se hacen pasar lentamente rozando el fondo del tanque, empujando los sólidos sedimentados hacia una tolva de lodos localizada en el extremo de entrada del tanque, luego son levantados por la cadena hacia la superficie del tanque en donde parcialmente sumergida sirven para empujar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites a un recolector de natas situado en el extremo de la salida del tanque, otro tipo de mecanismo consiste en un puente viajero del mismo ancho del tanque del cual se suspende una paleta que empuja los sólidos hacia el punto de descarga, y otra paleta despumadora para los sólidos flotantes, las grasas y los aceites estas paletas trabajan solamente al moverse el puente en una dirección quedando sueltas cuando sales hacen regresar en dirección contraria. ( 16 )

II.2.2.2 Los tanques circulares tienen armaduras horizontales fijas a un eje central impulsado por un motor, el fondo de los tanques está inclinado hacia el centro y las rastras mueven a los sólidos sedimentados hacia la tolva ó embudo de lodos que hay en el centro. Las armaduras desnatadoras están sujetas a la flecha central en la superficie para recolectar los sólidos flotantes, las grasas y los aceites en los tanques cuadrados el mecanismo es similar al de los tanques circulares, la diferencia principal estriba en que una ó ambas armaduras rígidas están equipa-

das con paletas articuladas las cuales llegan hasta las cuatro esquinas del tanque y arrastran los sólidos de esas zonas hacia la trayectoria -- circular del mecanismo. ( 14 )

En los tanques rectangulares, las aguas negras estan por un -- extremo y fluyen horizontalmente hacia el otro extremo, en los tanques cir-- culares entran las aguas negras en el centro y fluyen radialmente en sen-- tido horizontal generalmente hacia la periferia; en los tanques cuadrados pueden entrar las aguas negras en el centro y fluir hacia los cuatro la-- dos ó entrar por un lado y atravesar el tanque. Con éste tratamiento -- deben eliminarse cerca del 90 a 95% de sólidos sedimentales o sea del 40 al 60% de los sólidos totales suspendidos de las aguas negras. La DBO -- debe disminuir de un 25 a 35 por ciento estas cifras son de caracter ge-- neral y no pueden aplicarse a casos especiales. ( 12 )

Las aguas negras cuyo contenido en sólidos sea alto pueden pre-- sentar un mayor porcentaje de eliminación por sedimentación que en otras -- siempre será mayor el contenido de sólidos suspendidos en el efluente del primer caso, debe esperarse un mayor porcentaje de eliminación en un tan-- que en el cual se traten aguas negras después de que se hayan vuelto ---- septicas ya han sido descompuestos por la acción bacteriana durante su -- larga travesía en el sistema de alcantarillado. ( 19 )

Para tener una mejor eficiencia en el tratamiento primario pue-- de aplicarse un pequeño tratamiento químico de tal manera que se vea au-- mentado el porcentaje de sedimentación, éste tratamiento consiste en agre-- gar uno ó más reactivos a las aguas negras para producir un floculo que -- es un compuesto químico insoluble que absorbe la materia coloidal envol--



viendo a los sólidos suspendidos no sedimentables y que se deposita suavemente la sustancia química que precipita también se disocia o ioniza en las aguas negras y neutraliza cargas eléctricas que tienen las partículas coloidales haciendo que se aglomeren y formen grumos fácilmente sedimentables. El sulfato férrico y el sulfato de aluminio son los de aplicación más fácil y más conveniente, además no son corrosivos cuando se utiliza sulfato férrico y cal tenemos  $Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4$ , el hidróxido de hierro que es insoluble es el agente coagulante. ( 4 )

### II.3 Trátamiento secundario.-

En muchos casos resulta adecuado para satisfacer los requerimientos de las aguas receptoras, el trátamiento primario con su eliminación de 40 a 60% de sólidos suspendidos y disminución de 25 a 35% aproximadamente de la DBO. así como la eliminación del material que flota en las aguas negras, sin embargo si un trátamiento primario completo no es suficiente existen dos métodos básicos de trátamiento secundario que pueden aplicarse y que son los filtros goteadores y los lados activados. Hay algunos otros métodos cuya aplicación es limitada, en estos tipos de trátamiento se emplean cultivos biológicos para llevar a cabo una descomposición aérobica u oxidación del material orgánico transformándolo en compuestos más estables, lográndose un mayor grado de trátamiento que el que se obtiene por solo una sedimentación primaria. ( 15 )

Los subproductos de la descomposición aérobica son estables e inofensivos, en cambio los de la descomposición anaérobica son en parte

inestables y en partes molestos y poco agradables. La descomposición anaérobica debe explotarse dentro de un sistema cerrado y se aplica más en el acondicionamiento de los lodos ó digamos en aquellos casos en que la materia orgánica es bastante concentrada además de ser de una naturaleza conveniente, por lo tanto el tratamiento secundario es casi invariablemente del tipo aérobico. Los subproductos inmediatos de los dos tipos de descomposición se muestran en la siguiente tabla ( 11).

Subproductos de los procesos de descomposición de la materia orgánica en las aguas negras.

Cuadro No. 3

PROCESO AEROBICO	PROCESOS ANAEROBICOS
CO <sub>2</sub> DIOXIDO CARBÓNICO	H <sub>2</sub> S HIDROGENO SULTRADO
NO <sub>2</sub> NITRITOS	CH <sub>4</sub> METANO
NO <sub>3</sub> NITRATOS	NH <sub>3</sub> AMONIACO
SO <sub>4</sub> SULFATOS	C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N INDOL
	C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N SCATOL
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> SH MERCAPTANO
	N <sub>6</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> CADAVERINU

Fuente : Tratamiento de aguas negras y desechos industriales.  
 GEORGE. E. BARNES. ( 4 )

Los dispositivos más aprovechables para el tratamiento secundario son los que a continuación se presentan.

### II.3.1 Filtros goteadores ó rociadores.-

El nombre correcto debería de ser "lechos de oxidación biológica" ya que no se efectua ninguna acción coladora, pero el tiempo y el uso

han popularizado el término de filtros goteadores y es el que generalmente se emplea para describir este tipo de unidad. ( 28 )

Los filtros goteadores son unidades resistentes que no se dañan fácilmente para cargas violentas, distinguiéndose por su estabilidad de su funcionamiento y por ser capaces de resistir malos tratos. Como todas las unidades de tipo biológico la temperatura les afecta por eso el clima frío abate la actividad biológica del filtro, estos filtros ocupan grandes superficies y su construcción es muy costosa. Para economía los filtros deben ser precedidos por tanques de sedimentación primaria equipados por colectores de patas, un tratamiento primario antes de estos filtros - permite aprovechar al máximo su capacidad haciendo fácilmente sedimentables a los sólidos no sedimentables, coloidales y disueltos. ( .4 )

Los sólidos orgánicos en su mayor parte no son separados de las aguas negras, sino que se convierten en parte integrante de los organismos vivos microscópicos ó de la materia orgánica estable que se adhiere temporalmente al medio filtrante, y de la materia orgánica que sale en el efluente, el material adherido o retenido se desprende eventualmente y es arrastrado por el efluente del filtro; por ésta razón los filtros goteadores deben proceder a tanques de sedimentación secundaria, para eliminar definitivamente los sólidos de las aguas negras. ( 3 )

Un filtro goteador típico consiste de 3 partes : Un lecho o medio filtrante, un sistema recolector, un mecanismo para distribuir uniformemente las aguas negras sobre la superficie del filtro.

El material filtrante depende generalmente del material que se disponga en la localidad o del costo del acarreo, se han usado para este

propósito las piedras del suelo, la grava, la piedra triturada, las escorias de los altos hornos y la antracita, también se han usado los bloques de madera de pino, así como material inerte moldeado en formas adecuadas cualquiera que sea el producto que se emplee usualmente se especifica que debe ser casi cubica, para impedir que se apelmace y de un tamaño tal que pase a travez de una malla de aberturas de 12.5 cm pero que sea retenida por una malla de 5 cm., la capa del medio filtrante no debe ser menor de 1.5 m. de espesor ni mayor de 2.1 m., el doble propósito del medio filtrante es proporcionar una gran superficie sobre la cual puedan formarse lodos y películas gelatinosas que producen las bacterias, y el de que queden suficientes huecos que permitan que el aire circule libremente por todo el filtro. (11)

Los colectores satisfacen dos propósitos, 1) retirar las aguas negras que han pasado a travez del filtro para mantenerlo en condiciones aérobias. El sistema colector consiste de bloques prefabricados para filtro los cuales son de arcilla vidriada ó de concreto y que cubren completamente el fondo del filtro dejando entre si canales para el efluente. La forma de estos bloques es rectangular generalmente y tienen ranuras en su cara superior igual al 20% de su superficie cuando menos. ( 4 )

Respecto a su distribución las aguas negras se distribuyen en la superficie del lecho mediante aspersores fijos ó distribuidores giratorios. Los aspersores se fijan en tubos que descansan sobre el medio filtrante y son alimentados mediante un tanque dosificador controlado por sifon, por este método se aplican las aguas negras al filtro durante períodos cortos, entre las aplicaciones se dispone de períodos de descanso

durante las cuales pueden llenarse el tanque dosificador. Se han ideado muchas formas y tipos de aspersores y el tanque dosificador esta diseñado para lograr la distribución más uniforme posible de las aguas negras sobre la superficie del filtro, los aspersores fijos han sido substituídos en su mayoría por distribuidores giratorios, los cuales llevan a cabo una dosificación más uniforme sobre la superficie del lecho. (11 )

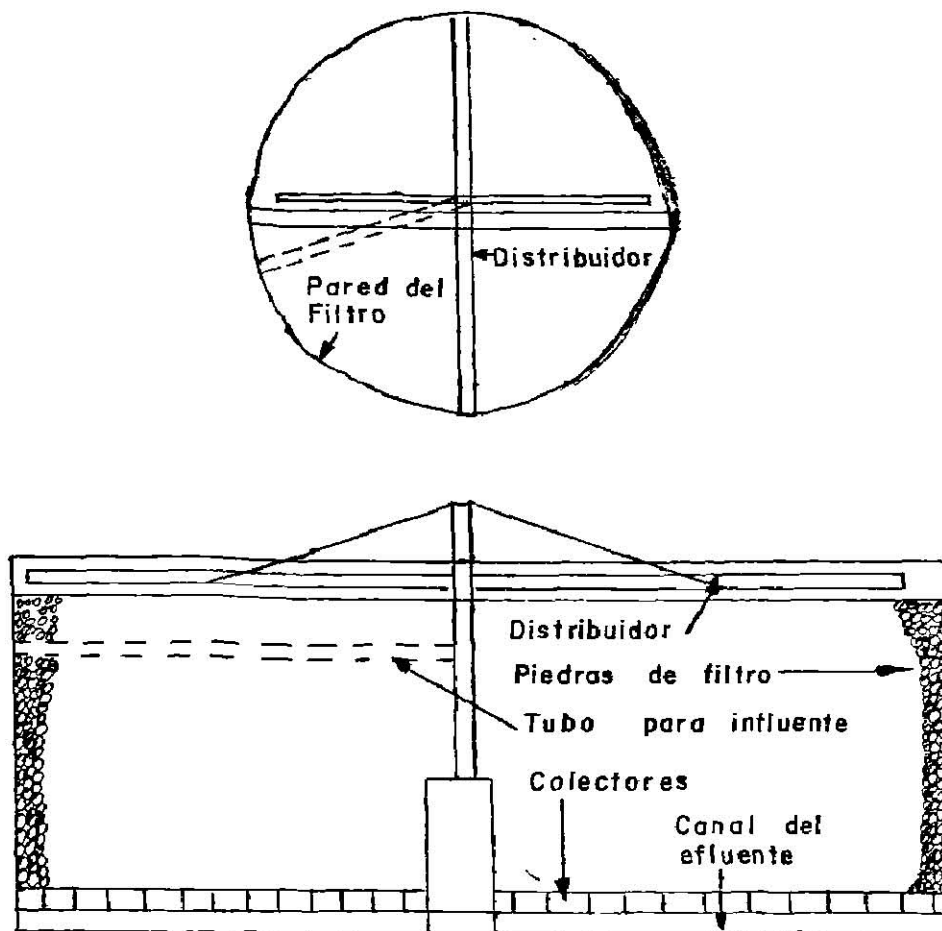


Fig. N<sup>o</sup> 7 FILTRO GOTEADOR

Fuente: Manual de tratamiento de aguas negras  
Depto: de sonidad de N.Y. // ( 11 )

II.3.1.1 Carga del filtro.- Las cargas del filtro se expresan comúnmente en función de la carga orgánica y de la carga hidráulica, la carga hidráulica es el número de litros o de metros cubicos de aguas negras que se aplican por metro cuadrado o por ha. y por día; la carga orgánica es la cantidad de kilogramos de DBO por metro cubico de medio filtrante, tomándose como base las cargas hidráulicas y de DBO, los filtros goteadores se clasifican en "De Gasto Normal" y "De Gran Gasto".

II.3.1.1.1 De gasto normal.- Estos se operan con cargas hidráulicas de 10,000 a 40,000 metros cubicos por hectárea y por día con una carga orgánica de 0.08 a 0.40 kilógramos por metro cubico de medio filtrante y por día. Las aguas negras se aplican intermitentemente procurando que los períodos de descanso no sean mayores de 5 minutos con cargas adecuadas, el filtro goteador de gasto normal incluyendo las unidades de sedimentación primaria y secundaria deben eliminar de 80 a 85% de la DBO que se aplique operando normalmente.

II.3.1.1.2 De gran gasto.- Estas unidades se operan con cargas hidráulicas de 80,000 a 400,000 metros cubicos por hectárea y por día y con cargas orgánicas de 0.40 a .80 kilogramos por metro cubico de medio filtrante y por día. ( 28 )

Cuando empezaron a desarrollarse los filtros goteadores se creía que para el buen resultado de la operación se requería que hubiese períodos de descanso entre las dosificaciones, por lo tanto la aplicación de aguas negras era intermitente, después se comprobó que no eran esenciales tales períodos de descanso, sino que mas bien producían efec-

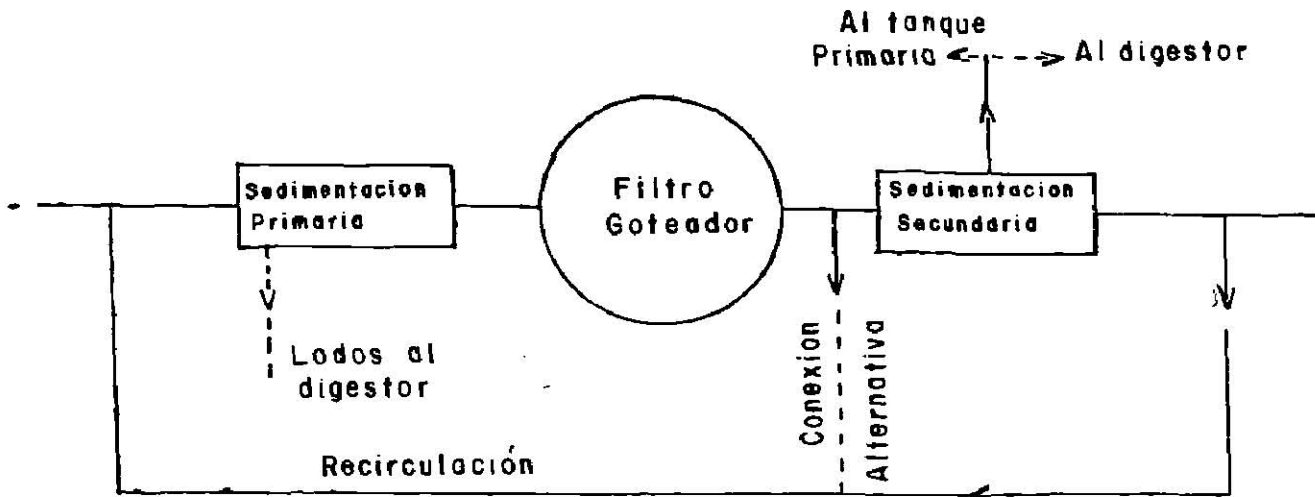
tos adversos así se pudieron incrementar las cargas hidráulicas y también se hizo posible un aumento en las cargas de DBU, aunque no de manera proporcional, se logró el mayor gasto hidráulico mezclado el efluente del -- filtro con el gasto normal de aguas negras en proporciones hasta de 10 a uno y recirculándolo por el filtro. El aumento de carga de DBU se logró aplicando un mayor volumen por hectáreas de aguas negras al filtro, esto hace que disminuya la concentración de la DBO de las aguas negras que se aplican al filtro, pero da por resultado una mayor carga de DBO al día.  
( 15 )

Algunas maneras de llevar a cabo estas recirculaciones son las siguientes :

II.3.1.1.2.1 Biofiltro.- En este filtro se usa un proceso que incluye - recirculación y una alta velocidad de aplicación a un filtro goteador de pozo espesor, en este caso la recirculación incluye al regresar parte del efluente del filtro ó del tanque de sedimentación secundaria al tanque -- de sedimentación primaria, los lodos del tanque de sedimentación secundaria son generalmente muy ligeros y pueden recircularse continuamente al - tanque de sedimentación primaria en donde se recolectan juntos los dos -- tipos de lodos y se bombean al digestor. ( 11 )

Fig. N° 8

### BIOFILTRO

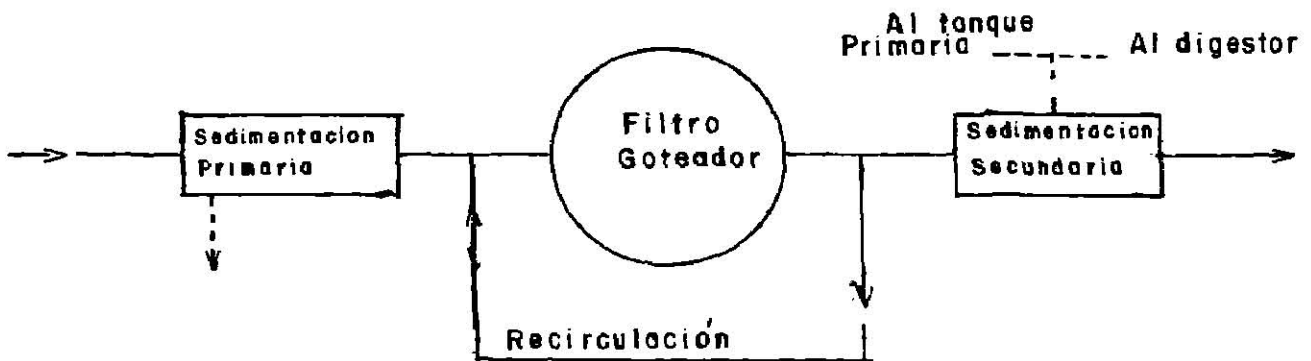


Fuente. Manual de tratamiento de aguas negras.  
Departamento de sanidad de N. Y. ( 11 )

11.3.1.1.2.2. Filtro "Accele".- Este filtro constituye otro proceso de tratamiento de aguas negras, consiste en hacer recircular directamente el efluente del filtro, otra vez al filtro mismo tal como se muestra en la figura.

Fig. N° 9

### FILTRO "ACCELO"

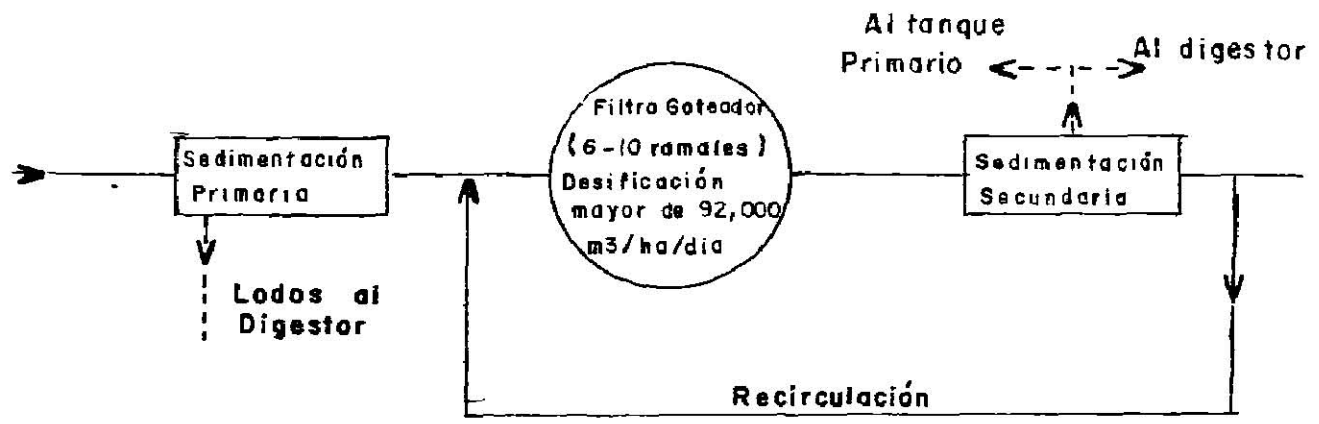


Fuente. Tratamiento de aguas negras y desechos industriales  
GEORGE. E BARNES. ( 4 )



II.3.I.1.2.3 Aerofiltro.- Este filtro es también otro proceso en el cual se distribuyen las aguas negras manteniendo una aplicación continua de -- "lluvia" de aguas negras sobre el lecho del filtro, para lechos chicos su distribución se lleva a cabo por un disco distribuidor que gira a alta -- velocidad de 260 a 369 rpm., colocando a 50 cm. sobre la superficie del -- filtro para distribuir una línea continua sobre todo el lecho. En los -- lechos grandes un gran número de ramales distribuidores giratorios 10 ó -- más tienden a proporcionar una distribución más uniforme, estos filtros -- se operan siempre con gastos mayores de 93,000 M<sup>3</sup>/hra./día. ( 17 )

Fig N° 10 Aerofiltro



Fuente: Tratamiento de aguas negras y desechos industriales  
 GEORGE. E. BARNES ( 4 )

Los filtros goteadores de gran gasto que incluyen sedimentación primario y secundario deben eliminar bajo condiciones normales de operación de 60 a 85% de la DBO de las aguas negras. La recirculación debe ser adecuada para que se pueda dosificar a un gasto igual o mayor de 93,000 metros cubicos por hectárea y por día, con períodos de descanso no mayores de 15 segundos, como resultado de la continua dosificación a gastos tan altos parte de los sólidos acumulados en el medio filtrante se desprenden y son arrastrados continuamente con el efluente y por lo tanto no hay períodos intermitentes de descarga. ( 28 ).

Los filtros goteadores de gran gasto se han usado ventajosamente para el pretratamiento de desechos industriales y de aguas negras desusadamente fuertes, cuando se usa para estos propósitos se les llama "filtros acondicionadores", con estos la carga de DBO generalmente está en cantidades mayores de 2 kg. por metro cubico de medio filtrante. Se han usado dos filtros de gran gasto en serie para llevar a cabo un alto grado de tratamiento y producen un efluente final sedimentado con menos de 30 ppm. de DBO. ( 2 )

La tabla siguiente presenta datos comparativos acerca de ciertas características de los filtros goteadores de gran gasto y de gast normal.

Tabla N° 4 Datos comparativos y características de filtros goteadores de gran gasto y de gasto normal.

	CARGA HIDRAULICA Millones de galones Por acre y día	CARGA DE DBO Libras de DBO. Por 1000 pies de medio filtrante	Operación	Descarga	PORCENTAJE DE DBO. eliminado, incluyendo la sedimentación primaria y secundaria
Standard	1 - 4	Menos de 15	intermitente	casi periodica	80 - 85
Gran gasto	10-30	30 - 110	continua	continua	65 - 80

Fuente: Ingeniería Sanitaria  
W.A. HARDENBERG  
EDWARD B. RODIE ( 16 )

### II.3.2 Tanques para la sedimentación secundaria.-

Como los filtros goteadores alteran las características de los sólidos de las aguas negras, pero no los elimina totalmente el efluente contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de que se -- disponga de tal fluente por descarga de aguas receptoras, para éste propó-  
sito se usan tanques de sedimentación secundaria o de asentamiento final, estos tanques son de diseño similar a los descritos en el tratamiento - -  
primario. ( 7 )

II.3.3 Lodos activados.- En proceso de lodos activados para la descomposición de aguas negras está basada en proporcionar un contacto íntimo - entre las aguas negras y los lodos biológicamente activos, los organismos vivos, aerobios y los sólidos orgánicos de las aguas negras se mezclan -- íntimamente en un medio ambiente favorable para la descomposición aerobica de los sólidos. Como el medio ambiente está formado por las mismas -- aguas negras, la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente oxígeno disuelto en las aguas negras durante todo el tratamiento. Las aguas negras comunes contienen algunos de estos operarios biológicos, pero su número es demasiado chico para que puedan llevar a cabo el trabajo requerido, es necesario por lo tanto agregar mucho más organismos y -- distribuirlos bien por todas las aguas negras, antes de que el proceso de lodos activados pueda empezar a funcionar con eficiencia. ( 14 ).

El proceso de los lodos activados se emplea generalmente des---pués de la sedimentación simple, las aguas negras contienen algo de sólidos suspendidos y coloidales de manera que cuando se agitan en presencia de aire los sólidos suspendidos forman núcleos sobre los cuales se desarrolla la vida biológica pasando gradualmente a formar partículas más -- grandes de sólidos que se conocen como lodos activados. ( 26 )

Los lodos activados están formados por flóculos pardos que -- consisten principalmente en materia orgánica procedente de las aguas ne--gras, pobladas por miríadas de bacterias y otras formas de vida biológica. Estos lodos activados con sus organismos vivos tienen la propiedad de -- adsorber o de absorber la materia orgánica coloidal y disuelta, incluyendo el amoníaco 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, casi toda ésta transformación es un proceso que se verifica gradualmente, algunas bacterias atacan las substancias más complejas originales produciendo como desechos compuestos más simples, continuando así el proceso hasta que los productos finales de desecho no puedan ser ya usados como alimento por las bacterias. ( 2 )

La generación de los lodos activados o floculos en las aguas negras es un proceso lento de manera que la cantidad así formada en cualquier volúmen de aguas negras, durante su período de tratamiento es muy corta e inadecuada para tratar rápida y eficazmente las aguas negras, pues se requiere de una gran concentración de lodos activados, esta gran concentración se logra recolectando los lodos producidos por cada volúmen de agua tratada y usándolos nuevamente en el tratamiento de volúmenes subsecuentes de aguas negras. Los lodos que se vuelven a emplear en esta forma se conocen como "lodos recirculados", este es un proceso acumulativo por el que eventualmente se producirá mayor cantidad de lodos activados de los que se requieran. ( 11 )

**II.3.3.1 Aereación y agitación del licor mezclado.-** Con la aeración se logran los tres objetivos siguientes : el mezclado de los lodos recirculados con las aguas negras; mantener los lodos en suspensión por la agitación de la mezcla y el suministro de oxígeno que se requiere para la oxidación biológica, el aire se agrega generalmente por medio de algunos de los métodos que se conocen como sistema de "aeración por difusión" ó "aeración a presión" ó por aeración mecánica. ( 16 ).

En el sistema de difusión de aire se suministra aire a baja presión, generalmente a no más de 0.5 a 0.7 kilos (8 a 10 libras), mediante sopladores y se hace pasar a travez de diversos tipos de material poroso en placas o en tubos que reparten el aire en forma de pequeñas burbujas, éstas placas ó tubos están colocados de tal manera en el tanque de aeración que imprimen un movimiento giratorio a la mezcla de aguas negras de lo cual resulta una considerable absorción del aire atmosférico. ( 4 )

Los aeradores mecánicos son de dos tipos generales : de paletas y de tubo de tiro vertical, los de paleta consisten en un rodillo con paletas o cepillos sumergidos parcialmente en las aguas negras que giran sobre un eje horizontal. El aire se absorve por contactos superficial y por las gotas que se lanzan al aire por medio del mecanismo de paletas, con los de tubo de tiro vertical, las aguas negras se hacen circular hacia arriba o hacia abajo a travez de un tubo vertical central por medio de un impulsor giratorio, hay diversos tipos de aeradores de tubo de tiro vertical, fabricados por diferentes manufactureros, cada uno con características especiales patentadas. Además de los dos métodos mencionados hay otros tipos aeradores en el mercado, en los que se emplean diferentes dispositivos para introducir ó arrastrar el aire y proporcionar agitación. ( 16 )

Se ha comprobado que para lograr el tratamiento más completo de las aguas negras y para que el proceso convencional de los lodos activados resulte más económico, es adecuado un tiempo de aeración de 6 a 8 horas con aire difundido y de 9 a 12 hrs, con aeración mecánica. En algunos de los procesos modificados se emplean períodos sensiblemente me-

nores, por lo general estos períodos más cortos dan lugar a que se tengan efluentes de la planta de calidad inferior. ( 11)

Antes de que se pueda disponer de las aguas negras tratadas en tanque de aeración, descargándolas en aguas receptoras hay que separar los lodos activados, esto se hace en los tanques de sedimentación secundaria ó final; tales tanques son de diseño similar a los de sedimentación primaria con limpieza mecánica, el ciclo de remoción de los lodos en los tanques secundarios tiene mayor importancia que en los tanques primarios, pues cierta proporción de los lodos debe retirarse continuamente para utilizarlos como lodos recirculados en el tanque de aereación, el exceso de lodos debe eliminarse antes de 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 los recursos adecuados es posible reactivar los lodos recirculados en tanques de pre-aereación separados antes de agregarlos a las aguas negras. ( 14 )

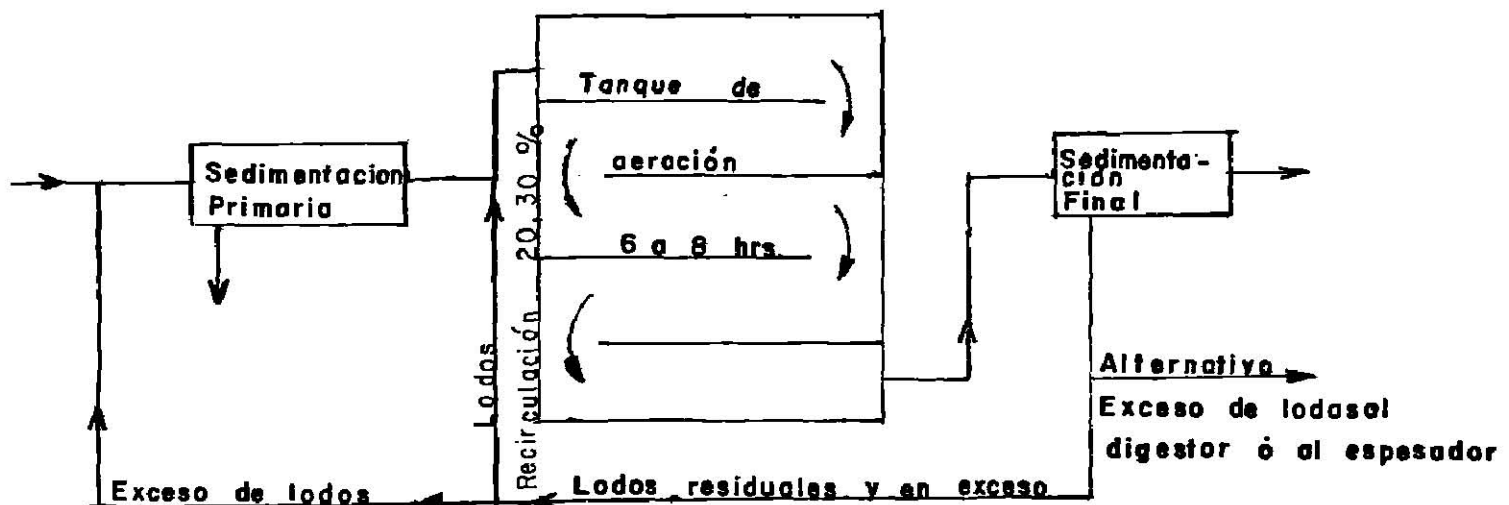
II.3.3.2 Recirculación de la cantidad apropiada de lodos activados para mezclarlos con las aguas negras, la cantidad de lodos devueltos al tanque de aeración ha de ser suficiente para producir la purificación deseada en el tiempo disponible para la aereación y no obstante lo suficientemente corto para lograr un aprovechamiento económico del aire, debido a las variaciones en las características y concentración de las aguas negras, así como en el tipo de plantas la cantidad de lodos recirculados puede variar desde 10 hasta 50% del volúmen de las aguas negras en tratamiento; para una planta convencional el porcentaje varía normalmente de -

10 a 20, el exceso final de los lodos activados se trata y dispone junto con los lodos de los tanques de sedimentación primaria, la práctica más común es probablemente la que consiste en bombear el exceso de lodos al extremo del influente del tanque de sedimentación primaria, donde se depositan junto con los sólidos de las aguas negras crudas. Los lodos activados se sedimentan rápidamente y debido al carácter más floculento de las partículas de lodos tienden a arrastrar consigo parte de los sólidos no sedimentables de las aguas negras disminuyendo la carga de material orgánico y de sólidos en el tanque de aeración. ( 14 )

En la siguiente figura se muestra un diagrama de operación de proceso convencional de lodos activados para tratar aguas negras domésticas y en la cual se usa para la aereación del sistema de aire difundido, todas las aguas negras sedimentadas se mezclan con los lodos activados -- recirculados a la entrada del tanque de aereación con aguas negras domésticas de composición media, el volumen de lodos recirculados es de 20 a 30 por ciento del volumen de aguas negras que se van a tratar. Los tanques de aereación se diseñan de tal manera que proporcionan un tiempo de aereación de seis a ocho horas cuando la aereación se hace con aire difundido y de 9 a 12 cuando se hace mecánicamente. ( 11 )



Fig N° II Proceso convencional de lodos activados



Fuente: Manual de tratamientos de Aguas Negras  
 Depto. de Sanidad del Edo. de N.Y. (II)

El proceso convencional de lodos activados es capaz de llevar a cabo el mayor grado de purificación logrado hasta ahora por los diversos tipos de tratamiento de aguas negras que son de uso común con la sola excepción de la lograda por filtración intermitente en arena, es más completa la descomposición de la materia orgánica que la lograda por los filtros goteadores. Como el proceso de contacto biológico tiene lugar -- bajo el agua desaparece el peligro de las moscas y los olores disminuye -- notablemente, el espacio que se requiere para las unidades de los lodos -- activados es mucho menor que el que necesitan los filtros goteadores para tratar el mismo gasto, sin embargo el proceso de lodos activados no es -- tan burdo como el de los filtros goteadores, pues es complejo y presenta muchos problemas técnicos que requieren de mayor experiencia operatoria y de más preparación. ( 28 )

Aunque el proceso de lodos activados puede adaptarse para -- tratar aguas negras y desechos de muy diversas concentraciones y composiciones es muy sensible a cargas repentinas y sustancias tóxicas que pueden descargarse en las alcantarillas, especialmente por parte de las ---- plantas industriales; estos desechos industriales pueden destruir o inhibir la actividad de los microorganismos, lo cual es esencial para descomponer la materia orgánica. ( 14 )

En la tabla siguiente se muestran algunos datos de las estaciones depuradoras de los Estados Unidos.

TABLA No. 5 Datos de estaciones depuradoras de Estados Unidos.

POBLACION SERVIDA MILES DE PERSONAS	NUMERO DE ESTACIONES DEPURADORAS DE VARIOS TIPOS		
	FILTROS PRE- COLADORES	LODOS ACTI- VADOS	O T R O S
1 - 5	1,873	292	1,215
5 - 10	417	80	100
10 - 25	273	95	45
25 - 100	88	70	14
Más de 100	31	52	5
Sub'total . . . . .	2,682	589	1,379
Total . . . . .	4,950		
Población total servida millones de personas	15.3	24.8	3.2
T o t a l . . . . .	43.3		

Fuente : Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales.  
FAIR. GEYER Y OKUN. ( 15 )

A continuación se mencionan algunas modificaciones al proceso convencional de lodos activados, estas con el fin de satisfacer -- ciertas condiciones locales ó para lograr economías en la construcción y en la operación.

II.3.3.3 Aereación escalonada.- En este proceso las aguas negras entran al tanque de aeración por diversos lugares, pero todos los lodos recirculados se introducen en el primer punto de entrada con o sin una porción de aguas negras, por 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 introduce más aguas negras en las etapas subsiguientes, esto permite que se pueda regular con facilidad la cantidad de sólidos que se mantienen en aeración, en éste proceso se puede lograr un tratamiento que sea prácticamente equivalente al del proceso convencional de lodos activados, en casi la mitad del tiempo de aeración si se mantiene la edad de los lodos dentro de los límites adecuados de tres a cuatro días usando un tanque de aeración cuya capacidad sea de solamente la mitad del que se necesita en el proceso convencional son menores el costo de construcción y la superficie requerida, los costos de operación son casi iguales. (16.)

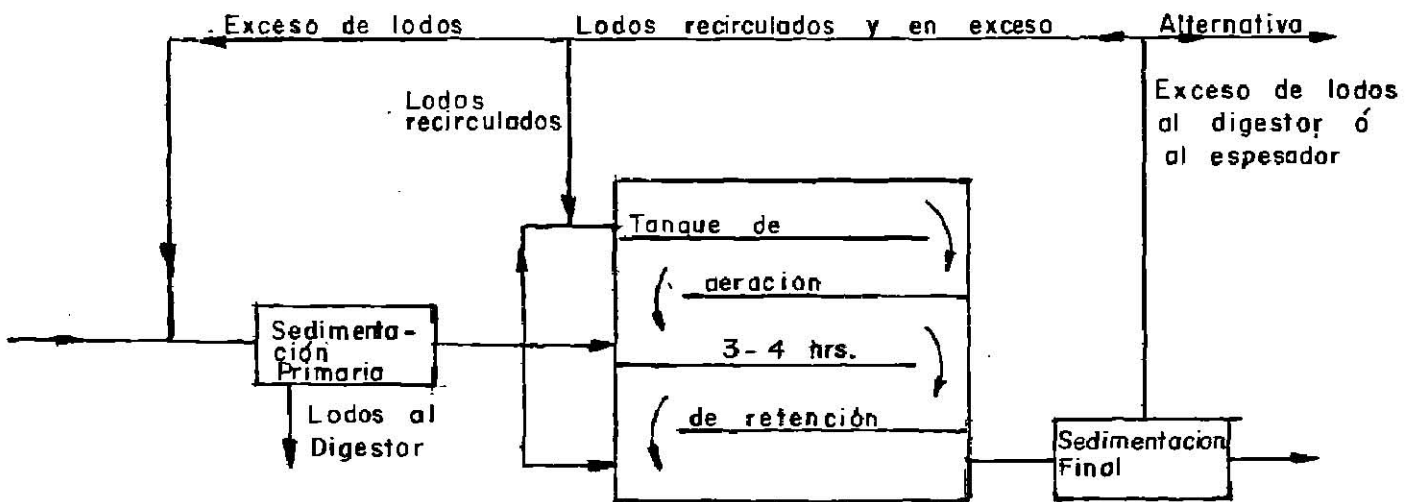


Fig. N° 12 Aeración Escalonada

Fuente: Ingeniería Sanitaria  
W.A. HARDENBERG Y EDWARD B. RODIE (16)

II.3.3.4 Aereación modificada.- También se conoce como tratamiento -- intensivo con lodos activados, es aplicable cuando las aguas receptoras - requieren que se efectue un mayor grado de tratamiento que el que se lo-- gra mediante el tratamiento primario, pero no mayores abatimientos de - - DBO y de los sólidos suspendidos que el obtenido por el método convencio-- nal de los lodos activados, en esta variante las aguas negras ya sea cru-- das ó sedimentadas se mezclan con 10 por ciento de lodos de recirculación y se aerean por un período de una a dos horas solamente; los sólidos sus-- pendidos del licor mezclado disminuyen así a menos de 1,000 ppm. lo cual hace que sean menores los requerimientos de oxígeno, con esto se consigue un ahorro en los costos de construcción y de operación, así como menos -- superficie en la planta convencional. ( 4 )

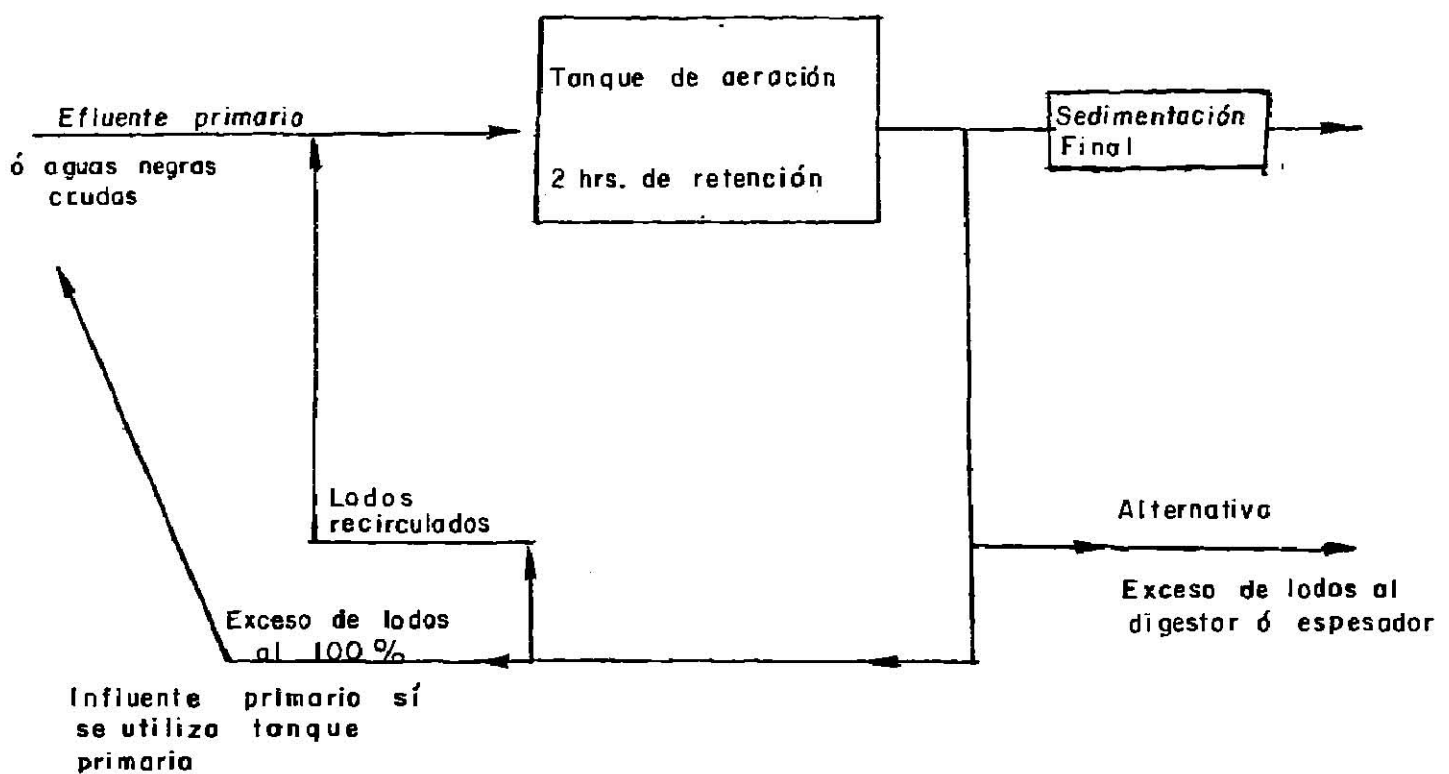


Fig. Nº 13 Aeración Modificada  
Fuente: Tratamientos de aguas negras y desechos industriales  
GEORGE. E. BARNES (4)

Los detalles de operación varían en las diversas plantas de lodos activados dependiendo de una serie de factores, como son el tipo de recursos disponibles, la fuerza y características de las aguas negras, -- las temperaturas, los requerimientos de las aguas receptoras y otros más -- la experiencia debe determinar cual es el mejor procedimiento para operar cada planta. (11 )

#### II.3.4 Filtros de arena intermitente.

El filtro intermitente de arena es un lecho de arena espe-- cialmente preparado en el que pueden aplicarse intermitentemente efluentes del tratamiento primario ó de los filtros goteadores, o de los tanques de sedimentación secundaria usando distribuidores en forma de colectores ó de tubos perforados, el efluente del filtro se recoge en un sistema de des--  
ague en la parte inferior, el lecho del filtro esta formado por una capa - de arena limpia de 60 cm. de espesor como mínimo colocada sobre grava: ---  
limpia graduada; la grava debe colocarse en tres capas como mínimo cubrien--  
do los colectores y hasta una altura de por lo menos 15 cm. por encima de los mismos. La arena deberá tener un tamaño efectivo de 0.3 a 0.6 mm, el espaciamiento de los colectores no debe exceder de 3 mts. entre centro y centro. ( 7 )

Los filtros intermitentes de arena son verdaderos filtros -- que cueñan y retienen las partículas finas de los sólidos suspendidos - - además de que actúan como unidades de oxidación, gran parte de la filtra-- ción y de la oxidación se realiza en o cerca de la superficie de la arena la filtración es consecuencia de la finura del medio de arena con sus pe--  
queños poros y del desarrollo de organismos en los lodos que se acumulan

en la superficie de la arena. La oxidación se lleva a cabo como todos - los dispositivos para tratamiento secundario, los microorganismos aerobios que habitan principalmente en la superficie formando una capa de lodo que se extiende también hacia dentro del medio de arena. ( 9 ).

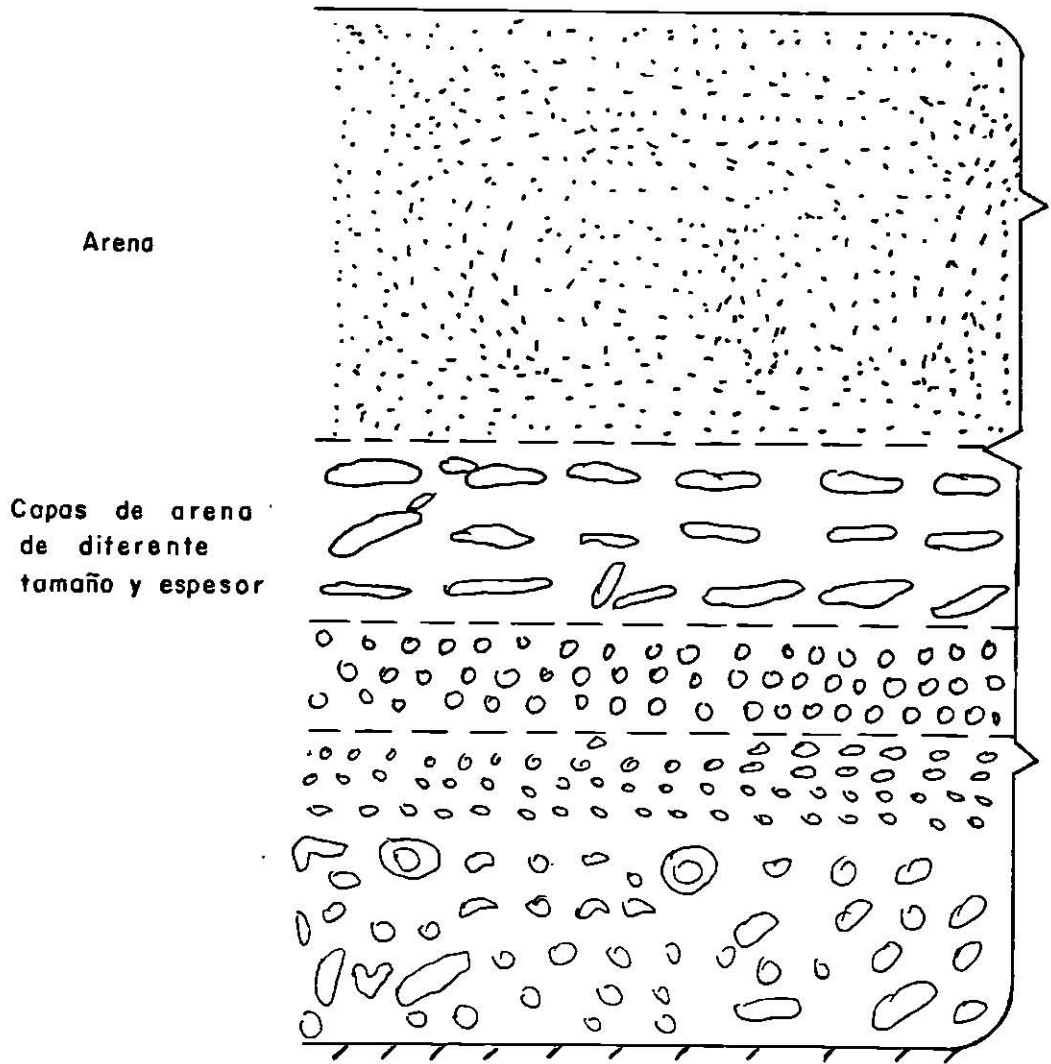


Fig. Nº 14 SECCION DE UN FILTRO DE ARENA

Fuente: La Contaminación Hoy  
EUSEBI CASANELLES ( 7 )

Por lo que respecta a la operación es importante dejar que se vacíe en intervalos el filtro y se obtenga así un suministro de aire fresco, ésto se logra con una dosificación intermitente de aguas negras sobre el filtro, las aguas negras se aplican dos a seis veces al día en cantidades suficientes para cubrir la superficie del filtro formando una capa de 5 a 8 cm. y a medida que las aguas negras pasan hacia abajo a travez de la arena se arrastra el aire desde la superficie, los filtros de arena se construyen por equipos de dos ó más unidades que se van usando en rotación, con el tiempo la capa de lodo superficial obstruye la capa superior de la arena, y hay que eliminarla para volverla poner el filtro en condiciones de operar eficientemente; no debe permitirse estancamiento sobre los lechos por que con esto se produce una acción séptica, olores molestos y un efluente de baja calidad. (26. )

Una planta de filtración por arena intermitente bien operada dará un efluente estable, transparente y cristalino casi completamente oxidado y nitrificado, puede esperarse una eliminación global del 95 por ciento de la DBO ó más, así como de los sólidos suspendidos en las aguas negras crudas; ésto supera otros procesos secundarios de tratamientos aceptados en comparación con otros procesos de tratamiento de aguas negras, ésto requiere grandes superficies de terreno con costo de construcción altos, y un mantenimiento de los filtros también costosos. El uso de filtros de éste tipo queda limitado a los usos en que el volúmen de aguas negras por tratar es pequeño o cuando se necesita una calidad excepcionalmente del efluente. . ( Este puede usarse también como un tratamiento terciario ).

(11)

### II.3.5 Estanques de estabilización (También se conocen como lagunas de oxidación).

Estos estanques se usaron primero en zonas en que prevalecen -- los climas calurosos y los días soleados, pero se ha visto que operan -- también con resultados satisfactorios en climas más fríos y más nublados. Los tanques de estabilización se pueden usar casi en cualquier parte, variando la velocidad a que pueden operar con la temperatura, la energía -- luminosa y otras condiciones locales, el proceso de la descomposición de la materia orgánica que hay en las aguas negras se verifica en dos etapas. La materia carbonosa de las aguas negras es primero desintegrada por los organismos aerobios, con formación de bióxido de carbono, lo cual es utilizado por las algas en su fotosíntesis. La fotosíntesis es un proceso -- natural que se lleva a cabo en los tejidos verdes de los vegetales bajo -- la influencia de luz y la presencia de clorofila, que es la substancia a que deben el color verde, los vegetales vivos en este proceso el oxígeno del bióxido de carbono es liberado y se disuelve en el líquido en el que crecen las algas, como resultado de esto la materia orgánica de las aguas negras es convertida en algas y las aguas reciben oxígeno para mantener -- la ulterior descomposición aerobia, los sólidos de las aguas negras en -- tran al estanque en un estado altamente putrescible y salen en células -- de algas muy estables, las cuales dentro de ciertos límites pueden descargarse a las aguas receptoras sin causar efectos deletéreos. Las lagunas de oxidación pueden usarse como un tratamiento completo cuando reciben -- aguas negras crudas, ó como un tratamiento secundario para aguas negras -- sedimentadas ó bien como tratamiento adicional para efluentes de proceso secundarios; se han usado más generalmente como tratamiento secundario de efluentes primarios, éstos estanques son de construcción barata y requie-



ren un mínimo de operación, su uso se limita a las poblaciones pequeñas en donde pueda disponerse de terreno, ya que se requieren grandes superficies y bastante aisladas. ( 23 )

#### II.4 Procesos del tratamiento terciario o avanzado.-

Un tratamiento secundario con coloración elimina el 85% de la materia orgánica y de los sólidos en suspensión, además suprime los organismos patógenos pero de contaminantes como nitrógeno, fosforo, metales pesados y sustancias inorgánicas solo se elimina una pequeña parte; el tratamiento terciario del agua está destinado a la supresión de dichas sustancias, usando métodos distintos dentro de los cuales la absorción por carbón activado es la técnica más avanzada. ( 11 )

II.4.1 El filtro de carbón activado se rige por una propiedad llamada adsorción basada en la afinidad de los sólidos al adherirse a la superficie de otros, el carbón activado presenta una estructura con gran cantidad de poros y superficies de contacto; al agotarse la capacidad del carbón ésta puede regenerarse en hornos que oxiden la materia orgánica sin descomponer el carbón que puede hallarse en forma granular ó en polvo, ésta adsorción es utilizada para remover materia orgánica, color, detergentes, fenoles, pesticidas y los metales pesados. Además del carbón activado existen otros metales absorbentes como la silica gel ó arcillas como la Kaolinita y marmoneolonita. ( 25 )

II.4.2 Los filtros de arena intermitentes pueden ser usados como un tratamiento terciario como lo sugieren algunos autores, ya que con ellos

se obtiene un efluente transparente y cristalino casi totalmente oxidado, además de que elimina un 95% de la DBO y de sólidos suspendidos. ( 18 )

Los materiales orgánicos disueltos también pueden eliminarse del agua residual mediante oxidación química. El peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y el ozono ( $O_3$ ) son los oxidantes utilizados en dos procesos que han merecido una considerable atención, el agua oxigenada es inestable en disolución y se descompone liberando oxígeno ( $O_2$ ); el oxígeno liberado oxida rápidamente cualquier material orgánico presente. El gas Ozono también es capaz de oxidar la mayor parte de sustancias orgánicas del agua residual, además elimina colores y aromas desagradables y destruye organismos patógenos. ( 25 )

II.4.3 Por medio de precipitación química podemos remover sólidos disueltos ó iones como los de calcio, magnesio, fosforo, etc. para remover el material precipitado se recurre a procesos como la sedimentación y en algunas ocasiones a la filtración. ( 6 )

Una alternativa más en el tratamiento terciario es la separación con membrana (electrodialisis) y osmosis inversa, donde se hacen pasar los iones a través de membrana, aprovechando gradientes eléctricos ó hidráulicos. ( 25 )

En la tabla siguiente aparecen los valores máximos permisibles de algunas sustancias tóxicas:

CUADRO No. 6

Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en los cuerpos receptores.

Limite máximo en Miligramos por litro.

	DA	DI	DII	DIII
Arsenico	0.05	0.05	1.00	5.00
Barío	1.00	1.00	5.00	- -
Boro	1.00	1.00	- -	2.00
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005
Cobre	1.00	1.00	0.1	1.0
Cromo hexavalente	0.05	0.05	0.1	5.00
Mercurio	0.005	0.005	0.01	- -
Plomo	0.05	0.05	0.10	5.00
Selenio	0.01	0.01	0.05	0.05
Cianuro	0.20	0.20	0.02	- -
Fenoles	0.001	0.001	1.00	- -
Sustancias activas al				
Azul de metileno (de- tergentes).	0.50	0.50	3.00	- -
<u>PLAGUICIDAS .-</u>				
Aldrin	0.017	0.017		
Clordano	0.003	0.003		
D. D. T.	0.042	0.042		
Dieldrín	0.017	0.017		
Endrín	0.001	0.001		
Heptacloro	0.018	0.018		
Epoxico de heptacloro	0.018	0.018		
Lindano	0.056	0.056		
Metoxicloro	0.035	0.035		
Fosfatos orgánicos con				
Carbamatos	0.100	0.100		
Toxaleno	0.005	0.005		
Herbicidas totales	0.100	0.100		
<u>RADIOACTIVIDAD</u>				
	Procuries por litro			
Beta	1.000	1.000	1.000	
Radio-226	3	3	3	
Estroncio	10	10	10	

Donde :

- DA.- Abastecimiento para sistemas de agua potable e industrial alimenticia con desinfección únicamente.  
Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI,- DII y DIII.
- DI.- Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.
- DII.- Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora y fauna y usos industriales.
- DIII.- Agua para uso agrícola e industrial.

FUENTE : Legislación ambiental de México.  
Secretaría de Salubridad y Asistencia.  
( 24 )

#### II.5 Cloración.-

La cloración de las aguas negras consiste en la aplicación de cloro para lograr un propósito determinado, el cloro puede introducirse en forma de gas de solución acuosa ó en forma de hipoclorito ya sea de sodio ó de calcio, los cuales al disolverse en agua desprenden cloro, como el cloro gaseoso cuesta mucho menos que el que se obtiene a partir de los hipocloritos es el que se usa generalmente para tratar aguas negras. (16)

16

No se conoce el mecanismo exacto de ésta acción desinfectante -- según ciertas teorías el cloro ejerce una acción directa contra la célula bacteriana destruyéndola. Una teoría más reciente admite que el cloro debido a su caracter tóxico inactiva a las encimas de las cuales dependen los microorganismos para la utilización de los alimentos, lo cual da por resultado que los organismos mueran por inanición. Desde el punto de vista del tratamiento de aguas negras es mucho menos importante la acción del cloro, que sus efectos como agente desinfectante. ( 1 )

El monto de las sustancias reductoras tanto orgánicas como inorgánicas varía tanto que la cantidad de cloro que tiene que agregarse a las aguas negras resulta también muy variable, el cloro que consumen estas sustancias reductoras orgánicas e inorgánicas se define como demanda de cloro, ésta es igual a la cantidad que se agrega menos la que permanece como cloro combinado después de un cierto tiempo generalmente es de 15 minutos, la cantidad que queda después de satisfacer la demanda de cloro es la que lleva a cabo la desinfección, esta cantidad de cloro en exceso se define como cloro residual y se expresa en ppm. (11)

Generalmente en unas aguas negras domésticas de composición media, las siguientes clasificaciones de cloro son suficientes para producir un cloro residual adecuado para la desinfección.

CUADRO No. 7 Cloro residual para desinfección.

TIPO DE TRATAMIENTO	DESINFECCION (BASADA EN UN GASTO DE DISEÑO)
Efluente de tratamiento primario	20-25 ppm. (ó mg/l)
Efluente de filtros goteadores	15 ppm (ó mg/l)
Efluente de lodos activados	8 ppm (ó mg/l)
Efluente de filtros de arena	6 ppm (ó mg/l)

FUENTE : Ingeniería Sanitaria.

W.A. Hardenbergh y Edward B. Rodie. ( 16 )

El cloro se agrega a las aguas negras para muy diversos propósitos, entre los cuales se incluye principalmente el de desinfección. Ninguno de los métodos de tratamiento de aguas negras puede eliminar completamente de ellas a las bacterias patógenas que siempre están presentes potencialmente, un objetivo más que persigue la aplicación de cloro es la prevención de la descomposición de aguas negras principalmente contra los olores que llegan a ser molestos después de una verificada descomposición anaeróbica, un beneficio más es la disminución ó demora de la demanda bioquímica de oxígeno. ( 1 )

En la figura siguiente se resumen los procesos que deben de ser aplicados a las aguas negras de origen doméstico, estos procesos pueden modificarse dependiendo del grado de contaminación de las aguas.

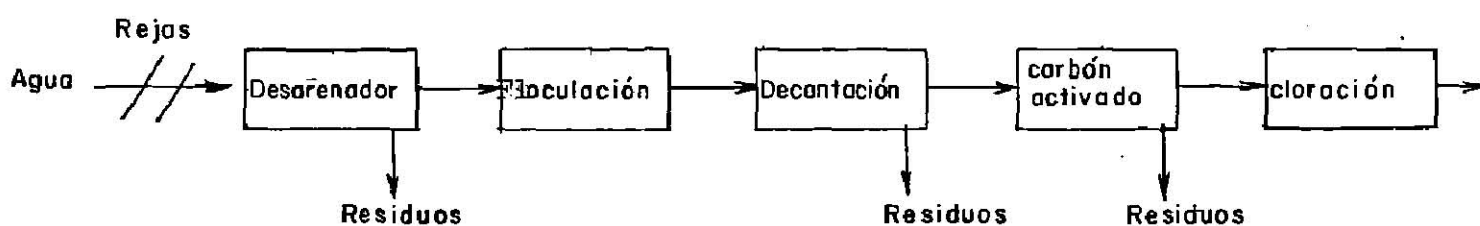


Fig. Nº 15. Esquema de una depuradora urbana

Fuente: La contaminación hoy

EUSEBI CASANELLES (7)

## CONCLUSIONES .-

En la actualidad los efectos derivados de los distintos tipos de contaminación constituyen un grave peligro para los recursos naturales y para el mismo hombre, alteran los ecosistemas e incluso pueden modificar el sistema atmosférico. Al estudiar dicho problema se debe tener en cuenta la intensidad de la contaminación en el espacio y el tiempo de duración, así como las consecuencias que se derivan, a su vez debemos saber si los efectos de la contaminación son irreversibles ó no y en cualquier caso cual será el costo económico de su contaminación.

Como ya se mencionó anteriormente no debemos menospreciar el fenómeno de la contaminación considerándolo simplemente como un efecto inevitable del crecimiento ó una consecuencia inmediata del progreso técnico. Por otra parte tampoco cabe favorecer situaciones exageradas de alerta ciudadana ante un problema concreto. El humo que traiga un fumador normal puede perjudicarlo más que la atmósfera contaminada que respira, sin embargo la contaminación del agua por metales pesados puede ocasionar graves perjuicios a la población.

La evaluación de la contaminación no debe hacerse solo con criterios puramente numéricos y económicos valorando por una parte el deterioro ambiental, y por otra la ganancia económica obtenida mediante la acción contaminadora, sino que debe tenerse en cuenta los criterios éticos y estéticos.

Apelando a criterios éticos y de cara a futuras generaciones, --

deben evitarse aquellas actuaciones que resulten irreversibles ó rreversibles al cabo de decenas de años por ejemplo contaminar un acuífero supone anular durante un largo período de tiempo, la posibilidad de aprovechamiento del agua que transporta.

Los criterios estéticos resultan importantes para una sociedad -- que ha conseguido cierto desarrollo económico con un industrialismo desarrollado, pero con lucha a mejorar su calidad de vida y su entorno natural.

Por lo que respecta a los tratamientos correctivos, estos deben ser aplicados dependiendo del grado de contaminación que presente el agua que se va a tratar, utilizando muchas veces solo tratamientos primarios - y secundarios, sin necesidad de llegar a un tratamiento terciario.



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society for testing and materiales, 1976. Manuel de aguas para usos industriales. Ed. Limusa. México, D.F. 35,41, P.
- 2.- Babcock, Russel H. 1980. Instrumentación y control en el tratamiento de aguas potables, industriales y de deshecho. Ed. Limusa. Mex. D.F. 73, 74, P.
- 3.- Blacke, 1964. Drenaje y sanidad. Compañía editorial continental -- S.A. Edición en español. Mex. 22 D.F. 24, 39 P.
- 4.- Barnes, George E. 1967. Tratamiento de aguas negras y desechos -- industriales. Ed. Rabasa S.A. Mex. D.F. 25,26,35,48,50 P.
- 5.- Brubaker Sterling 1978. Para vivir en la tierra Ed. Pax. México. - Rep. Argentina. Mex. 1 D.F. 38 P.
- 6.- Chanlett, Emilt. 1976. La protección del medio ambiente Insituto - de estudios de administración local. Madrid España 52, P.
- 7.- Casanelles, Eusebi, 1983. La contaminación hoy. Editorial Teide - S.A. Barcelona. 2-5, 8-14, 17-29, 31-33, 40-41, 107-109, 117 P.
- 8.- Custodio, Emilio y Llamas, M.R. 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega S.A. Barcelona España. 2208, 2214 P..
- 9.- Comisión Constructora e ingeniería sanitaria, 1971. Cartilla de saneamiento. S.S.A. Mex. D.F. 63 P.
- 10.- Capurro, S. Luis F. S. 1975. Presente y futuro del medio humano. - compañía editorial continental .S.A. Mex. D.F. 29 P.

- 11.- Departamento de sanidad del estado de Nueva York, 1980. Manual de tratamiento de aguas negras. Ed. Limusa. Mex. D.F. 73-85, 87-94 P.
- 12.- Diamant, R.M.E. 1974. Prevención de la contaminación. Editorial Mapfre-S.A. Madrid España 36 P.
- 13.- Ediciones del Instituto Mexicano de Recursos Renobables A.C. 1972. Primer seminario sobre evaluación de la contaminación ambiental. Mex. D.F. 18 P.
- 14.- Feprero, José H. 1974. Depuración biológica de las aguas . Ed. Alhambra. Madrid España. 38 P.
- 15.- Geyer, F. y Okun, 1979. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. ingeniería sanitaria tomo 2 Ed. Limusa. Mex. D.F. 27, 29, P.
- 16.- Hardenbergh, W. A. y Rodie, Edward B. Rodie, 1981. Ingeniería sanitataria. Compañía editorial continental S.A. Mex. D.F. 365, 367 P.
- 17.- Kneese, Allen V. y Schultze, Charles L. 1976. Costo de la contaminación. Ed. Marymar. Buenos Aires Argentina. 43 P.
- 18.- Medina Curcho, Ana Laura, 1955. Saneamiento y potabilización del agua-en Gutiérrez Zamora Ver. U.A.N.L. Fac. de Ingeniería Civil. Monterrey N.L. Mex. 53 P.
- 19.- Nordel, Eskel. 1981. Tratamiento de aguas para la industria y otros usos. Compañía Editorial Continental. S.A. Mex. D.F. 385, P.
- 20.- Pérez, J.M. 1980. La polución de las aguas marinas. Ediciones Omega -- S.A. Barcelona España. 78 P.

- 21.- Purschel. 1976. Tratado general del agua y su distribución. El tratamiento de las aguas negras domesticas (técnicas de depuración) URMO S.A. de ediciones. Espartero-10, Bilbao 9 España. 15-16, 26 P.
- 22.- Ramsay, William. 1974. Tecnología del ambiente y su economía Ed. Pax México. México 1 D.F. 103 P.
- 23.- S.A.H.O.P. 1981. Manual para tratamiento primario y tanques de estabilización. S.A.H.O.P. Monterrey Mex. 49 P.
- 24.- Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1977. Legislación ambiental - de México. Secretaría de mejoramiento del ambiente. Mex. D.F. 52 P.
- 25.- Stocker, H. y Seager, S.L. 1981. Química ambiental: Contaminación -- del aire y del agua. Ed. Blume. Barcelona España. 302-309 P.
- 26.- Tinajero Moran, Ernesto. 1963. Apuntes sobre tratamiento del agua y construcción de un equipo suavizador base resinas sintéticas. Monterrey, N.L. 33 P.
- 27.- Vázquez Yanez, Carlos. 1982. Deterioro ambiental, sus causas y efectos. Consejo nacional para la enseñanza de la biología A.C. Ed. Continental S.A. Mex. D.F. 63 P
- 28.- Vidales Albarran, H. 1979. Plantas de tratamiento de aguas negras, - normas de tratamiento para diseño. Secretaría de asentamiento humanos y obras públicas. Mex. D.F. 23,26,29,30 P.
- 29.- Vizcaino Murray, Francisco. 1975. La contaminación en México. Fondo de cultura económica. Mex. 12 D.F. 85, 89 P.

07558

