



G600567

APUNTE
47

FACULTAD DE INGENIERIA UNAM.



G.- 600567

CONTAMINACION DE AGUAS

9512

ING. ERNESTO MURGUIA VACA.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA SANITARIA

G800567

CONTAMINACION DE AGUAS

M. EN I. ERNESTO MURGUIA VACA

1981

AGRADECIMIENTO

La necesidad de contar con un texto para el curso CONTAMINACION DE AGUAS que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México dentro de la carrera de Ingeniero Civil, fue lo que me motivó a formar esta obra, que no es otra cosa que el resultado de unas notas para clase, escritas y mejoradas durante varios semestres de exposición.

Algunos de mis alumnos intervinieron activamente en la elaboración de este trabajo a través de sus tesis profesionales, dirigidas con ese fin, por lo cual deseo por este medio hacerles patente mi agradecimiento, que hago extensivo a quienes me ayudaron en revisión y a su logro.

Ernesto Murguía Vaca

PREAMBULO

Quando escucho que los problemas se agravan y complican con forme pasa el tiempo, en cierto grado comparto la opinión; sin - - embargo si se analiza cualquier campo en el ambito histórico, se -- llegarán a entender que solamente se trata de distintas formas de -- presentación.

En cuanto a la contaminación, sin ir muy lejos en el tiempo, se consignan en descripciones novelescas, protestas por el ruido y - el polvo producidos por los carruajes, así como por el olor y suciedad de los caballos que los tiraban; en el medio urbano actual, cuántos no quisiéramos percibir esas molestias como símbolo de pureza ambiental.

Los conceptos cambian; tampoco hace mucho tiempo que el pro greso se medía en función de la cantidad de humeantes chimeneas; - ahora no deseamos ver una. El hundir barcos cargados de petróleo en la Segunda Guerra Mundial era práctica común y lo que menos -- importaba entonces, era el actual temor a su dispersión en los océanos.

Algunos aspectos no son los mismos ni producto simple de cier to nivel de apreciación; tal sucede con el uso negativo de la energía - nuclear que es una amenaza actual; con la rápida y nutrida variedad - de productos tóxicos que invaden el mercado, que también es reciente o con el incesante incremento poblacional, que no se puede despreciar.

Por otro lado, algunos padecimientos los provoca el increíble - desarrollo tecnológico, que así como ha degradado el ambiente, tam - bién puede corregirlo, evitarlo y mantenerlo para ofrecer una vida -- tranquila y saludable.

Lo que sucede al detectarse una acción como problema, es que se rompe el equilibrio que debe imperar en la naturaleza, y que la sociedad humana no solamente deja de restablecerlo sino que lo incrementa.

De los problemas ambientales, los relativos al agua quizá -- sean los de más urgente atención, ya que no obstante la abundancia de este recurso, es difícil de obtener en cantidad y calidad adecuados para el consumo humano. Esta dificultad se acrecenta conforme aumenta el grado de contaminación y al considerar que es muy lenta y costosa su regeneración.

Dar a conocer solamente las causas de la contaminación no basta, se debe saber cómo detectarla a fin de poderla corregir y evitar. Esto es lo que constituye los objetivos de esta obra que en forma de interrogantes son los siguientes:

¿Porqué se contaminan las aguas?

¿Cómo puede conocerse su grado de contaminación?

¿Qué debe hacerse para regenerar y conservar su buena calidad?

México, D.F.
marzo de 1981

I N D I C E

	Página
AGRADECIMIENTO -----	i
PREAMBULO -----	ii
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	
1.1 Origen de la contaminación -----	1
1.2 Distribución de los recursos hidráulicos --	2
1.3 El hombre y la contaminación del agua --	5
1.4 Causas más frecuentes -----	9
1.5 Problemas y ejercicios -----	10
CAPITULO 2. CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y MARINAS	
2.1 Aguas Subterráneas -----	11
2.1.1 Manantiales -----	12
2.1.2 Pozos -----	13
2.1.3 Galerías filtrantes -----	13
2.2 Aguas Marinas -----	13
2.3 Problemas y ejercicios -----	14
CAPITULO 3. EVALUACION DE LA CONTAMINACION	
3.1 Generalidades -----	15
3.2 Factores físicos -----	19
3.2.1 Temperatura -----	20
3.2.2 Color -----	21
3.2.3 Olor -----	22
3.2.4 Turbiedad -----	23
3.2.5 Residuos -----	26
3.2.6 p.H. -----	27
3.2.7 Conductividad eléctrica -----	28
3.2.8 Radiactividad -----	29
3.3 Factores quimicos -----	30
3.3.1 Oxígeno disuelto (OD) -----	30
3.3.2 Nitrógeno -----	35

4893

3.3.3	Cloruros -----	38
3.3.4	Detergentes aniónicos -----	39
3.3.5	Acidez y Alcalinidad -----	39
3.3.6	Demanda Química de oxígeno (DBO)-	42
3.4	Factores Biológicos	
3.4.1	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) -----	43
3.4.2	Bacteriología -----	46
3.4.3	Número más probable (NMP) -----	48
3.4.4	Análisis microscópicos para Bacteriología -----	52
*3.4.5	Algas -----	52
3.5	Problemas y ejercicios -----	54
CAPITULO 4.	USOS DEL AGUA Y SU CALIDAD -----	56
4.1	Agua para uso doméstico -----	57
4.2	Agua para la industria -----	57
4.3	Agua para riego agrícola -----	59
4.4	Desarrollo y protección de fauna -----	63
4.5	Agua para propagación de peces y vida acuática -----	63
4.6	Agua para natación -----	64
4.7	Agua para canotaje y disfrute estético -----	65
4.8	Agua para energía y navegación -----	65
4.9	Problemas y ejercicios -----	65
CAPITULO 5.	MUESTREOS Y LABORATORIOS	
5.1	Muestreos -----	66
5.2	Laboratorios -----	70
5.3	Problemas y ejercicios -----	71
CAPITULO 6.	EFECTO DE LA CONTAMINACION DEL AGUA SOBRE PLANTAS Y ANIMALES	
6.1	Diversas interrelaciones -----	72
6.2	Comentarios sobre algunos parámetros -----	74
6.3	Problemas y ejercicios -----	76
CAPITULO 7.	ASPECTOS LEGALES DE LA CONTAMINACION DE AGUAS	
7.1	Legislación Extrajera -----	77

7.2	Legislación Nacional -----	79
7.2.1	Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación - ambiental -----	79
7.2.2	Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas -----	79
7.3	Derecho Internacional -----	80
7.4	Problemas y ejercicios -----	82

CAPITULO 8.

PROCESOS DE AUTODEPURACION

8.1	Etapas de contaminación-regeneración ---	83
8.2	Autodepuración de los cursos de agua ---	86
8.2.1	Desoxigenación y reoxigenación --	86
8.2.2	Efecto de la temperatura -----	88
8.2.3	Relación de desoxigenación por carga orgánica suspendida y disuelta -----	91
8.2.4	Desoxigenación por carga bental --	95
8.2.5	Reoxigenación atmosférica de aguas contaminadas -----	97
8.2.6	Balance de oxígeno disuelto -----	101
8.2.7	Carga de DBO permisible en corrientes receptoras -----	108
8.2.8	Balance de OD en lagos -----	111
8.3	Problemas y Ejercicios -----	114

CAPITULO 9.

PREVENCION DE LA CONTAMINACION

9.1	Tratamiento de los efluentes -----	121
9.2	Procesos preliminares -----	123
9.2.1	Rejas y rejillas -----	123
9.2.2	Cedazos -----	124
9.3	Procesos primarios -----	124
9.3.1	Desarenadores -----	124
9.3.2	Desgrasadores -----	124
9.3.3	Sedimentadores primarios -----	125
9.3.4	Fosas sépticas -----	125
9.4	Procesos secundarios aerobios -----	126
9.4.1	Lodos activados -----	126
9.4.2	Filtros rociadores -----	127
9.4.3	Filtros intermitentes y lechos de contacto -----	128

	Página
9.5 Procesos secundarios, anaerobios -----	129
9.5.1 Tanques Imhoff-----	129
9.5.2 Lagunas de estabilización -----	129
9.6 Problemas y Ejercicios -----	132
CAPITULO 10.	
APENDICE A Ley Federal para prevenir y contro lar la contaminación ambiental ---	133
APENDICE B Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas -----	140
BIBLIOGRAFIA -----	161

CAPITULO I

ANTECEDENTES

I.I. ORIGEN DE LA CONTAMINACION

La salud humana depende de muchos factores entre los que se halla en forma primordial tanto la cantidad como la calidad del agua utilizada. Según dice la Organización Mundial de la Salud "casi la cuarta parte de las camas disponibles en todos los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua".

El problema de la contaminación del agua empieza con los grandes conglomerados humanos y el advenimiento de la industrialización, debido a que la cantidad de desechos aumenta considerablemente por estos -- conceptos.

Este fenómeno se ha presentado en países altamente desarrollados, en donde se han tomado medidas tendientes a la regeneración de corrientes contaminadas principalmente por efluentes industriales, con altos costos y lentos resultados.

En México, afortunadamente se está a tiempo de impedir la manifestación de este fenómeno, mediante un correcto cumplimiento de la reglamentación tendiente a controlar la salida de los efluentes, evitando -- las grandes erogaciones que implican los procesos del saneamiento de las corrientes.

2014

I.2. DISTRIBUCION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

Teóricamente el volumen de agua-en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso- que existe en nuestro planeta, es el mismo desde los primeros tiempos. Su distribución en el mundo ha sido estudiada por diversos autores, estimándose su cantidad de la siguiente manera:

VOLUMEN MUNDIAL DE AGUA SUPERFICIAL

FUENTE	VOLUMEN EN Km ³	PORCENTAJE
Agua de Mares y Océanos	1 370 000 000	98.2519
Hielo Polar y Nieve	24 000 000	1.7212
Lagos de Agua Dulce	150 000	0.0108
Lagos de Agua Salada	130 000	0.0093
Agua en Corrientes	1 200	0.0001
Agua Constitutiva de los Suelos	80 000	0.0057
Vapor Atmosférico	14 000	0.0010
T o t a l	1 394 375 200	100.0000

La cantidad tan grande de agua de mares y océanos unida a la de hielo polar y nieve, es prácticamente inutilizable, una por ser salada y la otra por estar en lugares inaccesibles. El agua dulce de lagos se podría emplear en parte; el agua salada de los lagos por su condición, quedaría fuera de uso normal.

El agua corriente que representa un mínimo del total, es la que más se utiliza, debiéndose poner mayor atención en su conservación por los beneficios que produce su empleo, como son entre otros: consumo humano; riego agrícola; proceso industrial y acarreo de desechos. Es precisamente esta última acción la que debería atenderse, para que los desechos no inutilicen la corriente para usos posteriores.

res, como sucede frecuentemente.

En cuanto a la explotación y uso del agua dulce, tanto la superficial como la subterránea, ha sido muy irregular, pues se presenta el caso muy frecuente de grandes núcleos de población concentrados a las orillas de ríos poco caudalosos o en zonas semidesérticas, en contraste con el nulo aprovechamiento de grandes corrientes en la cercanía de las cuales se ubican escasos centros urbanos con baja población.

Otra fuente muy importante es la del agua subterránea, cuyas cifras son las siguientes:

AGUA SUBTERRANEA MUNDIAL	
Total Explotable	60 000 000 Km ³
Zonas de Activa Producción	4 000 000 Km ³

Respecto al agua superficial y su distribución en la República Mexicana en 1975, la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos -- investigó el aprovechamiento racional de los recursos hidráulicos de México, para lo cual dividió al País en catorce regiones o unidades naturales, delimitadas prácticamente en todos los casos por medio de las líneas de parteaguas del sistema orogénico.

En el cuadro siguiente puede observarse el escurrimiento total en la República Mexicana y parcial en las regiones en que se dividió el País. Como se aprecia, estos recursos ascienden a 357 535 millones de m³ anuales, que corresponden en promedio a un volumen de 181 748 m³ por Km².

ESCURRIMIENTO EN LA REPUBLICA MEXICANA			
Núm.	R E G I O N	Escorrimento total millones m ³	%
1	Península de Baja California	574	0.16
2	Noroeste	33 708	9.43
3	Cuenca del Rio Balsas	12 186	3.41
4	Pacífico del Centro	11 333	3.17
5	Pacífico Sur y Zona Istmica	75 199	21.03
6	Golfo Norte	27 153	7.59
7	Golfo Centro	27 398	7.66
8	Cuenca del Rio Papaloapan	41 135	11.51
9	Golfo del Sur	110 875	31.01
10	Península de Yucatán	3 685	1.03
11	Cuencas carradas de Chihuahua	856	0.24
12	Cuencas cerradas del Norte	100	0.24
13	Cuencas cerradas de los Rios Nazas Aguana val y Mezquital	2 303	0.64
14	Centro Lerma	10 970	3.08
	Estados Unidos Mexicanos	357 535	100.0

AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REPUBLICA MEXICANA	
Total Explotable	255 Km ³ /anuales
Aprovechables	28 Km ³ /anuales

La estimación de agua subterránea es aproximada, sobre todo la aprovechable, ya que su cantidad depende de la zona y de la profundidad promedio de los pozos de explotación.

Aún con esta cantidad aprovechable tan baja en relación con la total, representa un volumen extremadamente grande. Para tener -- idea de él, considérese que si toda el agua para uso potable en la -- República Mexicana fuera de origen subterráneo, se emplearían unos 7 000 millones de metros cúbicos al año, es decir apenas representaría de éste, 25 por ciento.

Solamente que debe considerarse que no en todos los sitios se puede extraer esta clase de agua; hay que tener en cuenta las restricciones que se imponen al mantener el equilibrio entre la cantidad llovida y la infiltrada, para extraer como máximo la que pueda prevenir una sobre explotación que produjera resultados a veces de tipo -- catastrófico. También debe tomarse en cuenta el agua que se emplea en riego y que representa un volumen superior al de consumo humano; desde el punto de vista social y económico resulta impropio regar con aguas subterráneas, pues en general es agua de calidad potable.

En cuanto a la cantidad global de agua y sus calidades, cabe -- aclarar que la tecnología actual ha hecho posible el uso del agua de -- los mares y de los hielos polares para abastecer a grandes conglomerados humanos aunque a costos superiores a los obtenidos a través -- de las fuentes tradicionales.

1.3 EL HOMBRE Y LA CONTAMINACION DEL AGUA

La naturaleza mantiene en constante equilibrio todos los factores que permiten el proceso biológico en continuo desarrollo, aún -- cuando en ocasiones aparente que se vuelve sobre lo que cuida, como sucede por ejemplo con los depredadores, que los hay desde magnitudes microscópicas como las bacterias hasta enormes como el fuego.

Desde el punto de vista ecológico todo esto es mecánico, PERO el hombre en su muy loable afán de superación, modifica estas condiciones con repercusiones en su ambiente. Así se tiene desde - - tiempos inmemoriales la quema de bosques y pastizales con fines - de cultivo, que dejan al suelo expuesto a una más rápida erosión - - aumentando al mismo tiempo los sedimentos en las corrientes de - - drenaje. El incremento de desechos urbanos cada vez más compactos, es otro ejemplo.

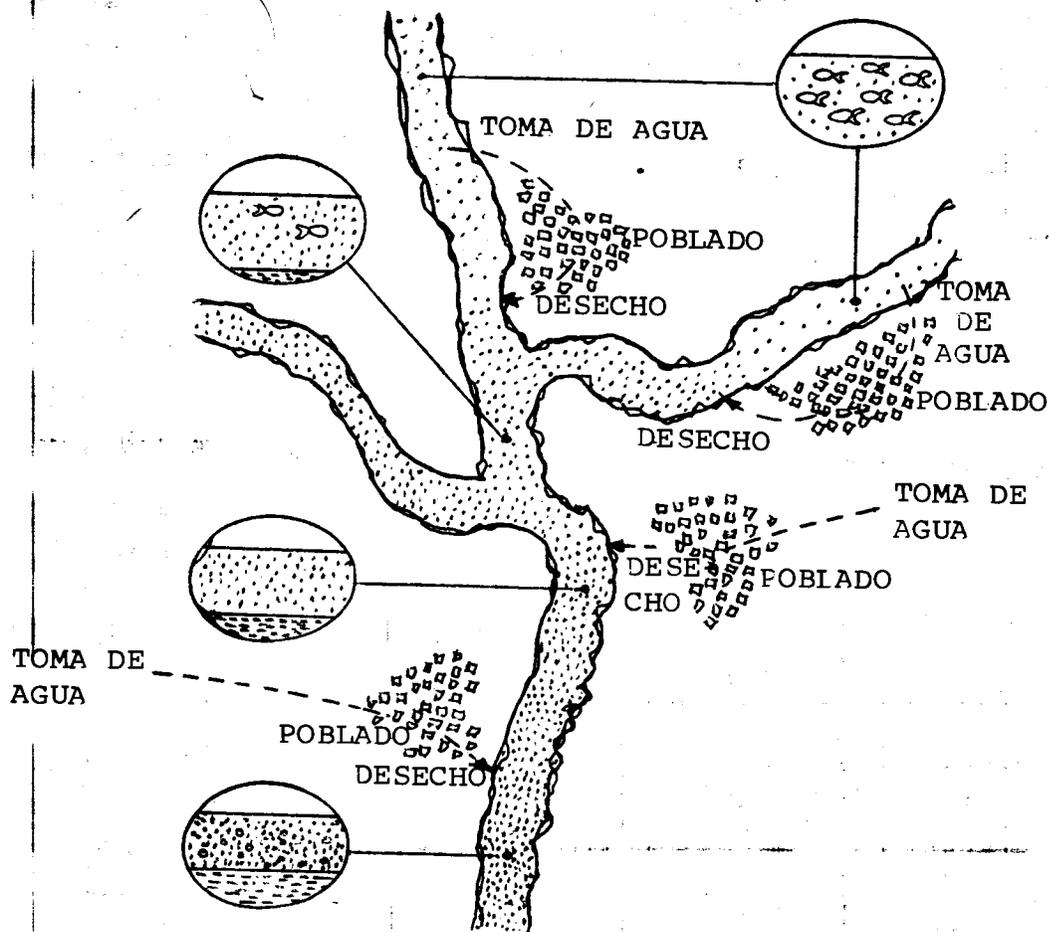
Los conglomerados humanos más importantes han surgido cerca de los ríos por las grandes ventajas que se obtienen, como son - entre otros, el surtirse de agua; pero todos los desechos líquidos - naturalmente reconocen la misma cuenca, degradando el agua corriente abajo.

Esto no es problema nuevo; por ejemplo y sin remontarse a - épocas históricas lejanas, en el año 1167 se decía que en Roma "los estanques, las cavernas y los ruinosos lugares que rodeaban a la - ciudad, exhalaban vapores venenosos y el aire de toda la vecindad se había cargado de pestilencia y muerte". En el siglo XII, Santa Hilda guarda escribía que las aguas del Rin, de ser bebidas sin hervir, - "producirían nocivos fluidos azules en el cuerpo"; paradójicamente - Rin se deriva de una palabra alemana que significa pureza.

El hombre añadió mas contaminación al ambiente cuando comenzó a consumir combustibles fósiles para obtener energía. Esta nueva fuente de energía hizo posible el incremento de industrias, transportes y otras actividades, pero a la vez originaron nuevos desechos que llegaron a los ríos y a los mares.

Los científicos de salud pública del siglo XIX, en cierta medida detectaron y enseñaron a controlar la contaminación del agua debidas a bacterias patógenas y materia orgánica ordinarias, pero actualmente, se padece además la contaminación del agua por origen químico, a causa de la inmensa variedad de sustancias minerales y sintéticas que invaden al mercado, entre las que se hallan más de medio millón de sustancias artificiales, creciendo este número con 400 a 500 nuevos productos químicos por año; entre estos se cuentan - - insecticidas sintéticos, plásticos, antibióticos, radioisótopos y detergentes.

Tan solo una minúscula fracción de esas sustancias químicas, - por separado o en combinación, resultan en ocasiones tóxicas al - plancton marino que producen cerca del 70 por ciento de la provisión anual de oxígeno de la tierra. Existen pruebas de que el insecticida DDT puede suprimir la fotosíntesis en grandes extensiones de agua;-



DEGRADACION DEL AGUA SUPERFICIAL

aún más temibles son los hervicidas para estos casos.

La difusión del empleo del DDT estriba en que es un insecticida capaz de destruir los mosquitos vectores de la malaria. Este producto permitió evitar la muerte prematura de centenares de millones de seres humanos azotados por las enfermedades causadas por vectores transmisores de malaria, enfermedad de chagas, peste, tifo, fiebre amarilla, dengue, encefalitis, etc. A centenares y millares de kilómetros de las casas y de los campos rociados con DDT, se ha descubierto la presencia del insecticida.

Es una medida actual el ir retirando este producto del mercado y usarlo solamente bajo estricto control.

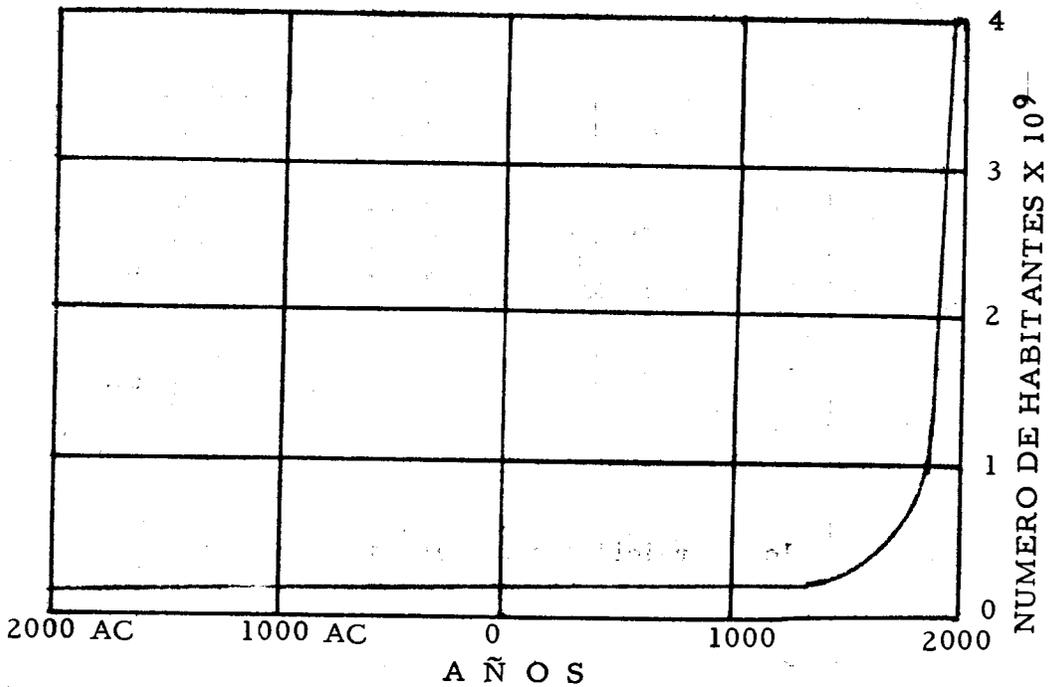
En todos los citados ejemplos de contaminación, se observa que el problema fundamental, lo constituyen el crecimiento de población, paralelamente al progreso tecnológico.

La relación del hombre con la degradación ambiental es clara si se observa la definición que da la Organización Mundial de la Salud para contaminación de corrientes:

"Se considera que una corriente ha sido contaminada por el -- hombre, cuando ésta contiene elementos físicos, químicos o biológicos de tal forma, que presenta más dificultad para su uso, que las que presentaría en caso de que estuviese en estado natural".

Durante el año de 1968, la población rebasó los 3 500 millones y en 1975 se llegó a los 4 000 millones.

La población mundial para 1985, tal vez sea de 5 000 millones.



CRECIMIENTO DE LA POBLACION MUNDIAL

La gráfica de población mundial en relación al tiempo muestra la concordancia de su incremento con el avance tecnológico y de las ciencias en general, haciéndose también extensiva al aumento de la contaminación.

1.4 CAUSAS MAS FRECUENTES

Las causas de contaminación en corrientes presentan dos aspectos importantes que deben diferenciarse. Esos dos aspectos contaminantes vienen siendo el natural y el artificial; tomando al primero -- como aquellas sustancias y materias arrastradas y disueltas en el agua que la hacen nociva en su uso; y como artificiales, aquellas materias y sustancias añadidas por el hombre, que cambian radicalmente el estado natural de la fuente. Para ver con mayor claridad la forma en que el agua adquiere contaminación natural y artificial, -- tómesese como base el ciclo hidrológico:

Se observa que el agua al caer en forma de lluvia, arrastra partículas y gases comunes en la atmósfera como el oxígeno, bióxido de carbono y azufre, además de polvos y gases producidos por el hombre; generalmente antes de su contacto con la superficie terrestre, está libre de bacterias, conteniendo solamente algo de polvo y compuestos químicos provenientes de los gases y vapores que atraviesa en su caída.

Una parte del agua de lluvia se infiltra en el terreno y otra escurre libremente; el escurrimiento superficial arrastra materia orgánica e impurezas tales como fertilizantes e insecticidas. Estas aguas superficiales forman arroyos y ríos -- que por su velocidad de escurrimiento tienen un poder de -- arrastre mucho mayor de materia orgánica, arcillas y minerales dependiendo del tipo de suelo por donde pasan. Siempre están expuestas a contaminación y es así como se hallan normalmente ya que por su paso a través de pastos, cultivos y bosques o contacto con suelos de naturaleza geológica distinta, se enturbian facilmente, adquiriendo colores y sabores generalmente indeseables.

Los ríos y arroyos son influentes que forman lagunas, lagos y embalses donde existe acumulación de materia orgánica -- (vegetales en descomposición), que en general traen como -- consecuencia una disminución del oxígeno disponible en el -- agua, así como colores y sabores que dificultan su tratamiento posterior. El agua así confinada tiene muy distintas calidades según sus niveles de profundidad debidas principalmente al plancton. El plancton es el conjunto de microorganismos animales y vegetales que viven normalmente en el agua y están afectados por las estaciones anuales, los días de -- sol y las variaciones de temperatura diaria.

El agua de lluvia o superficial que se infiltra en el terreno, pasa a formar parte del agua subterránea, siendo de muy -- baja contaminación tanto bacteriológica como mineral, ocurriendo esta última de acuerdo con la geología del sitio de --

explotación, pudiendo contener bióxido de carbono en donde se disuelven varias sustancias.

Los manantiales son las aguas subterráneas que afloran a la superficie en forma natural y como tales, tienen su origen en la infiltración del agua superficial o de lluvia, son de calidad muy buena pero factibles de contaminación de tipo orgánico al contacto con el aire y el suelo.

El agua que se extrae de pozos y galerías por lo común es de buena calidad, si se tiene cuidado de que en su extracción no se provoque contaminación.

1.5 Problemas y ejercicios

1.5.1 Investigación de una cuenca.

- a) Defina la cuenca de un río indicando su nombre y ubicación geográfica en un plano a escala adecuada.
- b) Describa las características hidrológicas de la corriente escogida.
- c) Resalte los centros poblados que se hallen dentro de la cuenca y defina el sitio y magnitud de las descargas contaminantes hacia el río.

1.5.2 Población tritutaria.

- a) Identifique la población más importante dentro de la cuenca de un río (preferentemente la del problema 1.5.1)
- b) Investíguese sus datos censales y calcule la población que probablemente tenga dentro de 10, 20 y 30 años.
- c) Estime los caudales de aguas negras que le pudieran llegar al río actualmente y a futuro en las fechas calculadas en b).
- d) Emita su opinión respecto a la calidad del agua del río si no se efectúa ningún tratamiento a los desechos de la población.

CAPITULO 2

CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS Y MARINAS

El estudio de la contaminación de aguas y su prevención debe extenderse a todo tipo de agua que el hombre puede usar. Entre esos tipos de agua se encuentran las aguas subterráneas y las aguas marinas. La importancia del agua subterránea resulta de su volumen ya que el consumo se acrecienta en forma vertiginosa. Las aguas marinas han sido vistas con la idea de usarlas para beber, previa desalinización y aunque en la actualidad los procedimientos para obtenerla dan como resultado costos altos, los científicos de varios países hacen estudios relativos a su explotación y reducción de costos.

2.1. AGUAS SUBTERRANEAS

Su importancia resalta al considerar el volumen disponible, ya que fuera de las aguas de los océanos y de los glaciares, supera por mucho a la capacidad de las demás fuentes.

Las aguas del subsuelo ofrecen un suministro natural más puro, económico y satisfactorio que el obtenido a través de aguas superficiales, siempre y cuando se conserven las aguas disponibles y se suplementen mediante una recarga adecuada procedente de los recursos superficiales.

Si no se administran cuidadosamente, fallarán en cantidad y en calidad pudiéndose dar el caso de que tengan que ser abandonadas.

No obstante su volumen y su resguardo, el agua subterránea no

es absolutamente segura en su calidad e inagotable en su volumen; - las arenas y otros suelos de grano fino o de rocas, pueden suministrar contaminantes de tipo químico al disolverlos de los estratos geológicos que atraviesa. No es de sorprender tampoco, que se hayan detectado brotes de enfermedades hídricas ocasionadas por aguas subterráneas, igual que en las aguas superficiales.

Las aguas subterráneas pueden por tanto, contener metano, ácido sulfhídrico y grandes cantidades de bióxido de carbono, provenientes de la descomposición de las plantas en el suelo; el rastrojo de las cosechas, las hojas que caen y las sustancias orgánicas de desecho, son destruidas por bacterias, hongos y otros microorganismos del suelo; esta materia en conjunto puede pasar a las capas superficiales de agua subterránea provocando al mismo tiempo, que cedan su oxígeno disuelto a los saprófitos. Las aguas subterráneas son transportadas a grandes distancias, sin embargo, los volúmenes de flujo están limitados al área de la recarga, es decir, a la extensión de su captación y a la cantidad de precipitación pluvial o de flujo de corrientes que alcance a las formaciones permeables. Ningún suministro subterráneo es inagotable. Un aprovechamiento sobrebombeado fallará, no importa en donde se encuentre situado y un consumo en exceso, cercano al mar, permitirá que se introduzca agua salada hacia el acuífero, lo que al fin y al cabo viene a ser una contaminación.

La autopurificación de las aguas subterráneas contaminadas difiere apreciablemente de la de las aguas superficiales. La variedad de organismos vivientes que se alimenta de las sustancias contaminantes, se encuentra sumamente restringida y depende del confinamiento y oscuridad, así como del espacio entre los poros del suelo; pero esta reducción en la purificación biológica se compensa mediante la purificación física a través de la filtración. En general se incrementa grandemente la velocidad de purificación y decrecen el tiempo y la distancia del trayecto de la contaminación.

Por lo que se refiere a los volúmenes de las fuentes de aprovechamiento de agua, el 20 por ciento del agua que se usa en México proviene del subsuelo; en Alemania cerca del 85 por ciento del agua que emplea proviene también del subsuelo.

Las fuentes comunes de explotación de aguas subterráneas son los manantiales, pozos y galerías filtrantes.

2.1.1. MANANTIALES

En los manantiales la contaminación se origina cerca del punto

de captación y se puede prevenir resguardando el manantial mediante una cámara hermética que penetra hasta una distancia segura dentro del acuífero y desviando el escurrimiento superficial hacia afuera de la vecindad inmediata.

2.1.2 POZOS

Excepto en roca dura, particularmente en piedra caliza, sin cubierta de arena o grava, los pozos generalmente no sufren contaminación por infiltración lateral, sino por entrada vertical de los contaminantes en la superficie del suelo o cerca de ella.

La contaminación se evita mediante revestimiento impermeable o sellos que penetran en el acuífero por lo menos tres metros bajo la superficie y alrededor del pozo.

2.1.3 GALERIAS FILTRANTES

La calidad del agua proveniente de una galería filtrante, depende en gran parte del diseño y su construcción, ya que el agua que se capta es prácticamente o en su mayoría de origen superficial reciente; y como agua superficial, está sujeta a innumerables causas de contaminación.

2.2 AGUAS MARINAS

La extensión de los mares es de aproximadamente 360 millones de kilómetros cuadrados y su volumen de aproximadamente 1,370 millones de kilómetros cúbicos; parecería que los océanos deberían estar fuera de toda posibilidad de contaminación, pero no es así, ya que están contaminados en muy buena parte de su extensión, aunque sólo sea en su capa superficial.

Esta contaminación superficial es provocada principalmente por el petróleo e hidrocarburos que son arrojados por los barcos al océano cuando se hace la limpieza de los mismos; un petrolero de regular tamaño (30,000 toneladas) arroja al mar 300 toneladas de hidrocarburos cada viaje. También influyen las fugas de las tuberías submarinas o productos de la explotación y exploración del suelo y subsuelo submarinos.

Aproximadamente 500 millones de toneladas son transportadas por mar durante un año, por tanto, suponiendo que el uno por ciento fuera arrojado al mar, resultaría que 5 millones de toneladas de petróleo y productos semejantes se vierten a las aguas.

Pero no solamente el petróleo viene a constituir el principal -- contaminante; en los últimos años se ha agregado otro de gran peligro: los desperdicios radiactivos.

Es práctica común que los desperdicios radiactivos líquidos y sólidos, sean enterrados, pero en años pasados eran arrojados al -- mar.

El desecho radiactivo es un peligro para la salud cuando el -- hombre se expone a la radiación que puede llegar a través de los alimentos o el aire.

Es generalmente aceptado que las algas y los vegetales superiores concentran ciertos isótopos dentro de sus células, lo que puede dar lugar a la contaminación de alimentos consumidos por el hombre. Además de esto, la disposición de isótopos de larga vida, echándolos al mar, pueden conducir a serias contaminaciones de alimentos en -- el futuro; así pues, fácil es concluir que los métodos actuales para -- el tratamiento y disposición final de los desechos radiactivos son muy peligrosos cuando hay en ellos isótopos de larga vida media.

Las contaminaciones provocadas por hidrocarburos y desechos radiactivos fueron contempladas en la Convención de Alta Mar, reunida en Ginebra el 29 de abril de 1958, por medio de sus Artículos 24 y 25 respectivamente y que están enunciados en la parte correspondiente a Aspectos Legales.

2.3 Problemas y ejercicios

2.3.1 Protección de obras de captación

- a) Dibuje en croquis los diseños de las obras que deben realizarse como medida de protección, -- para evitar la contaminación de aguas para uso potable; seleccione dos de ellas por lo menos, entre: manantiales, ríos, pozos profundos, norias, galerías filtrantes, lagos, etc.
- b) Emita sus comentarios sobre la eficiencia, seguridad u obras adicionales que surjan de su -- diseño.

2.3.2 Redacte un escrito sobre los derrames de petróleo al mar indicando bibliografía consultada.

2.3.3 Redacte un escrito sobre cualquier elemento que -- cause problemas por contaminación al agua de los mares. Indique bibliografía consultada.

CAPITULO 3

EVALUACION DE LA CONTAMINACION

3.1 GENERALIDADES

Según sea el uso del agua, se han adoptado normas de calidad que fijan límites a ciertos contenidos considerados ofensivos.

En general cada país tiene las suyas que en ocasiones son las reconocidas por la Organización Mundial de la Salud; sin embargo -- existen variaciones, no solamente de un país a otro, sino dentro de uno mismo, como sucede en los Estados Unidos de Norteamérica, en que varios estados cuentan con sus normas propias.

La calidad a través de los contenidos de elementos y sustancias en el agua, se pueden conocer si se lleva a cabo un examen minucioso que den resultados cualitativa y cuantitativamente de cada uno de ellos.

De aquí que la evaluación de la contaminación solo se concibe si se especifica el uso o destino del agua y se llevan a cabo los análisis necesarios para conocer sus contenidos. Entre los diferentes análisis existentes para determinar los parámetros que definen el grado de contaminación se encuentran los físicos, químicos y biológicos.

Es importante que al analizar las aguas contaminadas se determinen los constituyentes que puedan dificultar su tratamiento así como los que faciliten la elección del proceso más conveniente. Se deben hacer análisis de muestras del líquido en estudio, para comprobar el grado de contaminación y posteriormente análisis para ver el progreso, ya sea de contaminación o de depuración, bien esta última

sea natural o a base de un proceso acelerado

2-1 } Para realizar los análisis de aguas es muy importante lo referente al muestreo, ya que un punto básico es que éstas sean representativas del volumen del agua del cual se obtienen para que los resultados de los análisis, ya sean los efectuados en el campo o en el laboratorio, sean satisfactorios. Es conveniente por lo tanto, que la recolección de muestras se haga en la forma más cuidadosa y eficiente siguiendo las reglas y métodos establecidos.

Dependiendo de las características del examen del agua cada muestreo es diferente, incluyendo su forma de recolección, cantidades de muestras, tipos de envases, limpieza de los mismos, etc; todos estos factores cambiarán también si los exámenes se hacen de aguas con poca o abundante contaminación, si son aguas negras o efluentes de plantas de tratamiento y desechos industriales.

Los análisis dan por resultado las cantidades que contiene el agua de lo que se determina. Para efectos comparativos, independientemente del laboratorio, personal o procedimiento empleado, se han establecido unas normas que han adoptado la gran mayoría de los países en algunos casos con ligeras modificaciones; éstas son las publicadas por varias asociaciones de los Estados Unidos de Norteamérica bajo el título de Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Negras.

No se dan detalles de preparación de reactivos por que el fin de esta información es solamente tener idea de lo que se puede hacer y pedir a un laboratorio, con objeto de, posteriormente, hacer el estudio interpretativo de los resultados.

Al indicar el método que se sigue en el laboratorio para la determinación de los parámetros que se describen, se ha considerado que el ingeniero no los va efectuar, pero que debe conocerlos para apreciar el grado de confiabilidad de los resultados, el tiempo de elaboración, necesidades técnicas en cuanto a personal especializado -- uso de equipo y aparatos específicos, costo, manejo de las muestras, etc.

Debe también conocerlos para definir tipo y cantidad de análisis por realizar de acuerdo al estudio y fines que se persiguen.

En un estudio preliminar de carácter cualitativo, en ocasiones es suficiente con los parámetros más simples y sin llegar a emplear técnicas ni equipo tradicional. Tal ocurre cuando se efectúa por primera vez una visita al lugar de trabajo en que deben comenzarse a fijar los sitios de muestreo. Basta entonces con efectuar pruebas --

tales como temperatura, pH, turbiedad, color, olor, materia flotante y sólidos sedimentables.

La importancia de las pruebas de laboratorio, estriba en ayudar a formar una opinión acerca de lo adecuado que pudiera resultar el agua de una fuente de abastecimiento para un uso determinado. El agua en estudio puede tener caracteres físicos, químicos y biológicos que en conjunto, determinan la cuantificación de contaminación de acuerdo con los análisis respectivos.

Los principales criterios para evaluar el grado de contaminación de una corriente originalmente se basaban en los siguientes factores:

Concentración de microorganismos coliformes, déficit de saturación de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y concentración de sólidos en suspensión. En la actualidad se adicionan parámetros como la concentración de petróleo, fenoles, agentes tóxicos y radiactividad.

La Comisión Internacional para la Protección del Rin Contra la Contaminación, lleva a cabo diversas determinaciones fundamentales: temperatura, oxígeno disuelto, cloruro y fenoles y el consumo de permanganato de potasio.

La lista de determinaciones que efectúa la Comisión para el Saneamiento del agua del Río Ohio es mucho más larga; allí se determinan: sílice, aluminio, fierro, manganeso, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, sulfatos, calcio, cloruros, fluor, nitritos, fosfatos, cromo, níquel, cianuro, plomo, cinc, cobalto, arsénico, cadmio; además: sólidos, dureza, acidez, fenoles, conductividad eléctrica, pH, color, turbidez y NMP de colis.

El análisis de agua comprende además de las determinaciones físicas, químicas y bacteriológicas mencionadas, un examen microscópico, considerado tan importante y preciso, como las determinaciones químicas.

Cualesquiera que sean los parámetros seleccionados, es siempre necesario conocer los valores medios y extremos, datos que no puede proporcionar un análisis aislado.

Se observa claramente, que para una correcta interpretación y valoración del grado de contaminación de una corriente, es necesario hacer una serie de análisis de tipo físico, químico y biológico para considerarlos en conjunto, durante un tiempo que incluya los cambios climatológicos extremos.

Los análisis que se hacen al agua de desecho, forman una larga lista que conviene dividir en:

a) Físicos que comprenden:

Temperatura ✓
Color ✓
Olor ✓
Turbiedad ✓
Residuos ✓
pH ✓
Conductividad Eléctrica ✓
Radiactividad

b) Químicos, entre los que se hallan:

b.1) Gases disueltos
Amoniaco
Bióxido de Carbono
Cloro
Hidrógeno
Sulfuro de Hidrógeno
Nitrógeno ✓
Oxígeno
Bióxido de Azufre

b.2) Cationes

Aluminio
Amonio
Bario y estroncio
Calcio y magnesio
Cromo
Cobre
Ion hidrógeno
Hierro
Sodio y Potasio
Plomo
Manganeso
Niquel
Zinc

b.3) Aniones

Bromo y yodo
Carbonato y bicarbonato

- Cloruro
- Cromato y Dicromato
- Cianuro
- Fluoruro
- Hidróxido
- Nitrato
- Nitrito
- Fosfato
- Sulfato
- Sulfuro
- Sulfito

b.4) Varios

- Acidez y alcalinidad
- Demanda Química de oxígeno
- Requisito de cloro
- Dureza
- Nitrógeno de Kjeldahl
- Nitrógeno orgánico
- Materia oleaginosa y extractable
- Fenol
- Sílice
- Detergentes

c) Biológicos, que comprende:

- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda inmediata de oxígeno disuelto
- Bacterias del hierro
- Microrganismos
- Bacterias reductoras del sulfato
- Toxicidad aguda para peces de agua dulce

Los factores que se describen a continuación son los principales y que más frecuentemente se solicitan, por interpretar con ellos la calidad del agua dentro de los niveles que requiere el ingeniero.

3.2 FACTORES FISICOS

Un aspecto físico muy común es el sabor, que no se describe, por no ser prueba recomendable de hacer, ya que si se está buscando contaminación, el probar el agua puede resultar perjudicial al organismo.

El sabor no debe incluirse como prueba física, aunque esté -- catalogado como tal; se hace en pruebas de potabilidad: se dice en los reglamentos que sea de sabor agradable; pero se prueba teniendo la certeza de que es agua que se está valorando para uso potable o sea que es de buena calidad para beber.

No solamente es aconsejable dejar de hacer la prueba de sabor, sino que ni siquiera debe existir contacto directo con el agua, por no saber el grado de corrosividad que posea y qué sustancias tóxicas a la piel pueda contener.

3.2.1 TEMPERATURA

El agua en general adquiere la temperatura del ambiente y su variación con respecto a éste es muy poca. Está sujeta al clima local, la profundidad y la fuente de abastecimiento.

[La variación de la temperatura puede indicar principio de contaminación, pudiéndose afectar las actividades biológicas, la solubilidad de los gases y la viscosidad que influye sobre la sedimentación.] La temperatura del agua contaminada tiende a ser mayor que la natural en el mismo medio; la temperatura elevada indica casi siempre que se han vertido residuos calientes. Es más fácil encontrar una agua contaminada con temperatura elevada que con temperatura baja con respecto a la media normal.

El agua negra de una población se compone de los desechos del agua con temperatura normal, más la de los baños, calderas e industrias que generalmente desalojan aguas a altas temperaturas; por eso es que la elevación de la temperatura es indicio de contaminación.

La medición de la temperatura, es una de las pruebas que tienen que hacer forzosamente en el campo.

La temperatura se mide con un termómetro de laboratorio que tiene una precisión apreciativa de 1/10 de grado.

Los muestreos se deben obtener preferiblemente con calendario fijo y variaciones pertinentes, haciendo una serie de análisis que representen en promedio el dato más cercano a la realidad.

Hay diversos tipos de termómetros para tomar la temperatura en las aguas: común, carátula, termófono, digital a control remoto, etc.

Se usará de preferencia un termómetro de laboratorio que se sumerge en el agua hasta la marca que para ese objeto tiene y se

hace la lectura al medio grado; con mucha práctica se puede hacer al décimo. Dado que sería muy difícil en algunos casos tomar directamente la temperatura en el sitio deseado la muestra se toma en un frasco y de éste se toma, teniéndose en realidad un error despreciable respecto al agua libre. Para detectar contaminación, es conveniente conocer la temperatura en varios sitios.

3.2.2. COLOR

El tono del agua es muy diferente entre las corrientes variando aún en una misma; puede observarse desde el cristalino hasta el gris casi negro. La variedad en el color, causa sospecha de contaminación, sobre todo cuando se estima que son diferentes a los naturales.

Los colores en aguas contaminadas se pueden deber a descargas de tipo industrial, no olvidando que existen sustancias incoloras que pueden producir los mismos o peores efectos de contaminación, siendo necesario hacer toda una serie de análisis para poder comprobar su estado.

El color natural del agua es ocasionado generalmente por el humus de los bosques o la materia vegetal; se denomina color verdadero del agua a aquel que está presente después de haber sido removida la materia suspendida; y color aparente, el color verdadero modificado por sustancias en suspensión.

a) Determinación en el Campo

Se usan cristales de colores montados en discos que permiten comparar éstos sobre agua destilada con la muestra directa. Es procedimiento reconocido por el Servicio de Reconocimientos Geológicos de los Estados Unidos de Norteamérica (U.S. Geological Survey) quedan buenos resultados si se comparan con los del Método Platino-Cobalto usado en el laboratorio.

Estos discos se colocan en bases metálicas, que contienen tubos para la muestra y el agua destilada. Los discos coloreados equivalen a 5, 10, 20, 40 y 70 unidades estándar de color y se obtiene el resultado con intervalos de 5 unidades entre 5 y 145, si se combinan los críticos.

b) Determinación en el Laboratorio

Se emplea el Método de Platino-Cobalto que consiste en una escala preparada para definir unidades conocidas, usando tubos de

Nessler de 50 ml. de forma alta.

La escala de color, se prepara a base de Cloroplatinato de potasio y cloruro cobaltoso cristalizado, diluidos en agua destilada en proporciones establecidas, para que observada a través de una lámina de 200 mm., den la coloración estándar deseada.

En el caso de que se tuviera una agua que excediera las 70 -- unidades, la muestra se diluye con agua destilada hasta que esté -- dentro de los límites establecidos; el factor de dilución se multiplica posteriormente a las unidades observadas para obtener el resultado -- real.

3.2.3 OLOR

En general el olor se debe a la presencia de materia orgánica en descomposición o a compuestos químicos como son los fenoles; si además el agua contine cloro, la intensidad del olor aumenta.

Hay olores naturales específicos en lagos, ríos, mares, canales, etc., que pueden distinguirse de un olor producido por contaminación, siendo factibles de medida; los desechos industriales pueden producir olores diversos pero diferenciados.

El olor en el agua es debido a pequeñas concentraciones de -- compuestos volátiles y por la descomposición de la materia orgánica proveniente de microorganismos.

La intensidad del olor es muy variable, y los procedimientos -- analíticos no son satisfactorios para su medición, teniéndose que confiar en el sentido del olfato, variando éste de acuerdo con el individuo. Es importante considerar que rápidamente se atrofia este sentido.

Sería ideal que las pruebas para el olor se realizaran inmediatamente después de la recolección, pero si no es posible, es conveniente almacenarlas, tomando 500 ml. de muestra en un frasco de -- cristal de tapón esmerilado muy limpio, el cual se llena y se conserva en refrigeración hasta el momento del análisis; la muestra se debe enfriar en condiciones inodoras.

Para aguas contaminadas basta una apreciación burda de esta -- prueba, siendo suficiente indicar a qué huele y su intensidad en grados que van de ligero, regular, bastante, hasta ofensivo. Para casos muy especiales se siguen los procedimientos de laboratorio que -- gan a definir el número del olor incipiente.

Se llama número de olor incipiente, al número de veces que una muestra se tiene que diluir con agua inodora para que su olor sea apenas perceptible en la prueba del olor.

Se acostumbra que el volumen total de la muestra y del agua de dilución sea de 200 ml.

El número de olor incipiente se calcula en la forma siguiente:

$$\text{Número de Olor Incipiente} = \frac{\text{vol. de muestra} + \text{vol. de Agua Inodora}}{\text{Vol. de muestra}}$$

El número incipiente es la dilución en la cual apenas es perceptible el olor o en su caso también el gusto.

Se puede considerar como número incipiente el que corresponde al punto de percepción a partir del cual se tengan solo resultados positivos una vez ordenadas las respuestas respecto al incremento de concentración.

La temperatura adecuada para las pruebas del olor es de 60°C para el olor incipiente en caliente y de 40°C para el olor incipiente en frío. Es necesario registrar las temperaturas a las que se haya hecho la prueba.

3.2.4. TURBIEDAD

Las aguas contaminadas normalmente son turbias, porque contienen mayor o menor cantidad de materia sólida, ya sea ésta fija, -- volátil o sedimentable.

Las pruebas de turbiedad se pueden hacer tanto en el campo -- como en el laboratorio.

a) Determinación en el campo

Dependiendo de la corriente o del tipo de agua, se usa un disco dividido en cuadrantes pintados de blanco y negro sujeto al extremo de un tubo. Este disco se sumerge en el agua hasta que desaparezca la imagen; en el tubo que lo sostiene, existe una graduación -- que dá la turbiedad en función de la longitud del tramo sumergido.

Este aparato se llama Tubidímetro de Disco o de Secchi; cuando no se cuenta con este disco, se usa un alambre de platino bien -- pulido, con el cual se sigue el mismo método de medición de la tur -- biedad observando la desaparición del brillo del alambre al sumergir

lo. La graduación del tubo es proporcional a la del disco y con igual calidad.

b) Determinación en el laboratorio

Es deseable que la prueba se verifique el mismo día de la recolección, pero si esto no fuera posible, las muestras se conservan en la oscuridad hasta por 24 horas; si es necesario más tiempo, se usa 1 gr. de cloruro mercurico por litro. En ambos casos, antes de hacer el análisis la muestra se debe agitar. Se usan aparatos de nominados Turbidímetros.

El Turbidímetro de Jackson consiste en un tubo de vidrio largo y graduado al que se le pone un poco de agua por analizar; se coloca en un soporte encima de la llama de una vela especial de esperma de ballena que no produce humo y que tiene una intensidad fija a 7.6 cm. abajo del fondo del tubo de cristal.

A continuación, poco a poco se le va vertiendo más agua hasta que ya no se vea la concentración luminosa de la vela; entonces se leerá en la graduación del tubo la turbiedad del agua muestreada.

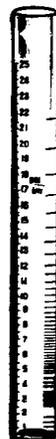
Se usa para turbiedades de 25 a 5 000 unidades y su graduación está dada a partir del fondo del tubo, pudiendose leer directamente el valor de la turbiedad.

Para valores mayores de 1 000 unidades, es necesario diluir la muestra con uno o varios volúmenes iguales de agua destilada, hasta lograr que la dilución tenga una turbiedad menor de 1 000 unidades; por consiguiente, la turbiedad original de la muestra se calcula partiendo de la turbiedad de la dilución y del factor de dilución.

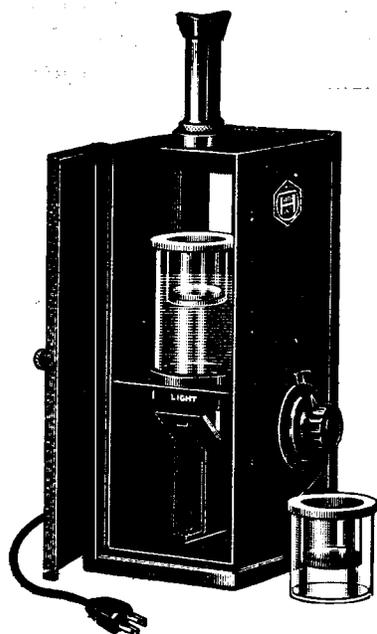
Los Turbidímetros de Balys y St. Louis Hallige son los que se usan para turbiedades menores de 5 unidades y trabajan con el principio de la luz dispersa.

Los tubos que se usan son incoloros y transparentes y deben estar escrupulosamente limpios; se llenan con las muestras y con los patrones, siendo conveniente dejarles reposar hasta la eliminación de la burbujas de aire; por comparación se determinan las unidades de turbiedad.

TURBIDIMETRO DE JACKSON



TURBIDIMETRO DE HALLIGE



Se define como residuo total al material que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su -- secado subsecuente en estufa, a una temperatura definida. El residuo que se retiene al paso de un filtro se denomina no filtrable y al que pasa filtrable. Se denominan también como suspendido y disuelto respectivamente, pero son mas apropiados los primeros nombres. La temperatura a la que se seca el residuo influye en los resultados; así se llegan a determinar los residuos fijos que son el remanente -- después de la calcinación a 600°C durante 10 a 15 min. La diferencia con el total es el residuo volatil.

Estos residuos pueden considerarse, aunque no con entera precisión, como equivalentes a los contenidos minerales y organicos respectivamente.

La materia sedimentable también se determina bien sea en volumen (ml/l) o en peso (mg/l); es aquella que se detecta después de dejar en reposo al agua durante una hora.

Determinación

Los residuos por evaporación se obtienen al evaporar 100 ml. de la muestra a 103°C en una cápsula seca y tarada. La diferencia de pesos entre el registrado para la cápsula seca y limpia y el de la cápsula que contiene los residuos, dará el contenido de este material para esos 100 ml. que después se transforman a mg/l.

Los residuos totales volátiles y fijos se determinan calcinando los residuos totales de evaporación a 600°C en una mufla durante 10 a 15 min.; nuevamente por diferencia de pesos se conocen los contenidos. Directamente la diferencia dá la parte fija y el resto al peso original, la volatil.

La materia suspendida se determina por filtración a través de una capa de asbesto de unos 2 mm de espesor sobre el fondo perforado de un crisol Gooch. Se requiere de un succionador para favorecer el paso de 100 ml. de muestra. Una vez seco, se determina -- por diferencia de pesos el contenido.

La materia suspendida volatil y suspendida fija, se determina -- calcinando el crisol Gooch a 600°C durante 15 a 20 min.

La materia sedimentable generalmente se determina en ml/l -- usando el cono Imhoff y un litro de muestra.

Se deja en reposo 45 min. después de los cuales se agita ligeramente para desprender los sólidos retenidos en la pared del cono y después de 15 minutos para completar una hora, se hace la lectura de los sólidos sedimentados directamente sobre la graduación del cono.

3.2.6. pH

El pH interviene en el cálculo de carbonato, bicarbonato y bióxido de carbono, así como en el cálculo del índice de corrosión y en el control de los procesos de tratamiento de agua.

El potencial hidrógeno o pH se expresa de la siguiente manera:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+]$$

El valor que corresponde al agua pura y que se interpreta como el punto neutro es $\text{pH}=7$. En la escala de pH, de 0 a 7 se agrupan los ácidos y de 7 a 14 las bases.

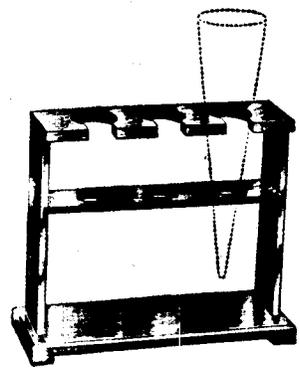
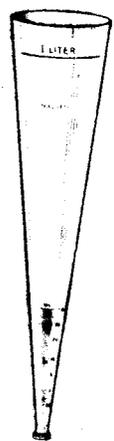
{ La determinación del pH, es útil para regular el funcionamiento de instalaciones de tratamiento de aguas contaminadas; tiene poca relación con la fuerza o concentración de las aguas negras. En casos especiales, el pH de un desecho industrial puede dar indicios -- con respecto a su naturaleza; una alcalinidad o acidez anormal es -- producto de este tipo de desechos. }

Por lo general, las aguas negras tienden a la basicidad pero -- dependen de la calidad de los efluentes industriales cuando éstos son de cierta magnitud respecto a los desechos domésticos.

a) Determinación en el campo

Se usa el Método Colorimétrico en el que se utilizan tiras de papel tornasol, las cuales al sumergirse en el agua toman color azul, rojo, amarillo, naranja, violeta, etc. dependiendo de si el pH es ácido o básico y su intensidad. Todos estos colores vienen tabulados -- correspondiendo según los tonos registrados a determinados valores -- del pH.

Este método da una idea solamente de los valores del pH, no -- es exacto debido a las interferencias producidas por color, turbiedad, sustancias coloidales, cloro libre, etc. Para fines prácticos en problemas de contaminación, en ocasiones es suficiente conocer los valores de esta manera.



CONO IMHOFF

COMPARADOR DE pH

b) Determinación en el Laboratorio

Se usan los medidores con electrodos de cristal, ya sea de corriente o de pilas; se les denomina Potenciómetros.

Con este sistema no existen las interferencias del método colorimétrico, pero se tiene el error producido por presencia de sodio, que se puede reducir empleando electrodos especiales de bajo error de sodio; esto sucede cuando el pH es mayor de 10.

Para utilizar el aparato, debe comprobarse antes con soluciones amortiguadas de valores intermedios de pH 4, 7 y 9.

3.2.7. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Mide la concentración de electrolitos debido a la conductancia tan alta que tienen los iones hidrógeno u oxhidrilo; se neutraliza el agua antes de hacer la medición. Aunque no es preciso, la conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sólidos disueltos. La temperatura influye en el resultado, por lo que se mide a 25° C o se corrige por este concepto.

Determinación

Se usa un Puente de Wheatstone que mide el paso de la corriente entre dos electrodos separados un cm. y con una área de un cm², manteniendo el agua a 25° C.

La conductividad eléctrica o conductancia específica, como - - - también se le denomina, es la recíproca de la resistencia entre los - - - electrodos; por tanto se da en micro mhos/cm.

Para calibrar los aparatos de medición, se usa una solución de cloruro de potasio 0.0100 N que a 25°C tiene una conductividad eléctrica de 1411.8 micro mhos/cm.

3.2.8. RADIOACTIVIDAD

La contaminación de corrientes se ha incrementado debido a la instalación de plantas nucleares y al acelerado uso de radioisótopos.

Otra contaminación más importante que la de los desperdicios - de reactores nucleares o de drenajes de laboratorios, es la de los - lodos de plantas que procesan elementos radiactivos.

Los desperdicios de estas plantas se almacenan en el suelo, te - niendo un gran tiempo de reposo y de vida; algunos de estos desper - dicios son acarreados por corrientes, llegando a contaminar mares y lagos.

Muchas de estas sustancias son de tal naturaleza que su desin - tegración nuclear es lo suficientemente rápida para que resulten ino - fensivas en poco tiempo. Otros materiales por el contrario, pueden necesitar un almacenamiento de varios años antes de convertirse en - inofensivos.

El tratamiento de los residuos radiactivos se basa en la elimi - nación de las partículas radiactivas del residuo; o en la dilución del residuo hasta límites tolerables de concentración radiactiva.

Los isótopos como el Uranio (U^{238}), Radio (Ra^{226}), Cesio - - (Cs^{137}), Estroncio (Sr^{90}), Estroncio (Sr^{89}), Fósforo (P^{32}), Yodo - - (I^{131}) y Sodio (Na^{24}) en concentración no tolerable, afectan a todo - el cuerpo.

La media vida de los isótopos que constituyen los principales - desperdicios radiactivos son:

Bario	140	12 días
Cesium	144	28 días
Cesium	137	30 años

Estroncio 89	53 días
Estroncio 90	19.9 años
Iodo 131	8 días
Itrio 91	61 días
Niobio 95	35 días
Zirconio 95	65 días

Era práctica usual que los desperdicios de material radiactivo fueran tirados a las profundidades marinas.

Actualmente solo unos 4 países siguen haciéndolo pero bajo condiciones cada vez más severas para el resguardo de la salud.

Debe medirse cuando haya sospechas de que el agua contenga desecho de este tipo. En ocasiones existen aguas denominadas radiactivas con tan bajo contenido, que no afectan la salud; en México la Comisión de Energía Nuclear, es la que se encarga de controlar los desechos de este tipo.

Los términos tolerable e inofensivo, son tema de amplias discusiones, ya que en radiactividad, el daño que se produce al hombre está en relación a la concentración recibida y solo si fuera nula no causaría efecto. Esto toma importancia al estudiarse desde el punto de vista genético.

3.3. FACTORES QUIMICOS *Análisis Químicos*

El análisis químico proporciona datos útiles y específicos respecto al estado de descomposición y fuerza de las aguas negras o corrientes contaminadas, para fines de tratamiento, evacuación y prevención. Se describen los factores que más influencia tienen en el conocimiento de la calidad del agua.

3.3.1. OXIGENO DISUELTO (OD)

Es muy importante la presencia de oxígeno disuelto en el agua, para que se lleve a cabo el proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica. Otra de las razones por las que se busca que exista oxígeno disuelto en el agua es la preservación de los peces. Se sabe que los peces viven en aguas cuyo contenido de oxígeno ---

disuelto sea igual o mayor de 5 ppm; si tiene menos (por ejemplo 4), el pez puede vivir pero durante unas dos horas; es decir, puede resistir menores contenidos pero por poco tiempo si no se le restituye. La concentración de OD de las aguas puede también relacionarse con la corrosividad, con la actividad fotosintética y con el grado de septicidad que posean, pues lo agota la materia orgánica al iniciar su transformación.

En el agua salada el oxígeno es menos soluble que en el agua dulce, en aguas negras la solubilidad es aproximadamente el 95% -- respecto al de aguas dulces.

La concentración del oxígeno disuelto en una muestra puede -- expresarse en miligramos por litro (mg/l); en partes por millón --- (ppm); o como porcentaje de la saturación.

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua está sujeta a las leyes de física para líquidos y gases en los que juegan un papel muy importante la presión y la temperatura. A continuación se transcribe una tabla que da la cantidad de OD en el agua dulce al nivel del mar, bajo presión atmosférica de 760 mm de Mercurio, conteniendo la atmósfera seca 20.9% de oxígeno.

Para otras altitudes, se considera que la solubilidad es directamente proporcional a la presión. En la ciudad de México, a una -- altitud de 2 200 mt. y a una temperatura media de unos 20°C, la -- cantidad de oxígeno disuelto de saturación del agua es de aproximadamente 7 ppm.

La determinación de la prueba de oxígeno disuelto es una de -- las más significativas, especialmente cuando se combina con la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y de estabilidad relativa. Es posible, que diferentes estratos de una misma masa de -- agua, tengan distintas concentraciones de oxígeno, pudiendo presentarse putrefacción en un estrato, antes de que se haya agotado el -- oxígeno en otro.

SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN AGUA DULCE

A NIVEL DEL MAR

(Cantidad de OD en el agua pura)

T (°C)	OD (mg/l)	T (°C)	OD (mg/l)	T (°C)	OD (mg/l)
0	14.62	10	11.33	20	9.17
1	14.23	11	11.08	21	8.99
2	13.84	12	10.83	22	8.83
3	13.48	13	10.60	23	8.68
4	13.13	14	10.37	24	8.53
5	12.80	15	10.15	25	8.38
6	12.48	16	9.95	26	8.22
7	12.17	17	9.74	27	8.07
8	11.87	18	9.54	28	7.92
9	11.59	19	9.35	29	7.77
				30	7.63

Las causas que afectan la solubilidad del oxígeno en el agua son: la turbulencia en la superficie, la temperatura; la presión atmosférica; el porcentaje de oxígeno en la atmósfera; la deficiencia de oxígeno en el agua; el área de la superficie expuesta y otras condiciones mas, que vale la pena estudiar en cada caso y decidir su evaluación según la naturaleza del estudio.

La determinación del oxígeno disuelto, es una de las pruebas que debe hacerse de inmediato por la pérdida o la ganancia que hay de acuerdo con el contenido de materia orgánica, tanto productora como consumidora de oxígeno. Por lo menos debe fijarse en campo y determinarlo posteriormente en laboratorio.

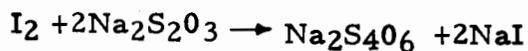
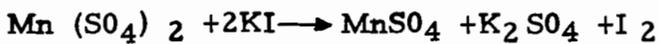
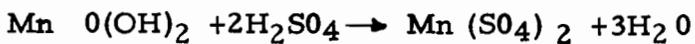
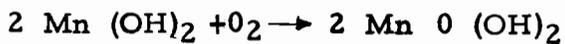
Determinación

Se usa el método básico de Winkler con sus modificaciones para evitar interferencias; una de las mas empleadas es la de Alsterberg que elimina la interferencia tan común de los nitritos.

Este método se basa en el hecho de que el oxígeno oxida el -

Mn^{++} a un mayor estado de valencia, bajo condiciones alcalinas; y - que el manganeso a un mayor estado de valencia, es capaz de oxidar el Ión yodo (I^-) a yodo libre (I_2), bajo condiciones ácidas. Entonces la cantidad de yodo libre liberado, es equivalente al OD originalmente presente. El yodo es medido con una solución normal de tiosulfato de sodio e interpretado en términos de OD.

Las reacciones incluídas son las siguientes:



Si no hay oxígeno presente se forma un precipitado blanco de $Mn(OH)_2$ cuando se agrega el reactivo álcali-yoduro ($KOH-KI$) a la muestra; pero si hay oxígeno presente, entonces algo de Mn^{++} se oxida a una mayor valencia, precipitándose como un óxido hidratado de color café.

La oxidación del Mn^{++} llamada a veces fijación del oxígeno, - ocurre muy lentamente, sobre todo a bajas temperaturas, razón por la cual es necesario remover el material floculado a través de toda la solución para permitir que reaccione todo el oxígeno.

Esto se logra agitando vigorosamente la muestra por lo menos durante 20 segundos.

Después de agitada la muestra, se permite la sedimentación - del flóculo hasta unos 5 cm. abajo del tapón del frasco; en este momento se agrega el ácido sulfúrico. A las condiciones resultantes de bajo pH (condiciones ácidas), el MnO_2 oxida I^- para producir I_2 .

La muestra debe taparse y agitarse durante unos 10 segundos para permitir que se complete la reacción y se distribuya el yodo uniformemente en toda la muestra.



FRASCO PARA DETERMINAR
OXIGENO DISUELTO

Se procede a la titulación con la solución 0.025 N de tiosulfato de sodio, agregando un poco de solución de almidón para afinar el punto de equilibrio.

El uso de una solución 0.025 N=1/40 N, se basa en lo siguiente:

La normalidad de la mayoría de los agentes que se usan para las titulaciones en los análisis sanitarios, está ajustada de tal manera que cada ml. es equivalente a 1 mg. de la sustancia medida, por lo que debe usarse una solución 1/8 N. de tiosulfato ya que el peso equivalente del oxígeno es 8. Sin embargo tal solución es demasiado concentrada para permitir determinaciones precisas de oxígeno disuelto a menos que se titulen muestras demasiado grandes. Es práctica normal usar muestras de 200 ml. para la titulación, o sean 1/5 de litro, entonces usando un agente con una concentración de 1/5 como convencionalmente se usa, los resultados obtenidos en muestras de 200 ml. en términos de mililitros de titulante usado, son los mismos que si 1 litro de muestra haya sido tratado con un reactivo 1/8 N, eliminando la necesidad de cálculos. Por otra parte, cuando se usan botellas de 300 ml. para la prueba, se agregan 2 ml. de $MnSO_4$ y 2 ml. de álcali-KI como reactivos que desplazan aproximadamente 4 ml. de muestra, por lo que debe hacerse una corrección.

Cuando se agregan los 2 ml. de ácido, no se desplaza nada del flóculo oxidado, entonces no necesita, por este motivo, ninguna corrección.

La corrección por desplazamiento será:

$$\frac{300 - 4}{300} = 0.987; \quad \frac{1}{0.987} = 1.013 \text{ (factor de corrección)}$$

Esto equivale a tomar para la titulación un volumen de 203 ml. de muestra tratada.

3.3.2 NITROGENO

Los principales componentes de la materia orgánica son: car - bón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre además de otros en me - nores cantidades.

En los análisis de aguas negras se pueden hacer cinco tipos - de determinaciones de nitrógeno: amoniacal, orgánico o protéico, albu - minoide, nitritos y nitratos.

La descomposición del nitrógeno sigue un ciclo que es tan solo una concepción ideal, porque en la naturaleza existen muchos cortos circuitos y retrocesos que impiden la progresión continua del mismo. Se puede describir aproximadamente del siguiente modo: a la muerte de una planta o de un animal, se inicia la descomposición, acompa - ñada de la formación de urea, que se descompone a su vez en amon - íaco. Esta se llama la fase de putrefacción del ciclo del nitrógeno. La fase siguiente es la nitrificación, en la que los compuestos amon - iacales se oxidan para formar nitritos y nitratos y prepararse de - este modo para servir de alimento a las plantas. En la fase de la - planta viva, los nitritos y nitratos sufren la desnitrificación y de - - este modo son utilizados como alimento, vegetal o animal. La fase superior del ciclo del nitrógeno es la vida animal en la que el nitró - geno forma parte de la sustancia del animal vivo o se transforma en urea, amoníaco, etc., por las funciones vitales del organismo ani - mal.

A la muerte del animal, el ciclo vuelve a comenzar.

La presencia de amoniaco en el agua es frecuentemente inter - pretado como una contaminación reciente con productos nitrogenados; en aguas subterráneas puede provenir de la disolución de estratos - que contengan sales amoniacales. Se considera de reciente contami - nación su presencia porque rápidamente se oxida a través de ciertos organismos pasando a nitrato, pero con algún cambio del pH del - - agua.

Contenidos elevados de nitrógeno orgánico o protéico se rela - ciona con una contaminación de aguas negras o desechos industriales. El nitrógeno orgánico y el amoniacal integran el nitrógeno total.

El nitrógeno albuminoideo es una medida aproximada del nitró - geno de origen protéico derivado de la vida animal y vegetal de los medios acuáticos; en aguas contaminadas es índice de la materia - - orgánica desdoblada en aminoácidos, polipéptidos y proteínas.

Los nitratos provienen generalmente de la materia orgánica ni trogenada de origen animal; la materia vegetal libera muy pocos ni- tratos. Representan la fase final de la oxidación del ciclo del nitró- geno.

Los nitritos se relacionan con una contaminación con aguas ne gras o desechos industriales, sujeta a oxidación puesto que el proce- so no ha terminado en nitratos.

Determinación

a) NITROGENO AMONIACAL

a.1) Método de Nesslerización directa.

Las muestras se clarifican primero por medio de sulfato de - zinc e hidróxido de sodio, después se obtiene una medida de la canti dad de nitrógeno amoniacal usando el reactivo de Nessler, que es -- una fuerte solución alcalina que reacciona con el amoniaco para for- mar una amina compleja de color café; por lo tanto produce colores que vandel amarillo al café, para compararse con una escala valora- da.

Se tienen interferencias producidas por alcoholes, aldehídos y acetona, así como de aminas alifáticas y aromáticas, y de otros -- compuestos indefinidos, los cuales al usarse el reactivo de Nessler dan turbiedad o coloración impropia.

a.2) Método de Destilación

Este método es usado para separar el amoniaco de las subs- tancias interferentes, conservando la muestra en destilación a un pH de 7.4 usando una mezcla de fosfatos.

Para evitar las interferencias cuando las muestras contienen más de 205 mg/lt. se usa una solución amortiguadora de fosfato, -- 0.5 M; para los sulfuros que producen turbiedad después de la ness lerización, se pueden evitar agregando carbonato de plomo a la -- - muestra antes de la destilación; las sustancias volátiles como el - formaldehído se eliminan por ebullición a bajo pH pudiéndose desti- lar y nesslerizar la muestra.

b) NITROGENO ORGANICO

Se determina por diferencia entre el total Kjeldahl y el de --

amoniaco libre.

Se usa el ácido sulfúrico como agente oxidante al que se le ha agregado sulfato de potasio para elevar su punto de ebullición de 345° a 370°C, además se usa el sulfato mercúrico como catalizador. Se alcaliza la solución después de la dilución con hidróxido de sodio y el amoniaco se destila sobre una solución diluida de ácido bórico.

El borato de amonio se titula con ácido sulfúrico valorado, usando indicador mixto.

Para la interferencia de materia orgánica exenta de nitrógeno, se usa un volúmen adicional de 50 ml. de la solución ácido sulfúrico-sulfato mercúrico-sulfato de potasio por cada gramo de material sólido en la muestra.

c) NITROGENO DE NITRITO

La interferencia que existe de metales pesados como el oro, plomo, hierro, mercurio, etc. ocurre en forma de precipitación y otros por la formación de sales coloreadas; las aminas alifáticas reaccionan con los nitratos para liberar nitrógeno gaseoso; no debe haber agentes oxidantes fuertes.

Se usa el Método del Acido Sulfanílico que no sufre interferencias con cantidades elevadas de níquel, zinc, bromuro, fluoruro, cloruro, etc. Consiste en la diazoación del ácido sulfanílico por medio del ion nitrito, seguida de un acoplamiento con alfa-naftilamina. Se lleva a cabo bajo un pH de 2.0 a 2.5. Se compara colorimétrica mente.

d) NITROGENO DE NITRATO

La determinación del nitrógeno de nitrato en aguas negras y desechos industriales es más difícil que en aguas naturales, debido a las interferencias por los cloruros y a su acción reductora.

Se cuenta con dos métodos Colorimétricos

d.1) Método del Acido Fenodisulfónico

Los nitratos reaccionan con el ácido fenodisulfónico para producir un derivado de nitro en una solución alcalina.

La interferencia producida por los cloruros, se puede eliminar usando el sulfato de plata.

Previamente se debe clarificar el agua con una solución de sulfato de zinc y de hidróxido de sodio.

Se evapora la muestra para que los residuos se mezclen con el ácido para que posteriormente a base de hidróxido de amonio y de potasio, se obtenga por filtración el líquido coloreado para su valoración.

d.2) Método de la Brucina

Este método tiene una ventaja sobre el anterior, y es que en concentraciones normales, los cloruros no producen interferencias, y la del cloro se elimina usando arsenito de sodio siempre y cuando el cloro residual no sea mayor de 5 mg/lt.; producen interferencias -- los agentes oxidantes o reductores fuertes. El hierro ferroso y férrico en cantidades menores de 1 mg/lt. no interfieren; la interferencia del nitrito se evita por la adición del ácido sulfanílico.

Se basa en la formación de un color amarillo en la muestra -- al reaccionar el ión nitrato con ácido sulfúrico concentrado y con -- una solución de cloroformo del alcaloide brucina.

La reacción entre el nitrato y la brucina produce un color -- amarillo-azufre; la intensidad del color varía inversamente con la -- temperatura y la velocidad del desarrollo del color varía más o menos directamente con la temperatura.

3.3.3 CLORUROS +

Los cloruros se deben a combinaciones del cloro con otros elementos; no deben ser confundidos con el cloro que se encuentra a menudo en forma de residuos en las aguas negras. Los cloruros son sustancias inorgánicas encontradas comunmente en la orina del hombre y de los animales; no son afectados por los procesos biológicos ni por la sedimentación, pero sí por ciertos desechos industriales como los de las fábricas de hilados o los procesos de salado de carnes.

Los cloruros se hallan en aguas de las regiones costeras o en terrenos salinos. También se debe su presencia a contaminación con alimentos o con aguas negras; el cloruro de sodio es un artículo común de la dieta y pasa sin modificación a través del sistema digestivo. En las costas se pueden encontrar los cloruros en altas concentraciones, por las infiltraciones de aguas marinas en los sistemas de agua potable y alcantarillado.

Cuando se presenta en elevadas concentraciones son tóxicos a las plantas. Se confirma la contaminación del agua por la presencia conjunta con nitritos, nitratos y amoníaco.

Determinación

Se emplea el Método de Mohr que usa una solución neutra o alcalina (con pH de 7 a 10) y para la titulación una solución de nitratos de plata, 0.0141 N; como indicador de vire, el cromato de potasio.

En la prueba no interfieren los bromuros, yoduros y cianuros que se registran en concentraciones equivalentes al cloruro, sin embargo interfieren el sulfuro, tiosulfato y sulfito, aunque el sulfuro y el tiosulfato se eliminan usando el peróxido de hidrógeno al 30% en una solución alcalina; el sulfito se elimina usando la misma sustancia en una solución neutra.

Para la prueba se usa una muestra de 100 ml.

3.3.4 DETERGENTES ANIONICOS.

Los detergentes sintéticos (A.B.S.) que son una cadena Alquil-Benceno-Sulfonatos de sodio, conducen a ciertas perturbaciones sobre las aguas de los ríos que se traduce en producción de espuma; son productos de difícil desdoblamiento biológico. Existe otra cadena lineal (L.A.S) que es fácilmente desdoblable, pero que todavía no se difunde en forma comercial por problemas de producción.

Son característicos en aguas negras de origen doméstico por lo que su presencia indica contaminación con éstas. El problema directo es la producción de espuma; los indirectos provienen de su particularidad para abatir la tensión superficial del agua.

Determinación

Existen varios métodos entre los que se emplea más frecuentemente el del azul de metileno. Está basado en la reacción que se efectúa entre el azul de metileno y los agentes aniónicos; la sal formada es soluble en cloroformo produciendo una coloración proporcional al contenido.

3.3.5 ACIDEZ Y ALGALINIDAD

La acidez y la alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para reaccionar con los iones hidroxilos y los iones hidrógeno respectivamente. Debido a la relación que tiene con el pH y que no es congruente con esta última escala, algunos químicos prefieren hablar de concentraciones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en-

lugar de alcalinidad.

Valores comprendidos entre pH 3.5 a 9.0, se consideran resultado de la presencia de acidos o bases débiles. Si la alcalinidad sobrepasa este límite o la acidez está abajo de él, se debe a la presencia de bases o ácidos fuertes respectivamente.

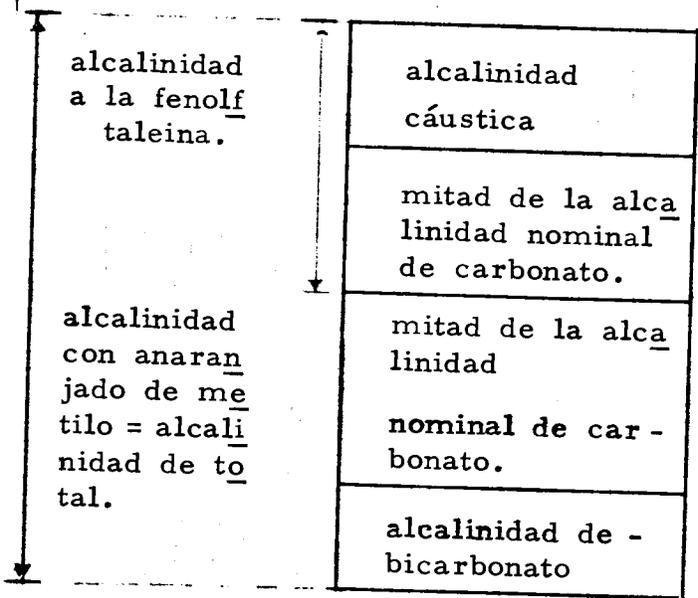
En general el dato que se proporciona de los análisis, es la alcalinidad.

Determinación

Se determina por titulación con una solución 0.02N de H₂SO₄ y se reporta en términos de CaCO₃. Los indicadores que se usan responden en el ámbito de pH de 4 a 5.

Se emplean frascos de muestras de 100 ml; como indicadores se usa la fenolftaleína en el primer paso de la titulación hasta una ligera coloración rosa cuando el pH está cerca de 8.3; en el segundo paso de la titulación, se usa el anaranjado de metilo para valores inferiores a 4.5, ya que para valores más altos es mejor usar el indicador mixto verde bromocresol y rojo de metilo.

Usando el anaranjado de metilo como indicador final, se tiene lo siguiente:



Adición de - - - - -
0.02 N H₂SO₄ reduce el pH.

pH de 8.3 al final de la titulación con fenolftaleína.

pH de 4.6 al final de la titulación con anaranjado de metilo.

Además de la interferencia producida por el cloro que se elimina usando una solución de tiosulfato de sodio, se tienen otras interferencias causadas por el carbonato de calcio y el hidróxido de magnesio que se encuentran finamente divididos y que originan desviaciones en el cambio de coloración (vire), por lo que se recomienda que antes de la titulación, la muestra se filtre en un papel fino.

Si la alcalinidad total se determina de la misma porción que se usa para la alcalinidad a la fenolftaleína, hay que tener en cuenta el volumen de ácido usado en la fenolftaleína e incluirlo en el volumen total del ácido consumido.

Las formas de alcalinidad en el agua, expresadas en mg/lt. de CaCO_3 , que relacionan la alcalinidad a la fenolftaleína y la alcalinidad total o alcalinidad de anaranjado de metilo son:

Resultado de la Titulación	Alcalinidad de Hidróxidos (OH^-) - en CaCO_3	Alcalinidad de Carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) en CaCO_3	Alcalinidad de Bicarbonatos (COH^-) en CaCO_3
$F = 0$	O	O	T
$F < 1/2 T$	O	2F	$T - 2F$
$F = 1/2 T$	O	2F	O
$F > 1/2 T$	$2F - T$	$2(T - F)$	O
$F = T$	T	O	O

en donde:

F = alcalinidad a la fenolftaleína

T = alcalinidad total

El sistema de esta clasificación se basa en lo siguiente:

- Hay alcalinidad de Carbonatos cuando la alcalinidad a la fenolftaleína no es nula pero es menor que la alcalinidad total.
- Hay alcalinidad de hidróxidos cuando la alcalinidad a la fenolftaleína es mayor de la alcalinidad total.
- Hay alcalinidad de bicarbonatos cuando la alcalinidad a -

la fenolftaleína es menor de la mitad de la alcalinidad total.

3.3.6 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

Es una prueba muy usada para detectar contaminación de origen industrial; valora todo lo que es oxidable y no solamente a la materia orgánica, de manera que siempre es mayor el valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con respecto al valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), variando los resultados de acuerdo con la composición del agua, concentraciones del reactivo, temperatura, período de contacto y otros factores. Además, para ciertos desechos que contienen sustancias tóxicas esta prueba es el único método para determinar la carga orgánica, su mayor ventaja es el corto tiempo que se requiere para su valoración siendo necesario tan solo 3 hrs. Esta prueba complementa a la DBO puesto que refleja algunas sustancias no detectables por ésta; sin embargo en ausencia de un catalizador el método comunmente empleado para DQO, no llega a incluir algunos compuestos orgánicos como el ácido acético que biológicamente se encuentran disponibles para los organismos de las corrientes, mientras que se detectan algunos compuestos biológicos como la celulosa.

Esta prueba es complicada y peligrosa por las sustancias que se emplean; se ha estandarizado y adaptado extensamente para pruebas de desechos industriales.

Determinación

El método usado para la prueba es el del Bicromato al Reflujo, debido a que se aplica a una amplia variedad de muestras sin necesidad de modificación.

Este método se usa cuando se tengan valores de 50 mg/lt. o mayores de DQO.

Se usa un matraz aforado esférico de 300 ml. con cuello esmerilado 24/40 y un refrigerante Friedrichs.

En el matraz se vierte a la muestra el bicromato y posteriormente H_2SO_4 mezclando cuidadosamente para evitar calentamientos locales que provoquen la explosión del matraz. El matraz se coloca en el refrigerante y se somete a reflujo por 2 horas o a veces menos según el tipo de desecho.

Se cambia la muestra tratada a un matraz cónico y después de diluir se titula el exceso de boricromato con sulfato ferroso amoniacal.

Se procede en igual forma para agua destilada en lugar de la muestra como testigo y tomada en cuenta en el cálculo final.

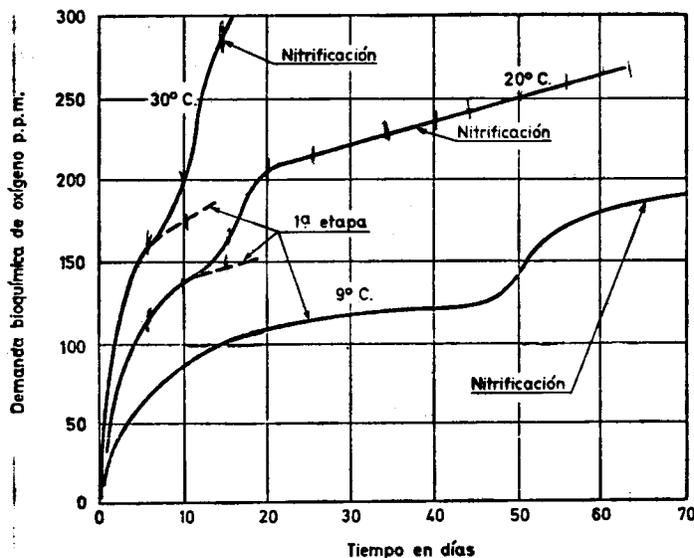
3.4 FACTORES BIOLOGICOS BIOLOGICOS

3.4.1 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno de una agua negra o contaminada, es la cantidad de oxígeno requerida por la materia orgánica disuelta para su descomposición biológica en condiciones aerobias en un tiempo y a una temperatura determinada. El agua muy contaminada no contiene el oxígeno suficiente en solución para mantener condiciones aeróbicas durante la descomposición y autopurificación.

Esta prueba está basada en determinaciones sucesivas de -- OD y es una de las más importantes, ya que es la que cuantifica -- mejor la contaminación

Como la prueba de la DBO se basa en la cantidad de OD consumida por la materia orgánica, es natural que conforme pasa el tiempo se vaya consumiendo más oxígeno y agotando el que tiene el agua. La cantidad consumida de OD conforme al tiempo, da como resultado una gráfica como la siguiente, si el agua está contaminada con aguas negras:



Curva de la demanda bioquímica de oxígeno a 9°, 20° y 30° C. de temperatura. (Sewage Treatment. Imhoff y Fair.)

Se observa de las gráficas que la DBO varía de acuerdo a la temperatura a la que se está haciendo la prueba con la misma can-

tividad de materia orgánica; a mayor temperatura es más activa la descomposición, y a menor temperatura la misma cantidad de materia orgánica se va descomponiendo más lentamente o sea, consume menor cantidad de oxígeno. Por eso es que se especifica para la prueba una temperatura fija.

En la curva típica se marcan dos etapas; la primera muestra cómo se satisface la DBO de la materia carbonácea y la segunda cómo tiene lugar la nitrificación. Esto se observa mejor en la gráfica que muestra por separado las curvas de C y de N.

Esta prueba de origen Inglés, se verificaba a 5 días y a 17°C; posteriormente se uniformó internacionalmente a 20°C para el mismo tiempo.

A 20°C la demanda de oxígeno de las bacterias nitrificantes, comienza entre los 8 y 10 días, pasando el nitrógeno a la forma de amoniaco, ácido nitroso y ácido nítrico en cantidades que introducen serios errores en trabajos de DBO. Esta es una de las principales razones para la selección de un período de incubación a 5 días para la prueba regular.

La primera fase de la curva representa la descomposición de la materia orgánica principalmente de los compuestos carbonáceos, llamándose a esta primera curva de CARBONATACION o CARBONACEA y la siguiente de NITRIFICACION, donde continúa descomponiéndose principalmente la materia nitrogenada. La primera fase o etapa de la DBO se apeg a una ley matemática exponencial que supone o puede admitirse para mayor facilidad, que la velocidad de consumo de oxígeno en cualquier instante, es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable presente. En el capítulo 8 se describe y desarrolla esta ley.

La segunda etapa de la DBO, no ha sido suficientemente estudiada; los organismos nitrificantes que se desarrollan en esta etapa son más difíciles de aislar y cultivar, de tal manera que las experiencias de laboratorio son escasas en relación a la primera etapa. La observación del consumo de oxígeno está sujeta a un mayor número de errores que la primera etapa. Las características químicas del agua tal como los fosfatos, cloruros, etc., tienen un efecto muy pronunciado en el avance del proceso correspondiente a la segunda etapa.

El tiempo en que teóricamente la primera etapa de la demanda bioquímica de oxígeno alcanza un valor constante, varía en las aguas negras de 15 a 22 días para incubación a 20°C.

La demanda de oxígeno de las aguas negras, efluentes de plantas de tratamiento y desechos industriales, tienen su origen en 3 factores:

- 1) Materiales orgánicos carbonosos que son usados como alimento por organismos aerobios.
- 2) Materiales nitrogenados oxidables derivados de compuestos de nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico, y que son usados como alimento por determinadas clases de bacterias.
- 3) Compuestos químicos reductores como hierro ferroso, sulfuros y sulfuros que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto.

→ Cuando se trata de aguas negras domésticas crudas o tratadas, la demanda de oxígeno se debe a la primera clase de organismos.

Si los desechos consistieran en este tipo de aguas, la medición de la demanda de oxígeno se podría realizar por medio del Método Directo (incubación durante 5 días a 20°C) pero como los desechos son de naturaleza compleja, es necesario usar generalmente el Método de Dilución.

a) Determinación por el Método Directo

El procedimiento consiste en tener la muestra a 20°C y aerada cerca de la saturación; a 2 frascos se le determina de inmediato su oxígeno disuelto (DBO₀) y a otros dos incubarlos durante 5 días a 20°C. Después de 5 días se determina la cantidad de OD en las muestras (DBO₅), y la DBO es calculada por la substracción a la DBO₅ de la DBO₀.

Se usan dos frascos para sacar promedio y por seguridad, a veces 3, en caso de que los valores de los primeros sean muy distintos.

b) Determinación por el Método de Dilución

Se agregan elementos nutrientes al agua de dilución en cantidades conocidas para que la materia orgánica no muera; dependiendo del agua por analizar, se usa un inóculo satisfactorio: para desechos industriales alimenticios, se usa el líquido sobrenadante de aguas negras domésticas que se han mantenido por 24 a 36 horas a 20°C; para desechos industriales que contengan compuestos orgánicos, se emplean inóculos cultivados en laboratorio, o el agua de la corriente receptora tomada a unos 3 a 8 Km. aguas abajo del punto de descarga del desecho.

Generalmente se usan 2 ml. de desechos por 1 lt. de agua de dilución, ésta puede tener una gama de pH de 6.5 a 8.5 y debe conservarse tan cerca a 20°C como sea posible.

Para el control de agua de dilución, se llenan 2 frascos para DBO de esta agua inocular; uno de ellos se tapa y se incuba y en el otro se determina el OD antes de la incubación; los resultados del OD, darán una idea de la calidad del agua de dilución que se está usando sin inoculación. El abatimiento no debe ser mayor de 0.2 ml. y de preferencia de 0.1 ml. Se usan soluciones testigo que sirven como referencia para todos los cálculos de la DBO.

3.4.2. BACTERIOLOGIA

Las corrientes contaminadas principalmente con aguas negras, contienen incontables organismos vivos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles a simple vista. Son la parte viva natural de la materia orgánica que se encuentra en las aguas y su determinación es de suma importancia porque prácticamente pueden dar la historia de la contaminación del agua.

Los microorganismos pueden clasificarse en: algas, hongos, -- bacterias, protozoos y formas superiores de vida; el conocerlos es muy importante para el analista, porque con ellos se puede clasificar mejor el tipo de agua que se está estudiando; además, indican el grado de contaminación con aguas residuales que pueda tener el agua en el momento de tomar la muestra.

Las bacterias constituyen la clase Schizomycetes, consideradas como las más primitivas de los vegetales; son típicamente unicelulares y llegan a medir entre una y ocho micras.

La forma de las bacterias puede ser la esférica o la alargada; las de forma esférica reciben el nombre de "coccus", las alargadas en forma de barra recta, "bacillus", y la alargada en forma de barra curva "spirillum".

Las células están formadas de protoplasma y observadas al -- microscopio electrónico acusan la presencia de un núcleo.

Casi siempre las bacterias presentan pigmentación, pero no tienen el color verdoso de la materia clorofílica por no existir en éstas. Algunas bacterias tienen movimiento propio como los flagelados; éstos y otros fenómenos, motivaron que se les considerara como intermedias entre la vida vegetal y la vida animal.

Es frecuente en algunas bacterias la formación de esporas; éstas son generalmente muy resistentes a las condiciones desfavorables tanto de humedad como de temperatura; la esterilización se funda en la eliminación total de esta forma.

En algunas ocasiones se puede identificar a las bacterias por los métodos de reproducción.

Las bacterias tienen la particularidad de reproducirse muy rápidamente; algunas formas pueden crecer y subdividirse en sólo 15 minutos. El aumento en número, se presenta bajo determinada ley de crecimiento en la cual se observan distintas fases de acuerdo con el medio en que se reproducen.

De acuerdo a las temperaturas óptimas para el desarrollo de las bacterias, éstas se dividen en psicrófilas cuando viven entre los 15° y 20°C; mesófilas entre 25° y 45°C; y termófilas entre 45° y 55°C. Todas ellas pueden vivir dentro de una variación de temperatura mínima a máxima, pero bajan su actividad en todos sentidos cuando se hallan fuera de las acostumbradas. Algunas bacterias resisten temperaturas tan bajas como las del aire líquido (-250°C) y otras resisten temperaturas tan altas como 70°C.

Las bacterias que producen enfermedades al hombre se denominan patógenas y en general son parásitos que viven a la temperatura del cuerpo humano.

Las principales enfermedades causadas por bacterias y transmitidas por el agua son: la fiebre tifoidea, la disentería, el cólera y ciertos tipos de trastornos gastrointestinales.

Con el examen bacteriológico se obtiene una determinación aproximada del número total de bacterias y así comprobar la presencia o ausencia de bacterias intestinales sobre todo de tipo patógeno o procedentes de aguas de albañal.

Lo que se investiga en realidad es la presencia de ciertos microorganismos no patógenos, que son característicos en los excrementos de los animales de sangre caliente, incluso el hombre y que por consiguiente sirven de indicadores de la contaminación por aguas negras. Entre los organismos seleccionados para este objeto, está el grupo de bacterias coliformes, que tienen su desarrollo natural en el conducto intestinal de los humanos; también el estreptococcus faecalis es indicador de la contaminación fecal del agua y de la posible presencia de los parásitos intestinales o de los patógenos.

El grupo coliforme, cuyo nombre viene de colon (intestino grueso) y al que sirve de tipo la Escherichia coli, incluye a todas las -- bacterias no formadoras de esporas y Gram negativas, en forma de bastón, que fermentan a la lactosa con producción de gas a 35°C en 48 horas. La adición de una muestra de agua a caldo nutritivo que contenga lactosa, incubándola y observando el desprendimiento de gas, proporciona una evidencia de que se encuentra presente uno de los -- coliformes. Debido a que existen otras bacterias que pueden fermentar a la lactosa, la presencia del grupo coliforme se debe confirmar mediante reacciones verificativas.

De acuerdo al medio de desarrollo las bacterias se dividen en:

1. Naturales del agua
2. Provenientes del suelo
3. De origen intestinal o de aguas negras

Las naturales del agua en general no son patógenas; son típicas las pseudomonas, la serratía flavobacterium y choromobacterium.

Las provenientes del suelo tampoco son patógenas y son frecuentes los bacillus y aerobacillus.

Las bacterias de origen intestinal o de aguas negras pueden ser o no patógenas; entre las no patógenas se hallan la Escherichia coli (típica del hombre), aerobacter y proteus. Entre las patógenas la salmonella y la shigella; bastante peligrosa el bacillus clostridium

En general este tipo de bacterias viven poco tiempo en el agua al no encontrarse en un medio natural de temperatura, luz, presión, etc.; indican contaminación con aguas negras. La turbiedad provocada por los sólidos al ser arrastrados por los escurrimientos del agua, ayudan a la eliminación de bacterias, pegándose éstas a los sólidos y trasladadas rápidamente al fondo.

Los organismo benéficos de las aguas negras, son aquellos -- que intervienen en los procesos biológicos de tratamiento de las mismas.

3.4.3. NUMERO MAS PROBABLE (NMP)

La estimación del ~~conjunto de bacterias~~ del grupo coliforme -- presentes en un determinado volumen de agua, será un índice de la --

intensidad de contaminación.

Cualquier prueba de fermentación positiva en caldo lactosado, es decir, que muestre formación de gas después de 24 o 48 horas, indica la presencia de bacterias del grupo coliforme en una cantidad proporcional al volumen de muestra que se haya examinado. Usando diferentes volúmenes de muestra, es posible hacer una estimación -- cuantitativa del número de bacterias coliformes presentes. Si se conoce el número de tubos positivos y negativos correspondientes a cada dilución, se puede calcular el número probable de organismos de ese grupo que haya en un determinado volumen de agua. Esto proporciona un índice de contaminación, el cual usualmente se expresa como "número mas probable" (NMP) de bacterias del grupo observado.

El humano tiene permanentemente COLI en gran número y aun que no es patógeno, se ha considerado como base para interpretación de la contaminación bacteriana.

Es muy sencillo detectarlo dado el número como se desalojan, la facilidad con que se les encuentra y las técnicas de determinación en laboratorio.

Si la *ESCHERICHIA COLI* está presente en una agua, es indicio indiscutible de que se ha contaminado con materia fecal humana, puesto que es típica del hombre y que se excreta precisamente a través de la materia fecal. Es sabido que es muy frecuente encontrar este microorganismo en cualquier tipo de agua, hasta en la potable -- dentro de las redes de abastecimiento de una ciudad.

Dada la facilidad de detección y el número con que se encuentra, se puede relacionar con la presencia de otras bacterias difíciles de determinar en laboratorio; haciendo una relación entre bacterias coliforme y las demás, se ha encontrado por ejemplo que por un millón de COLI hay de 3 a 30 *SALMONELLA TYPHOSA*; y la posibilidad de enfermar de diarrea entérica está en proporción de 1 por 50 colis.

Existen pruebas bacteriológicas de tipo presuntivo y confirmativo; la presuntiva es aquella en que se han hecho las pruebas correspondientes para encontrar la *ESCHERICHIA COLI*, pero cuya reacción puede no deberse exclusivamente al COLI, sino a otras bacterias tipo *AEROBACTER*, que producen gas y pueden confundirse con la *ESCHERICHIA*; la prueba presuntiva estima que hay *ESCHERICHIA*; la confirmativa dirá el número o cantidad definitiva de *ESCHERICHIA COLI*.

El NMP confirmado es un dato más riguroso y obviamente menor que el presuntivo, siendo los dos de tipo cuantitativo. Es pre -

suntivo en cuanto que se ha encontrado que existe este grupo coliforme determinado numericamente en un volumen de muestra: y es confirmativo, en cuanto a que se asegura que existe solo éste. Realizar una prueba confirmativa, implica más tiempo, costo y delicadeza, razón por la cual muchas veces no se llega hasta esta prueba a menos de que lo amerite el estudio.

El NMP se basa en leyes de probabilidad empleando los resultados positivos y negativos de los tubos incubados y de acuerdo a la porción de muestra. Con cinco porciones de muestra de cada uno de los volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml respectivamente, pueden obtenerse resultados cuantitativos que varían de 2 a 542 bacterias coliformes por ml.

Si el número es mayor se emplean porciones menores o afectadas de un coeficiente de dilución.

a) Determinación

a.1) Técnica de Filtros de Membrana

Este método es muy usado, ya que permite grandes ventajas entre las que se cuentan:

- 1) Mayor grado de precisión.
- 2) Examen de mayores volúmenes de muestras.
- 3) Filtración de las muestras en el campo.
- 4) Embarque de los filtros al laboratorio en su propio medio.
- 5) Resultados en menor tiempo que el requerido por otros métodos.

El método consiste en la filtración de la muestra a través de una membrana que retiene a las bacterias; se coloca en un receptáculo provisto de un embudo, fijado a un matraz de filtración al vacío. Después de filtrada la muestra, se retira la membrana y se mantiene en incubación en un medio de cultivo durante 20 ± 2 horas y a $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$.

Para el conteo de las colonias se usa un microscopio binocular de disección, de campo amplio con aumento de 10 a 15 diámetros.

a.2) Bacteriología en medio sólido

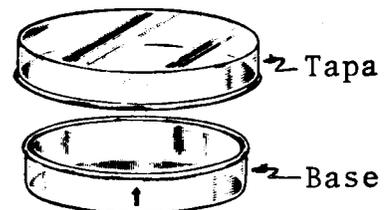
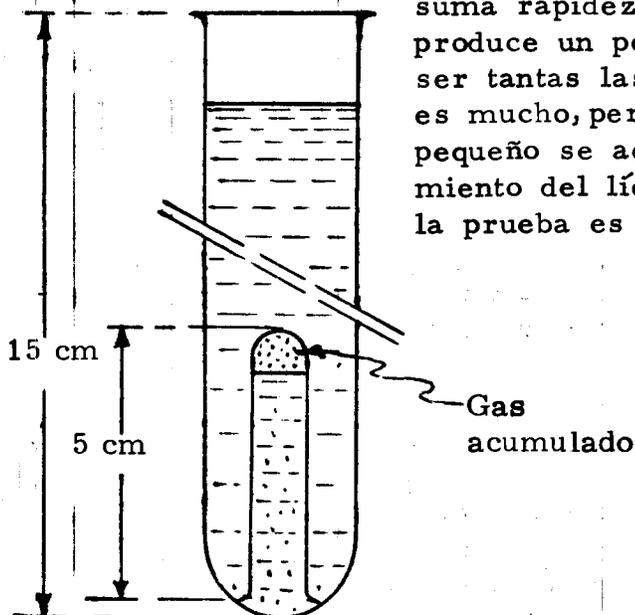
Se puede hacer el cultivo de bacterias en un medio líquido o sólido de tipo gelatinoso; se ponen los alimentos necesarios para que se reproduzcan y ciertas sustancias que inhiben la vida de otros

microorganismos y que provocan exclusivamente el crecimiento de la que se está buscando. El medio sólido se coloca en una caja de Petri, en donde se incuban. Se inocula con una asa estéril que toma una pequeña cantidad de agua contaminada que se pasa a la superficie, empezando a crecer las bacterias formando colonias.

Cada colonia supone que está originada por una bacteria. Algún tipo de bacterias cuando se incuban en un medio sólido como la gelatina, lo licúan. Esto ya es un indicio del tipo de bacteria que puede estar presente.

a.3) Bacteriología en medio líquido

Se usan tubos que contienen un líquido nutritivo a base de caldo lactosado; se introduce un tubo más pequeño en forma invertida que se llena de ese líquido y queda en el fondo; se esteriliza el conjunto para evitar la procreación de bacterias en el medio. Con una asa se reparten las bacterias en el medio líquido o bien, se vierte una cantidad de agua de la cual se va a obtener el grado de contaminación bacteriana; esas bacterias se empiezan a reproducir en todo el medio y lo hacen con suma rapidez y en gran número. Cada bacteria produce un poco de gas, pero en conjunto y por ser tantas las bacterias, el gas que se desprende es mucho, pero el que queda atrapado en el tubo pequeño se acumula en la parte alta con desalojamiento del líquido: cuando esto sucede se dice que la prueba es positiva.



CAJA DE PETRI

3.4.4

ANALISIS MICROSCOPICOS PARA BACTERIOLOGIA

Se complementa el análisis bacteriológico con la observación microscópica al emplear principalmente la técnica de coloración Gram.

La técnica Gram para colorear las bacterias consiste en sumergir el frotis (preparación sobre un cristal porta objetos), en una solución de cristal violeta durante un minuto; después de enjuagar con agua corriente se sumerge por igual tiempo en una solución de yodo de lugol; minuciosamente se enjuaga y se decolora con alcohol al 95 por ciento. Se tiñe con solución de SAFRANINA, se lava con agua corriente y se seca suavemente entre papel filtro.

Después de esta técnica de tinción se observan al microscopio bacterias que han retenido el color rojo (Gram negativas) y otras que se tiñeron de azul (Gram positivas).

La coloración Gram divide la bacteria en dos grupos como resultado de sus reacciones colorimétricas: positivas o negativas.

La coloración Gram no es una prueba absoluta y deberá usarse con criterio. Deberán usarse cultivos de bacterias de no más de 24 horas, porque de otra manera la bacteria empezará a perder sus cualidades positivas de Gram después de ese período de incubación.

Se ha notado que algunas bacterias de un mismo cultivo son de Gram variable, eso quiere decir que algunas de las bacterias podrán colorearse rojas y al mismo tiempo azules.

3.4.5.

ALGAS

El sabor y el olor del agua en ríos y principalmente lagos -- pueden deberse a muchas causas, siendo una de las más importantes la proliferación de vegetales acuáticos unicelulares (algas) que flotan o nadan en forma libre y que generalmente sólo pueden ser vistos al microscopio. Los almacenamientos de aguas descubiertos, son los lugares más expuestos a la proliferación de las algas, ya que éstas -- contienen clorofila y necesitan de la luz solar para su metabolismo; -- las algas secretan aceites que son descargados durante sus procesos vitales y que son liberados después de la muerte y desintegración de las células, produciendo los olores y sabores característicos en las aguas.

Las algas constituyen el alimento principal de los animales acuáticos; son productoras de oxígeno en el agua y facilitan la reoxigenación de la misma cuando se tiene bastante materia orgánica en --

vía de descomposición; por otro lado, en gran cantidad, obstruyen las fases de potabilización del agua, principalmente la de filtrado, retardando así la duración de los ciclos de filtración.

Sin embargo por su acción fotosintética, juegan un papel muy importante en los procesos de purificación de aguas contaminadas; por ello se destina normalmente una amplia sección de este tema en tratamientos biológicos.

Determinación

Método de Sedgwick-Rafter para plancton

Si el agua contiene menos de 25 microorganismos por ml., se concentra la muestra mediante centrifugación o usando el embudo Sedgwick Rafter; después se toma 1 ml. de la muestra ya filtrada y se coloca en la Celda de Enumeración. Posteriormente se usa el microscopio para realizar el conteo de organismos, auxiliándose del micrómetro de Whipple.

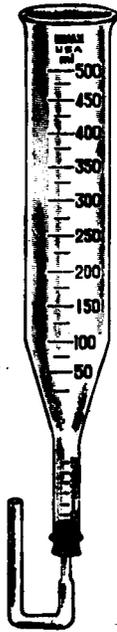
El microscopio debe llevar en su lente ocular un micrómetro ocular (micrómetro de Whipple) que es un disco de cristal que lleva grabada una retícula de líneas equidistantes trazadas en ángulo recto y subdividido una parte en franjas menores, cuyo fin es medir los objetos microscópicos o delimitar con exactitud los campos del microscopio.

Se sigue para el conteo, un barrido dentro del campo de observación de derecha a izquierda y de arriba a abajo. Se eligen normalmente diez campos al azar dentro de la celda. Se cuentan los organismos que caen dentro del campo del micrómetro y aquellos que lo estén en más de la mitad de su cuerpo. En caso de microorganismos en movimiento, debe hacerse la observación lo más rápidamente posible y contar los que estén bajo la condición anterior, no descontando o añadiendo aquellos que ya han quedado atrás del área de conteo.

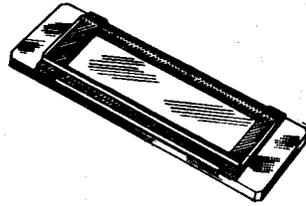
Los diez campos observados representan una pequeña parte del área que tiene la celda; sin embargo, se supone que es el promedio para extrapolarlos a la totalidad. Finalmente debe tomarse en consideración la concentración que se hizo de la muestra.

Los resultados se dan en organismos por ml.

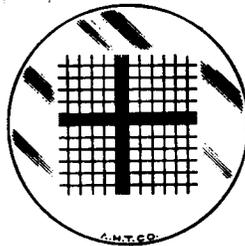
Cabe hacer la aclaración de que existen otros métodos y hasta otras unidades para determinar el contenido de microorganismos en la muestra, pero el que se ha descrito es el más empleado, sencillo y de mejor interpretación ingenieril.



EMBUDO



CELDA

MICROMETRO OCULAR
DE WHIPPLE

3.5 Problemas y ejercicios

3.5.1 Indique cuales son los parámetros que se clasifican como físicos y comente las técnicas de medición de cada uno para conocer sus valores

- a) en el campo
- b) en laboratorio

- 3.5.2 Obtenga los valores de saturación del oxígeno - disuelto a 20° y 25°C en el agua no contaminada de la Ciudad de México.
- 3.5.3 Efectúe una investigación sobre las propiedades y características principales de los detergentes Redacte un breve escrito con sus comentarios - e indique bibliografía o fuente de información.
- 3.5.4 Haga un resumen referente al parámetro biológico D.B.O. Tome como base lo que se indica en 3.4.1 y compléméntelo con más información.
- 3.5.5 Describa lo que representa el número más probable de bacterias coliformes como prueba bacteriológica en las aguas contaminadas. Complemente su informe con datos, ejemplos y lo que considere de interés en relación a este parámetro.

CAPÍTULO 4

USOS DEL AGUA Y SU CALIDAD

Cada actividad que requiere de agua necesita que ésta se mantenga dentro de ciertos límites en su calidad. También debe considerarse que a cierta calidad del agua, el uso queda restringido a ésta.

En relación a esto, el hombre fijó su atención primordialmente en la calidad del agua que empleaba para beber y pasó mucho tiempo antes de que se diera cuenta que la etapa de industrialización y urbanización que lo envolvía, estaba afectando a su salud a través del agua.

El tipo de contaminación por aguas residuales industriales y domésticas ha sido tan grande, que no únicamente ha afectado a las corrientes superficiales sino también a las subterráneas. Esta contaminación trae consigo, aparte del ataque a la salud pública, una pérdida en los recursos hidráulicos del país, siendo necesario administrarlos correctamente, fijando la calidad mínima que debe tener el agua, de acuerdo con el uso que se le pretende dar.

Es necesario mantener el agua en buenas condiciones y resguardar de contaminación a la que todavía está libre de ella; además, someter a tratamiento el agua servida de origen industrial y doméstico, con el fin de volverla a utilizar ya sea en la industria o en riego. Esto origina un nuevo recurso de orden secundario.

Por estudios y experiencias, se han llegado a limitar ciertos valores de las características más notables del agua que consideran

apropiadas o no perjudiciales para el empleo a que se destina.

Los usos principales del agua son los que marcan los beneficios que se pueden obtener de ella y estos se consideran ser los siguientes:

- Doméstico
- Industrial
- Riego Agrícola
- Desarrollo y Protección de Fauna
- Propagación de peces y vida acuática
- Natación
- Canotaje y disfrute estético
- Energía y Navegación

En el tema de legislación se transcribe la tabla No. 2 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, en ella se puede observar los máximos tolerables en ciertos contenidos de acuerdo al uso del agua. Independientemente de estos datos, en lo que sigue se detallan las condiciones que debe tener el agua -- para cada uno de los usos antes enunciados.

4.1. AGUA PARA USO DOMESTICO

Para tal fin se tienen las normas que marca la Secretaría de Salubridad y Asistencia en su Reglamento Federal sobre Obras de -- Provisión de Agua Potable; pero en una forma más general referente a las fuentes y de acuerdo al estado original del agua, se da a conocer la información que proporciona el Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos de Norteamérica como asistente del estudio de los "Criterios de la Calidad del Agua" publicado por el Estado de California. Ver tabla página siguiente.

4.2. AGUA PARA LA INDUSTRIA

Los requerimientos de calidad del agua en la industria es de gran complejidad, siendo muy amplia y variada no sólo por el tipo de industria sino también porque una misma fábrica puede utilizarla para diferentes actividades; tampoco ha sido posible establecer con precisión cantidades determinadas para ciertas industrias.

Las industrias en general solicitan el agua con características relativamente constantes siendo de preferencia las de calidad para-

**CALIDAD RECOMENDABLE DEL AGUA CRUDA PARA
USO DOMESTICO (*)**

	Excelente, solo requiere desinfección	Buena, requiere filtración y desinfección	Pobre, requiere tratamiento especial y desinfección
DBO mg/l promedio mensual máximo diario o por muestra	0.75 - 1.5 1.3 - 3.0	1.5 - 2.5 3.0 - 4.0	más de 2.5 más de 4.0
Coliforme NMP/100 ml promedio mensual máximo diario o por muestra	50 - 100 menos 5% sobre 100	50 - 5000 menos 20% sobre 5000	más 5000 menos 5% sobre 20 000
Oxígeno disuelto mg/l promedio % saturación	4.0 - 7.5 75% o más	4.0 - 6.5 60% o más	4.0 ---
pH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
Cloruros mg/l máx.	50	50 - 250	más 250
Fluoruros mg/ l máx.	1.5	1.5 - 3.0	más 3.0
Compuestos denólicos mg/l máx.	nada	0.005	más 0.005
Color unidades	0 - 20	20 -150	más 150
Turbiedad unidades	0 - 10	10 - 250	más 250

* Criterio de la calidad del agua. Estado de California, Estados Unidos de Norteamérica.

bebida, que en caso de contener elementos indeseables, se eliminarán - a través de los procesos de potabilización, pero si requieren aún mejor calidad, bastará un tratamiento adicional que estará a cargo del - usuario.

Existen algunos estudios bastante completos con respecto a las normas de calidad requeridas para el agua en algunas industrias, - - mientras que para otras sólo se han realizado de un modo general.

Dentro de las industrias que mejor se han estudiado se hallan las del aluminio, del cobre, concreto, cervecerías, bebidas carbonatadas, dulcerías, lecherías, procesos generales de alimentos y lavanderías. Ver algunos ejemplos en la tabla de la página siguiente.

4.3 AGUA PARA RIEGO AGRICOLA

Relacionado con la calidad del agua y desde el punto de vista de contaminación, interesa el uso agrícola por el contacto indirecto con el hombre.

Se consideran tres grupos para el agua destinada a riego:

- I Excelente a buena o para todo cultivo
- II Buena o perjudicial o para ciertos cultivos y bajo ciertas condiciones
- III Perjudicial a insatisfactoria o nociva a la mayoría de los cultivos

1.- Características bacteriológicas

CLASE I

Aguas superficiales

NMP	Presuntivo, promedio:	500/ 100 ml
NMP	Confirmativo, promedio:	50/ 100 ml

Aguas subterráneas:

NMP	Presuntivo, promedio:	1500/ 100 ml
-----	-----------------------	--------------

CLASE II

NMP	Promedio	2400/ 100 ml
NMP	Máximo	4600/ 100 ml

CALIDAD RECOMENDABLE DEL AGUA PARA USO INDUSTRIAL (*)

Industrias y Proceso	Color ppm	Alcalinidad ppm(CaCO ₃)	Cloruro ppm	Dureza ppm(CaCO ₃)	Hierro ppm	Manganeso ppm	NO ₃ ppm	pH	SO ₄ ppm	Sólidos disueltos ppm	Sólidos en suspensión ppm	SiO ₂ ppm ²	Ca ppm	Mg ppm	HCO ₃ ppm ³	
TEXTIL																
Talla	5			25	0.3	0.05		6.5-10		100	5.0					
Limpieza	5			25	0.1	0.01		3.0-10.5		100	5.0					
Blanqueado	5			25	0.1	0.01		2.0-10.5		100	5.0					
Teñido	5			25	0.1	0.01		3.5-10		100	5.0					
PAPEL																
Mecánico	30		1000		0.3	0.1		6-10								
Químico																
Crudo sin blanquear	30		200	100	1.0	0.5		6-10			10	50	20	12		
Blanqueado	10		200	100	0.1	0.05		6-10			10	50	20	12		
QUIMICA																
Alcalis y cloro	10	80		140	0.1	0.1		6-8.5			10		40	8	100	
Alquitrán de hulla	5	50	30	180	0.1	0.1		6.5-8.3	200	400	5		50	14	60	
Orgánico	5	125	25	170	0.1	0.1		6.5-8.7	75	250	5		50	12	128	
Inorgánico	5	70	30	250	0.1	0.1		6.5-7.5	90	425	5		60	25	210	
Plásticos y Resina	2	1.0	0	0	0.005	0.005	0	7.5-8.5	0	1.0	2.0	0.02	0	0	0.1	
Goma sintética	2	2	0	0	0.005	0.005	0	7.5-8.5	0	2.0	2.0	0.05	0	0	0.5	
Farmacéutico	2	2	0	0	0.005	0.005	0	7.5-8.5	0	2.0	2.0	0.02	0	0	0.5	
Jabón y Detergentes	5	50	40	130	0.1	0.1			150	300	10.0		30	12	60	
Pinturas	5	100	30	150	0.1	0.1		6.5	125	270	10		37	15	125	
Goma y madera	20	200	500	900	0.3	0.2	5	6.5-8.0	100	1000	30	50	100	50	250	
Fertilizantes	10	175	50	250	0.2	0.2	5	6.5-8.0	150	300	10	25	40	20	210	
Explosivos	8	100	30	150	0.1	0.1	2	6.8	150	200	5	20	20	10	120	
Petróleo			300	350	1.0			6.0-9.0		1000	10		75	30		
HIERRO Y ACERO																
Polado en caliente								5.9								
Rolado en frío								5.9			10					
VARIAS																
Frutas y vegetales																
Enlatados	5.0	250	250	250	0.2	0.2	10	6.5-8.5	250	500	10	50	100			
Bebidas suaves	10	85			0.3	0.05										
Curtido de pieles	5		250	150	50			6.0-8.0	250				60			
CEMENTO		400	250		25	0.5		6.5-8.5	250	600	500	35				

(*) Como ejemplo para otros compuestos y otras industrias.

2.- Características físicas y químicas

Concepto	C L A S E	
	I	II
Residuos flotantes	ausentes	ausentes
Olor y sabor		No debe ser rechazada por animales.
Radio - 226	3 pc/l	3 pc/l
Estroncio - 90	10 pc/l	10 pc/l
Actividad beta		
Total	1 pc/l	1 pc/l

Por salinidad del agua

condiciones del suelo	Límites en me / l		
	I	II	III
A.- Baja filtración	3	3.5	5
B.- Filtración regular. drenaje lento.	5	5-10	10
C.- Infiltración profunda	7	7-15	15

Por otros elementos

Contenido	CLASE DE AGUA		
	I	II	III
% Na	30-60	30-75	70-75
B (mg/l)	0.5-1.5	0.5-2.0	2.0-3.75
Cl (me/l)	2-5.5	2-16	6-16
SO ₄ (me/l)	4-10	4-20	12-20
C.E. mmhos/cm.	500	500-3000	2500-3000
Sales totales	700	350-2100	1750-2100

Un límite para el uso del agua en riego, aunque independiente de su grado de contaminación pero relacionado con ella, es la relación de adsorción de sodio (RAS):

$$RAS = \frac{Na}{\left[\frac{1}{2} (Ca + Mg) \right]^{1/2}}$$

donde Na, Ca y Mg son las concentraciones de los iones en miliequivalentes por litro de agua.

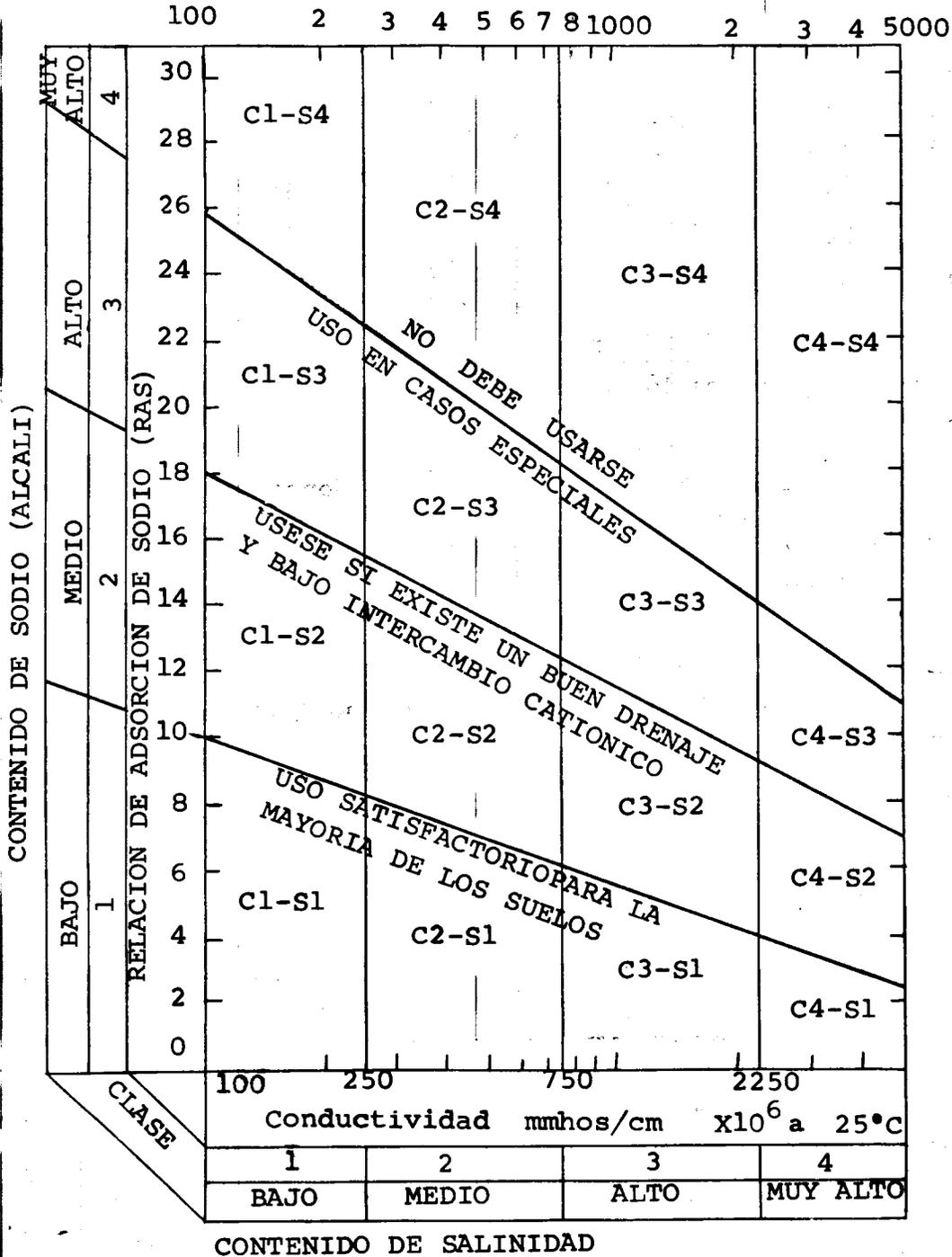


DIAGRAMA PARA LA CLASIFICACION DEL AGUA PARA RIEGO

4.4 DESARROLLO Y PROTECCION DE FAUNA

Está limitado este uso según la salinidad para efectos de bebida de acuerdo a la tolerancia para algunos animales como puede ser la siguiente:

ANIMAL	Salinidad concentración Máxima
Aves de corral	2860 mg/l
Cerdos	4250 "
Caballos	6435 "
Ganado lechero	7150 "
Ganado para carne	10000 "
Ovinos adultos	12900 "

Otra clasificación basada en la capacidad de desarrollo indica para este uso:

TIPO DE AGUA	Concentración salina
Buena	2500 mg/l
Aceptable	2500-3500 "
Pobre	3500-4500 "
Inapropiada	más de 4500 "

Y todavía más tolerable, esta otra bajo el mismo concepto -- anterior:

TIPO DE AGUA	Concentración salina
Excelente	0-100 mg/l
Buena	1000 -4000 "
Satisfactoria	4000-7000 "
Insatisfactoria	más de 7000 "

4.5 AGUA PARA PROPAGACION DE PECES Y VIDA ACUATICA

Interviene para este uso una gran cantidad de limitantes entre los que destacan los siguientes:

- a) Oxígeno disuelto no menos de 5 mg/l
- b) pH de 6.7 a 8.6 con límites extremos de 6.3 a 9.0
- c) Conductividad eléctrica a 25°C de 150 a 500 mho x 10⁻⁶ con un máximo de 1000 a 2000 mho x 10⁻⁶ en escurrimiento

tos sobre áreas alcalinas.

- d) CO₂ libre de 5.9 mg/1 (3 ml/1)
- e) Amoniaco no más de 1.5 mg/1
- f) Sólidos suspendidos tales que permitan la penetración de la luz a no menos de 5 m.

Otras limitantes de tipo bacteriológico son las siguientes:

El NMP no debe exceder de 70 por 100 ml y no más del 10 por ciento de las muestras pueden sobrepasar un NMP de 230 por 100 ml.

En áreas restringidas esos valores pueden ser 10 veces mayores, pero si lo provocan descargas industriales, debe desecharse.

Existe otra clasificación que data de 1956 que es más tolerable.

Agua aceptable	NMP 16 000 / 100 ml
Agua aceptable bajo ciertas condiciones	NMP 160 000/ 100 ml
Agua indeseable	NMP mayor de 160000/100ml.

4.6 AGUA PARA NATACION

Queda limitado por las tres principales condiciones

- 1.- Agradable aspecto sin materia flotante, color ni olor ofensivo
- 2.- Sin sustancias tóxicas a la ingestión o a la irritación a la piel
- 3.- Libre razonablemente de organismos patógenos

La más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 ml y se enferman de diarrea entérica una de cada 50 personas bajo esa mis-

ma proporción de colis.

Por seguridad debe adoptarse la siguiente clasificación:

<u>Clase de agua para baño</u>	<u>NMP x 100 ml</u>
Buena	0 - 50
Dudosa	51 - 500
Mala	501 - 1000
Muy mala	Más de 1000

En general se aceptan los límites para agua potable con valores hasta de 300 por ciento; pH 6.5 a 8.5; detergentes no más de 1.0 mg/l.

4.7 AGUA PARA CÁNOTAJE Y DISFRUTE ESTETICO

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden tener valores del NMP hasta de 5000/100 ml durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes. - El contenido de ABS no debe exceder de 1.0 mg/l a fin de evitar la formación de espuma.

4.8 AGUA PARA ENERGIA Y NAVEGACION

Para este uso el agua debe estar libre de sustancias tales como: ácidos, alcalis y salinidad excesiva que acelere la corrosión y - deterioro de ductos y vehículos; de sólidos flotantes; sedimentos y -- sólidos suspendidos; materia orgánica putrecible que genere malos -- olores; algas, gusanos; aceites que pudieran provocar incendios.

4.9 Problemas y ejercicios

4.9.1 De acuerdo al uso del agua, indique y comente los límites de los parámetros principales que deban -- considerarse:

- a) En explotación agrícola
- b) En piscicultura
- c) En ciertas industrias (seleccione una)

4.9.2 Investigue y haga un resumen sobre la calidad del - agua y sus usos, que complemente lo expuesto en - el capítulo 4.

CAPITULO 5

MUESTREOS Y LABORATORIOS

5.1. Muestreos

La evaluación del grado de contaminación de un cuerpo de agua, se lleva a cabo mediante la comparación de ciertos contenidos o propiedades respecto al "agua pura"; estos contenidos y propiedades se conocen a través de los análisis que se practican a un pequeño volumen de agua que representa al total de donde se toma.

A este volumen se le denomina muestra y dada su finalidad debe ser lo más parecida a la de donde proviene.

Para que lo anterior se cumpla, el muestreo tiene que hacerlo una persona especializada, puesto que de ello depende el grado de veracidad que tengan los resultados del laboratorio para hacerlos extensivos a la fuente que representa.

Esto implica también el cuidado en el manejo de las muestras hasta su llegada al laboratorio.

Las muestras aisladas, ya sea que se tomen en diversos sitios o en el mismo pero a diferentes tiempos y se analicen por separado, constituyen lo que se denomina una muestra simple.

Las formadas por varias muestras simples en un solo volumen para analizar, son las muestras compuestas. Una muestra compuesta puede estar formada por porciones tomadas periódicamente en un mismo sitio durante 24 horas; muchas veces se pueden componer muestras individuales tomadas durante períodos de 1, 2 ó 4 horas. Es también usual formar muestras compuestas de tomas

simples en diversos sitios, independientemente del tiempo como los que se toman longitudinalmente en un río o de un plano superficial en un lago; también de diferentes profundidades para conocer un promedio en una sección cualquiera.

El volumen de agua por muestra está en función del tipo y número de análisis a que se someterá; en general basta con 4 l. pero debe preverse su volumen de antemano tanto para evitar faltante como para no transportar sobrantes.

La muestra compuesta de un río, deberá estar integrada por volúmenes proporcionales al caudal en el momento de la toma simple; una vez terminado el ciclo del muestreo, el volumen total puede ser reducido al necesario para efectuar los análisis previstos.

Las muestras deben registrarse desde su toma e indicar -- cierta información como la siguiente:

Identificación de la estación de muestreo

Sitio muestreado

Nombre del muestreador

Hora de la toma

Temperatura del agua

Temperatura ambiente

pH

Condiciones meteorológicas notables

Lectura de la escala de niveles

Caudal de la corriente

Observaciones importantes

La lista puede reducirse o ampliarse según sea el fin del muestreo; pero en general, la información anterior puede considerarse como la mínima indispensable para auxilio del resultado analítico.

Las porciones individuales se deben tomar en frascos de -- boca ancha y de capacidad no menor de 300 ml. Si se necesitaran preservativos, éstos se deben agregar al tomar la muestra inicial.

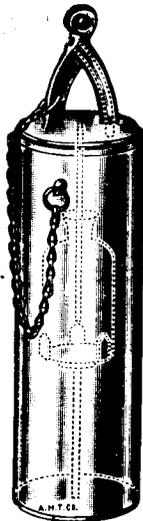
Los frascos para muestra se deben limpiar cuidadosamente --

antes de usarse; para eliminar la materia orgánica se pueden enjuagar con ácidos concentrados. Después de limpiarse los frascos deben enjuagarse con agua corriente y a continuación con agua destilada. -- Antes de llenar el frasco con la muestra, se debe enjuagar con la -- misma agua que se va a analizar. Los detalles de recolección son variados y dependen de las condiciones locales. En general deben procurarse obtener una muestra representativa lo que incluye definir el sistema de recolección y los aparatos muestreadores por usar.

Para análisis físicos y químicos de muestras superficiales, - basta usar el frasco mismo de envío a laboratorio o mejor, tomarla con un recipiente y vaciarla al frasco. El recipiente en muchas oca - siones es una simple cubeta atada a una cuerda para facilitar la toma. Cuando se trata de obtener una muestra a cierta profundidad o del fon - do, se usan aparatos que se sumergen y destapan a la profundidad de - seada. Existen diversos tipos que cumplen con ese requisito.

Para análisis biológicos la toma es más delicada. Al deter - minar el NMP de coliformes el volumen es de apenas unos 100 ml. - pero obtenida bajo condiciones de extrema precaución para evitar con - taminación adicional a la real.

Para observación microscópica de plancton, la muestra puede ser tomada del volumen para análisis físicos y químicos pero en - - otros casos se emplean aparatos especiales que van efectuando un fil - trado directo para su concentración.



MUESTREADOR DE PRECISION

Mayor será la confianza en los resultados, mientras menor -- tiempo transcurra entre la recolección y el análisis. Para ciertos -- constituyentes y valores físicos, se requieren análisis inmediatos en el campo, ya que la composición de la muestra puede variar rápidamente. Las determinaciones de temperatura, pH y gases disueltos -- siempre deben verificarse en el campo, porque los cambios son casi inevitables debido al tiempo de llegada al laboratorio.

Se pueden reducir muchos los cambios producidos por la proliferación de organismos manteniendo la muestra en la obscuridad y a baja temperatura. Los siguientes límites se sugieren para muestras de análisis físicos y químicos:

Aguas no contaminadas	72 horas
Aguas ligeramente contaminadas	48 horas
Aguas contaminadas	12 horas

Se pueden permitir mayores períodos que los mencionados si se preservan las muestras con ácido o germicidas.

Es difícil la conservación de las muestras, porque casi todos los preservativos interfieren con algunas de las pruebas, siendo el -- ideal el análisis inmediato. Posiblemente, el mejor método de preservar una muestra hasta por 24 horas, es el almacenamiento a baja -- temperatura (4°C). Los preservativos químicos solo se pueden usar -- cuando se ha demostrado que no interfieren con los exámenes que se deben practicar; no deben emplearse por ejemplo, para análisis de -- estabilidad relativa ni demanda bioquímica de oxígeno.

Si las muestras se conservan a la temperatura ambiente, el resultado puede reducirse del 10 al 40% en solo 6 horas.

Se especificará en el informe de laboratorio, el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis; así mismo el tipo de preservativo agregado, si se aplicó alguno.

Se debe poner especial cuidado en el muestreo de lodos de -- aguas negras, bancos de lodo, sedimentos, etc. Cuando no se puedan practicar inmediatamente los análisis, se preservan las muestras por la adición de 5 gr. de benzoato de sodio o de 1 ml. de H_2SO_4 concentrado por cada 80 gr. de muestra, siempre que estos preservativos no interfieran con la prueba a verificar. Si se va a determinar el contenido de grasa, no se pueden preservar las muestras de lodos con cloroformo o benzoato de sodio.

Para exámenes físicos y químicos de desechos industriales, el muestreo y el análisis requieren de mayor cuidado y atención que para las operaciones similares con otras aguas. Los desechos industriales están sujetos a cambios bruscos en pocos minutos por diversas causas como interrupciones, derrames, purgas, descargas de evaporadores, lavados de pisos, etc. por lo que la hora y día en que sucede debe detectarse a través de muestreos seguidos durante períodos prolongados tales como una semana.

Para embarque, los frascos se deben empacar en cajas de madera, de plástico o de cartón, con compartimiento separado para cada frasco. Las cajas se pueden revestir con cartón corrugado, fieltro u otro material elástico para evitar roturas; pueden proveerse de esquineros con resortes. Los frascos de polietileno no necesitan de protección contra roturas por impacto o congelación.

5.2 LABORATORIOS

Introducción.

Las muestras de aguas, pueden ser llevadas a un laboratorio fijo, que es un local en donde se cuenta con toda clase de aparatos para realizar las pruebas requeridas a fin de conocer la calidad de las aguas. Los laboratorios fijos contarán con toda clase de sustancias químicas necesarias para las reacciones correspondientes, con aparatos medidores de las condiciones físicas, con microscopios potentes para el análisis biológico, con toda clase de cristalería necesaria para la incubación y conservación de muestras, con estufas de combinación o sea calefacción y refrigeración simultánea, filtros, autoclave, desecador, potenciómetro, comparadores, cápsulas de evaporación, matraces aforados de tapón esmerilado, buretas graduadas, agitador de motor y agitador magnético, equipo eléctrico, matraces de filtración, estufa de secado, balanza analítica, matraces Erlenmeyer, mufla, tubos de ensayo, etc.

Cuando por razones de tiempo ya no convenga hacer el envío de muestras a un laboratorio de este tipo, se requerirá de montar laboratorios cercanos a la región de muestreo; estos laboratorios se llaman móviles porque se instalan en la parte más conveniente, utilizando los aparatos mínimos necesarios para realizar análisis y pruebas; en algunas ocasiones se emplean camiones o camionetas, adaptando una planta de energía eléctrica, tanque de agua, mesas de laboratorio, vidriería, microscopio, etc. Este vehículo se mueve conforme se cambia de lugar, o se instala en un lugar cercano por temporadas más largas.

En algunos países, incluyendo a México, se cuenta con barcos laboratorio; en el mismo barco se hace el muestreo y el análisis. El laboratorio móvil es bastante cómodo debido a las ventajas

que representa, pero a la vez es más costoso que un laboratorio -- fijo, debido a su mayor mantenimiento y conservación.

Los laboratorios portátiles, están constituidos por los aparatos, sustancias, etc. que pueden ser transportados directamente por el muestreador y que sirven para realizar pruebas en el lugar de - toma de la muestra, ya sea para determinaciones rápidas, para fi - ciones o para cualquier determinación importante requerida en un -- tiempo corto o para dar idea rápida de la concentración y estado de la fuente.

5.3 Problemas y ejercicios

5.3.1 Investigue sobre los aparatos muestreadores y las - técnicas respectivas empleadas para análisis de aguas. Desarrolle un trabajo escrito con la información reca - bada incluyendo lo que considere relacionado con el tema. Ejemplo: análisis de los errores cometidos; - variedades según necesidades y operación; sistemas - manuales y automáticos; equipo y personal auxiliar; - etc.

5.3.2 ⁶¹ Describa cualquiera de los aparatos comunes emplea - dos en un laboratorio, indicando su uso, manejo, pre - cauciones, etc. Ejemplo: medición de pH (potenció - metros); medidores de conductividad eléctrica; equipo para determinación de Nitrógeno; estufa para incuba - ción de D.B.O; etc.

CAPITULO 6

EFECTO DE LA CONTAMINACION DEL AGUA SOBRE
PLANTAS Y ANIMALES

6.1 Diversas interrelaciones

La influencia de la contaminación del agua en plantas y animales, se tiene que analizar considerando la estrecha relación con la contaminación del aire y en ambos casos, evitar un rompimiento del equilibrio ecológico establecido miles de años atrás.

Como ejemplo de un equilibrio ecológico que quizá no sea tan conocido como debiera, se tiene en el contenido salino de las aguas marinas, que aunque la salinidad puede ser variable, la composición de sales siempre y en todas partes, permanece constante. -- Quizá para este equilibrio, aunque no se conoce la causa, influyan las plantas y animales marinos que poseen la capacidad de absorber del agua los más variados elementos y concentrarlos en sus cuerpos: los animales requieren para la construcción de sus conchas y esqueletos, enormes cantidades de calcio y silicio; las algas y las esponjas extraen del agua yodo; las ostras, cobre; las medusas, zinc, -- estaño y plomo; los ascidios, vanadio; las radiolarias, estroncio. - Anualmente las algas toman miles de millones de toneladas de carbono e hidrógeno del agua y despiden otro tanto de oxígeno, que liberan a la atmósfera, constituyéndose en la fuente principal de la producción de este gas.

Como ejemplo de equilibrio relacionando al agua con el aire, lo constituye el bióxido de carbono que se encuentra en solución en el-

8

mar y como mezcla en la atmósfera pero existe un intercambio continuo de este gas entre ambos medios. El gran consumo de bióxido de carbono que hacen anualmente las plantas de la tierra y las algas del mar (175 millones de toneladas), se compensa mediante la eliminación del gas carbónico durante los procesos de putrefacción, fermentación y respiración, aunada a la actividad técnica del hombre, principalmente por el uso de combustibles.

Desde el tiempo de la revolución industrial, el contenido de gas carbónico en la atmósfera aumentó en 12%; según los cálculos de algunos investigadores, en los próximos cien años la cantidad sobre la tierra, aumentará en un 70 a 85% de su actual contenido en la atmósfera.

El bióxido de carbono tiene la capacidad de retener y no dejar pasar al espacio cósmico la radiación calorífica de la superficie de la tierra; mientras mayor sea la cantidad de bióxido de carbono en la atmósfera, más caliente es el clima. Se supone que al aumentar al doble el contenido de bióxido de carbono, la temperatura media del aire puede aumentar de 3° a 4°C. Este aparentemente pequeño incremento, sería la causa de un gigantesco desequilibrio hidrológico con irreparables daños para el hombre y quizá para el mismo planeta.

Por otro lado, tratando la naturaleza de regenerar el equilibrio, seguramente se acentuaría el intercambio de este gas en la atmósfera con las aguas del mar, mediante fenómenos de volcamientos térmicos; otra forma sería el incremento de materia vegetativa para absorberlo mediante la función fotosintética.

Se aprecia y salta a la vista, la importancia de mantener y aún incrementar la vida acuática microscópica y en general, de plantas y animales, independientemente de su tamaño.

Otra de las manifestaciones del equilibrio de la naturaleza consiste precisamente en la aptitud del agua para autopurificarse: solamente una forma de bacteria, la sphaerotilus natans, en un depósito de agua de un kilómetro cuadrado de superficie, asimila en 24 horas, hasta 30 toneladas de materia orgánica, de la cual las dos terceras partes, se transforma en sales minerales. Las bacterias son comidas por los infusorios; los infusorios sirven de alimento a los animales más grandes y las sales aprovechadas por la vegetación acuática.

Si la contaminación es muy grande, tanto que la dilución del agua no sea suficiente y provoque el agotamiento del oxígeno disuelto, intervienen otros procesos biológicos distintos a cuando se conserva parte de este gas; pero siempre y afortunadamente, es posible que se efectúe la autopurificación, aunque ésta no llegue a verificarse --

a causa principal del tiempo y nuevas aportaciones de desechos contaminantes. Es así solamente cuando empieza a constituirse un - - "problema por la contaminación"

Depende del grado de contaminación para que subsistan ciertas clases de algas, de bacterias y gusanos; pero en términos generales, la composición media de los desechos domésticos no son ofensivos a este tipo de vida. De hecho, para estos seres así como a algunas especies superiores como pudieran ser los peces, no sufren un daño directo; la contaminación más bien provoca trastornos y la sufren otras especies incluyendo al hombre a través de éstos.

Las algas y bacterias en estrecha simbiosis, efectúan un proceso de aceleración en la depuración de las aguas. Este principio es el empleado en las lagunas de estabilización para aguas negras - domésticas y para ciertos desechos industriales. Por esta causa - los estudios microscópicos y más los limnológicos, son de gran ayuda a la interpretación, valoración y proyectos sobre contaminación de aguas y su tratamiento o autodepuración.

6.2 COMENTARIOS SOBRE ALGUNOS PARAMETROS

a) Temperatura:

A los peces les afecta la temperatura; un pez no puede vivir en aguas con más de 35°C; se desarrollan bien entre 15 y 25°C. -- Las algas se extinguen o florecen según una misma temperatura; - - las cianofitas proliferan y son muy resistentes a altas temperaturas pero son poco deseables.

b) Compuestos Orgánicos:

> Contaminaciones relativamente bajas en lagos de agua dulce, provocan un desarrollo exagerado de algas, achacado al incremento de compuestos nitrogenados y fosforados esenciales como nutrientes - al fitoplancton.

De las algas más resistentes sobresalen las verde-azules (cianofitas), solamente que inducen a cambios metabólicos en las otras - especies de algas, que en su afán de sobrevivir producen toxinas -- que a la larga repercuten a ellas mismas autointoxicándose. Las - algas azules a su vez, causan al hombre cuando las ingieren, nau - seas, vómitos y diarreas con duración de uno a cuatro días.

c) Detergentes:

El detergente es actualmente un parámetro para detectar con-

taminación y se le han atribuido daños que más por toxicidad, se deben a sus propiedades.

De algunos estudios sobre detergentes, llevados a cabo en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en colaboración con la antigua C.H.C.V.M. ahora Comisión de Aguas del Valle de México, se comprobó que a los peces los afecta cuando se halla presente en más de 4 mg/l. ya sea sin o con enzimas; en este último caso, en la proporción que comercialmente constituyen los denominados biológicos. Este daño se debe principalmente a la propiedad de los detergentes de abatir la tensión superficial del agua y no poder extraer de ella el oxígeno por fricción en las branquias.

Los detergentes desechados por una industria a un río en los Estados Unidos de Norteamérica, fueron causa de que varios patos no pudieran sostenerse a flote y murieran ahogados; la causa fue otra propiedad de los detergentes: haber emulsionado la grasa del plumaje.

Los animales superiores están dotados de un instinto por el cual dejan de comer o de beber un alimento o líquido que les pueda dañar; sin embargo, como el ganado ribereño el río Pánuco sacia su sed ingiriendo aguas altamente contaminadas, se investigó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, el efecto que pudiera tener el detergente en los becerros. Para ello, se sometieron varios animales a dosis de hasta 150 mg/l. de detergente en su agua de bebida. Lo notable del caso fue que los becerros que tomaban agua con dosis entre 20 y 70 mg/l. registraron un desarrollo aunque ligero, pero mayor que el testigo (0.0 mg/l).

Aún antes de darles de beber esta agua, la orina y heces fecales acusaban detergente; es decir el alimento que recibían y comprobado posteriormente, ya contenía detergente.

d) Aguas Negras:

El Valle de El Mezquital ha sido regado desde principios del siglo con aguas negras provenientes de la Ciudad de México; independientemente de la contaminación, ha sido la causa de formar "suelos" que varían de 10 a 50 cm. de espesor pero que son capaces de sostener cultivos.

Por los años de 1967 a 1968. los ejidatarios de esa región se quejaron de un bajo rendimiento en sus productos, relacionándolo con la aparición de espuma en las aguas del Gran Canal de Desagüe. Al estudiarse en la Universidad Autónoma de Chapingo este fenómeno, quedó al descubierto que el detergente en sí, no causa efectos notables en los cultivos ni durante su desarrollo ni en su productividad.

Aún cuando no se tiene un fundamento estadístico de importancia, se dedujo que el frijol asimila parte de los productos ionizados del detergente como sulfatos y sodio.

El peligro de la contaminación bacteriológica de productos cultivados con aguas negras disminuye con las precauciones de detalle de lavado. De estudios realizados en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, parece ser que la contaminación es de tipo superficial; la suposición la apoya el hecho de que la totalidad de las pruebas realizadas en jitomates, dieran resultados libres de contaminación; sin embargo, debe tenerse presente que estos y otros productos semejantes, se ven altamente alterados cuando los insectos deterioran su cubierta protectora.

En Alemania Occidental venden legumbres cultivadas con aguas negras, con 30% de descuento en el precio; en la Ciudad de México - casi todas las verduras deberían de tener esta rebaja.

Sometidas a cocción se anula la contaminación aunque solamente que en caso de existir, se mantiene el clostridium perfringens.

e) Desechos industriales:

Otra cosa sucede con la contaminación causada por desechos industriales: son tan variados sus contenidos como sus efectos. - - Simplemente el cambio de pH, puede acabar con todo ser acuático. Contienen en general fenoles, anilinas y tóxicos de todo tipo.

Solamente a causa del aceite, se estima que en las costas - - Británicas y Holandesas mueren anualmente de 100 000 a 300 000 - - aves marinas.

6.3 Problemas y ejercicios

6.3.1 Describa alguno de los ciclos establecidos en la naturaleza e indique como pudiera ser afectado por un incremento explosivo de contaminantes; - - por ejemplo en lagos; lagunas; océano.

6.3.2 Amplie con sus comentarios algunas de las observaciones a los parámetros indicados en el inciso 6.2 del texto. Ejemplo: nitrógeno; fósforo, de - - detergente.

CAPITULO 7

ASPECTOS LEGALES DE LA CONTAMINACION DE AGUAS

7.1 LEGISLACION EXTRANJERA

Con el advenimiento de la industrialización y el incremento tan grande de la población mundial, se presenta el problema cada vez más incontrolable de la contaminación del agua. El hombre al darse cuenta de la importancia de cuidar su medio para el bienestar propio y para dejarlo de un modo tal que no altere las condiciones ecológicas del mismo para generaciones posteriores, se ha dado a la tarea de crear leyes y reglamentos que regulen el aprovechamiento, consumo y reincorporación de caudales usados en las diversas actividades, para no contaminar el preciado líquido y que sea factible de un uso posterior o por lo menos de un tratamiento más económico, para reincorporarlo a la actividad requerida por el hombre.

La inquietud por legislar a fin de mantener un ambiente sano, se remonta a épocas bíblicas y no es difícil encontrar leyes al respecto, en cualquier época de nuestro desarrollo; ya más recientemente, hace unos 150 años, ciertos países se preocuparon en hacerlo con objeto de proteger la pesca (España, Polonia, Suiza).

A fines del siglo pasado, se hallan leyes emitidas para prohibir la contaminación de las aguas bajo pena de persecución policíaca (Bélgica, 1877); o que simplemente impiden las descargas de sustancias nocivas en las aguas públicas (España, 1879).

También por esas épocas, ya comienzan a detectarse ciertas distinciones entre los desechos industriales; los Países Bajos, en su ley de 1875, trata sobre industrias peligrosas o insalubres.

Algunos países se basan para legislar, en la calidad del cuerpo receptor o en los usos a que se destina su agua; así por ejemplo en Bélgica se clasifican las aguas superficiales en:

1. Aguas que sirven para alimentación
2. Aguas que se utilizan para brebaje de animales y para los peces
3. Aguas para uso predominantemente industrial sin que las descargas provoquen en las zonas de -- recepción, condiciones desfavorables

En el Estado de Connecticut de los Estados Unidos de Norteamérica los ríos se han clasificado según sus aguas:

- a) Para alimentación humana
- b) Para baños, riego de cultivos para alimentos crudos, agricultura, turismo y pesca
- c) Canotaje, riego de cultivos para alimentos - cocidos y pesca
- d) Desalojamiento posible de aguas de alcantarillado a condición de no perjudicar la navegación y el uso de esas aguas para fuerza hidráulica o para usos industriales
- e) Todos los otros usos

En Polonia la división de sus ríos obedece a una evaluación - de la contaminación de sus aguas basada en el aspecto externo de la corriente, olor, déficit de oxígeno disuelto, DBO, nitrógeno orgánico, materia suspendida, sustancias tóxicas e indicadores biológicos:

- a) no contaminados
- b) ligeramente contaminados
- c) considerablemente contaminados
- d) intensamente contaminados

Por su parte, la URSS ha dividido las aguas superficiales en tres clases:

1. Para la alimentación colectiva o agua potable, que incluye una zona de protección sanitaria de adición de agua-

directamente o en la vecindad de criaderos de peces.

2. Para abastecimiento doméstico, para industrias alimenticias o para procreación de fauna acuática.
3. Para baños públicos o turísticos pero no apta para -- beber

Respecto al tratamiento a que deben someterse los desechos antes de desalojarlos a un río, casi todos los países lo indican y en algunos hasta se permite al interesado deducir de los impuestos los gastos por las instalaciones de plantas depuradoras; tal sucede por ejemplo en Alemania Federal. Por otro lado, en Inglaterra se generaliza para los desechos (domésticos o industriales) una descarga no mayor de 30 mg/l de DBO; ésto equivale a someter todos los efluentes a un tratamiento completo.

7.2 LEGISLACION NACIONAL

En México el problema de la contaminación, como fenómeno mundial, requiere de una atención especial, debido a que el país -- tiende a industrializarse rápidamente y por ende a desalojar una mayor cantidad de desechos en sus corrientes contribuyendo a aumentar el grado de contaminación en que se encuentran éstas.

En la República Mexicana el problema de la contaminación no sólo se presenta en los grandes conjuntos urbanos, sino que se extiende al medio rural, a poblados, ríos y mares. Sin embargo, es en las áreas densamente pobladas o industrializadas donde se acentúa; -- en este caso, es el Valle de México el que reviste las características más alarmantes: los enormes residuos generados por la población; la colecta y hacinamiento diario de basura; los desperdicios -- industriales; y las frecuentes tolvánicas, han producido visible deterioro al medio.

7.2.1 Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental

A fin de proteger el medio, entró en vigor la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental, publicada en el Diario Oficial, el martes 23 de marzo de 1971, de la cual se -- reproduce la parte que compete al agua en el apéndice A.

7.2.2 Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas

Dos años más tarde de aparecida la Ley, el 29 de marzo de 1973, se publicó en el Diario Oficial el Reglamento correspondiente, que se transcribe en el apéndice B.

7.3 DERECHO INTERNACIONAL

Existen varios ríos que sirvan de frontera o atraviesan a dos o más países, considerados por lo tanto como internacionales, quedando su aspecto legal en manos del derecho internacional cuya posición en lo que concierne a las controversias relativas a la contaminación puede ser asimilada en la fórmula, acaso muy poco atractiva, de que todo Estado debe tener suficientemente en cuenta los intereses de otros estados.

El objetivo principal sobre contaminación de aguas en Derecho Internacional, era en su origen la protección de la pesca. Existen cláusulas en los tratados sobre pesca establecidas entre Baden y Suiza en 1869; en el tratado franco-suizo sobre pesquerías en 1880; en el tratado sobre pesca entre Italia y Suiza en 1882; en el establecido entre Luxemburgo y Prusia en 1892; en los tratados franco-suizo de 1902 y 1904 (el primero relativo al tráfico y el segundo a la pesca en aguas fronterizas); en el tratado sobre pesquerías concluido entre Italia y Suiza en 1906.

Entre los demás convenios interestatales que contienen cláusulas contra la contaminación, pueden mencionarse el tratado sobre aguas fronterizas entre los Estados Unidos de Norteamérica y el Canadá en 1909 y el tratado fronterizo franco-suizo en 1925. Constituye un ejemplo reciente el convenio fronterizo entre Guatemala y el Salvador en 1957. El tratado fronterizo entre Finlandia y la Unión Soviética (1960), contiene también una cláusula por la que las partes contratantes se comprometen a no contaminar las aguas fronterizas.

También debe mencionarse el tratado Internacional de Aguas entre México y Estados Unidos de Norteamérica.

La contaminación no conoce fronteras, por lo tanto cualquier país debe evitar que en su territorio se produzcan alteraciones en el agua que provoquen daños económicos a sus vecinos, como lo estipula la Séptima Conferencia Interamericana celebrada en Montevideo en 1933 que en la cláusula 2, afirma lo siguiente:

"... ningún Estado puede, sin el consentimiento de otro Estado ribereño, producir en los ríos de carácter Internacional, para la explotación industrial o agrícola de sus aguas, ninguna alteración que pueda resultar nociva para la margen del otro Estado interesado".

No obstante la intención de este acuerdo, ni México ni Estados Unidos de Norteamérica aprobaron la declaración; México no podía aceptarla porque se afectaría el principio de Soberanía Nacio-

nal que ha sostenido siempre en su política internacional.

Las Naciones Unidas y sus organismos especializados han -- prestado atención a la contaminación del agua en aspectos muy diferentes, pero sobre todo como problema práctico, si bien se ha insig-- tido en la necesidad de un cuerpo legal internacional a este respecto.

Al examinar la obligación por parte de un país de evitar la -- producción de alteraciones en el agua que sean nocivas para otro -- país, debe hacerse alguna referencia también a la cortesía internacio-- nal y a las obligaciones impuestas en general a los miembros de la comunidad internacional. La cortesía internacional sin embargo, no es un proceso legal que obligue al país, ni ha sido definido más con-- cretamente que el concepto de miembro de la comunidad internacio-- nal. Entre ideas como las referencias a las buenas relaciones de -- vecindad y al principio de abuso de derecho, abonan reconocidamente la opinión de que el país tiene la obligación de considerar los intere-- ses de otro país cuando toma decisiones sobre los usos de su pro-- pio territorio, si bien no responden a la pregunta de qué es en la -- práctica esta obligación en relación a la contaminación por ejemplo, o qué reclamaciones puede presentar un país lesionado contra el -- país responsable del daño.

Los problemas internacionales provocados por la contamina-- ción han ocupado también un lugar prominente en la labor de la Aso-- ciación de Derecho Internacional desde 1954, como se refleja en la 48a. Conferencia de la Asociación de Derecho Internacional, celebra-- da en Nueva York en 1958, que en la parte de "Recomendaciones -- Aprobadas", número 8 dice:

"Los Estados corribereños deberían tomar medidas inmedia-- tas para impedir que continúe la contaminación de las aguas, y de-- berían estudiar y poner en práctica todos los medios para disminuir hasta un grado menos nocivo los usos actuales que producen dicha -- contaminación".

Otras agrupaciones tal como la Comisión Económica para -- Europa (CEE), en su resolución 10-Declaración de la Política de la CEE para el Control de la Contaminación de las Aguas-. con fecha 29 de abril de 1966, hizo la siguiente declaración:

"El control de la contaminación de las aguas constituye una -- responsabilidad fundamental de todo Gobierno y exige la cooperación de las comunidades y de todos los que usan esas aguas";

"El propósito del control de la contaminación es conservar -- en el máximo modo posible las cualidades naturales de las aguas --

superficiales y fráticas, proteger el ambiente biológico que depende de esas aguas, reducir el grado actual de contaminación para velar por la salud pública y garantizar que puedan usarse especialmente - para la producción de agua potable de buena calidad, las actividades relativas a la conservación y desarrollo de la flora y la fauna acuáticas y terrestres, la producción de agua para la industria con la - depuración que sea necesaria, el consumo para riego y los animales y con fines de recreo. Los Estados que tienen costas y riberas en el mismo caudal, deben llegar al entendimiento de que esas aguas - representan para ellos un recurso de propiedad común cuyo uso debe de efectuarse tratando de armonizar sus respectivos intereses al máximo posible. Esto requiere específicamente la actuación concertada en lo tocante al control de la contaminación y que los estados - definan sus relaciones en este asunto por medio de acuerdos bilaterales o multilaterales")

7.4 Problemas y ejercicios

7.4.1 En algunos países existen numerosas leyes sobre la protección del ambiente que incluyen aspectos de contaminación de aguas; investigue y redacte un informe al respecto.

7.4.2 Emita sus comentarios respecto a la legislación nacional -- para la protección del ambiente; particularmente sobre contaminación de aguas.

CAPITULO 8

PROCESOS DE AUTODEPURACION

8.1 ETAPAS DE CONTAMINACION-REGENERACION

La naturaleza provee de elementos para la autodepuración de todas las aguas que hayan sido contaminadas por la introducción de desechos, ya sean debidos a escurrimientos del suelo, aguas negras o desperdicios industriales. La velocidad a que se verifica este proceso depende del origen y la cantidad de materia contaminante, así como de las condiciones y características físicas, químicas y biológicas del agua misma.

Frecuentemente se afirma que el agua se autopurifica al fluir durante cierta distancia o que la aeración natural que tiene lugar en las cascadas o caídas oxidará o matará las bacterias; en realidad la distancia en sí no tiene que ver nada con la autodepuración que se verifica en una corriente de agua, más bien es el tiempo de trayecto; tampoco la aeración por sí misma es segura para la destrucción de las bacterias. Es cierto que el tiempo y la aereación son los factores más importantes, pero también lo son otros: las condiciones adecuadas de temperatura, la luz solar, la velocidad del flujo y características químicas y biológicas del cuerpo receptor.

La sedimentación por reposo en un depósito durante un período de casi un mes, puede lograr generalmente una purificación equivalente a la filtración; el flujo lento de una corriente en una gran distancia, puede llevar a los mismos resultados.

La contaminación del agua por las aguas de desecho o por otras sustancias contaminantes, pone en movimiento un ciclo bien -

definido, difícil de observar en el agua estancada y fácil de ver en una corriente. Comprende 4 fases:

1.- ZONA DE DEGRADACION

Esta zona se encuentra generalmente cerca de los puntos de descarga de alcantarillados, el límite de esta zona en cuanto a distancia, se puede definir por un contenido de OD de alrededor de 40% de saturación. El primer efecto que se observa es que el agua se enturbia, dificultando el paso de la luz solar a las capas más profundas del agua, los peces y las algas verdes disminuyen y aumenta la cantidad de materia orgánica; se elimina en cierta forma la aeración o la cantidad de oxígeno que las plantas dan al agua por el fenómeno de fotosíntesis. Las formas superiores son sustituidas por formas inferiores más tolerantes; en esta fase se encuentran los hongos acuáticos típicamente blancos, verde olivo, gris pardo y rojizos; se encuentran además: pequeños gusanos rojizos, parecidos a las lombrices de tierra; protozoos ciliados; formas litorales de algas verdes y azul verdes, colgando de piedras frecuentemente humedecidas; se forman depósitos de lodo. La difusión es apreciable.

2.- ZONA DE DESCOMPOSICION ACTIVA

Se caracteriza por la ausencia de OD y por condiciones sépticas; la zona se distingue por su color gris negro; olores desagradables debidos al sulfuro de hidrógeno; depósitos de lodos negros y burbujas de gas. Se produce la descomposición orgánica activa, con aumento de bióxido de carbono y amoníaco, se incrementa la flora bacteriana, desplazando los anaerobios a los aerobios. Los protozoos disminuyen, los hongos desaparecen bajo verdaderas condiciones sépticas. Los organismos son filarios y desarrollan un tinte rosado, cremoso o gris. En el inferior de la zona se encuentran algas en muy pequeña extensión. Se encuentran en esta zona larvas de los géneros HERISTOLIS Y SICHODA.

3.- ZONA DE RECUPERACION

Tiene una actividad inversa a la zona de degradación, alcanzando mayor extensión; se distingue clarificación gradual del agua, por un cambio de los depósitos fan

gosos a depósitos granulares, y por la ausencia de -- burbujas de gas. Aumenta la cantidad de OD a más -- del 40%, disminuye el contenido de bióxido de carbono y aumenta la cantidad de nitritos y de nitratos. Reaparece la vida acuática macroscópica; aparecen protozoos, rotíferos y crustáceos. Se encuentran pocos -- hongos y las algas resurgen; el recuento bacteriano -- disminuye a medida que baja el alimento del agua. -- Aparecen esponjas, briozoarios y organismos de fondo como mariscos, caracoles y larvas de insectos. Hay carpas, rémoras y otras formas más resistentes de -- peces.

4.- ZONA DE AGUA LIMPIA.

Son casi similares sus características a la del agua - limpia natural, por haber recuperado su aspecto atrac- tivo. El OD está cerca de la saturación y se restau- ran las condiciones de la corriente natural, caracteri- zadas especialmente por la presencia de peces útiles - para la pesca comercial. En esta zona hay bacterias aerobias junto con otros microorganismos que permiten la vida superior. Se vuelve a normalizar la vida vege- tal y animal, aparecen bacterias aeróbicas y organis- mos microscópicos.

El OD en una corriente cuando menos debe ser de 5 ppm. - para propiciar y conservar la vida piscícola, por lo cual es neces- ario precisar y cuantificar la carga orgánica máxima permitida en -- cualquier punto del curso de la corriente, considerada en función de la DBO y para ello es necesario aplicar las ecuaciones de autopuri- ficación.

En general, la autopurificación logra eliminar la materia - - orgánica dependiendo del grado de dilución, de la efectividad de la - reaeración, de la sedimentación, y principalmente del tiempo dispo- nible para que se verifiquen las acciones químicas; por desgracia, - los efectos del reposo y del tiempo no son todo lo benéficos que se requieren con respecto a ciertas características del agua; por ejem- plo: la contaminación bioquímica induce al desarrollo de algas y de otras formas de vida microscópicas que son las que comunmente -- causan olores y sabores; por lo tanto, se requiere generalmente de un tratamiento adicional cuando se encuentran presentes. Dichos -- tratamientos adicionales se hacen en plantas construídas para el efec- to y son: aeración, filtración lenta o rápida, mezclado, coagulación, floculación, sedimentación y cloración.

Ese poder autopurificador que tienen las corrientes, muchas veces se aprovecha para dar solución a las descargas de distintas poblaciones, tomando como primera posición el preguntarse el efecto que se provocaría al verter en un río los desechos y los problemas que se causarían; o la posibilidad de una instalación de tratamiento, trayendo como consecuencia una mayor erogación económica, que muchas veces las poblaciones no están en capacidad de cubrir.

Es necesario que la persona encargada de este tipo de estudio, sepa evaluar la capacidad purificadora del agua o de la corriente donde se va a verter, de manera de proyectar una planta de tratamiento que no purifique completamente el agua por razones de costo, sino proponer un tratamiento que tenga una eficiencia adecuada, que sea más económico y ayudándose a la vez de la capacidad autopurificadora de la corriente.

8.2 AUTOPURIFICACION DE LOS CURSOS DE AGUA

8.2.1 DESOXIGENACION Y REOXIGENACION

En una corriente contaminada expuesta al aire existirá la desoxigenación y la reoxigenación, pudiéndose determinar la cantidad de oxígeno disuelto en un instante determinado por la intensidad de ambos fenómenos.

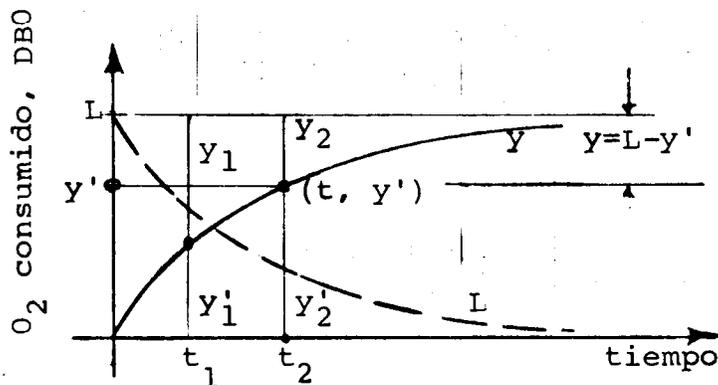
Cuando la población de microorganismos ha alcanzado un grado tal que ya no hay variaciones en el agua, y se tiene suficiente cantidad de material orgánico que propiamente está fungiendo como nutriente de éstos, se considera que la cantidad de materia orgánica oxidable a cualquier tiempo y a temperatura constante es proporcional al consumo de oxígeno o lo que es lo mismo, a la cantidad de reacción de DBO. Se expresa en forma diferencial de la siguiente manera:

$$-\frac{dc}{dt} = kc$$

donde, c = concentración de materia orgánica oxidable al principio del intervalo de tiempo "t".

k = constante de proporcionalidad de la reacción.

Esta es una reacción de primer orden en donde la rapidez de reacción depende única y exclusivamente de la concentración de materia orgánica y no de otro factor, como pudiera ser la cantidad de oxígeno que tiene el agua.



Se ha visto que es más sencillo determinar la cantidad de oxígeno que se está consumiendo en cierto momento, que conocer la cantidad de materia orgánica que se tiene; acostumbrándose por:

$$-\frac{dL}{dt} = kL$$

que representa la proporción a la que es destruida la materia orgánica contaminante.

L = demanda máxima de oxígeno primera etapa, también denominada demanda última de oxígeno.

Si y' es la cantidad de materia orgánica oxidada en un tiempo "t", representada en forma de DBO, integrando la ecuación entre los límites (L, y') y (0, t), para conocer la cantidad de materia que existe, se tendrá:

$$\int_L^{y'} \frac{dL}{L} = -K \int_0^t dt; \log_e \frac{y'}{L} = -kt; \log_e \frac{y'}{L} = -kt$$

$$\text{o sea: } \frac{y'}{L} = e^{-kt}; y' = L e^{-kt}$$

La cantidad de reacción que ha sido efectuada hasta el tiempo "t" será:

$$y = (L - y') \text{ o cantidad que falta por oxidarse.}$$

Sustituyendo el valor de y' como Le^{-kt} :

$$L - y' = L - Le^{-kt}$$

por lo tanto:

$$y = L - Le^{-kt}$$

y finalmente:

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

Ecuación que indica la manera como es ejercida la DBO. "y" es la DBO a cualquier tiempo "t"; es determinada en las pruebas comunes de DBO mediante mediciones de oxígeno disuelto.

También,

$$y = L (1 - 10^{-k't}) \quad (2)$$

donde, $k' = 0.4343 k$

Para la evaluación de la DBO total de la primera etapa, o sea L, a partir de valores calculados de la DBO de 5 días, es necesario conocer el valor de la constante de rapidez de reacción, - - - k o k' , ya que varía con la naturaleza de la materia orgánica, con la habilidad de los organismos presentes para utilizar la materia orgánica y con la temperatura; experimentalmente se ha encontrado que $k' = 0.1 \text{ día}^{-1}$ y $k = 0.23 \text{ día}^{-1}$; sin embargo una falsa consideración puede llevar a errores muy graves.

El valor de k puede ser evaluado por distintos métodos, partiendo de un conjunto de observaciones de la DBO a ciertos tiempos, que establecen la trayectoria de la reacción; entre éstos existen soluciones que van desde el empleo de nomogramas hasta soluciones teóricas exactas.

8.2.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La temperatura cubre ciertos aspectos y tiene funciones bastante grandes en el desarrollo de purificación de corrientes, su teoría es bastante elaborada.

La velocidad de reacción aumenta con la temperatura; una regla aproximada es que se duplica por cada aumento de 10°C. Matemáticamente el cambio de la constante de velocidad con la temperatura se obtiene por la Ecuación Van't Hoff-Arrhenius:

$$\frac{d(\ln k)}{dt} = \frac{E}{RT^2} \quad (3)$$

k = constante de velocidad de reacción en día⁻¹

T = temperatura en °K (273.1 + °C)

R = const. de los gases (1.99 cal/°C)

E = energía de activación en cal/gr.

Para que se lleve a cabo una reacción se requiere cierta energía, y esa energía se desprende y se vuelve calor o se disipa en cualquier otra forma.

Dentro de las temperaturas de 15 a 30°C, la energía de activación "E" de la DBO es de 7,900 cal.

La integración entre los límites T y T_0 da como resultado:

$$\ln \frac{k}{k_0} = \frac{E}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) ; \ln \frac{k}{k_0} = \frac{E}{R} \left(\frac{T - T_0}{T T_0} \right)$$

o bien:
$$\frac{k}{k_0} = e^{\left(\frac{E}{R} \frac{(T - T_0)}{T T_0} \right)}$$

en donde el subíndice cero denota los valores de referencia.

Dentro de pequeñas variaciones de la temperatura, como ocurre en las aguas naturales, el valor de $\frac{E}{R(T - T_0)}$ puede considerarse constante: por tanto:

$$\frac{k}{k_0} = e^{C_k (T - T_0)}$$

a su vez e^{C_k} es otra constante θ_k :

En las que: $\frac{k}{k_0} = \theta_k (T - T_0)$ (4)

C_k = características de la temperatura

θ_k = coeficiente de la temperatura

T y T_0 = temperatura en °C

Para temperaturas entre 15° y 30°C ($T = T_0 - 20^\circ\text{C}$)

$C_k = 0.046$ por °C

$\theta_k = 1.047$

para otras temperaturas:

5° C: $\theta_k = 1.050$; $C_k = 0.049$

10° C: $\theta_k = 1.049$; $C_k = 0.048$

35° C: $\theta_k = 1.045$; $C_k = 0.044$

Igualmente se puede plantear en forma semejante a la ecuación (4):

$$\frac{L}{L_0} = e^{C_L (T - T_0)} \quad (5)$$

Multiplicando la (4) por la (5):

$$\frac{K L}{k_0 L_0} = e^{(C_k + C_L) (T - T_0)} \quad (6)$$

donde, k_0 = constante de reacción a un tiempo de referencia.

L_0 = DBO máxima de la primera etapa al tiempo tomado como referencia.

T = temperatura

T_0 = temperatura de referencia en condiciones normales

C_k, C_L = características de temperatura

La ecuación (6) relaciona los valores de K con los de L

El desarrollo de la expresión: $e^{C(T - T_0)}$ da una serie que es

$$\left[1 + C (T - T_0) + \frac{1}{2} C^2 (T - T_0)^2 + \frac{1}{6} C^3 (T - T_0)^3 + \dots \right]$$

En una forma aproximada y sin gran error, se pueden tomar solo los primeros términos:

$$1 + C (T - T_0)$$

Tomando en cuenta esta consideración en las ecuaciones (4) y (5):

$$\frac{k}{k_0} = 1 + C_k (T - T_0) \quad (7)$$

$$\frac{L}{L_0} = 1 + C_L (T - T_0) \quad (8)$$

Para C_L se toma un valor medio de 0.020 por °C

8.2.3. RELACION DE DESOXIGENACION POR CARGA ORGANICA SUSPENDIDA Y DISUELTA

Cuando se vierte materia orgánica en una agua receptora que lleva oxígeno disuelto, toma ésta para su oxidación parte del oxígeno que utilizan también los microorganismos en detrimento de ellos.

Si la descomposición de la materia de desecho descargada en una corriente cae dentro de la primera etapa de la DBO, y la rapidez de reacción de la DBO es constante y conocida para una temperatura dada, las demandas de oxígeno ejercidas sobre una corriente relativamente profunda y lenta, pueden ser calculadas por las ecuaciones (1), (4) y (5) aunque es bastante difícil su aplicación si no se tienen los puntos de referencia.

La DBO (y), ejercida en un tiempo " t " y a cierta temperatura " T ", en términos de los valores de referencia: K_0 , T_0 , y_0 y t_0 además de C_L y C_k ; es como se indica enseguida:

Sustituyendo (5) en (1): $y = L_0 e^{C_L (T - T_0)} (1 - e^{-k_0 t})$

Sustituyendo (4) en la ecuación anterior

$$y = L_0 e^{C_L (T - T_0)} \left[1 - e^{-k_0 t e^{C_k (T - T_0)}} \right]$$

$$\frac{y_0}{L_0} = 1 - e^{-k_0 t_0} \quad \text{o sea: } L_0 = \frac{y_0}{(1 - e^{-k_0 t_0})}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$y = \frac{y_0}{(1 - e^{-k_0 t_0})} e^{C_L (T - T_0)} \left[1 - e^{-k_0 t e^{C_k (T - T_0)}} \right]$$

Ordenando:

$$y = y_0 e^{C_L (T - T_0)} \frac{\left[1 - e^{-k_0 t e^{C_k (T - T_0)}} \right]}{(1 - e^{-k_0 t_0})} \quad (9)$$

Ecuación que dá la demanda de la DBO en determinado tiempo "t" y a cualquier temperatura T.

En una forma similar se puede desarrollar el valor último de la primera etapa que es:

de (5):

$$L = L_0 e^{C_L (T - T_0)}$$

de (1)

$$y_0 = L_0 (1 - e^{-k_0 t_0})$$

$$L_0 = \frac{y_0}{1 - e^{-k_0 t_0}}$$

Sustituyendo L_0 en la ecuación (5)

$$L = \frac{y_0 e^{C_L (T - T_0)}}{1 - e^{-k_0 t_0}} \quad (10)$$

La ecuación del consumo de O_2 según se indicó, es

$$-\frac{dy}{dt} = kL \quad \text{que integrada da:}$$

$$\frac{L_t}{L} = e^{-kt}$$

L es la oxidabilidad inicial (tiempo = 0)

L_t es el correspondiente valor al tiempo t

$\frac{L_t}{L}$ representa fracción de la materia orgánica que falta oxidarse y

$1 - \frac{L_t}{L}$ es la fracción que ha sido oxidada

De la ecuación (1)

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

representa la relación de la parte ejercida de la DBO en un tiempo dado, respecto al total si se considera a L como el 100 por ciento, entonces y estará dando el porcentaje de la demanda que se lleva - hasta ese momento;

$$y (\%) = 100 - 100 e^{-kt} \quad (11)$$

si se generaliza la ecuación para cualquier tiempo y temperatura que daría

$$y (\%) = 100 - 100 e^{-k_0 t e^{Ck(T - T_0)}} \quad (12)$$

que resulta de haber multiplicado en (11) el valor de k dado en (4). En esta ecuación (12) el término:

$100 e^{-k_0 t e^{Ck(T - T_0)}}$ es la cantidad por oxidar.

De la ecuación (9) y tomando a y_0 como la unidad, resulta la relación de "y" a las temperaturas indicadas y a los días de incubación que se expresan en la tabla siguiente, en la que además se marca el inicio de la segunda etapa o de nitrificación por las líneas de separación.

Tiempo, días	Temperatura °C						
	5	10	15	20	25	30	35
1.....	0.11	0.16	0.22	0.30	0.41	0.54	0.70
2.....	0.21	0.30	0.40	0.54	0.71	0.91	1.14
3.....	0.31	0.41	0.56	0.73	0.93	1.17	1.42
4.....	0.38	0.52	0.68	0.88	1.11	1.35	1.60
5.....	0.45	0.60	0.79	1.00	1.23	1.47	1.71
6.....	0.51	0.68	0.88	1.10	1.31	1.56	1.78
7.....	0.57	0.75	0.95	1.17	1.40	1.62	1.82
8.....	0.62	0.80	1.01	1.23	1.45	1.66	1.85
9.....	0.66	0.85	1.06	1.28	1.49	1.69	1.87
10.....	0.70	0.90	1.10	1.32	1.52	1.71	1.88
12.....	0.77	0.97	1.17	1.37	1.56	1.73	1.89
14.....	0.82	1.02	1.21	1.40	1.58	1.74	1.90
16.....	0.85	1.06	1.24	1.43	1.59	1.75	--
18.....	0.90	1.08	1.27	1.44	1.60	1.76	--
20.....	0.92	1.10	1.28	1.45	1.61	--	--
25.....	0.97	1.14	1.30	1.46	--	--	--
primera etapa	1.02	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	1.90

Para determinar el porcentaje de reacción que esté ocurriendo en relación del total de la demanda de la primera etapa por unidad de tiempo (se considera a L como 100%)

$$L_t = 100 e^{-kt}$$

De (4) resulta

$$K = k_0 e^{C_k (T - T_0)}$$

sustituyendo este valor en la ecuación anterior

$$L_t = 100 e^{-k_0 t e^{C_k (T - T_0)}} \quad (13)$$

que es general, ya que representa el porcentaje de la demanda a cualquier temperatura y tiempo dados. De esta manera resulta la tabla que muestra el balance del consumo en porcentaje.

8.2.4

8.2

DESOXIGENACION POR CARGA BENTAL.

Se llama carga bental, a la materia orgánica que se sedimenta en la corriente cuando ésta tiene una velocidad menor de 30 cm/seg. La sedimentación provoca los llamados fangos en los ríos (carga bental), los cuales se producen por pequeños estratos cuando la corriente cumple ciertas condiciones como la lentitud de la velocidad, distintas temperaturas y estado del tiempo.

En tiempo de secas cuando los ríos llevan poca agua y poca velocidad, si se descarga a ellos materia orgánica, se producen asentamientos muy grandes, a tal grado que esa materia orgánica no se descompone por caerle encima otras capas rápidamente, de manera que no alcanza a oxidarse. Cuando aumenta la corriente y ésta lleva OD, existe la descomposición aeróbica hasta una profundidad aproximada de 1 cm. y más abajo tiene efecto la descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno), que es mucha más lenta y en cierta forma ayuda a mantener OD en la corriente.

Con aumento de la temperatura disminuye la densidad del agua y la viscosidad, incrementándose la descomposición aeróbica, el desprendimiento de gases y el levantamiento de partículas sedimentadas sin descomposición, que aunadas a las suspendidas, aumenta mucho más la DBO del agua; y que llegada la época de temperaturas altas pueden acarrear problemas con el agotamiento de OD.

PORCENTAJE DE LA DEMANDA RESPECTO AL TIEMPO PARA MUESTRAS
A 20°C y $k = 0.23/\text{día}$.

TIEMPO (días)	CANTIDAD POR OXIDAR	CONSUMO EN EL DIA	CONSUMO ACUMULADO
0	100.00		0
1	79.4	20.6	20.6
2	63.0	16.4	37.0
3	50.0	13.0	50.0
4	39.8	10.2	60.2
5	31.6	8.2	68.4
6	25.0	6.6	75.0
7	20.0	5.0	80.0
8	15.8	4.2	84.2
9	12.5	3.3	87.5
10	10.0	2.5	90.5
11	7.9	2.1	92.1
12	6.3	1.6	93.7
13	5.0	1.3	95.0
14	4.0	1.0	96.0
15	3.2	0.8	96.8
16	2.5	0.7	97.5
17	2.0	0.5	98.0
18	1.6	0.4	98.4
19	1.3	0.3	98.7
20	1.0	0.3	99.0

Con las avenidas de los ríos se limpian los sedimentos por -- arrastrarlos a cuerpos receptores de mucho volumen, en que ya no causan ningun problema.

Aunque la relación desoxigenación puede ser calculada por -- medio de fórmulas específicas, las magnitudes de las constantes que deben aplicarse en distintas circunstancias no son bien conocidas y -- por lo tanto, no es muy usual su utilización. Se puede usar la -- siguiente relación aproximada para la determinación de la demanda -- máxima diaria de oxígeno por carga bental de un sedimento acumu -- lado:

$$Y_m = 3.14 \times 10^{-2} Y_o C_T w \frac{5 + 160 w}{1 + 160 w} \sqrt{t_a} \quad (14)$$

donde, Y_m = demanda máxima diaria de oxígeno por carga -- bental en gr/m^2

Y_o = DBO a 5 días y 20°C en gr/kg de materia volátil.

$$C_T = \frac{Y}{Y_o} = \frac{(1 - e^{-5k})}{(1 - e^{-5k_o})}$$

C_T = factor de temperatura, de la ecuación (9) para $t = t_o = 5$ días y $T_o = 20^\circ\text{C}$.

w = razón de depósitos diarios de sólidos volá tiles en kg/m^2

t_a = tiempo en días durante los cuales la acu -- mulación tiene lugar, hasta un máximo de 365 días.

Si la carga es constante y hay recesos suficientes, la des -- composición puede ser aeróbica, implicando esto que la DBO del -- primer día es distinta a los siguientes hasta llegar a la del 5° día.

8.2.5 REOXIGENACION ATMOSFERICA DE AGUAS CONTAMINADAS

Además del oxígeno producido por las plantas verdes por --

fotosíntesis, el OD en corrientes se debe a la atmósfera con las - - que estas aguas están en contacto. En cuanto a la oxigenación por plantas verdes solo se considera en:

- a).- Aguas que no están muy degradadas
- b).- Aguas suficientemente recuperadas para soportar la presencia de plantas verdes
- c).- Las horas de soleamiento
- d).- Las estaciones calientes del año

El oxígeno fotosintético puede representar una fuente muy - - importante de abastecimiento de O_2 en la economía de la corriente - y su evaluación puede ser necesaria en muchos casos. Sin embargo, en corrientes contaminadas generalmente no se toma en cuenta.

En cálculos de ingeniería, para el balance de oxígeno se considera solo al absorbido de la atmósfera. La rapidez con que el -- agua no saturada con oxígeno, absorbe este gas de la atmósfera, es proporcional a su grado de déficit de saturación o sea:

$$\frac{dc}{dt} = kg (C_s - C_t)$$

donde, $\frac{dc}{dt}$ = cambio de concentración al tiempo "t"

kg = constante de solución o transferencia del gas en condiciones de exposición.

C_s = Valor de saturación a una temperatura y presión atmosférica dadas.

C_t = concentración al tiempo "t"

Integrando esta ecuación entre los límites (C_0 a $t = 0$)

y (C_t a $t = t$) resulta:

$$C_t - C_0 = (C_s - C_0) (1 - e^{-kgt})$$

$$C_t - C_0 = C_s - C_s e^{-kgt} - C_0 + C_0 e^{-kgt}$$

$$(C_t - C_s) = (C_0 - C_s) e^{-kgt}$$

Cambiando signos:

$$(C_s - C_t) = (C_s - C_o) e^{-kgt}$$

$$(C_s - C_o) = D_a$$

$$(C_s - C_t) = D$$

$$Kg = r$$

donde, D_a = déficit inicial de OD

D = déficit después del tiempo "t"

r = coeficiente o rapidez de reoxigenación del cuerpo de agua

Se puede escribir

$$D = D_a e^{-rt} \quad (15)$$

La variación con respecto al tiempo será

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d}{dt} (D_a e^{-rt}); \quad \frac{dD}{dt} = -r D_a e^{-rt}$$

$$\frac{dD}{dt} = -rD \quad (16)$$

El valor de "r" no solo es función de la temperatura del agua, sino también del área de contacto aire-agua en relación al volumen del agua. La variación de "r" con la temperatura puede calcularse de acuerdo con la ecuación de Van't Hoff Arrenius:

$$r = r_o e^{C_r (T-T_o)} \quad (17)$$

donde, C_r = característica de temperatura de "r"

T = temperatura del agua en grados centígrados

r_0, T_0 = valores de referencia

Para las temperaturas normales de trabajo

$C_r = 0.018$ a 0.024

Se han producido fórmulas para determinar el valor de "r", las cuales dan valores aproximados:

fórmula de Churchill-Elmore-Buckinham:

$$r = 21.8 \frac{0.969}{v^{1.673} H}$$

2.18

r = Coeficiente de reoxigenación por día

v = velocidad media del agua en m/seg.

H = profundidad media en m.

Para otras temperaturas $r = r_0 \times 1.0241^{(T-20)}$

Fórmula de O'Connor-Dobbins, derivada de la ecuación de Manning.

$$r = 127 \frac{(D_L U)^{1/2}}{H^{3/2}}$$

D_L = difusión del O_2 en el agua para la temperatura considerada; a temperatura de $20^\circ C$ $D_m = 2.03 \times 10^{-5}$ $cm^2/seg.$

$$D_L = 1.78 \text{ cm}^2/\text{día};$$

$$D_L = 1.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{día}$$

H = Profundidad media en (m); D_L en $m^2/\text{día}$;
U en m/seg.

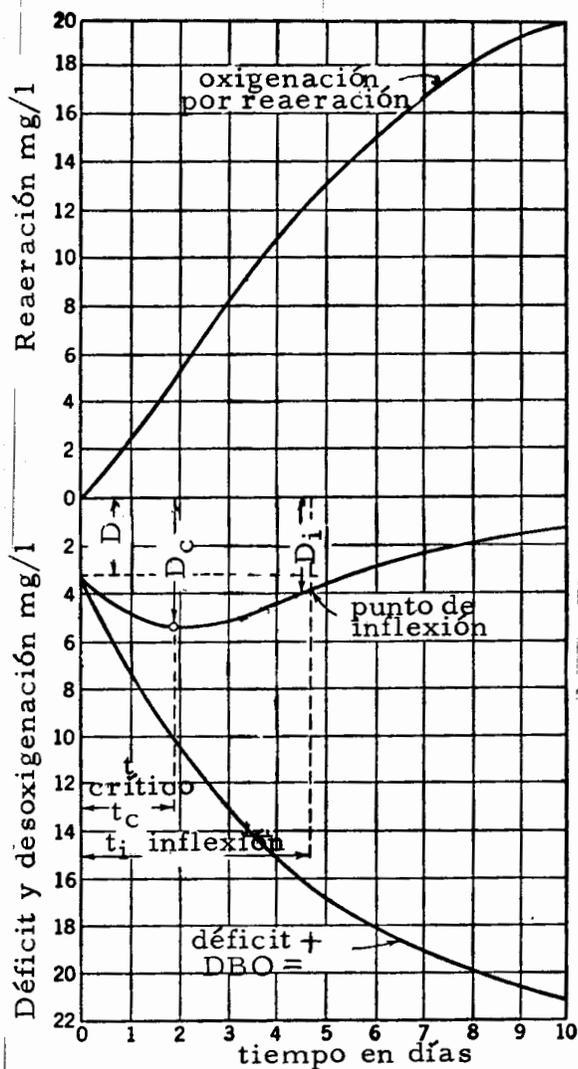
Para otras temperaturas de D_L

$$D_L = 1.78 \times 1.04^{(T-20)}$$

$$D_L = \text{en cm}^2/\text{día}$$

8.2.6 BALANCE DE OXIGENO DISUELTO

Se conoce como curva de O.D al perfil o trazo que resulta -- al considerar en una corriente, el déficit de oxígeno con respecto a "t" o sea la interpolación de la desoxigenación de las aguas contaminadas y su reoxigenación por medio del aire.



El retardo de oxígeno disuelto y sus componentes: desoxigenación y reaeración según -- Fair-Geyer-Okun.

La rapidez instantánea con que aumenta el déficit debido a la DBO es proporcional a la concentración de materia orgánica en cada instante, o sea:

$$\frac{dD}{dt} = k(L - Y); \text{ en la que: } Y = L(1 - e^{-kt})$$

Por otra parte, la rapidez con que disminuye el déficit con respecto al tiempo, es proporcional a la cantidad de reoxigenación que se tiene; la desoxigenación disminuye conforme aumenta la reoxigenación; la rapidez con que disminuye el déficit por reoxigenación es proporcional al propio déficit, según se consigno en (16):

$$\frac{dD}{dt} = -rD$$

Estas dos últimas acciones combinadas, expresadas como déficit, dan:

$$\frac{dD}{dt} = k(L - Y) - rD$$

Pero:

$$Y = L - L e^{-kt}$$

Luego:

$$\frac{dD}{dt} = kL - kL + kL e^{-kt} - rD = kL e^{-kt} - rD$$

O sea:

$$\frac{dD}{dt} + rD = kL e^{-kt}$$

Esta ecuación diferencial en la cual "rD" puede ser constante o puede ser función de la misma "D", es de la forma:

$$\frac{dy}{dx} + Py = Q$$

En la cual P y Q pueden ser constantes o funciones de x.

Integrando entre los límites "D_a" en el punto de descarga o de referencia (inicial)

$$\left[t = 0, (L_a - y) = L_a \right]$$

y "D" a cualquier punto distante un tiempo "t", resulta:

$$D = \frac{k L_a}{r - k} (e^{-kt} - e^{-rt}) + D_a e^{-rt} \quad (18)$$

donde, D = déficit de oxígeno, después de un período de "t" días; mg/l.

D_a = déficit inicial (t=0), refiriéndose al límite de saturación lo cual depende de la temperatura; mg/l

L_a = DBO última de la corriente en primera etapa; mg/l

r = constante de reoxigenación

k = constante de desoxigenación

La ecuación (18) es la ecuación de Streeter y Phelps; mejor conocida en su expresión:

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} \left[10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t} \right] + D_a \cdot 10^{-k_2 t}$$

$\frac{r}{k} = f$, es una constante de autopurificación de la corriente.

Luego:

$$r = fk$$

Sustituyendo en la ecuación (18) y simplificando:

$$D = \frac{L_a}{f - 1} \left\{ e^{-kt} - 1 - e^{-(f-1)kt} \left[1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right\} \quad (19)$$

Cuando no se conoce bien, alguna de las constantes r o k, es común esta ecuación por lo valores que ya se tienen tabulados de "f" que las relaciona

NATURALEZA DE LAS AGUAS RECEPTORAS MAGNITUD DE "f" a 20°C

Lagunas pequeñas y estanques	0.5	a	1.0
Corrientes lentas y grandes lagos	1.0	a	1.5
Grandes corrientes de baja velocidad	1.5	a	2.0
Grandes corrientes a velocidad moderada	2.0	a	3.0
Corrientes de gran velocidad	3.0	a	5.0
Rápidas y caídas	más de		5.0

La variación con la temperatura se tiene con:

$$f = f_0 e^{(C_r - C_k)(T - T_0)}$$

En forma aproximada y para aguas de temperatura normal:

$$C_r = 0.018 \text{ y } C_k = 0.046$$

La composición de las curvas de oxígeno abastecido por reoxigenación y oxígeno requerido, da origen a otra curva que es la que resulta al considerar las dos acciones, y es la llamada curva de OD. La ecuación 19 o la 18 representa esta variación.

Desde el punto de vista de la Ingeniería, los puntos importantes de la curva son:

- 1).- El punto crítico correspondiente al déficit máximo, coordenadas D_c y t_c .
- 2).- El punto de inflexión, que señala dónde las aguas recuperan el oxígeno con mayor rapidez de coordenadas D_i y t_i .

Matemáticamente, las coordenadas para el punto crítico se definen por la condición:

$$\frac{dD}{dt} = 0; \quad \frac{d^2 D}{dt^2} < 0$$

Y para el punto de inflexión:

$$\frac{d^2 D}{dt^2} = 0$$

Efectuando las derivaciones y transformaciones respectivas, -
resulta:

Punto crítico (t_c ; D_c):

$$t_c = \frac{1}{k(f-1)} \text{Log}_e \left\{ f \left[1 - (f-1) \frac{Da}{La} \right] \right\} \quad (20)$$

$$D_c = L_a \frac{e^{-kt_c}}{f} \quad (21)$$

Punto de inflexión (t_i , D_i):

$$t_i = \frac{1}{k(f-1)} \text{log}_e \left\{ f^2 \left[1 - (f-1) \frac{Da}{La} \right] \right\} \quad (22)$$

$$D_i = L_a \frac{e^{-kt_i}}{f^2} (f+1) \quad (23)$$

Las coordenadas de estos puntos se relacionan como sigue:

$$t_i - t_c = \frac{(\text{Log}_e f)}{k(f-1)} \quad (24)$$

$$\frac{D_i}{D_c} = e^{-k(t_i - t_c)} \frac{(f+1)}{f} \quad (25)$$

Si parte de la carga contaminante se sedimenta en la vecindad inmediata del punto de descarga, la demanda de oxígeno bentel puede calcularse por la ecuación (14) y suponer que es un déficit de oxígeno disuelto adicional en este punto. Si es dispersada en un gran trecho del río, se tiene la relación:

$$\frac{dD}{dt} = k L_a e^{-(k+d)t} - rD$$

$$D = \frac{k L_a}{r - (k + d)} \left[e^{-(k+d)t} - e^{-rt} \right] + D_a e^{-rt} \quad (26)$$

Esta fórmula es la misma de Streeter Phelps; solamente que se considera la rapidez de desoxigenación por carga bental d .

" d " es una constante de corrección para " t " en días, que refleja la composición de las aguas negras y agua receptora y la quietud del curso bajo consideración. Representa el aumento de DBO -- que es removido por sedimentación. Cuando hay mucha turbulencia, el valor de d puede ser negativo, originándose en lugar de sedimentación un arrastre. Las tres constantes r , k y d , son funciones de la temperatura y tienen unidades de día⁻¹. En la forma de Streeter y Phelps original:

$$k = k_1$$

$$r = k_2$$

$$d = k_3$$

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1 - k_3} \left[10^{-(k_1 + k_3)t} - 10^{-k_2 t} \right] + D_a 10^{-k_2 t} \quad (27)$$

k_3 es usualmente cero y cuando tiene valor, se considera - incluido en el de k_1 ; así la ecuación queda, reducida nuevamente a la misma analizada con anterioridad

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} \left[10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t} \right] + D_a 10^{-k_2 t} \quad (28)$$

Es posible que cierta materia orgánica (DBO) se incorpore al fondo o paredes del canal por donde escurre el agua contaminada o tenga una reducción biológica de superficie. La variación o cambio de la recuperación de oxígeno en el proceso de autopurificación del curso de agua considerado se refleja en la constante d , k_3 como ya se ha indicado.

La variación de las constantes para la mayor parte de los cursos de agua de Estados Unidos de Norteamérica que no reciben residuos tóxicos, fluctúan entre los valores siguientes (tiempo caluroso):

$$k_1 = 0.06 \text{ a } 0.36 \text{ por día}$$

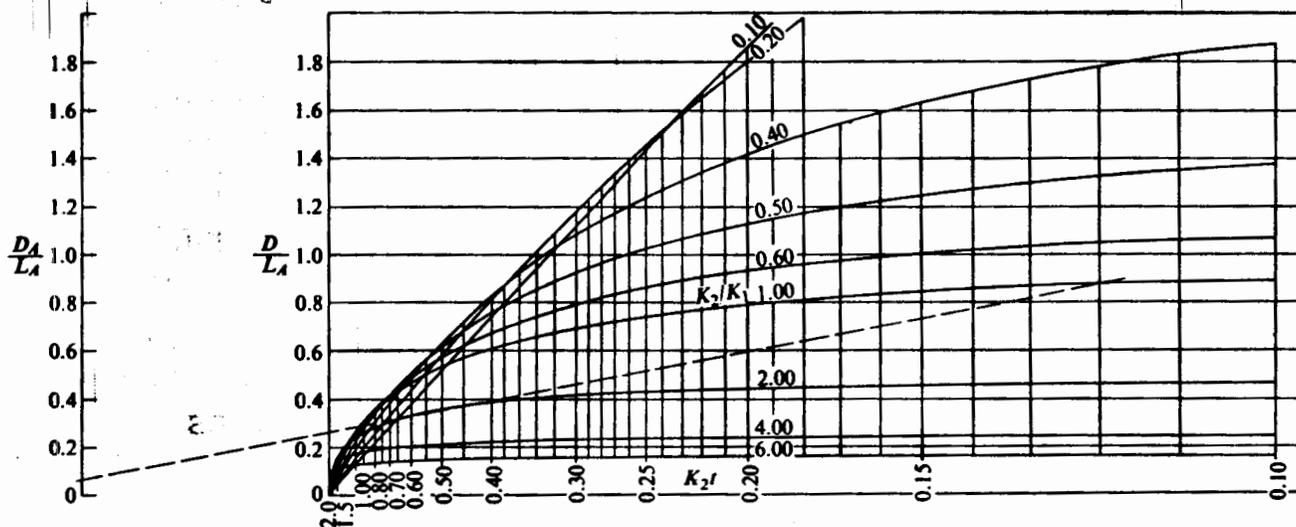
$$k_2 = 0.06 \text{ a } 0.96 \text{ por día}$$

$$k_3 = 0.36 \text{ a } -0.36 \text{ por día}$$

Evaluación de las constantes k_1 , k_2 , k_3 .- Para evaluar las constantes de la curva de autopurificación k_1 , k_2 y k_3 , se elige un tramo de la corriente con objeto de tomar muestras durante un período determinado y en función del caudal, conocer el valor de la DBO y OD al comienzo y al final del tramo en cuestión. Se logra mayor precisión sincronizando el tiempo de la toma de muestras en estaciones sucesivas, de tal modo que sea aproximadamente la misma masa de agua la que se considere, consiguiéndose de esta manera una serie homogénea de datos para las condiciones medias del curso de donde se obtendrán las constantes k_1 , k_2 y k_3 .

Cuando no es posible tomar muestras sincronizadas, las constantes pueden determinarse sobre la base de los valores medios de la DBO y OD para un período determinado, siempre y cuando la cantidad y composición de la contaminación permanezcan razonablemente uniformes.

La ecuación antes indicada y las derivadas para la carga máxima de la DBO y tiempo crítico, son complicadas de resolver, y requiere a veces emplear aproximaciones sucesivas, por lo que Thomas, ha desarrollado un nomograma que permite una rápida solución. En el nomograma, k_1 incluye a k_3 .



Nomograma para aplicar el método de Thomas en la evaluación del Déficit de Oxígeno, según N. Nemerow

Según Thomas, las siguientes fórmulas derivadas de las ecuaciones precedentes pueden emplearse para conocer k_1 , k_2 y k_3 para cada serie de muestras:

$$k_1 + k_3 = \frac{1}{\Delta t} \text{Log} \frac{L_a}{L_b} \quad (29)$$

$$k_2 = k_1 \frac{\bar{L}}{\bar{D}} - \frac{\Delta D}{2.3 \Delta t \bar{D}} \quad (30)$$

L_a y L_b = valor último de la DBO en la primera etapa sección inicial y final del tramo en ppm o kilos/día.

\bar{L} = $0.5 (L_a + L_b)$, promedio del valor último de la DBO en la primera etapa en ppm o kilos/día.

ΔD = $(D_b - D_a)$ = diferencia de oxígeno disuelto en las secciones inicial y final del tramo considerado en ppm o kilos/día.

Δt = Tiempo medio empleado por la masa de agua en pasar a través del tramo considerado en días.

\bar{D} = $0.5 (D_a + D_b)$, promedio del déficit de oxígeno disuelto en las secciones inicial y final del tramo considerado en ppm o kilos/día.

Para conocer los valores de L_a y L_b a partir de datos directos de la DBO, puede hacerse uso de la tabla que se consigna al final del inciso 8.2.3.

8.2.7 CARGA DE DBO PERMISIBLE EN CORRIENTES RECEPTORAS.

La carga contaminante que puede ser soportada por una corriente receptora depende principalmente de:

- 1). Constante de desoxigenación: k
- 2). Constante de autopurificación: $f = \frac{r}{k}$
- 3). Déficit crítico: D_c

4). Déficit inicial: D_a

Comentarios:

- 1.- El valor de "k" varía mucho y solo para grandes corrientes de velocidad normal parece estar bien fundamentado que $k = 0.23$ por día, ($k' = 0.1$ por día).
- 2.- Para "f" a una temperatura de 20°C pueden considerarse los valores tabulados obtenidos de observaciones directas dados en la Pag. 104
- 3.- D_c depende de las necesidades de la corriente. Si se quiere conservar la cría de peces, el OD no debe bajar de 4 mg/l.
- 4.- Para valores dados de "k", "f" y " D_c ", el déficit -- " D_c " establece dos valores límites para la carga -- máxima que puede imponerse a un agua receptora:
 - a). Un límite superior asociado con un déficit inicial nulo (o que se tenga OD en su valor de saturación), $D_a = 0$.
 - b). Un límite inferior asociado con una deficiencia inicial, igual a la deficiencia crítica o que: $D_a = D_c$.

Bajo la condición

- a) Límite superior de la carga máxima permitida.

En el caso más favorable, el déficit D_a debe ser igual a cero para que las aguas receptoras permitan la -- máxima carga.

Haciendo $D_a = 0$ en la ec. (20), se tiene el tiempo -- en que se establece el déficit crítico para el límite -- superior de la carga máxima permitida.

$$t'_c = \frac{l}{k(f-1)} \text{Log}_e f \quad (31)$$

Por las ecuaciones (21) y (31) se consigue calcular el valor último -- de la DBO en la primera etapa, L'_a para estas condiciones.

$$\frac{L'_a}{D_c} = f e^{-kt'_c} \quad (32)$$

Por las ecuaciones (24) y (31) se puede establecer el tiempo para que se tenga la máxima recuperación de oxígeno.

$$t'_1 = 2 t'_c \quad (33)$$

Considerando las ecuaciones (25), (32) y (33) se calcula D'_i

$$\frac{D'_i}{D_c} = \frac{f + 1}{f} e^{-kt'_c} \quad (34)$$

$$\frac{D'_i}{D_c} = (f + 1) \frac{D_c}{L'_a} \quad (35)$$

Bajo la condición

b) Límite inferior de la carga máxima permitida para el caso más desfavorable. D_a debe ser igual a D_c (déficit máximo de oxígeno permitido); por lo tanto:

$$t''_c = 0 \quad (36)$$

De la ecuación (21) y (36)

$$\frac{L''_a}{D_c} = f \quad (37)$$

De las ecuaciones (24), (36) y (31)

$$t''_i = \frac{1}{k(f-1)} \text{Log}_e f = t'_c \quad (38)$$

De las ecuaciones (25), (36) y (38)

$$\frac{D''_i}{D_c} = \frac{f + 1}{f} e^{-kt'_c} \quad (39)$$

De las ecuaciones (34) y (39)

$$\frac{D_i''}{D_c} = \frac{D_i'}{D_c} \quad \text{ó} \quad D_i'' = D_i' \quad (40)$$

La relación del límite superior al límite inferior de la carga máxima es por lo tanto:

$$\frac{L_a'}{L_a''} = e^{-kt_c'} \quad (41)$$

8.2.8 BALANCE DEL OD EN LAGOS

Cuando se aplica este estudio a un lago, la solución se complica, ya que debe considerarse no una sola dirección sino dos y a veces tres, si se hace intervenir la profundidad. La misma ecuación lineal de Streeter y Phelps se puede hacer extensiva a un volumen cilíndrico que tiene la entrada de flujo al centro de un círculo a una profundidad para conocerse sus condiciones en función del radio.

$$L = L_0 e^{-\alpha r^2} \quad (42)$$

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} (e^{-\alpha r^2} - e^{-\beta r^2}) + D_0 e^{-\beta r^2} \quad (43)$$

$$\alpha = \frac{k_1 h}{2} Q_0$$

$$\beta = \frac{k_2 h}{2} Q_0$$

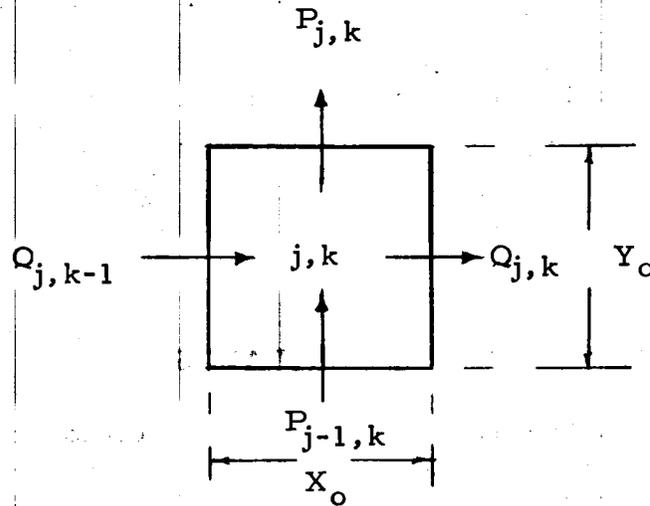
r = medida del radio en m.

h = profundidad en m.

Q_0 = Caudal de descarga

En el caso de un lago raras veces se cumple lo anterior; el analizarlo bajo condiciones reales con la aplicación de este tipo de ecuaciones es prácticamente imposible. Se emplea otro procedimiento que se soluciona a base de celdas de mezclado originado por un flujo sobre el que se han trazado líneas de corriente y equipotenciales. A este respecto el Dr. Banks (UNAM) ha desarrollado este sistema en el que considera que cada celda (j, k), de dimensiones

X_0 , Y_0 y profundidad D , está sujeta a las concentraciones que le llegan y salen de sus caras según se indica en el diagrama siguiente:



Según se analice DBO u OD, el balance de masas da como resultado:

$$\frac{d L_{j,k}}{dt} + \left(k_1 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V} \right) L_{j,k} = L^* + \left(\frac{Q_{j,k-1} L_{j,k-1} + P_{j-1,k} L_{j-1,k}}{V} \right) \quad (44)$$

$$\frac{d C_{j,k}}{dt} + \left(k_2 + \frac{Q_{j,k} + P_{j,k}}{V} \right) C_{j,k} = K^* - k_1 L_{j,p} + \left(\frac{Q_{j,k-1} C_{j,k-1} + P_{j-1,k} C_{j-1,k}}{V} \right) \quad (45)$$

V = es el volumen de la celda $X_0 Y_0 D$

L^* = es la generación o remoción de DBO

K^* = $K_2 C_s + K_p - K_r - K_b$

K_p = es producción de oxígeno por fotosíntesis

K_r = es el consumo de oxígeno por respiración

K_b = es el oxígeno consumido por lodos bentales

En un estado permanente $\frac{d}{dt} = 0$ por lo tanto, las ecuaciones (44) y (45) quedan:

$$L_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1} L_{j,k-1} + P_{j-1,k} L_{j-1,k} + L^* V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_1 V} \quad (46)$$

$$C_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1} C_{j,k-1} + P_{j-1,k} C_{j-1,k}}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_2 V} + \frac{(K^* - K_1 L_{j,k}) V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + K_2 V} \quad (47)$$

Ambas ecuaciones se apegan, según las condiciones a la solución de lagos o de ríos; en este último caso $P_{j,k} = 0$.

Para un canal o río en particular en las ecuaciones 46 y 47: $Q_{j,k} = Q_0$ (constante); L^* , k_p , k_r , k_b se consideran despreciables.

Quedan entonces:

$$L_k = \frac{L_{k-1}}{1 + (K_1 \frac{X_0}{U})} \quad (48)$$

$$C_k = \frac{C_{k-1} + (K_2 C_s - K_1 L_k) (\frac{X_0}{U})}{1 + (K_2 \frac{X_0}{U})} \quad (49)$$

en donde:

X_0 = longitud del tramo

U = velocidad media del flujo

8.3 PROBLEMAS Y EJERCICIOS

8.3.1 Dibuje las curvas que resultan para ciertos compuestos y fenómenos, del proceso natural de purificación del agua en un río, en relación al tiempo.

8.3.2 Obtenga el valor de la constante K_1 para la DBO a partir de los datos siguientes:

Día	DBO
0.71	3.0
1.00	6.5
1.83	9.0
2.84	13.0
4.0	19.0
5.0	22.0
6.0	25.5
8.0	30.5
10.0	34.5
11.0	35.0
12.0	36.0
14.0	38.0
18.0	41.5

8.3.3 A partir de la ecuación

$$\frac{k}{k_0} = e^{\left[\frac{E}{R} \frac{(T - T_0)}{T T_0} \right]}$$

y de acuerdo a los valores comunes de las constantes, obtenga el valor de C_k para 8.15 y 25°C para aplicarlos en

$$\frac{k}{k_0} = e^{C_k (T - T_0)}$$

8.3.4 Ejemplo de aplicación de la fórmula de Streeter y Phelps.

Datos de un río:

$$\begin{aligned} Q &= 32.6 \text{ m}^3/\text{seg.} \\ l &= 35 \text{ km} \\ v &= 0.20 \text{ m/s} \\ T &= 25^\circ\text{C} \\ D_a &= 1 \text{ mg/l} \\ L_a &= 12.15 \text{ mg/l} \\ K_1 &= 0.144 (20^\circ\text{C}) \text{ día}^{-1} \end{aligned}$$

$$K_{25} = K_0 e^{C_k (T-T_0)} ; C_k = 0.046$$

$$K_{25} = .181 \text{ día}^{-1}$$

Como tampoco se conoce K_2 , se puede calcular sabiendo que aunque el río no tiene una sección constante y que su fondo varía de 0.60 m a 5m, en promedio puede suponerse una velocidad al agua de 0.20 m/seg. con una lámina de 1.20 m.

Así puede obtenerse

a) Por tipo de corriente:

$$f = 1.0 \text{ a } 1.5$$

$$\text{si } f = 1.35$$

$$K_2 = 0.181 \times 1.35$$

$$K_2 = 0.244 \text{ día}^{-1}$$

b) Por Churchill - Elmore - Buckingham:

$$0.969$$

$$K_2 = 2.18 \frac{v}{H^{1.673}}$$

$$K_2 = 0.337 ; K_2 = 0.337 \times 1.0241^{(25-20)}$$

$$K_2 = 0.380 \text{ día}^{-1}$$

c) Por O'Connor - Dobbins:

$$K_2 = 127 \frac{(D_L v)}{H^{3/2}}$$

$$D_L = 1.78 \times 10^{-4} \times 1.04^{(25-20)}$$

$$D_L = 0.000217$$

$$K_2 = 127 \frac{(0.000217 \times 0.20)}{(1.20)^{3/2}} \quad 1/2$$

$$K_2 = 0.635 \text{ día}^{-1}$$

El OD de saturación a 25°C y a nivel del mar, como se ha supuesto este sitio es: 8.38 mg/l

Ahora, aplicando la fórmula

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t}) + D_a 10^{-k_2 t}$$

para:

$$k_1 = 0.181 \text{ día}^{-1}$$

$$k_2 = \text{variable (0.244; 0.380; 0.635)}$$

$$L_a = 12.15 \text{ mg/l}$$

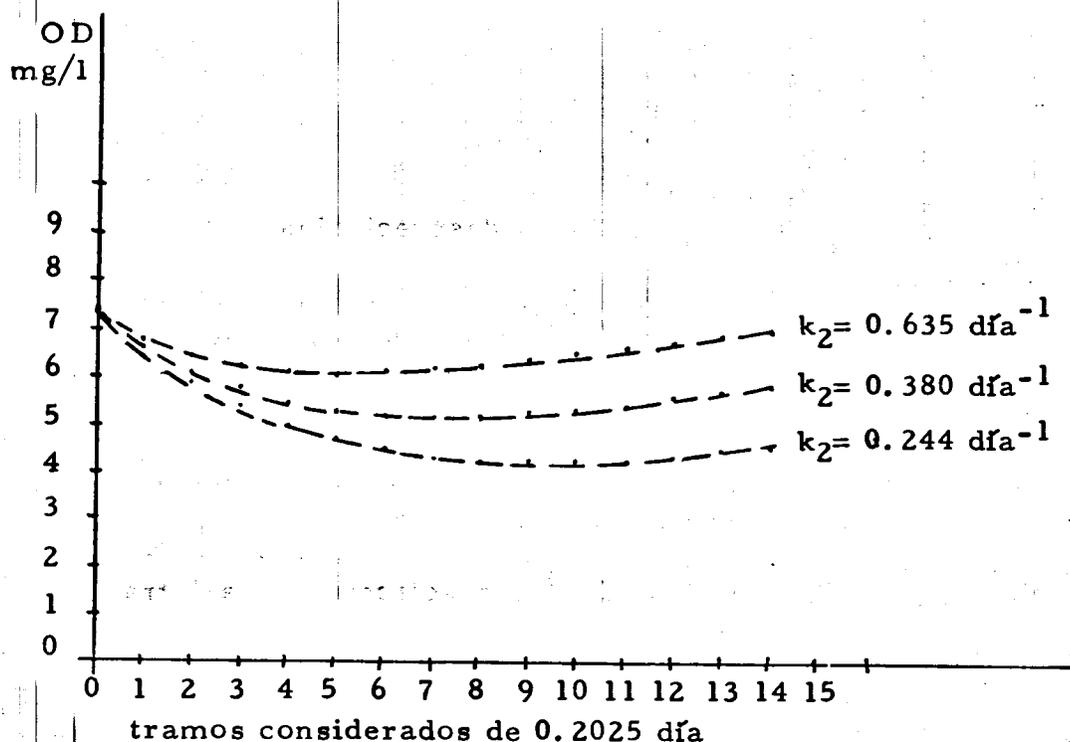
$$D_a = 1 \text{ mg/l}$$

$$T = \text{variable (cada 0.2025 día)}$$

Se obtienen según el valor de k_2 , tres curvas que se dibujan en la gráfica A, para un recorrido de casi 50 km. La tabla contiene los resultados del déficit y del oxígeno disuelto en el tramo considerado.

TABULACION DEL OXIGENO (mg/l)						
Tiempo de recorrido (días)	VALOR DE k_2 (día ⁻¹)					
	0.244		0.380		0.635	
	Déficit	Disuelto	Déficit	Disuelto	Déficit	Disuelto
0.0000	1.00	7.38	1.00	7.38	1.00	7.38
0.2025	1.82	6.55	1.74	6.64	1.59	6.79
0.4050	2.48	5.90	2.28	6.10	1.97	6.41
0.6075	3.00	5.38	2.67	5.71	2.18	6.20
0.8100	3.40	4.98	2.94	5.44	2.28	6.10
1.0125	3.69	4.69	3.10	5.28	2.30	6.08
1.2150	3.90	4.48	3.19	5.19	2.27	6.11
1.4175	4.04	4.34	3.21	5.17	2.20	6.18
1.6200	4.12	4.26	3.19	5.19	2.11	6.27
1.8225	4.15	4.23	3.13	5.25	2.00	6.38
2.0250	4.14	4.24	3.04	5.34	1.88	6.50
2.2275	4.10	4.28	2.94	5.44	1.77	6.61
2.4300	4.02	4.36	2.81	5.57	1.65	6.73
2.6325	3.93	4.45	2.68	5.70	1.54	6.84
2.8350	3.81	4.57	2.55	5.83	1.43	6.95

GRAFICA A
Curvas de O.D. según distintos valores de K_2



Comentarios:

Nótese que cualquier variación de las constantes, conducen a diferentes respuestas. Es importante que se hagan estudios dirigidos a determinar valores más apegados a la realidad, pues de otra manera podrían cometerse errores serios en la toma de decisiones, sobre todo cuando se vaya a recomendar algún tratamiento a las aguas de desecho.

8.3.5 Del ejemplo anterior obténganse las coordenadas de los puntos correspondientes al déficit crítico y al punto de inflexión para cada una de las curvas.

8.3.6 Ejemplo que presenta el Dr. R. Banks para el Lago de Chapala como aplicación del modelo de celdillas de mezclado.

Se diseñó una red de flujo de la región este del lago según se aprecia en la figura A, que consiste en 7 canales de flujo ($j = 1$ a 7) y 14 caídas de potencial ($K = 1$ a 14). Se midieron las áreas de los "cuadrados" y usando una profundidad $D = 7\text{m}$, se calculó el volumen de las celdillas de mezclado. Se consideró la

descarga del río Lerma como $Q_0 = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, así que la descarga a través de cada uno de los 7 canales de flujo resultó $Q_j = 14.29 \text{ m}^3/\text{s}$. Además se emplearon los siguientes valores:

$$\begin{aligned} L_0 &= 10.0 \text{ mg/l} \\ C_0 &= 3.0 \text{ mg/l} \\ C_s &= 7.0 \text{ mg/l} \\ k_1 &= 0.030 \text{ día}^{-1} \\ k_2 &= 0.060 \text{ día}^{-1} \\ L^*, K_p, K_r, K_b, &\text{ nulos o despreciables} \end{aligned}$$

El valor de $C_s = 7.0 \text{ mg/l}$ corresponde a la temperatura de 25°C y a la presión atmosférica del Lago de Chapala que es 634 mm Hg (1525 msnm).

$K_2 = 0.060 \text{ día}^{-1}$ es ya un valor corregido por velocidad del viento que en promedio fue de $v = 3.5 \text{ m/seg}$.

El valor de $K_1 = 0.030 \text{ día}^{-1}$ fue seleccionado arbitrariamente.

Estos valores fueron sustituidos en las ecuaciones:

$$\text{(DBO); } L_{j,k} = \frac{L_{j,k-1}}{1 + (K_1 V_{j,k}/Q_j)}$$

$$\text{(O.D.); } C_{j,k} = \frac{C_{j,k-1} + (K_2 C_s - K_1 L_{j,k}) (V_{j,k}/Q_j)}{1 + (K_2 V_{j,k}/Q_j)}$$

donde $V_{j,k}$ es el volumen de la celdilla de mezclado j,k ; $Q_j = Q_0/n$ donde n es el número de "canales" en la red de flujo.

Los resultados se muestran en la tabla I en donde el número superior en cada celdilla es el valor de la DBO y el inferior el del OD.

Los valores numéricos de la tabla I se dibujan con curvas de igual valor para la DBO (figura B) y para el OD (figura C). La -- línea discontinua de la figura C muestra la localización del valor - mínimo de OD que es aproximadamente 2.55 mg/l .

TABLA 1. VALORES DE DBO (NUMEROS SUPERIORES) Y DE OD (NUMEROS INFERIORES) PARA CADA CELDILLA DE LA RED DE FLUJO EN LA ZONA OCOTLAN DEL LAGO DE CHAPALA

VALOR DE J:	1	2	3	4	5	6	7
VALOR DE K: 1	9.27	9.59	9.72	9.76	9.84	9.89	9.96
	2.77	2.85	2.89	2.91	2.94	2.96	2.98
2	0.86	7.49	8.49	9.18	9.39	9.55	9.80
	6.19	2.60	2.62	2.73	2.79	2.84	2.92
3	0.16	3.70	6.24	7.86	8.38	8.98	9.46
	6.80	3.77	2.70	2.54	2.58	2.68	2.80
4	0.03	1.09	3.19	5.45	6.67	7.24	7.71
	6.95	5.73	3.98	2.86	2.57	2.54	2.56
5	0.01	0.26	1.30	2.97	4.49	4.73	4.89
	6.99	6.64	5.45	4.06	3.18	3.12	3.11
6	0.00	0.05	0.53	1.61	2.67	2.33	1.72
	7.00	6.91	6.27	5.10	4.21	4.53	5.12
7		0.02	0.26	0.93	1.64	1.30	0.45
		6.97	6.61	5.77	5.03	5.40	6.37
8		0.01	0.17	0.63	1.15	0.93	0.33
		6.98	6.73	6.11	5.50	5.77	6.51
9		0.00	0.13	0.50	0.96	0.80	0.29
		6.99	6.78	6.27	5.69	5.91	6.56
10		0.00	0.12	0.44	0.86	0.73	0.27
		7.00	6.80	6.35	5.81	5.98	6.59
11			0.11	0.40	0.78	0.67	0.25
			6.82	6.40	5.89	6.05	6.62
12			0.10	0.37	0.74	0.63	0.24
			6.83	6.43	5.94	6.09	6.64
13			0.10	0.36	0.71	0.61	0.23
			6.83	6.44	5.98	6.12	6.65
14			0.10	0.35	0.70	0.60	0.22
			6.84	6.45	5.99	6.13	6.65

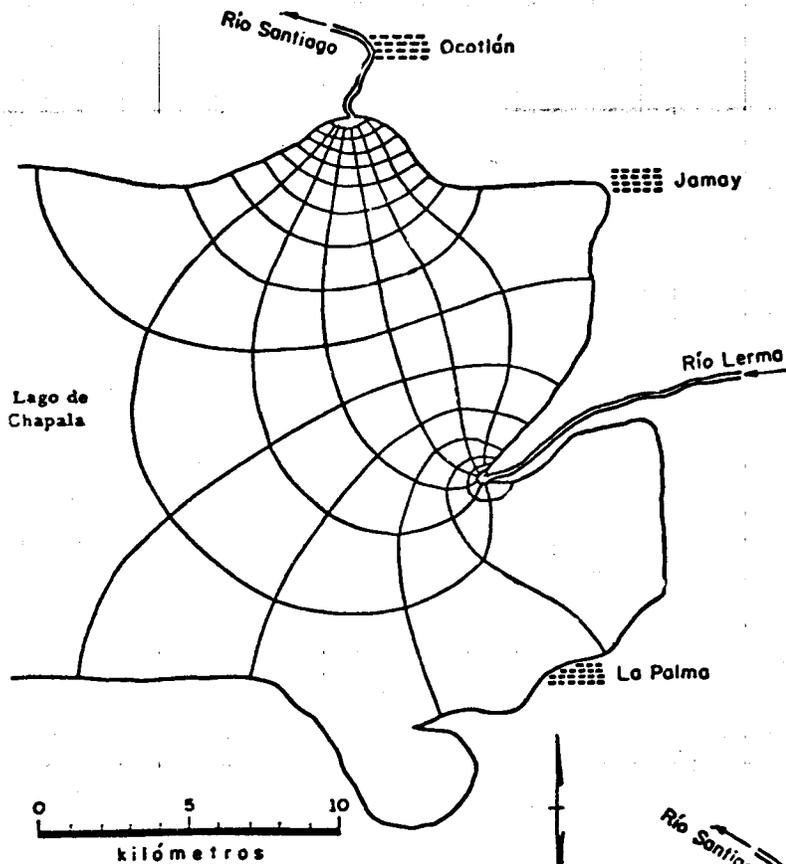


Figura A

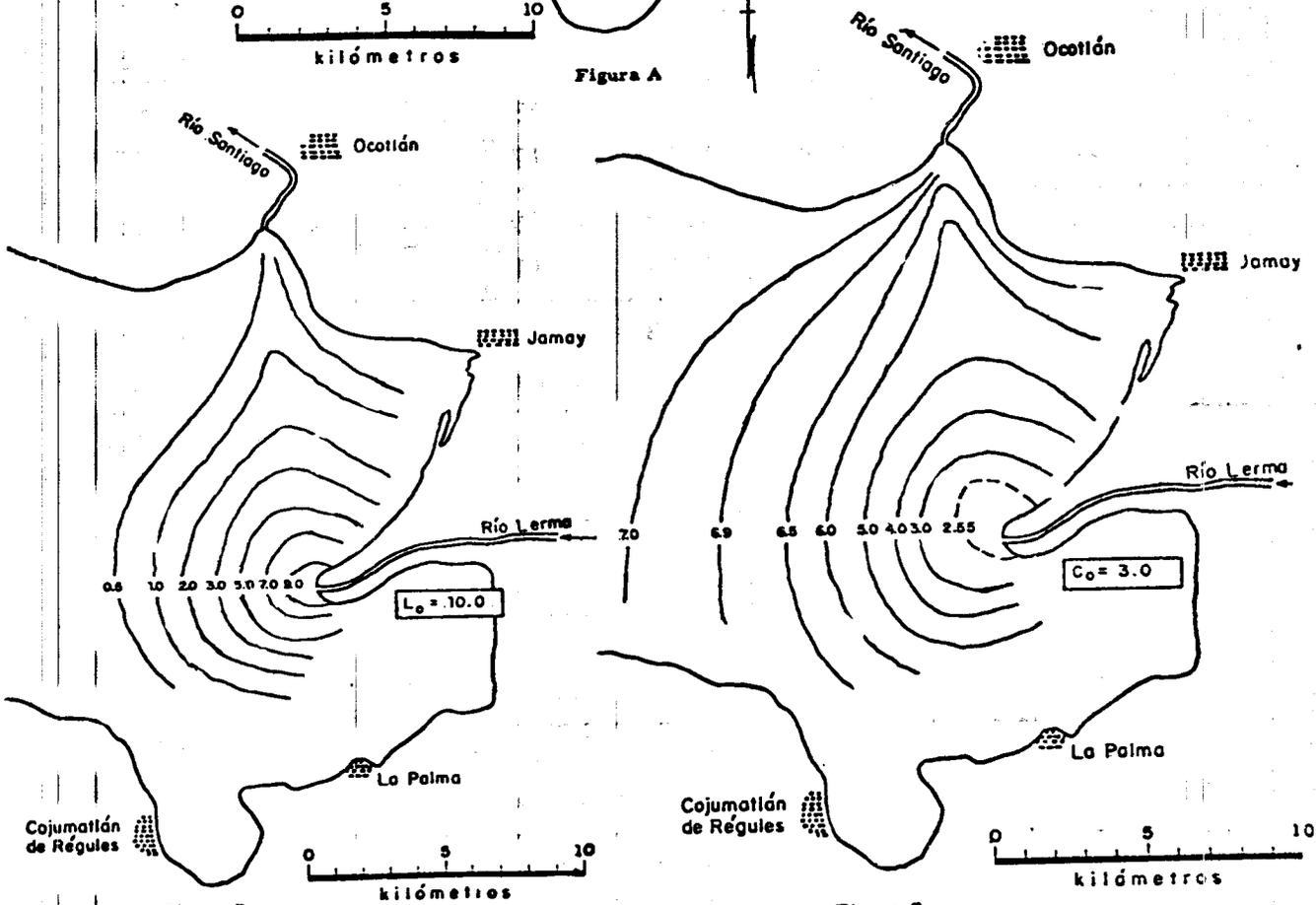


Figura B

Figura C

CAPITULO 9PREVENCION DE LA CONTAMINACION9.1 TRATAMIENTO DE LOS EFLUENTES.

El sistema más cómodo de deshacerse de los desperdicios y residuos líquidos de una población, es verterlos directamente hacia una corriente, donde el proceso natural de autopurificación de las aguas, debido al movimiento que tienen y al oxígeno que adquieren, oxidan la materia orgánica contenida en la corriente. Hasta hace algunos años, los ríos en general guardaban la proporción adecuada para que por dilución sucediera esto; como ahora se ha llegado a romper la barrera de equilibrio, el hombre trata de acelerar este proceso mediante el tratamiento previo evitando a la vez daños a la salud, sobre todo cuando se utilizan las corrientes como fuente de abastecimiento en poblados aguas abajo.

Gran parte de estos procesos se debe a dos clases de bacterias: las aerobias en la superficie y las anaerobias en los sedimentos que se forman en la parte inferior.

Las bacterias aerobias se alimentan principalmente de materia orgánica, efectuándose la asimilación en presencia del oxígeno libre, tal como se encuentra en el aire o medio acuático. Las bacterias anaerobias se alimentan igualmente de materia orgánica, pero no pueden tomar el oxígeno en forma libre, debiendo obtenerlo de la forma combinada en la materia que las circunda. Estos dos tipos de microorganismos no pueden sobrevivir en un medio diferente al de su condición vital; sin embargo existe un tercer grupo denominado facultativo que indistintamente se puede adaptar a cualquiera

4843-789374

de las dos condiciones.

Los procesos biológicos de tratamiento se podrán dividir entonces en: aerobios, anaerobios y combinados. En el proceso aerobio, trabajarán únicamente las bacterias del mismo tipo e igualmente las bacterias anaerobias para el proceso correspondiente; en proceso combinado podrán evolucionar los dos tipos de microorganismos siempre y cuando, en el mismo ambiente se encuentren las dos condiciones vitales, como sucede en depósitos profundos de aguas negras.

El efecto de este fenómeno es aprovechado para acelerar la degradación de la materia orgánica por los microorganismos, los cuales posteriormente morirán en su mayoría por falta de alimento y superpoblación o mediante el empleo de desinfectantes tales como el cloro.

El grado de perjuicio o contaminación que se cause al volumen receptor por los desechos y residuos líquidos, se evalúa dependiendo del uso ya sea actual o futuro del mismo.

Los procesos para evitar la contaminación de volúmenes receptores (corrientes, mares, lagos), se dividen en tres clases principales:

PROCESOS

{ PRELIMINARES
 { PRIMARIOS
 { SECUNDARIOS

Existen además otros tratamientos especiales denominados TERCARIOS.

En la siguiente tabla se indican las eficiencias relativas en los diferentes procesos de tratamiento de aguas negras; los datos son empíricos y dependen de la forma de manipular el proceso.

PROCESO DE TRATAMIENTO	ELIMINACION EN PORCIENTO		
	DBO	SOLIDOS EN SUSPENSION	BACTERIAS
1 Cribado Fino	5 - 10	2 - 20	10 - 20
2 Cloración de Aguas Negras Crudas Sedimentadas	15 - 30	- - -	90 - 95
3 Sedimentación Simple	25 - 40	40 - 70	25 - 75
4 Precipitación Química	50 - 85	70 - 90	40 - 80
5 Filtración Rápida Precedida por Sedimentación Simple	65 - 95	50 - 80	90 - 98
6 Filtros Rociadores	80 - 95	70 - 90	90 - 95
7 Lodos Activados	75 - 95	85 - 95	90 - 98
8 Filtración Intermitente en Arena	90 - 95	85 - 95	95 - 98
9 Cloración de Aguas Negras Tratadas Biológicamente	- - -	- - -	98 - 99

Para comprobar la eficiencia prevista en una planta o proceso, es necesario efectuar análisis continuos de las muestras del agua -- tratadas. La eficiencia de la planta dependerá primordialmente de -- la calidad del agua de entrada, que por lo general es variable, mientras que la salida estará fijada de antemano, dependiendo del uso -- posterior de la misma; por lo tanto los estudios preliminares para -- la instalación de cualquier proceso, deberán prever la flexibilidad en los pasos del proceso de manera que las diferentes calidades del -- agua de entrada no afecten económicamente la eficiencia del mismo.

9.2 PROCESOS PRELIMINARES

Entre estos se pueden enumerar las siguientes instalaciones, -- dependiendo su magnitud del contenido de materia de las aguas por tratar.

53

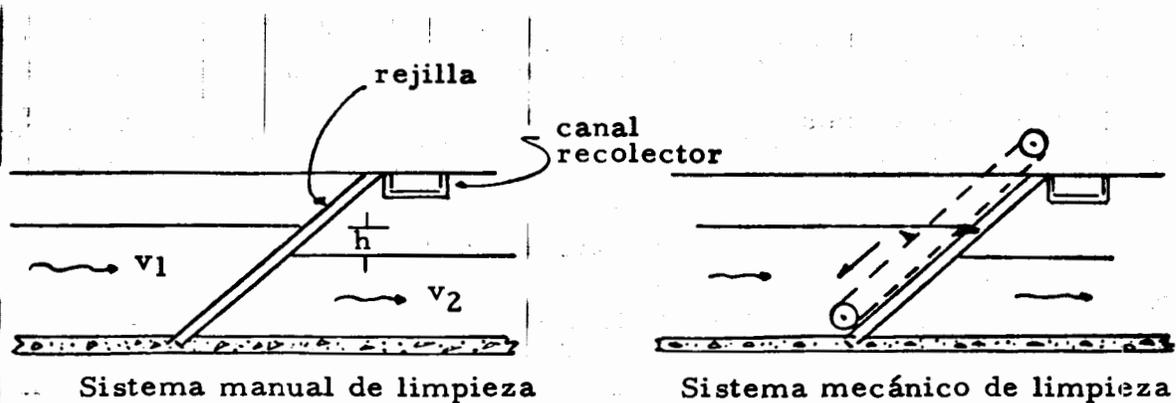
9.2.1. REJAS Y REJILLAS

Como su nombre lo indica, son marcos formados por barras -- con aberturas con separaciones desde 1.5 cm. hasta 10 cm.; siendo utilizadas las rejillas grandes (aberturas comprendidas entre 3.5 y 10.0 cm), para proteger las bombas, dispositivos de dosificación, -- conductos y válvulas, contra objetos grandes, como pedazos de ma --

dera y animales muertos. La cantidad recogida es variable pero generalmente pequeña. Pueden ser fijas (permanentes) o móviles (estacionarias).

9.2.2. CEDAZOS

Consisten en mallas o rejas finas de aberturas pequeñas y -- formadas por alambre de hierro, cobre o bronce. Pueden ser también chapas perforadas y en ambos casos, detienen como máximo una tercera parte de la materia orgánica. Puede ser fija o móvil.



9.3 PROCESOS PRIMARIOS

9.3.1 DESARENADORES

Se colocan delante de los cedazos para eliminar arenas y minerales arrastrados por las aguas negras; consisten en conductos -- ensanchados o tanques en los que se les regula la velocidad por su paso a una velocidad media del agua de 0.25 a 0.30 m/seg., de tal modo que se asegure la sedimentación de los materiales de más peso, como la arenilla y la arena, con un tamaño de 0.2 mm. o más, pasando en suspensión los materiales orgánicos más ligeros; se subdividen en dos o más cámaras para facilitar, alternándolos, su -- limpieza. La limpieza en grandes instalaciones se hace en forma -- mecánica.

9.3.2 DESGRASADORES

Aunque existen muchos tipos, todos tienen la misma función. Uno de los más comunes consiste en una cámara por donde el agua circula lentamente; desde abajo se inyecta aire comprimido por medio de tubos perforados. El aire en parte impide la emulsificación

y en su ascenso arrastra al aceite hacia la superficie, de donde pasa por las ranuras de unas mamparas a las cámaras laterales.

9.3.3 SEDIMENTADORES PRIMARIOS

Son embalses que funcionan por gravedad sedimentando gran parte de la materia orgánica pesada y cuyos tiempos de retención -- oscilan entre dos y tres horas. El funcionamiento satisfactorio de -- depende mucho de los dispositivos de entrada y de salida. Para regu -- lar la velocidad se utilizan generalmente vertedores de escurrimiento -- proporcional.

9.3.4 FOSAS SEPTICAS

Son construcciones destinadas a evitar la contaminación en -- poblaciones carentes de drenaje o sistemas colectores. Son depósi -- tos impermeables para el tratamiento de las aguas negras domésti -- cas, efectuándose en ellos una sedimentación y descomposición de la -- materia orgánica al sufrir una transformación biológica natural en -- que las bacterias anaerobias actúan. Estas construcciones general -- mente se diseñan para un tiempo de retención de 24 horas para fo -- sas sépticas municipales (uso poco frecuente), y de 3 días para fo -- sas sépticas domiciliarias de pequeño tamaño. La limpieza es espo -- rádica. Una fosa séptica puede convertirse en tanque de sedimenta -- ción y viceversa, modificando el funcionamiento sin necesidad de -- cambios en la contrucción. La velocidad de las aguas que llegan a -- la fosa debe ser baja con objeto de evitar disturbios dentro del volú -- men receptor retenido. El agua saliente de la fosa séptica necesi -- tará de un tratamiento posterior de oxigenación, puesto que no con -- tiene oxígeno disuelto por haber sido aprovechado por las bacterias.

Esta reoxigenación se puede obtener de diferentes maneras:

- 1) Por riego subterráneo de tubería perforada.
- 2) Por filtración superficial de terrenos adecuados o bien, depositando las aguas tratadas en zanjas previamente -- rellenadas con arena y grava.
- 3) Por cámaras de oxidación consistentes en tanques seme -- jantes a las mismas fosas pero descubiertos, contenien -- do piedra quebrada a manera de filtro.

9.4 PROCESOS SECUNDARIOS, AEROBIOS

Los procesos secundarios emplean tratamientos biológicos, -- pudiendo ser aerobios, anaerobios o combinados cuando se conjugan en uno solo ambas acciones.

Entre los más comunes:

9.4.1 LODOS ACTIVADOS

Se logra la proliferación de las bacterias aerobias mediante la oxigenación forzada en el "tanque de aeración", las cuales al buscar su alimento forman flóculos orgánicos que al aumentar de diámetro y peso, se sedimentan fácilmente en los "tanques sedimentadores" de ahí una parte del gasto se regresa al tanque de aeración, con -- objeto de "activar" la formación de los flóculos en los nuevos volúmenes por tratar, debiéndose a esto el nombre de "Lodos Activados"

En el tanque de aeración, el oxígeno se provee por medio de tuberías con aire a presión; en la tubería se insertan difusores, cuyo número depende del volumen de aguas negras y de la cantidad de materia orgánica que contiene; el balance de oxígeno se mide en -- laboratorio determinándose la cantidad de aire mínima por mantener en el tanque y ésto a su vez determina la cantidad de difusores, que provocan un constante burbujeo ocasionando que el agua tenga movimiento en todos sentidos.

Los difusores más comunes son los de piedra porosa, que van conectados a una boca de la tubería con aire a presión; el aire sale en forma de burbujas sumamente pequeñas, siendo ésto fundamental, ya que de esta manera el aire en su recorrido ascendente tendrá -- mayor área de contacto con el agua y con las bacterias aerobias. -- Otro tipo de difusor consiste en la colocación de una regadera en la boca de la tubería de aire a presión, en la cual se instala una lona para que ésta produzca una burbujeo más pequeño. Pueden ser muchos los tipos de difusores pero en general en todos ellos, se busca que el aire salga en burbujas de volumen lo más pequeño posible.

En los tanques de aeración se deben tomar el mayor número -- de precauciones, para evitar posibles caídas de personas, ya que el agua llena de aire es de tan baja densidad que es prácticamente imposible nadar o flotar en ella.

Dependiendo de la calidad del agua deseada, el tiempo de aeración variará e inclusive se podrán poner mamparas o paletas que -- provoquen una mayor circulación del volumen de agua, obteniéndose -- de esta forma una mayor aeración.

Una vez efectuada la sedimentación, se extrae el agua tratada para una desinfección posterior (generalmente cloración); los lodos sedimentados pasan a un digestor, en donde se efectúa la descomposición de la materia orgánica.

De gráficas del comportamiento bacteriano, se puede obtener la temperatura óptima en donde el tiempo de digestión resulta mínimo. La temperatura adecuada para el desarrollo de las bacterias - como término medio es de 35°C (mesofílicas); abajo de esta temperatura sobreviven las Psicofílicas y arriba las Termofílicas. Las patógenas están acostumbradas a vivir a una temperatura de 35°C, y son peligrosas por que al entrar al cuerpo humano encuentran el medio térmico propicio en donde proliferar.

El proceso de digestión en la actualidad es mesofílico, el cual para su tiempo de digestión óptimo, resulta más económico que el termofílico.

Dentro del digestor y mediante la descomposición de la materia orgánica, se producen gran cantidad de gases combustibles que pueden producir suficiente energía para el calentamiento del vapor usado en el serpentín del digestor.

Del digestor se extraen los lodos, que son líquidos con poca mayor densidad que el agua y que para su desecho se puede utilizar un filtro de vacío (deseCADOR o separador), que consiste generalmente en un cilindro hueco y rotatorio; una parte de este cilindro se encuentra sumergido en los lodos y con su acción giratoria produce el vacío succionando el agua que los satura. En la parte exterior del cilindro se encuentra una cuchilla en donde se depositan los lodos de desechos que posteriormente son enterrados; el agua succionada puede ser regresada al tanque de aeración. Los lodos de desecho tienen un poder fertilizante muy bajo que los hacen pobres competidores con los fertilizantes de tipo químico u orgánico ya preparados, pero pueden ser usados como simples mejoradores de suelos.

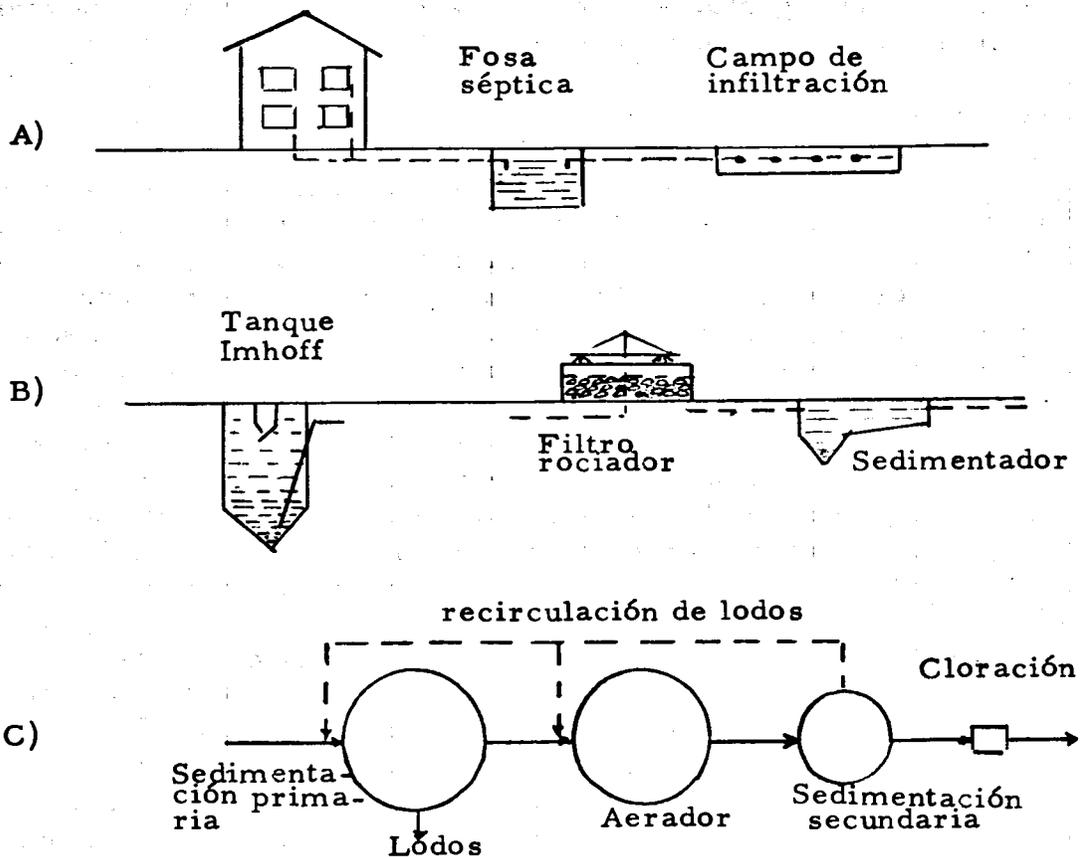
9.4.2 FILTROS ROCIADORES

Este tipo de tratamiento es muy semejante al de los lodos - activados, teniendo también su tanque primario de sedimentación y demás partes. La diferencia fundamental consiste en la forma de aeración del agua, ya que en este proceso el agua se aerea mediante distribución de la misma por aspersores, provocando una lluvia o rociado para adquirir un gran porcentaje de oxígeno; el agua así esparcida cae sobre un lecho filtrante (pedacería de clinker o piedra), que provoca la procreación de bacterias aerobias, las cuales se adhieren al medio filtrante, tomando sus alimentos de la materia orgánica que

contiene el agua rociada; la capa gelatinosa rica en bacterias aerobias que se logra formar en la parte superior de las piedras se llama zooglea, en donde además se hayan hongos y ciertas formas de vida superior. El agua así filtrada puede pasar al proceso de desinfección, en caso de ser requerido o derivada directamente al volumen receptor.

9.4.3 FILTROS INTERMITENTES Y LECHOS DE CONTACTO

Son semejantes a los filtros rociadores solo que en vez de distribuir el agua contaminada sobre el filtro con aspersores, éste se inunda. Puede estar formado con material granular, natural o artificial, por donde se pasan las aguas negras en forma discontinua o sea, se alterna la acción de llenado con la de vaciado, adquiriendo de esa manera el oxígeno para la continuación del proceso bacteriano.



- A) Tratamiento primario de sedimentación anaerobia.
 B) Digestión anaerobia en Tanque Imhoff. Tratamiento aerobio
 C) Tratamiento secundario aerobio de lodos activados.

9.5 PROCESOS SECUNDARIOS, ANAEROBIOS

Entre los más comunes se encuentran los siguientes:

9.5.1 TANQUES IMHOFF

Son verdaderos sedimentadores descubiertos, consistentes en un tanque rectangular con un fondo triangular o piramidal con base plana, teniendo en la parte superior un pequeño canal con una ranura en el fondo por donde pasan los sedimentos al fondo del tanque. Trabaja de la siguiente manera: el agua entra a través del canal -- superior (cámara de circulación) y va dejando caer toda la materia orgánica sólida y pesada por la ranura hacia el fondo del tanque -- (cámara de sedimentación), en el cual se va acumulando y llenando con el tiempo, descomponiéndose la materia orgánica mediante un proceso séptico al encontrar las bacterias anaerobias un medio propicio para su desarrollo; aunque estos tanques no están cerrados, la nata que sobrenada no permite la entrada del aire al contenido interior, pudiéndose mantener así con mayor facilidad el proceso anaerobio. Las bacterias anaerobias digieren la materia orgánica produciendo desechos que se sacan del tanque de tiempo en tiempo y se vierten en áreas especiales en forma de lodo para su secado. La descomposición de la materia orgánica provoca que exista desprendimiento de gases con burbujeo; pero estas burbujas no interfieren con el paso lento y tranquilo del agua a través de la cámara de circulación por no poder pasar por ella. Los lodos deben sacarse del tanque Imhoff antes de que éstos obstruyan la ranura del canal superior por donde bajan los sólidos; para conocer ese momento se introduce un disco con un vástago para detectar en donde el agua cambia de densidad, sabiendo con esto la altura alcanzada por los sólidos; si están próximos a obturar la ranura, se procederá a vaciarlos mediante un tubo que trabaja por acción hidráulica por diferencia de niveles; cuando el agua así extraída cambie de color, querrá decir que los lodos han acabado de salir. Con la experiencia del operador, la limpieza no se efectuará en su totalidad, dejándose una siembra de bacterias anaerobias que serán la base de la proliferación en las posteriores aguas por tratar; igualmente, en los tanques de nueva creación, será de gran importancia para su eficiencia inicial, la introducción de la siembra bacteriana procedente de otros tanques en servicio o la siembra con estiércol. El agua que sale del tanque ya puede ser depositada en las corrientes receptoras, con el cuidado que en su curso el agua vaya tomando oxígeno de la atmósfera para evitar perjuicios en la corriente en que se vierte.

9.5.2 LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Las lagunas de estabilización son de primordial importancia entre los procesos de tratamiento biológicos de las aguas negras ten

dientes a remover o estabilizar la materia orgánica y mineral que contienen; representan ventajas económicas tanto en su diseño y construcción, como en su mantenimiento y operación si se les compara con otros procesos de tratamiento.

Este proceso de tratamiento presenta aspectos interesantes -- para su aplicación en nuestro medio, aún cuando se requieren estudios e investigaciones que hagan factible y eficiente su implantación.

Si los procesos desarrollados son aerobios, la laguna se denomina de oxidación; si son aerobios y anaerobios, se llama facultativa.

En ambos procesos de autodepuración intervienen factores físicos, químicos y biológicos en estrecha correlación; los más importantes son los siguientes:

- a) Físicos: temperatura ambiente y del agua, insolación, infiltración y evaporación, precipitación pluvial, vientos y pH.
- b) Químicos: demanda bioquímica de oxígeno, elementos y compuestos nutrientes y contaminantes resistentes a su desdoblamiento.
- c) Biológicos: fotosíntesis y simbiosis entre bacterias y algas.

La temperatura influye directamente en la rapidez de las reacciones químicas y biológicas. A temperaturas mayores de 35°C se presentan efectos nocivos tales como: proliferación de algas verdiazules que originan manchas superficiales; disminución de la actividad de las algas verdes; aumento del ritmo de consumo de oxígeno por las bacterias; y producción de gases en el sedimento bental. A temperaturas inferiores de 4°C. la actividad de algas y bacterias se hace insignificante por lo que la gama de variación de la temperatura para el proceso de autodepuración de las lagunas está comprendido -- entre 4 y 35°C.

La precipitación y evaporación, actúan en correspondencia; si hay predominio de la precipitación, se produce la dilución del efluente, y su concentración, si predomina la evaporación. Se modifican las DBO efluentes, eficiencias y tiempos de retención, haciéndose -- necesaria una corrección, si la variación es significativa:

$$\text{Efluente} = \text{influyente} + \text{precipitación} - \text{evaporación}.$$

la influencia del factor insolación ha sido demostrada en numerosas experiencias. El proceso fotosintético de las algas se realiza en presencia de la luz; teniendo un punto límite para la utilización -- de la energía luminosa llamado "saturación de intensidad".

El factor viento, puede invertir favorablemente el proceso al promover un mezclado por corrientes verticales en la hidromasa, -- ayudando de este modo a la reoxigenación y promoviendo una mejor-distribución de los nutrientes.

Se maneja también el concepto de Carga Orgánica en el que -- se involucran a dos factores: el volumen y la contaminación aplicados. El volumen tiene importancia porque está directamente relacionado con el período de retención. La contaminación comprende a -- los contaminantes físicos, químicos y biológicos que componen el -- efluente; para su determinación es necesario de numerosos análisis -- de laboratorio, soliendo utilizarse las siguientes determinaciones: -- DBO, NMP y sólidos en sus distintas formas.

El tiempo de retención es un importante parámetro de diseño directamente relacionado con la eficiencia del proceso, por ello es -- fundamental evitar los flujos en corto circuito mediante un diseño adecuado de los dispositivos.

Este tipo de tratamiento puede también ser combinado, o sea que se propicia el desarrollo de las bacterias aerobias y anaerobias simultáneamente. Las lagunas exclusivamente anaerobias generalmente se diseñan y construyen como un paso previo al tratamiento de -- las combinadas; las combinadas son aquellas que mantienen en sus -- lechos superiores una condición aerobia y en los inferiores, anaerobia. En sí el procedimiento consiste en el aprovechamiento de los rayos -- solares para mantener la vida de las algas microscópicas, pues la -- acción fotosintética de estos vegetales efectúa la oxigenación de las -- aguas. Se practica este proceso en tanques construídos en terreno -- natural amplio, más o menos plano y horizontal, pudiendo ser excavados o superficiales limitados por bordos. Generalmente el tiempo de retención es de 30 días aunque puede variar dependiendo de la temperatura, iluminación y grado de contaminación; de estos datos se obtienen las eficiencias y dimensiones de la laguna. Con objeto de que la iluminación solar incremente la vida vegetal, el tirante del agua de -- la laguna deberá fluctuar entre 1.00 y 1.50 m aunque se han obtenido iguales resultados hasta con 3.00 m de profundidad.

Estas lagunas son muy efectivas debido a que realizan los dos procesos biológicos, existiendo además una simbiosis que actúa en -- este caso como una ayuda biológica entre bacterias y algas.

9.6 Problemas y ejercicios

- 9.6.1 De catálogos y libros especializados obtenga mayor información sobre rejas y rejillas; haga un resumen de las características principales de las que poseen limpieza mecánica o automática.
- 9.6.2 Dibuje un esquema del funcionamiento de uno de los procesos secundarios y explique la manera como se lleva a cabo la transformación de la materia orgánica.

APRENDICE A
LEY FEDERAL PARA PREVENIR Y CONTROLAR
LA CONTAMINACION AMBIENTAL

Diario Oficial, 23 de marzo de 1971
(Fragmento)

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTICULO 1º - Esta Ley y sus reglamentos regirán la prevención y el control de la contaminación y el mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente, actividades que se declaran de - - interés público.

ARTICULO 2º - Las disposiciones de esta Ley y sus Reglamentos, como medidas de salubridad general, regirán en toda la República.

ARTICULO 3º - Serán motivo de prevención, regulación, control y prohibición por parte del Ejecutivo Federal, los contaminantes y sus causas, cualquiera que sea su procedencia u origen, que en forma - directa o indirecta sean capaces de producir contaminación, o degradación de sistemas ecológicos.

ARTICULO 4º - Para los efectos de esta Ley, se entiende:

- a) Por contaminante: toda materia o sustancia, o - < sus combinaciones o compuestos o derivados quí- < micos y biológicos, tales como humos, polvos, - < gases, cenizas, bacterias, residuos y desperdi -- < cios y cualesquiera otros que al incorporarse o -- < adicionarse al aire, agua o tierra, pueden alterar < o modificar sus características naturales o las - < del ambiente; así como toda forma de energía, -- < como calor, radioactividad, ruidos, que al operar < sobre o en el aire, agua o tierra, altere su esta < do normal.
- b) Por contaminación: la presencia en el medio - - < ambiente de uno o más contaminantes, o cualquie < ra combinación de ellos, que perjudiquen o moles < ten la vida, la salud y el bienestar humano, la - <

flora y la fauna, o degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, de los recursos de la Nación en general, o de los particulares.

ARTICULO 5º - La aplicación de esta Ley y sus Reglamentos - - compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Salubridad y Asistencia y del Consejo de Salubridad General.

Serán competentes también, en coordinación con la Secretaría de Salubridad y Asistencia: La Secretaría de Recursos Hidráulicos, - en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas; la Secretaría de Agricultura y Ganadería en materia de prevención - y control de la contaminación de los suelos; y la Secretaría de Industria y Comercio en materia de prevención y control de la contaminación por actividades industriales o comerciales.

Son autoridades auxiliares: todos los funcionarios y empleados que dependan del Ejecutivo Federal, de los Ejecutivos de los Estados, de los Territorios y de los Ayuntamientos.

ARTICULO 6º - Las dependencias del Ejecutivo Federal a que se refiere el artículo anterior, dentro del ámbito de su competencia deberán estudiar, planificar, evaluar y calificar, los proyectos o trabajos sobre desarrollo urbano, parques nacionales, áreas industriales y de trabajo y zonificación en general, fomentando en su caso la descentralización industrial para prevenir los problemas inherentes a la contaminación ambiental.

ARTICULO 7º - El Ejecutivo Federal fomentará y propiciará programas de estudio, investigaciones y otras actividades para desarrollar nuevos métodos, sistemas, equipos, aditamentos, dispositivos -- y demás que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación, invitando para cooperar a la solución de este problema a las instituciones de alto nivel educativo, al sector privado y a los particulares - en general.

ARTICULO 8º - El Ejecutivo Federal a través de las Dependencias u Organismo que designe desarrollará un programa educativo e informativo a nivel nacional sobre lo que el problema de la contaminación ambiental significa, orientando muy especialmente a la niñez y a la juventud hacia el conocimiento de los problemas ecológicos.

ARTICULO 9º - El Ejecutivo Federal dictará los decretos y reglamentos que estime pertinente para:

- a) Localizar, clasificar y evaluar los tipos de fuentes de contaminación, señalando las normas y procedimientos técnicos a los que deberán estar sujetos -- las emanaciones, descargas, depósitos, transportes y, en general, el control de los contaminantes.
- b) Poner en vigor las medidas, proceso y técnicas, adecuadas para la prevención, control y abatimiento de la Contaminación ambiental, indicando los dispositivos, instalaciones, equipos y sistemas de uso obligatorio para dicho efecto.
- c) Regular el transporte, composición, almacenamiento y el uso de combustibles, solventes, aditivos y otros productos que por su naturaleza pueden -- causar o causen contaminación del medio ambiente, así como de vehículos y motores de combustión -- interna.
- d) Realizar, contratar y ordenar, según corresponda, los estudios, las obras o trabajos, así como la implantación de medidas mediatas o inmediatas que sean aconsejables para prevenir la contaminación ambiental.
- e) Decretar la creación de órganos y organismos que estime necesarios, con la estructura y funciones -- que el propio Ejecutivo les asigne, en relación con las finalidades que persigue esta Ley; y
- f) Hacer cumplir las disposiciones de la presente Ley.

CAPITULO SEGUNDO

De la prevención y control de
la contaminación del aire

CAPITULO TERCERO

De la prevención y control de la
contaminación de aguas

ARTICULO 14º.- Queda prohibido arrojar en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos de aguas, o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminates, materias radiactivas o cualquiera otra substancia dañina a la salud de las personas, a la flora o a la fauna, o los bienes. La Secretaría de Recursos Hidráulicos, en coordinación con la de Salubridad y Asistencia, dictará las medidas para el uso o el aprovechamiento de las aguas residuales y fijará las condiciones que éstas deban cumplir para ser arrojadas en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos y corrientes de aguas así como para infiltrarlas en los terrenos.

ARTICULO 15º. - Las aguas residuales provenientes de usos públicos, domésticos o industriales, que descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos, mares territoriales y demás depósitos y corrientes, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y en general las que se derramen en el terreno, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- a) Contaminación de los cuerpos receptores
- b) Interferencias en los procesos de depuración de las aguas, y
- c) Modificaciones, trastornos, interferencias o alteraciones en los aprovechamientos, en el funcionamiento adecuado de los sistemas y en la capacidad hidráulica de las cuencas, cauces, vasos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

Para descargar aguas residuales: deberán construirse las obras o instalaciones de purificación que en cada caso la Secretaría de Recursos Hidráulicos - en coordinación con la de Salubridad y Asistencia y la de Industria y Comercio, en su caso, considere necesarias para los propósitos de este artículo.

ARTICULO 16º. - No se permitirá la construcción de obras o instalaciones, igualmente se impedirá la operación o el funcionamiento -

de las ya existentes, para la descarga de aguas residuales que puedan ocasionar contaminación.

ARTICULO 17: - La Secretaría de Recursos Hidráulicos para los efectos de esta Ley, previo dictamen de la de Salubridad y Asistencia, resolverá sobre las solicitudes de autorización, concesión o permiso, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales, o su descarga en aguas propiedad de la nación, imponiendo en cada caso las condiciones que estime necesarias.

ARTICULO 18: - Las aguas residuales provenientes del alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria, si se someten al tratamiento que en cada caso determine la Secretaría de Recursos Hidráulicos, sin perjuicio de las normas de calidad y de las sanitarias.

ARTICULO 19: - Para utilizar el agua en procesos industriales deberán construir, en los términos y en las condiciones que fije la Secretaría de Recursos Hidráulicos, obras e instalaciones adecuadas para descargar los residuos, cuando éstos se viertan en cuencas, cauces, vasos y demás depósitos.

ARTICULO 20: - La Secretaría de Recursos Hidráulicos está facultada para supervisar las obras, instalaciones y aprovechamientos que puedan causar la contaminación de las aguas. Al efecto, los interesados deberán proporcionar las facilidades y la información que aquella requiera.

ARTICULO 21: - Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, Recursos Hidráulicos y Agricultura y Ganadería, formularán con la colaboración de las dependencias federales auxiliares a que se refiere esta ley, las disposiciones técnicas que se consideren necesarias para la prevención y el control de la contaminación de las aguas nacionales y de las aguas en el subsuelo; para el efecto, se establecerán los órganos técnicos adecuados para el fomento y desarrollo de estudios, investigaciones y otras actividades relacionadas.

ARTICULO 22: - En los casos de contaminación de las aguas, en que pueda ponerse en peligro la salud pública, la Secretaría de Recursos Hidráulicos dará la debida intervención a la de Salubridad y Asistencia.

CAPITULO CUARTO

De la prevención y control de
la contaminación de los suelos.

- - -

CAPITULO QUINTO

Sanciones

ARTICULO 29: - En los reglamentos que expide el Ejecutivo Federal, se establecerán las infracciones a esta Ley que den motivo a la imposición de las sanciones siguientes:

- I.- Multas desde \$ 50.00 a \$ 100.000.00
- II.- Ocupación temporal, total o parcial de las fuentes contaminantes y multa conforme con la fracción anterior.
- III.- Clausura temporal o definitiva de las fábricas o establecimientos que produzcan o emitan contaminantes y multa de acuerdo con la fracción I.

ARTICULO 30: - Para la imposición de las sanciones administrativas a que se refiere el artículo anterior, se oirá previamente al interesado por la autoridad que corresponda a efecto de que dentro del término de 30 días hábiles oponga defensa por escrito, rinda pruebas y alegue lo que a su derecho convenga. La resolución deberá dictarse dentro de los 30 días hábiles siguientes al término del plazo a que alude el párrafo anterior.

ARTICULO 31: - No será objeto de sanción alguna la contaminación causada o motivada por actividades puramente domésticas.

ARTICULO 32: - Las resoluciones que se dicten de conformidad con los artículos 29 y 30, podrán ser recurridas, por escrito, dentro del término de quince días hábiles ante el Titular de la Dependencia que sancione la infracción.

ARTICULO 33: - Se concede acción popular para denunciar ante la autoridad competente, todo hecho que contamine el medio ambiente, en los términos de la presente Ley y sus Reglamentos.

ARTICULO 34: - Son supletorios de esta Ley y sus Reglamentos, el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos y sus Reglamentos, la Ley Federal de Ingeniería Sanitaria, las demás leyes que rijan en materia de tierras, aguas, aire, flora y fauna y sus correspondientes reglamentaciones.

TRANSITORIO

ARTICULO PRIMERO.- Se derogan todas las disposiciones que se opongan a la presente Ley.

ARTICULO SEGUNDO.- Esta ley entrará en vigor al día siguiente de su publicación en el "Diario Oficial" de la Federación.

APENDICE B

REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL
DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS

(Diario Oficial, 29 de marzo de 1971)

CAPITULO I

Disposiciones generales

ARTICULO 1º El presente Reglamento tiene por objetivo proveer, en la esfera administrativa, a la observancia de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en toda la República, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualquiera que sea su régimen legal.

ARTICULO 2º El Consejo de Salubridad General podrá dictar las disposiciones generales para prevenir y controlar la contaminación ambiental a que se refiere este Reglamento. Su aplicación compete al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Las demás autoridades que dependan del Ejecutivo Federal, de los Ejecutivos de los Estados, de los Territorios y de los Ayuntamientos, auxiliarán a las mencionadas, anteriormente, en la aplicación de este Reglamento, sin perjuicio de las atribuciones que les son propias.

ARTICULO 3º La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en su caso, coordinadamente con la de Recursos Hidráulicos, en lo no previsto por este Reglamento, dictará las disposiciones técnicas a que deberán sujetarse las personas físicas o morales de carácter público o privado, cuyas actividades puedan causar contaminación de las aguas.

ARTICULO 4º: Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Recursos Hidráulicos y de Industria y Comercio, se coordinarán para expedir dentro de sus respectivas competencias, los instructivos y circulares necesarios a fin de proveer al cumplimiento de este Reglamento, que se publicarán en el Diario Oficial de la Federación, para su debida observancia.

ARTICULO 5º: El Ejecutivo Federal dictará o promoverá ante el Congreso de la Unión, en su caso, las medidas fiscales convenientes para procurar la descentralización industrial; así como para facilitar a las industrias establecidas y a las que en lo futuro se establezcan, la fabricación, adquisición e instalación de equipos y aditamentos que tengan por objeto evitar, controlar o abatir la contaminación del agua.

Para estos propósitos, las Secretarías de Hacienda y Crédito Público y de Industria y Comercio, realizarán los estudios conducentes, particularmente aquellos que tiendan a facilitar la fabricación de equipos o la importación de los que no se produzcan en el país; la exención o reducción de impuestos, la autorización para depreciar aceleradamente con fines fiscales los equipos sustituidos o de nueva adquisición y otras franquicias.

CAPITULO II

De la prevención y control de la contaminación de aguas

ARTICULO 6º: La prevención y control de la contaminación de las aguas, para preservar y restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse, en los términos de este Reglamento, mediante los siguientes procedimientos:

I. Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial hidrógeno (p.H.); y

II. Determinación y cumplimiento de las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, mediante el tratamiento de éstas, en su caso, de acuerdo con el resultado de los estudios que la autoridad competente realice de los cuerpos receptores, su capacidad de asimilación, sus características de dilución y otros factores.

ARTICULO 7º: Las descargas de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, deberán registrarse en la Secretaría de Recursos Hidráulicos, dentro de los plazos establecidos en el artículo 10.

El cumplimiento de esta obligación, corresponde a los propietarios, encargados o representantes de establecimientos, servicios o instalaciones, públicos o privados, que originen o motiven las descargas.

ARTICULO 8º: La Secretaría de Recursos Hidráulicos suministrará a los responsables de las descargas, gratuitamente, las formas de solicitudes para efectuar el registro, en las cuales deberán proporcionar lo siguiente:

- I. Nombre y domicilio;
- II. Punto de la descarga, acompañando plano o croquis de los terrenos donde ésta se localice;
- III. Características físicas, químicas y bacteriológicas de las aguas residuales;
- IV. Gastos máximo, promedio y mínimo, de las aguas residuales; y
- V. Descripción general de los dispositivos y plantas de tratamiento, en su caso.

Para que los responsables de las descargas estén en condiciones de proporcionar los informes y documentos anteriores, dispondrán de los plazos a que se refiere el artículo 10.

ARTICULO 9º: En las formas para efectuar el registro de las descargas, el responsable de éstas deberá manifestar si desea que desde luego se le fijen las condiciones de la misma, en los términos del artículo 24.

ARTICULO 10º: Los plazos para el registro de las descargas de aguas residuales serán los siguientes:

- I. Seis meses para las descargas existentes de aguas residuales provenientes de usos públicos o industriales, que se vierten en los alcantarillados de las poblaciones;
- II. Seis meses para las descargas existentes de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, que no se viertan en los alcantarillados de las poblaciones;
- III. Seis meses para las descargas de los sistemas de alcantarillado que se viertan en cuerpos receptores;

IV. Cuatro meses para las nuevas descargas de aguas residuales provenientes de usos públicos o industriales que vayan a los alcantarillados de las poblaciones, a partir de la fecha de su inicio; y

V. Cuatro meses para las nuevas descargas de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos que no vayan a los alcantarillados de las poblaciones, a partir de la fecha de su inicio.

En los casos de las fracciones IV y V, los responsables de las nuevas descargas, antes del inicio de éstas, deberán presentar a las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Recursos Hidráulicos un aviso previo con los datos comprendidos en las fracciones I y II del artículo 8.

ARTICULO 11. La Secretaría de Recursos Hidráulicos efectuará el registro, con base en la solicitud presentada y enviará los datos de aquél, a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, con copia de la documentación exhibida.

Transcurrido el plazo del registro, la Secretaría de Recursos Hidráulicos, sin perjuicio de aplicar las sanciones procedentes, registrará a los omisos, requiriéndolos para que proporcionen la información a que se refiere el artículo 8.

ARTICULO 12. El registro de las descargas de aguas residuales, tendrá por objeto contribuir a los estudios para determinar la calidad de los cuerpos receptores y las condiciones particulares que deban cumplir las propias descargas; así como la programación a corto, mediano y largo plazo, de la acción para prevenir, controlar y abatir la contaminación de las aguas.

ARTICULO 13. Los responsables de las descargas de aguas residuales que no sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, -- deberán dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro de la descarga, ajustarla a la siguiente:

Tabla Núm. 1
DE MAXIMOS TOLERABLES

I. Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
II. Grasas y aceites	70 mg/l
III. Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm. de claro libre cuadrado
IV. Temperatura	35°C
V. Potencial hidrógeno p.H.	4.5 - 10.0

Los métodos de muestreo y análisis de laboratorio para comprobar que los responsables de las descargas se ajustan a la tabla anterior, serán fijados por la Secretaría de Industria y Comercio, mediante intractivo que se publicará en el Diario Oficial de la Federación.

ARTICULO 14. Los responsables de las descargas de aguas residuales que sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, dentro de un plazo de tres años contados a partir de la fecha del registro de la descarga, deberán sujetarse a las normas establecidas en el artículo anterior.

Asimismo podrán optar dentro de un plazo de diez meses, contados a partir de la fecha del registro de la descarga, por el pago de las cuotas que como derechos fijen las disposiciones locales correspondientes, para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales del alcantarillado que efectúen las propias autoridades.

En este último caso, en el mismo plazo, los responsables de las descargas deberán presentar un informe preliminar de ingeniería que contenga exclusivamente la fase de trabajos internos a que se refieren los artículos 16 fracción I, 17 fracciones I y II y 21 fracción I, por cuanto a la medición y muestreo de la descarga.

La vigilancia del cumplimiento de estas obligaciones estará a cargo de las autoridades municipales correspondientes o del Departamento del Distrito Federal como responsables de las descargas de aguas provenientes de las redes del alcantarillado.

ARTICULO 15. Los responsables de las descargas de aguas residuales que hubieren optado en los términos del artículo anterior por el pago de las cuotas que como derechos fijen las disposiciones locales para cubrir los costos de operación del tratamiento de las aguas residuales del alcantarillado, dejarán de pagarlas, cuando ajusten las descargas a las normas establecidas en este reglamento, previo aviso a las autoridades correspondientes con diez meses de anticipación.

ARTICULO 16. Los responsables de las descargas de aguas residuales, que requieren obras o instalaciones de purificación para cumplir con lo dispuesto en el artículo 13 deberán, dentro de un plazo de diez meses contados a partir de la fecha del registro, presentar un Informe Preliminar de Ingeniería (I.P.I.) que contenga las siguientes fases sucesivas:

- I. De trabajos internos;
- II. De trabajos externos;
- III. De adquisiciones;
- IV. De construcción; y
- V. De cumplimiento.

El informe deberá ser autorizado por un profesional de la materia, con cédula expedida por la Secretaría de Educación Pública.

ARTICULO 17. El informe preliminar de ingeniería en cuanto a los trabajos internos comprenderá:

- I. Revisión de los sistemas de recolección de aguas residuales (pluviales, sanitarias y del proceso en su caso) que componen la o las descargas finales;
- II. Muestreo y análisis de calidad de cada una de las descargas de los sistemas de recolección;
- III. Proyecto de los cambios que fueren necesarios en los sistemas de recolección de aguas residuales; incluyendo la determinación del gasto o flujo de diseño del sistema de tratamiento;
- IV. Determinación del costo de los cambios necesarios; y
- V. Plazo de terminación de los cambios en los sistemas de recolección de aguas residuales.

ARTICULO 18. El informe preliminar de ingeniería en cuanto a los trabajos externos comprenderá:

- I. En caso de ser necesario, proyecto del sistema de tratamiento o modificaciones al o los existentes;
- II. Caracterización de los residuos;
- III. Proyecto, en su caso, del sistema de disposición de los lodos que puedan producirse durante el tratamiento;
- IV. Lista del equipo que se utilizará en el sistema de tratamiento;
- V. Terreno y localización del lugar donde se instalará la planta de tratamiento;
- VI. Punto de la descarga final; y
- VII. Plazo de terminación de la fase.

ARTICULO 19. - El informe preliminar de ingeniería en cuanto a las adquisiciones comprenderá:

- I. Fecha en que se fincarán el o los pedidos de compra del equipo que se utilizará en los sistemas de tratamiento; y
- II. Fecha en que se espera su total entrega

ARTICULO 20. - El informe preliminar de ingeniería en cuanto a la construcción comprenderá:

- I. Fechas de iniciación y terminación de las construcciones e instalaciones que se requieran de acuerdo con la fase de trabajos internos; y
- II. Fechas de iniciación y terminación de las construcciones e instalaciones que se requieran de acuerdo con la fase de trabajos externos.

ARTICULO 21. - El informe preliminar de ingeniería en cuanto a su cumplimiento comprenderá:

- I. Fecha en que se iniciará la operación de dispositivos de medición y muestreo de la descarga; y
- II. Fecha estimada para que la descarga se ajuste a las condiciones señaladas en el artículo 13, dentro del plazo -- que el mismo establece.

ARTICULO 22.- Los responsables de las descargas de aguas residuales que en los términos de este reglamento deban instalar sistemas de tratamiento, estarán obligados a cumplir en sus fechas, con el programa contenido en el informe preliminar de ingeniería.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos vigilará el cumplimiento de esta obligación y en su caso, impondrá las sanciones que correspondan.

ARTICULO 23. - Las Secretarías de Recursos Hidráulicos y de Salubridad y Asistencia realizarán los estudios de los cuerpos receptores a que se refiere este Reglamento, a fin de clasificar las aguas en función de sus usos, conocer su capacidad de asimilación y de dilución, así como para señalar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales.

ARTICULO 24. - Con base en el dictamen que emita la Secretaría de Salubridad y Asistencia y en los estudios a que se refiere el artículo anterior, de una cuenca o región, la Secretaría de Recursos Hidráulicos fijará las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales, de acuerdo con la clasificación del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas en las siguientes tablas:

ARTICULO 25. - Cuando de acuerdo con los artículos 9 y 24, las condiciones particulares de las descargas se fijan antes de los plazos mencionados en los artículos 10 y 13, no tendrá aplicación la "Tabla número 1 de Máximo Tolerables".

ARTICULO 26. - La Secretaría de Recursos Hidráulicos dará a conocer a los responsables, las condiciones particulares fijadas para cada descarga de agua residual y señalará un plazo para cumplir con las mismas, el cual no podrá ser menor de un año ni mayor de tres.

ARTICULO 27. - Las condiciones particulares fijadas para cada descarga de agua residual, serán susceptibles de modificarse después de transcurrido un plazo de cinco años, si las condiciones demográficas y ecológicas lo requieren, excepto cuando se ponga en peligro la salud pública, en cuyo caso podrán modificarse en cualquier tiempo.

ARTICULO 28. - Los responsables de las descargas de aguas residuales, de una misma zona, podrán agruparse para construir obras o instalaciones comunes, a fin de efectuar una sola descarga, la que se ajustará a lo que establecen los artículos 13 y 24.

Cuando la descarga se efectuó en aguas de propiedad de la nación, se requerirá autorización de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

En cualesquiera otros casos, la Secretaría de Recursos Hidráulicos se coordinará con las autoridades locales competentes para los fines a que este artículo se refiere.

ARTICULO 29.- Fuera de los casos previstos en este Reglamento, queda prohibido arrojar o depositar basura u otros desechos humanos, sólidos gruesos, jaleas, lodos industriales y similares en ríos, cauces, vasos estuarios y demás cuerpos receptores.

También se prohíbe depositar en las zonas inmediatas a los cuerpos receptores los desechos o residuos a que se refiere el párrafo anterior, susceptibles de ser arrastrados por las aguas.

ARTICULO 30. - La Secretaría de Recursos Hidráulicos creará una comisión consultiva en cada cuenca o región, para estudiar y opinar sobre la prevención y control de la contaminación de las aguas en la propia cuenca o región, así como sobre la clasificación del agua de los cuerpos receptores, según su uso.

La comisión podrá dar la asesoría que le soliciten los responsables de las descargas.

ARTICULO 31. - Para la integración de las comisiones consultivas, la Secretaría de Recursos Hidráulicos invitará para que nombren un representante a:

- I. Los Gobiernos de las Entidades Federativas;
- II. Los Ayuntamientos;
- III. Los Servicios Coordinados de Salud Pública;
- IV. El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología;
- V. El Congreso del Trabajo;
- VI. La Confederación de Cámaras Industriales; y
- VII. Los Comités Directivos de los Distritos de Riego, de Acuacultura y de Agrupaciones Agrícolas.

ARTICULO 32. - Las Comisiones Consultivas determinarán la forma de su funcionamiento. El representante del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología fungirá como coordinador. En ausencia de esta representación, la Secretaría de Recursos Hidráulicos designará dentro de los integrantes de la Comisión, al Coordinador.

ARTICULO 33. - Los estudios y acuerdos de las comisiones serán dados a conocer a las Secretarías de Recursos Hidráulicos y de Salubridad y Asistencia y tendrán el carácter de recomendaciones que se implantarán por dichas autoridades cuando sean viables para efectos de la prevención y control de la contaminación de aguas.

Tabla Núm. 2

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD

Clase	Usos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		pH	Temperatura (°C)	O.D. (mg/l)	Bacterias Coliformes NMP (Organismos/100 ml)	Aceites y Grasas (mg/l)	Sólidos Disueltos (mg/l)	Turbiedad (U.T.J.)	Color (Escala Platino Cobalto)	Olor y Sabor	Nutrientes: Nitrógeno y Fósforo	Materia Flotante	Substancias Tóxicas
				Límite Mínimo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo	Límite Máximo		
DA	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)	0.76	No mayor de 1000	10	20	Ausentes	(c)	Ausente	(d)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	1000 fecales (e)	1.0	No mayor de 1000	C.N.	(f)	(g)	(c)	Ausente	(d)
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	10,000 coliformes totales como promedio mensual; ningún valor mayor de 20,000 (h)	Ausencia de película visible	No mayor de 2000	C.N.	C.N.	C. N.	(c)	Ausente	(d)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	3.2	1000 (j) y libre para los demás cultivos.	Ausencia de película visible	(i)	C.N.	C.N. más 10		(c)	Ausente	(d)
DIV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos)	5.0 a 9.5		3.2									(d)

pH = Potencial hidrógeno
O.D. = Oxígeno disuelto

U.T.J. = Unidades de turbiedad Jackson
mg/l = Miligramos por litro

C.N. = Condiciones naturales
°C = Grados centígrados

Anexo de la Tabla Núm 2

(a) Máximo 30°C excepto cuando sea causada por condiciones naturales.

Medida en la superficie fuera de la zona de mezclado.

(b) Este límite, en no más del 10 por ciento del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá ser mayor de 200 coliformes fecales.

(c) No deben existir en cantidades tales que provoquen una hiperfertilización.

(d) El criterio con respecto a sustancias tóxicas es el siguiente:

Ninguna sustancia tóxica sola o en combinación con otras estará presente en concentraciones tales que conviertan el agua del cuerpo receptor en inadecuada para el uso específico a que se destinen.

La Tabla Núm 3 resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

(e) Este límite, en no más del 10 por ciento del total de las muestras mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2,000 coliformes fecales.

(f) No será permitido color artificial que no sea coagulable por tratamiento convencional.

(g) Removible por tratamiento convencional.

(h) 2,000 coliformes fecales como promedio mensual, ningún valor mayor de 4,000.

(i) Conductividad no mayor de 2,000 umohs/cm. Si el valor de RAS es mayor de 6, la Secretaría de Recursos Hidráulicos fijará el valor definitivo.

RAS igual a relación de absorción de sodio.

Boro 0.4 mg/l. Para valores superiores, la autoridad competente fijará el valor definitivo.

(j) Para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo.

TABLA NUM. 3

VALORES MAXIMO PERMISIBLES DE SUBSTANCIAS
TOXICAS EN LOS CUERPOS RECEPTORES

Límite máximo en miligramos por litro

Clasificación (Tabla 2) Bibliografía	DA w	DI w	DII x,y	DIII w,x
Arsénico	0.05	0.05	1.00	5.00
Bario	1.00	1.00	5.00	-
Boro	1.00	1.00	-	2.0
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	0.005z	0.005z	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 (detergentes)	0.50	0.50	3.0	-
Extractables con Cloroformo	0.15	0.15	-	-
PLAGUICIDAS				
Aldrin	0.017	0.017		
Clordano	0.003	0.003		
D.D.T.	0.042	0.042		
Dieldrin	0.017	0.017		
Endrin	0.001	0.001		
Heptacloro	0.018	0.018		
Epóxico 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		
RADIOACTIVIDAD				
PICOCURIES POR LITRO				
Beta	1.000	1.000	1.000	
Radio-226	3	3	3	
Estroncio	10	10	10	

CAPITULO III

Medidas de orientación y educación

ARTICULO 34. Las Dependencias del Ejecutivo Federal dentro de sus correspondientes ámbitos de competencia, elaborarán y pondrán en práctica los planes, campañas y cualesquiera otras actividades tendientes a la educación, orientación y difusión de lo que el problema de la contaminación del agua significa, sus consecuencias y en general, los medios para prevenirla, controlarla y abatirla.

ARTICULO 35. La Secretaría de Educación Pública invitará al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y a los demás Institutos de investigación científica y técnica del país, para que en coordinación con las Secretarías de Recursos Hidráulicos, de Salubridad y Asistencia, de Agricultura y Ganadería y de Industria y Comercio, realicen los estudios e investigaciones de nuevos métodos, sistemas, equipos, aditamentos y demás dispositivos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación del agua.

ARTICULO 36. El Gobierno Federal y las autoridades auxiliares deberán realizar campañas de orientación a través de periódicos, revistas, radio, televisión, cinematografía y demás medios de difusión, sobre los problemas de la contaminación del agua y las medidas para prevenirla, así como para conservar, restaurar y mejorar su calidad.

ARTICULO 37. Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Recursos Hidráulicos y de Agricultura y Ganadería y el Departamento de Asuntos Agrarios y Colonización y en su caso la Secretaría de Marina y el Departamento del Distrito Federal, podrán solicitar la asesoría del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en las investigaciones sobre planeación, programación, coordinación, orientación, sistematización, promoción y encauzamiento de actividades relacionadas con la prevención y control de la contaminación de las aguas.

ARTICULO 38. Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Recursos Hidráulicos, de Agricultura y Ganadería y de Marina y los Departamentos de Asuntos Agrarios y Colonización y del Distrito Federal, establecerán formas de coordinación entre sus dependencias, para orientar y formar conciencia entre los usuarios del agua, principalmente ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, so -

bre la necesidad de conservar, restaurar y mejorar su calidad y las formas de prevenir, controlar y abatir su contaminación, a través - del empleo de medidas prácticas que les permitan participar en la - solución de ese problema. Para tales fines se dará intervención a los Comités Directivos de los Distritos de Riego y a los de Acuacul tura, a los comisariados ejidales y de bienes comunales y a las aso ciaciones de ejidatarios y comuneros, así como a las agrícolas y ga naderas.

ARTICULO 39. Las Cámaras de Industria, las Nacionales de Co - mercio, así como sus respectivas confederaciones coadyuvarán con - las autoridades, orientando a sus asociados, respecto a las medidas que deben adoptar para la prevención y control de la contaminación - del agua y para la conservación y restauración de su calidad.

CAPITULO IV

Vigilancia e inspección

ARTICULO 40. Las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de - Recursos Hidráulicos, dentro de sus correspondientes ámbitos de - competencia, vigilarán el cumplimiento de las disposiciones de la - Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental en lo referente al agua y de las de este Reglamento.

ARTICULO 41. La Secretaría de Recursos Hidráulicos vigilará -- que las descargas de aguas residuales se ajusten a lo establecido en la Tabla No. 1 y en su caso, a las condiciones particulares fijadas para cada descarga.

Quando pueda ponerse en peligro la salud pública, la Secreta - ría de Recursos Hidráulicos lo hará saber a la Secretaría de Salu - bridad y Asistencia para la intervención que le corresponde.

ARTICULO 42. La Secretaría de Salubridad y Asistencia en el -- ejercicio de la acción sanitaria que le compete, podrá recabar toda la información que se relacione con la contaminación de las aguas - y, en caso de riesgo, adoptar las medidas necesarias para prote -- ger la salud y la vida de las personas.

ARTICULO 43. La Secretaría de Recursos Hidráulicos tendrá a su cargo la vigilancia de obras o instalaciones para prevenir y con trolar la contaminación del agua, en los términos de este Reglamen to. Los propietarios o encargados de dichas obras e instalaciones

están obligados a permitir su inspección.

ARTICULO 44. Las visitas de inspección sólo se practicarán pre via orden escrita, en la que deberá precisarse el objeto de la inspección.

ARTICULO 45. Al efectuar las visitas, los inspectores se identificarán debidamente: exhibirán, además, el oficio de comisión y des pués de practicada la inspección, procederán a levantar el acta correspondiente, entregando un ejemplar de la misma y una copia del oficio de comisión, a la persona en cuya presencia se haya practicado la diligencia.

ARTICULO 46. Los propietarios, encargados u ocupantes, que se encuentren en el lugar de la inspección, están obligados a permitir el acceso y dar todo género de facilidades e informes a los inspectores para el desarrollo de su cometido.

ARTICULO 47. Al iniciar la inspección se solicitará al propietario o encargado, la designación de dos testigos que deberán permanecer durante el desarrollo de la visita. En caso de negativa o ausencia de aquéllos, el inspector podrá designarlos.

ARTICULO 48. Si el propietario, encargado u ocupante, se nega re a firmar el acta que se levante, así se hará constar en la misma, pero esta circunstancia no afectará su validez.

ARTICULO 49. El inspector que hubiere practicado la visita debe rá entregar o enviar en su caso el acta levantada, en el curso de las siguientes veinticuatro horas, a la autoridad que haya ordenado la inspección.

ARTICULO 50. Para los efectos de este Reglamento, no serán objeto de inspección las casas habitación, salvo que exista certeza sobre uso distinto al de habitación o sobre simulación del uso con venido y dado al inmueble.

CAPITULO V

Sanciones

ARTICULO 51. Las infracciones a lo dispuesto en los artículos 7,

10 último párrafo, 11, 29 y 43 se sancionarán con multa de cien a - cinco mil pesos.

ARTICULO 52. Las infracciones a lo dispuesto en los artículos 16 y 46, se sancionarán con multa de quinientos a cincuenta mil pesos.

ARTICULO 53. Las infracciones a lo dispuesto en los artículos 13, 14 y 26 se sancionarán con clausura y multa de quinientos a cincuenta mil pesos. Satisfechos los requisitos establecidos en este Reglamento para la prevención y control de la contaminación del agua, se levantará la clausura.

ARTICULO 54. Los responsables de las descargas de aguas residuales, cuya actitud haya motivado la clausura, serán responsables de las consecuencias de ésta.

Si a juicio de la autoridad, la clausura pudiere causar grave daño a la colectividad, se decretará, en su lugar, la ocupación temporal, hasta en tanto se eliminen por cuenta del propietario, las causas de la contaminación, siguiéndose en lo conducente, el procedimiento que establece la Ley de Expropiación.

ARTICULO 55. Los inspectores que en el ejercicio de sus funciones, no observen lo dispuesto en este Reglamento, serán sancionados con amonestación, suspensión o cese, según la gravedad de la falta. La sanción será aplicada previa audiencia del interesado.

CAPITULO VI

Procedimiento para aplicar las sanciones

ARTICULO 56. Turnada un acta de inspección a la Secretaría de Salubridad y Asistencia o de Recursos Hidráulicos, según el personal que la hubiere levantado, se procederá a su calificación y el resultado deberá notificarse al interesado personalmente o por correo certificado con acuse de recibo. En caso de infracción, se le otorgarán treinta días hábiles para que formule su defensa por escrito, rinda pruebas y alegue lo que a su derecho convenga.

ARTICULO 57. Transcurrido el plazo otorgado al infractor para formular su defensa, deberá dictarse resolución, fundada y motivada, dentro de los treinta días hábiles siguientes, la cual será notificada al interesado en forma personal o por correo certificado con acuse de recibo.

ARTICULO 58. Para la calificación de las sanciones, cuando este Reglamento señale un máximo y un mínimo, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- I. El carácter intencional o imprudente de la acción y omisión;
- II. Las consecuencias que la contaminación origine, tomando en cuenta el daño que cause o peligro que provoque;
- III. Las condiciones económicas del infractor; y
- IV. La reincidencia.

Excluye de responsabilidad al infractor, el caso fortuito o la fuerza mayor.

ARTICULO 59. En los casos de clausura, el personal comisionado para ejecutar esta sanción procederá a levantar acta detallada de la diligencia, siguiendo para ello los lineamientos generales establecidos para las inspecciones.

ARTICULO 60. La ocupación o la clausura se aplicarán sin perjuicio de las multas a que se refiere este Reglamento.

CAPITULO VII

Recurso administrativo de inconformidad

ARTICULO 61. A partir de la fecha de notificación de una sanción, comenzará a correr para el infractor el término de quince días hábiles para interponer por escrito el recurso de inconformidad a que se refiere el artículo 32 de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.

ARTICULO 62. El titular de la Secretaría de Salubridad y Asistencia o de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, que hubiere impuesto la sanción, conocerá del recurso de inconformidad. Podrá interponerse directamente ante la Dependencia o por correo certificado con acuse de recibo, caso este último en que se tendrá como fecha de presentación, la del día en que haya sido depositado el escrito correspondiente en la oficina de correos.

En el escrito en que se interponga el recurso, se ofrecerán pruebas, en los casos que proceda, conforme al artículo siguiente.

ARTICULO 63. La resolución impugnada se apreciará tal como aparezca probada ante la autoridad que impuso la sanción, Por consiguiente, no se admitirán pruebas distintas a las rendidas durante la tramitación del procedimiento relativo a la aplicación de las sanciones, a no ser que las propuestas por el interesado le hubieran sido desechadas indebidamente o no hubieran sido desahogadas o perfeccionadas por motivos no imputables al oferente. En este caso, se concederá un término de quince días para el desahogo de las mismas.

ARTICULO 64. Admitido el recurso y, en su caso, desahogadas las pruebas, el titular de la Dependencia dictará resolución fundada y motivada dentro de un término de treinta días hábiles. Esta resolución se notificará al interesado personalmente o por correo certificado con acuse de recibo.

ARTICULO 65. La interposición del recurso suspenderá la ejecución de las sanciones pecuniarias si el infractor garantiza el interés fiscal en cualquiera de las formas que establece el Código Fiscal de la Federación.

CAPITULO VIII

Acción Popular

ARTICULO 66. La acción popular para denunciar la existencia de alguna de las fuentes de contaminación a que se refiere la Ley y este Reglamento, se ejercitará por cualquier persona ante la Secretarías de Salubridad y Asistencia o de Recursos Hidráulicos, bastando para darle curso, el señalamiento de los datos necesarios que permitan localizarla, así como el nombre y domicilio del denunciante.

ARTICULO 67. Las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Recursos Hidráulicos, al recibir la denuncia, identificarán debidamente al denunciante y en todos los casos, oirán a la persona que pueda resultar afectada por aquélla.

ARTICULO 68. La autoridad competente deberá efectuar las visitas, inspecciones y diligencias necesarias para la comprobación de la existencia de la contaminación denunciada, su localización, clasificación y evaluación.

Después de realizados estos trabajos comprobatorios, si fuere procedente, se dictarán las medidas técnicas conducentes y en su -

caso, se procederá conforme a lo dispuesto en este Reglamento.

ARTICULO 69. Las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Recursos Hidráulicos, después de que dicten y apliquen las medidas correspondientes para abatir y controlar la contaminación, lo harán saber al denunciante en vía de reconocimiento a su cooperación cívica.

CAPITULO IX

Definiciones

ARTICULO 70. Para los efectos de este Reglamento, se entiende por:

Aguas residuales. Es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

Aguas residuales de usos puramente domésticos. Son las aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación, y que no han sido utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios.

Basura u otros desechos humanos. Son los residuos no provenientes de la industria resultantes de las actividades de las personas o de los municipios.

Capacidad de asimilación. Es la propiedad que tiene un cuerpo receptor calculada con base en el gasto de diseño para restablecer su calidad en forma tal que no se viole en tiempo ni espacio la norma de calidad establecida.

Capacidad de dilución. Es la cantidad de cualquier elemento, compuesto o sustancia que puede recibir un cuerpo receptor en forma tal que no exceda en ningún momento ni lugar la concentración máxima de dicho elemento, compuesto o sustancia establecida en la norma de calidad del cuerpo receptor correspondiente, tomando como base el gasto normal de diseño o volumen normal de diseño.

Clasificación de las aguas superficiales. Es la designación que se da al agua de un río, lago, estuario, costa o parte de los mismos, para ser usada en diferentes actividades legítimas del hombre.

Condiciones particulares de las descargas de aguas residuales.

Son el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que deberán satisfacer las aguas residuales antes de su descarga a un cuerpo receptor.

Cuerpo receptor. Es toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que sea susceptible a recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

Descarga. El conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo receptor.

Descarga existente. Todas aquellas descargas de aguas residuales que estén en operación el día que entre en vigor el presente Reglamento.

Estuario. Es el tramo de río bajo la influencia de las mareas y que está limitado en longitud hasta la zona donde la concentración de cloruros es de 250 mg/l o mayor durante los gastos de estiaje.

Informe preliminar de ingeniería (I.P.I). Es el documento técnico que los responsables de las descargas deben presentar a la Secretaría de Recursos Hidráulicos en los términos de este Reglamento y que deberá contener la descripción del desarrollo del trabajo de cada fase, así como las fechas de terminación de cada una de ellas.

Registro de la(s) descarga(s). Es la asignación de un número que la Secretaría de Recursos Hidráulicos dará a cada "responsable de descarga" a la presentación y aceptación de la forma correspondiente.

Responsable de la descarga. Toda persona física o moral, pública o privada, que sea responsable legal de la operación, funcionamiento, o administración general de cualquier actividad municipal, industrial, comercial, agropecuaria o de cualquier otra índole, que produzca una o varias descargas de aguas residuales.

Sistemas de Alcantarillado. Es el conjunto de dispositivos y tuberías instalados con el propósito de recolectar, conducir y depositar en un lugar determinado las aguas residuales que se generan o se captan en una superficie donde haya zona industrial, población o comunidad en general.

Trabajos externos. Son los que comprenden una planta de tratamiento de agua.

Trabajos internos. Son los que no comprenden una planta -

de tratamiento de agua.

Tratamiento o purificación de las aguas residuales. Es el proceso o serie de procesos a los que se someten las aguas residuales con objeto de disminuir o eliminar características perjudiciales de los contaminantes que éstas contienen.

BIBLIOGRAFIA BASICA CONSULTADA

1. - American Water Works Association. 1968
Agua su calidad y tratamiento
UTEHA
2. - Babbitt - Baumann. 1965
Alcantarillado y tratamiento de aguas negras
CECSA
3. - Clarence J. Velz. 1970
Applied Stream Sanitation
John Wiley
4. - Cuaderno de Salud Pública No. 13
Aspectos de la lucha contra la contaminación del agua
ONU
5. - Louis Klein
Aspects of river pollution
London Butter Worths
6. - Ed. J. L. Pavoni
Handbook of Water Quality Management Planning
Van Nostrand Reinhold
7. - Unda Opazo - Salinas Cordero. 1969
Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública
UTEHA
8. - W. Frank Blair
Los problemas ecológicos de América Latina
René Dubos
El estado de nuestra ignorancia
William Bowen
¿Qué es la Ecología?
La Mont C. Cole
Una carrera de la supervivencia
La crisis del medio ambiente
9. - Diario Oficial. 23 de marzo de 1971
Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental

10. - N. L. Nemerow 1971
Liquid Waste of Industry. Theories, Practices and Treatment
Addisson Wesley
11. - A.S.T.M. 1976
Manual de Aguas para Usos Industriales
Limusa
12. - Métodos estandar para el examen de agua y aguas de desecho 1963
Interamericana, S. A.
13. - Mc Kinney Ross E.
Microbiología para Ingenieros Sanitarios
Mc Graw-Hill
14. - Fair - Geyer - Okun. 1971
Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Resi-
duales - Tomo II
Limusa Wiley
15. - Diario Oficial, 29 de marzo de 1973
Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas
16. - Scientific Products
Catálogo - 1961
17. - Thomas Scientific Apparatus
Catálogo 1973
18. - Eskel Nordel. 1969
Tratamiento de Aguas para la Industria y otros usos
Compañía Editorial Continental, S. A.
19. - Tomas R. Camp. 1963
Water and its impurities
Reinhold Pub. Co.
20. - Mckee - Wolf. 1963
Water Quality Criteria
State Water Quality Cont rol Board
Pub. No. 3-A