

90
28j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ASIMILACION Y DILUCION DE UNA CORRIENTE NATURAL”

T E S I S

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

LUNA SANCHEZ ALEJANDRO CUTBERTO



MEXICO, D. F.

ABRIL DE 1987.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE GENERAL

Agradecimientos

Dedicatoria

pp-

1.-	Introducción	1
2.-	Aspectos Jurídicos	6
2.1	Importancia de la reglamentación y aspectos fundamentales de la misma	6
2.2	Plan de acción del reglamento	7
2.3	Legislación existente relativa a la contaminación de las aguas de corrientes naturales	13
2.4	Conclusiones	22
3.-	Características hidrológicas de las corrientes	24
3.1	Descripción de la información requerida	25
3.2	Aspectos morfológicos del cauce	32
3.3	Determinación del escurrimiento superficial en corrientes naturales.	39
4.-	Parámetros de calidad del agua e importancia sanitaria	51
4.1	Clasificación de las aguas residuales	52
4.2	Parámetros de contaminación y sus efectos	63
4.3	Usos del agua e índice de calidad	78
4.4	Descripción de los contaminantes más comunes	112

	pp.
5.- Proceso de asimilación y dilución de una corriente natural	124
5.1 Descripción general del proceso	124
5.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno	139
5.3 Déficit de oxígeno en una corriente natural	147
5.4 Representación matemática del efecto combinado de la reaserción y la degradación	164
5.5 Curva de oxigenación y desoxigenación	169
5.6 Carga máxima permisible	181
6.- Conclusiones	186
Bibliografía	191

INTRODUCCION.

El agua de las corrientes superficiales constituye uno de los elementos o componentes más importantes hoy en día del ambiente, dados sus múltiples usos en las diversas actividades del hombre. Entre algunas de sus bondades es utilizada, en el riego de tierras de labor, en la recreación, para pesca, en la generación de energía eléctrica, para la navegación, para practicar deportes acuáticos y así como cuerpo receptor y/o desalojador de desechos líquidos y sólidos. -- Siendo éste último uso el que más problemas representa para poder practicar los demás, ya que en muchas ocasiones los limita o inhibe completamente al alterar de manera peligrosa la calidad del agua en el cuerpo receptor.

El medio ambiente es un sistema que engloba a todos los seres vivientes tanto del aire, del agua y del suelo, y que constituye su habitat o lugar donde desarrollan normalmente su ciclo de vida además de conformar el escenario de actuación de cada uno de nosotros sobre el mismo.

En este sistema existe un gigantesco reciclaje de todos los productos, logrando una gran unidad y manteniendo así, el llamado equilibrio ecológico. De ahí, la necesidad de reciclar los residuos obtenidos, así como de utilizarlos como materia prima para obtener nuevos productos útiles al hombre.

Al satisfacer el acelerado incremento de la demanda de volúmenes de agua para todo tipo de usos han aumentado también los gastos de aguas residuales. Así entonces, éstas aguas residuales al integrarse a los ríos y depósitos naturales los afectan seriamente en su calidad, trayendo como consecuencia múltiples problemas de contaminación.

En la figura 1.1 se presenta un esquema de ciclo hidrológico, donde se muestra su circulación por la atmósfera y la tierra. La importancia de la contaminación en el desarrollo de los asentamientos humanos presenta varias facetas, tanto en salud, como en bienestar social y económico ya que un medio contaminado reduce su posibilidad de uso y aprovechamiento, lo que económicamente de alguna manera afecta el asentamiento humano.

En aquellas áreas en que se registra mayor densidad de población y mayor concentración industrial, se ha hecho necesario tomar medidas inmediatas para preservar las condiciones de calidad del agua, para no afectar la salud pública con enfermedades de tipo endémico y epidémico que son causadas por la presencia de focos de contaminación.

Por otro lado, se vé afectada la estética del medio por la contaminación de los ríos por desechos residuales, domésticos e industriales, negando la posibilidad de ser utilizadas sus aguas para la recreación y esparcimiento.

El resguardo del medio ambiente debe entonces quedar asegurado para el presente y para el futuro uso del mismo, en base a la legislación ya existente en éste aspecto, y para poder prometer un mejoramiento y preservamiento de la calidad de vida de la comunidad para las generaciones venideras, en función de los recursos con que ahora se cuenta.

Así entonces, es de suma importancia estudiar el fenómeno de asimilación y dilución de una corriente, ya que a partir de ésto se podrán ubicar y cuantificar el número máximo permisible de descargas de aguas servidas en la misma. Esto -- con el objeto de preservar las características ecológicas naturales en la corriente y pensando siempre que el agua de la corriente podría ser usada aguas abajo de la descarga para satisfacer más necesidades de los asentamientos humanos en las riberas o próximos a ellas.

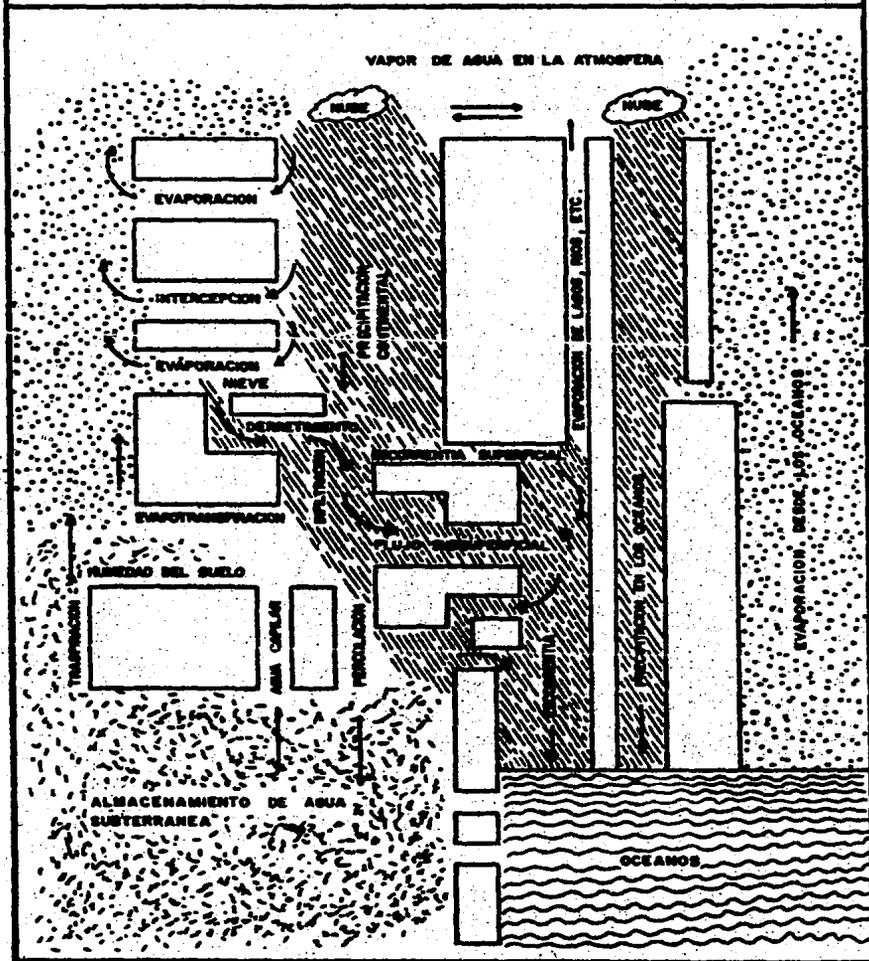
Pero no menos importante será vigilar la calidad de las aguas servidas que se vertirán en una corriente natural, verificando que se respeten los límites máximos de contaminantes contenidos en las aguas negras de acuerdo con las normas que dicta para éste efecto el Reglamento para la Preservación y Control de la Contaminación de Aguas.

A continuación se desarrollan los temas involucrados en la autopurificación de una corriente. Empezando en el capítulo 2 por los aspectos jurídicos que reglamentan el vertimiento de aguas servidas, y que además fijan las condiciones particulares de descarga. Y en el capítulo 3 se presentan las características morfológicas e hidrométricas más importantes de un cauce natural.

En el capítulo 4 se describen los parámetros de calidad del agua en función de los usos futuros de éstas relacionando - los muy estrechamente con su importancia sanitaria y describiendo algunos de los contaminantes más comunes presentes - en las aguas negras. Por otra parte en el capítulo 5 se presenta el desarrollo matemático del fenómeno de asimilación y dilución presentando ecuaciones útiles para el cálculo de la carga orgánica asimilable por la corriente.

Finalmente en el capítulo 6 se presenta un resumen de conclusiones del presente trabajo con el objeto de sintetizar el estudio.

FIGURA 1.1
CICLO HIDROLÓGICO



ASPECTOS JURIDICOS.2.1. IMPORTANCIA DE LA REGLAMENTACION Y ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA MISMA.

Con el objeto de disponer de los instrumentos legales que le permitan enfrentarse a los problemas de la contaminación ambiental, el Gobierno Federal consciente de la imperiosa necesidad de aprovechar óptimamente los recursos naturales, no únicamente en las condiciones actuales para nuestro beneficio, sino con el objeto de preservarlos para las generaciones venideras, principalmente el tipo de recursos no renovables y para que los renovables no se extingan en el despilfarro, ha expedido una serie de leyes y reglamentos al respecto como -- por ejemplo : se expidió el 23 de marzo de 1971 la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual considera tres grandes capítulos que son el de aire, el de suelo y el del agua, siendo éste último del cual se hablará en adelante.

Así también, el día 29 de marzo de 1973 se promulgó el Reglamento para Prevención y Control de la Contaminación de Aguas que vino a ser el soporte fundamental de la ley mencionada -- antes, en lo que se refiere al capítulo del agua. Además, el reglamento en forma general está enfocado hacia dos aspectos fundamentales, los cuales son:

El primero se refiere a prevenir la contaminación de todas - aquellas aguas del país que aún guardan sus características naturales, sin embargo, ésta prevención no implica el tratar de conservarlas tal como se encuentran en su estado natural, sino en aprovechar racionalmente su capacidad de asimilación, o sea la capacidad que tienen de recibir una cierta carga de materiales contaminantes en función de sus características físicas, químicas e hidrológicas, de manera que no se altere su calidad para el uso que se haga o se pretenda hacer de -- ellas.

El segundo aspecto fundamental se refiere a controlar la contaminación de las aguas de aquellos depósitos o corrientes - cuya calidad se ha deteriorado, para que, con el concurso de todos los sectores afectados y de aquellos especializados en la Ingeniería Sanitaria y ramas interrelacionadas con la misma, readquieran gradualmente la calidad necesaria para el -- uso que se hace de ellas.

2.2. PLAN DE ACCION DEL REGLAMENTO

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas cuya aplicación compete hoy en día a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, está concebido como una serie de actividades que convencionalmente pueden concretarse en tres etapas básicas que son:

Primera etapa, durante ésta se realiza ante la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología el registro de todas las descargas de aguas residuales provenientes de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas o pecuarios, con excepción de las originadas en las casas habitación, para éste registro, los responsables de las descargas cuentan con un plazo de cuatro meses contando a partir de la fecha en que entren en operación, sin embargo, los responsables deben dar aviso anticipado a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología de la fecha en que iniciarán su operación.

También es pertinente hacer notar que éste registro no implica en forma directa un permiso o autorización de descarga si no que tiene por objeto hacer el inventario de las descargas de aguas residuales con el fin de obtener la información necesaria para determinar la calidad de los cuerpos receptores o sea de los cuerpos de agua que reciben descargas de aguas residuales, y de realizar la programación a corto, mediano y largo plazo de las acciones que se emprendan para prevenir y controlar la contaminación de las aguas.

Por otra parte, a partir de la fecha de registro se estipula un plazo de tres años para que las descargas de aguas residuales cumplan con 5 características de calidad para las cuales se fijan valores máximos tolerables en el artículo 13 del Reglamento. Estas características son:

TABLA 2.1.

1.- Sólidos sedimentables, valor máximo :	1.0 mg/l.
2.- Grasas y aceites, valor máximo :	70.0 mg/l.
3.- Materia Flotante :	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3mm. de claro libre - cuadrado.
4.- Temperatura, valor máximo :	35°C
5.- Potencial hidrógeno (p H) :	4.5 a 10.0

Las descargas que requieran obras o instalaciones de purificación para que su calidad cumpla con lo requerido para las cinco características de calidad anteriores, deberán presentar a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología dentro de un plazo de diez meses contados a partir de la fecha de terminación del plazo de registro, un Informe Preliminar de Ingeniería (I P I) que contenga las siguientes fases sucesivas (Artículo 16 del Reglamento) :

- a) De trabajos internos
- b) De trabajos externos
- c) De adquisiciones
- d) De construcción
- e) De cumplimiento

Segunda Etapa; ésta se refiere al cumplimiento, por parte de los responsables de las descargas, de lo indicado por ellos mismos en su Informe Preliminar de Ingeniería, a fin de que como consecuencia las descargas de aguas residuales satisfagan los requisitos de calidad para las cinco características mencionadas.

Durante el desarrollo de ésta segunda etapa la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología vigilará el cumplimiento por parte de los responsables de las descargas, de lo presentado en su Informe Preliminar de Ingeniería, a fin de que todas las descargas de aguas residuales al final de ésta etapa, que durará tres años, cuenten con tratamiento primario como mínimo para cumplir con lo requerido por el Reglamento.

Además, en forma semejante a lo efectuado durante la primera etapa, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología enviará a la Secretaría de Salud, una copia de los documentos que acrediten el cumplimiento que haya hecho el responsable de la descarga, de las fases que integran el Informe Preliminar de Ingeniería para que proceda de acuerdo con sus atribuciones, y en su caso, realice cierta vigilancia en función de la salud pública.

Tercera Etapa; ésta etapa no tiene un lapso determinado de duración, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en coordinación con la Secretaría de Salud, determinará y fijará las condiciones particulares para las descargas de aguas-residuales, éstas condiciones particulares consistirán en el conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que deberán satisfacer las aguas residuales antes de su descarga a un cuerpo receptor.

Las condiciones particulares de descarga las fijará la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en función de los estudios de calidad de agua de los cuerpos receptores, que lleva a cabo en las cuencas hidrológicas del país a fin de clasificar las aguas de acuerdo con sus usos y de conocer su capacidad de asimilación y dilución.

El artículo 24 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas contiene las tablas para clasificar las aguas de los cuerpos receptores en función en unos casos de su ubicación con respecto al continente y en otros en función de su posición superficial o subterránea dentro del mismo. Para efecto del presente trabajo sólo se hace mención a continuación de la clasificación correspondiente a las aguas dulces superficiales, y es la siguiente :

CLASESU S O S

D A	Para abastecimiento de sistemas de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos - DI, DII y DIII.
D I	Para abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección) e industrial.
D II	Agua adecuada para uso recreativo, con conservación de flora y fauna y usos industriales.
D III	Agua para uso agrícola e industrial.
D IV	Agua para uso industrial (excepto procesamiento de alimentos).

2.3. LEGISLACION EXISTENTE RELATIVA A LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS DE
CORRIENTES NATURALES.

Bajo éste título a continuación se enuncian los artículos de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental relativos al agua y también los del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas relativos a corrientes naturales que reglamentan el vertimiento de aguas residuales a éstas últimas.

De la ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental se pueden mencionar los siguientes artículos :

Artículo 14. Queda prohibido arrojar en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos de aguas o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminantes, materias radioactivas o cualquier otra substancia dañina a la salud de las personas, a la flora o a la fauna, o los bienes. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en coordinación con la de Salud, dictará las medidas para el uso o el aprovechamiento de las aguas residuales o fijará las condiciones que éstas deban cumplir para ser arrojadas en corrientes de agua y demás lugares ya mencionados.

Artículo 15. Las aguas residuales provenientes de usos públicos, domésticos e industriales que descarguen en corrientes naturales, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir :

- a). Contaminación de los cuerpos receptores.
- b). Interferencias en los procesos de depuración de las aguas.

Artículo 16. No se permitirá la construcción de obras o instalaciones, e igualmente se impedirá la operación o el funcionamiento de las ya existentes, para la descarga de aguas residuales que puedan ocasionar contaminación en las corrientes naturales.

Artículo 19. Para utilizar el agua en procesos industriales deberán construir, en los términos y en las condiciones que fije la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, obras e instalaciones adecuadas para descargar los residuos, cuando éstos se viertan a corrientes naturales.

Artículo 22. En los casos de contaminación de las aguas, en que pueda ponerse en peligro la salud pública, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología dará la debida intervención a la Secretaría de Salud para que ésta, tome las medidas necesarias para corregir éste defecto en la salud pública.

Además, como respaldo a los anteriores artículos de la Ley se tienen los del Reglamento que específicamente señalan lo más adecuado para prevenir y controlar la contaminación de las aguas de las corrientes naturales; así entonces, los artículos son los siguientes :

Artículo 6. La prevención y control de la contaminación de las aguas, para preservar y restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse en los terminos de éste Reglamento, mediante los siguientes precedimientos :

I.- Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, materia flotante, temperatura y potencial hidrógeno (pH); 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 estudios que la autoridad competente realice de los cuerpos receptores (en nuestro caso, corrientes naturales), su capacidad de asimilación, sus características de dilución y otros factores.

Artículo 23. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y de Salud realizarán los estudios de los cuerpos receptores a que se refiere éste Reglamento, a fin de clasificar las aguas en función de sus usos, conocer su capacidad de asimilación y dilución, así como para señalar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales.

A continuación se enuncia quizá el artículo más detallado y explicativo con que cuenta el Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación de las Aguas, pero haciendo sólo referencia al caso particular de las aguas superficiales.

Artículo 24. Con base al dictámen que emita la Secretaría de Salud en relación a la calidad de las aguas de las corrientes naturales (en éste caso) la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología 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 tablas 2.3 y 2.4 siguientes :

TABLA 2.3 CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE LOS CUERPOS RECEPTORES SUPERFICIALES EN FUNCION DE SUS USOS Y --
CARACTERISTICAS DE CALIDAD.

CLAVE	USOS	1	2	3	4
		pH	Temperatura °C	O.D. mg/l.	Bacterias coliformes, NMP
		Limite mínimo	Limite máximo	Limite máximo	Limite máximo
DA	Abastecimiento para sistemas de agua potable e industrial - alimenticia con desinfección únicamente. Recreación (contacto primario) y libre para los usos DI, DII y DIII.	6.5 a 8.5	C.N. más 2.5 (a)	4.0	200 fecales (b)
DI	Abastecimiento de agua potable con tratamiento convencional (coagulación, filtración y desinfección) e industrial.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5 (a)	4.0	1000 fecales (c)
DII	Agua adecuada para uso recreativo, conservación de flora, fauna y usos industriales.	6.0 a 9.0	C.N. más 2.5	4.0	10,000 a 20,000 fecales (h)
DIII	Agua para uso agrícola e industrial.	6.0 a 9.0	C.N; más 2.5	3.2	1000 (j)
DIV	Agua para uso industrial (excepto de procesamiento de alimentos).	5.0 a 9.5	—	3.2	—

- (a) Máximo 30°C excepto cuando sea causada por condiciones naturales. Medida en la superficie fuera de la zona de mezclado, la cual se determinará de acuerdo con las características de descarga.
- (b) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá ser mayor a 2000 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 2.4, resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

(e) Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2000 coliformes fecales.

(f) No será permitido color artificial que no sea -- coagulable por tratamiento convencional.

(g) Removible por tratamiento convencional.

(h) 2000 Coliformes fecales como promedio mensual, - ningún valor mayor de 4000.

(i) Conductividad no mayor de 2000 en $\mu\text{mohs/cm}$. Si - el valor de R A S es mayor de 6, la Secretaría - de Desarrollo Urbano y Ecología fijará el valor - definitivo.

R A S significa, relación de absorción de sodio.

Boro 0.4 mg/l para valores superiores, la autoridad com - petente fijará el valor definitivo.

(j) Para riego de legumbres que se consuman sin her - vir o frutas que tengan contacto con el suelo.

Tabla 2.4.

Valores máximos permisibles de sustancias tóxicas en los cuerpos receptores.

Límite máximo en miligramos por litro.

Clasificación (Tabla 2.2)	DA	DI	DII	DIII
Arsénico	0.05	0.05	1.00	5.00
Bario	1.00	1.00	5.00	----
Boro	1.00	1.00	----	2.00
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.005
Cobre	1.00	1.00	0.1	1.0
Cromo Hexavalente	0.05	0.05	0.1	5.00
Mercurio	0.005	0.005	0.01	----
Plomo	0.01	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	----
Substancias activas al azul de metileno (Detergente)	0.50	0.50	3.00	----
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		

Heptacloro	0.018	0.018
Epóxico de Hepta- cloro.	0.018	0.018
Lindanc	0.056	0.056
Metoxicloro	0.035	0.035
Fosfatos orgánicos con carbonatos	0.100	0.100
Toxafeno	0.005	0.005
Herbicidas totales	0.100	0.100

Radiactividad	Picocuries por litro		
Beta	1.000	1.000	1.000
Radio 226	3	3	3
Estroncio	10	10	10

Por último, cabe mencionar que el artículo 29 del Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas hace referencia a la prohibición en cuanto a arrojar o depositar basura y otros desechos humanos, sólidos gruesos, sales, lodos industriales y similares en corrientes naturales fuera de los casos previstos en el Reglamento antes descrito.

2.4 CONCLUSIONES

Como se podrá notar, la legislación Mexicana al respecto de los valores máximos tolerables de contaminantes es un tanto escasa, ya que no existen valores de concentración para algunos contaminantes peligrosos, tal como se pudo observar en la tabla 2.4. También cabe resaltar que para los contaminantes peligrosos que si se tiene un valor máximo tolerable, éste --

se encuentra en discrepancia con el que por ejemplo proponen legislaciones extranjeras. Esta diferencia generalmente es - desfavorable para nuestra legislación porque a veces se permiten concentraciones altas con respecto a las propuestas -- por otros países en su territorio, o bién por organizaciones mundiales avocadas a la contaminación de las aguas.

Las anteriores comparaciones de las que se habla podrán verse con detalle en el capítulo 4 en la sección 3, donde se -- anotan valores de concentraciones máximas tolerables para -- algunos de los principales contaminantes.

Así pues, se hace necesario pensar en una revisión y actualización de nuestra legislación referente a la cantidad y calidad de las aguas de desecho que se descargan en corrientes - naturales, ya que la presente legislación es aún todavía muy general y poco específica para éste efecto.

CAPITULO No. 3

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS DE LAS CORRIENTES

En éste capítulo se mencionan los aspectos fundamentales a considerar para calcular los volúmenes de agua (tanto natural como de descargas) que escurren en los cauces naturales y con ésto calcular la capacidad de asimilación y dilución de cualquier corriente natural en base a sus características físico, químicas y biológicas.

Así pués, en la sección 3.1, se hace una descripción general de la información requerida para hacer lo antes anotado, además de mencionar alguna información complementaria que podría ser útil.

En la sección 3.2 se realiza una descripción de las principales características físicas de un cauce, identificando la relación, que guardan con la determinación de los coeficientes de degradación y reseración para una corriente natural. Una explicación más detallada de éstos coeficientes se hará en el capítulo 5.

Por último en la sección 3.3, se presenta una explicación de la forma en que se determinarán los escurrimientos de agua en los cauces naturales y la manera de obtener un gasto de diseño para las condiciones más críticas de escurrimiento (el flujo de un gasto mínimo).

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA.

Para efectuar un buen estudio completo es necesario definir los alcances y precisión de la información que se requiere en un momento dado, para éste efecto se pueden desarrollar tres etapas principales, como se menciona a continuación.

La primera etapa, la llamaremos de Información Previa, que consiste en recabar los siguientes documentos y datos de la región y/o cuenca hidrológica donde pertenezca el cauce natural de interés.

- a) Cartas Geográficas de la región:
 - i) Topográficas
 - ii) Geológicas
 - iii) Hidrológicas

- b) Fotografías aéreas, si es preciso tenerlas.

- c) Planos de la localidad o localidades por donde cruza el cauce natural en estudio, para ubicar los actuales y futuros puntos de descarga de aguas negras en la corriente.

- d) Planos fotogramétricos.

- e) Datos estadísticos, entre los cuales se pueden mencionar:
 - i) Censos de Población
 - ii) Morbilidad
 - iii) Mortalidad

- iv) Climatológicos, siendo muy importante éstos, -
dada la influencia que tiene en el escurrimien-
to de agua en las corrientes naturales la pre-
cipitación pluvial en la cuenca a donde perte-
nece él o los cauces en estudio.
 - v) Comunicaciones actuales de la región.
 - vi) Tipo de transportes existentes
 - vii) Tipo y desarrollo de actividades económicas.
 - viii) Tipo y desarrollo de actividades culturales.
 - ix) Aspectos históricos.
 - x) Aspectos Políticos
 - xi) Aspectos Sociales
 - xii) Centros turísticos existentes, etcétera.
 - xiii) Volúmenes escurridos durante todo el año en el
cauce natural de interés o en su defecto en el
mes más caliente del año, si se cuenta con ---
ellos.
 - xiv) Tipos y número de localidades con Sistema Pú-
blico de Alcantarillado y Sistema de Aprovevisio-
namiento de Agua Potable.
 - xv) Lugares o puntos de disposición de las aguas -
residuales de las localidades que se localizan
en un entorno próximo al cauce en estudio.
 - xvi) Tipos de plantas de tratamiento, y niveles de
tratamiento, si es que los hay.
- f) Datos sobre recursos naturales en el área de estu-
dio.
- 1) De aguas superficiales (hidrológicos)
 - 2) De aguas subterráneas
 - 3) Geológicos
 - 4) Agrícolas
 - 5) Ganaderos
 - 6) Forestales

- 7) Mineros
- 8) Industriales

La anterior información normalmente se puede obtener antes de proceder a realizar una investigación directa en la región de interés con el objeto de pronosticar hasta un cierto nivel y profundidad las características actuales y futuras más importantes del lugar de estudio.

Para recabar tal cantidad de datos se puede acudir a las siguientes fuentes de información:

- 1) Al Instituto de Estadística, Geografía e Informática, (INEGI).
- 2) A la Secretaría de la Defensa Nacional.
- 3) Al Servicio Meteorológico Nacional.
- 4) A la Dirección General de Estadística de la Secretaría de Programación y Presupuesto.
- 5) A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- 6) A las representaciones de los Estados de la Rep., en el D.F.
- 7) A la Secretaría de Energía, Minas e Industria Parestatal; (SEMIP).

8) A la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, -
(S C T).

9) Y a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología,
(S E D U E).

La segunda etapa se denomina de Información Directa, que --
como su nombre lo indica, consistirá en realizar una verifi-
cación directa (en campo) de los datos previos obtenidos en
la primera etapa, y en específico comprenderá los siguien--
tes aspectos:

a) Investigación urbana.- Esta labor consistirá en ratifi-
car los datos previos relativos por ejemplo a:

- 1) Número efectivo de habitantes, realizando si así -
se requiere una proyección a futuro de la pobla---
ción actual.
- 2) Realidad de predios urbanos con conexión al Siste-
ma Público de Alcantarillado, existente o no.
- 3) Número de tomas de agua existentes (industrias, --
domésticas, comerciales, etc).
- 4) Tipo y número de industrias.
- 5) Casas habitación.

- 6) Comunicaciones y su estado actual.
 - 7) Ubicación y delimitación de los actuales usos del suelo.
 - 8) Costo de la vida en la región, sueldos, etc.
- b) Investigación de campo.- Esta investigación es posterior a la urbana, recomendándose hacer un recorrido en el entorno de la corriente natural a efecto de obtener la siguiente información:
- 1) Localización de actuales y futuros puntos de descarga de aguas.
 - 2) Localización y características de las obras hidráulicas existentes en la zona, tanto para abastecimiento de agua como para tratamiento de la misma.
 - 3) Evaluación de la situación actual y futura de éstas obras hidráulicas.
 - 4) Localización de posibles emisores de agua residual.
 - 5) Tenencia de la tierra o terrenos circundantes al punto de interés, etcétera.

Finalmente, la tercera etapa de investigación es la que se -

refiere a los Estudios Auxiliares Complementarios que consisten en efectuar una serie de trabajos especializados tendientes a obtener un grupo de datos más precisos de la corriente natural en estudio, así pues, algunos de éstos trabajos son los siguientes:

- a) Estudios Topográficos y Fotogramétricos de detalle. -- Estos estudios se realizarán en caso de que la topografía de un terreno no esté lo suficientemente detallada en los planos usados en la información previa, para complementar los detalles en sitios particulares. En casos de localidades pequeñas se podrán ejecutar éstos trabajos mediante procedimientos taquimétricos tradicionales. Y para localidades grandes, se recomienda analizar la posibilidad de efectuar trabajos de fotogrametría, la cual incluiría fotografías aéreas y restitución en planos de dichas fotografías. Así también a veces será necesario hacer levantamientos a detalle de las obras hidráulicas de interés existentes en la zona.

- b) Estudios hidrológicos de detalle.- Estos estudios constituyen la base en el cálculo del proceso de asimilación y dilución en una corriente, ya que proporcionarán los elementos necesarios para determinar datos hidrométricos de la corriente natural en estudio. Estos datos hidrométricos se explicarán en la sección 3.3 con más detalle, por ahora sólo baste mencionarlos a continuación.

- 1) Volúmenes escurridos, tanto en el cauce en estudio_ como en los aportadores de dicho cauce, en los puntos probables de mezcla con aguas servidas.
- 2) Estrechamente interrelacionados con los anteriores, se determinarán los gastos mínimos ocurridos, y los de posible ocurrencia.
- 3) Balance hidráulico de la cuenca, donde se puede pensar en obtener un funcionamiento hidráulico, una separación de las corrientes en tramos, gastos de diseño y balance hidráulico, así como velocidades de la corriente por tramos y tiempos de recorrido.
- 4) Calidad del agua, que se referirá a establecer programas de muestreo y estaciones hidrométricas para controlar dicha calidad de agua en las corrientes naturales en estudio.

Y también otro aspecto importante de éstos estudios es precisar los actuales usos del agua y los futuros, así como del número real de descargas, identificando su volumen medio y máximo escurrido en la mayor aportación de aguas servidas al caudal de la corriente natural.

3.2 ASPECTOS MORFOLOGICOS DEL CAUCE.

Las características morfológicas de un cauce dependen en -- gran medida de las condiciones Orográficas, hidrológicas y Geológicas de las cuencas a la cual pertenece, ya que dependiendo, de la área, pendiente y elevación de ésta última se derivarán las características más importantes del cauce, -- las cuales son: Pendiente, longitud, sección hidráulica y -- orden de corriente.

Y en función de éstas últimas se deducen gastos y velocidades promedio por tramo de corriente aislado precisamente para éste efecto, a modo de tener más uniformidad en la obtención de éstos promedios.

Así entonces, al hablar de la pendiente de un cauce se hace necesario mencionar que ésta dependerá fundamentalmente de lo escarpado o lo tendido que sea el terreno de la cuenca, además del punto dentro de la cuenca donde nazca dicha corriente o bien de la posición de los puntos de referencia -- que delimiten un tramo cualquiera de la corriente en estudio.

Como es lógico pensar, generalmente la pendiente de una corriente no es constante en su recorrido, siendo muy fuerte en la zona de montañas y muy suave en valles y desembocadura.

A pesar de éste gran inconveniente es necesario calcular -- por lo menos una pendiente promedio de un tramo o varios -- tramos de corriente, ya que éste dato es de gran importan-- cia si se quiere estimar el gasto de una corriente de mane-- ra teórica-práctica usando expresiones matemáticas basadas_ en experiencias de algunos investigadores.

Así entonces, para calcular la pendiente en un tramo de co-- rriente pueden usarse varios métodos según la sofistica-- ción que se desee tener. Entre éstos se mencionan los dos - siguientes:

- a) Este primer criterio es muy simple ya que sólo conside-- ra el desnivel entre dos puntos de referencia y su dis-- tancia horizontal, obteniéndose una pendiente a groso - modo.
- b) Este segundo criterio, calcula la pendiente del cauce - (de un tramo tomado de él), usando la expresión matemá-- tica que para éste efecto proponen Taylor y Schwarz, la cual se basa en considerar que la corriente está forma-- da por una serie de canales (idealizados de ésta manera) con pendiente uniforme y cuyo tiempo de recorrido es -- igual al de la corriente.

Para mayores detalles de estos métodos consultar la referen-- cia 8.

Por lo que respecta a la longitud de la corriente, ésta se determinará de las cartas hidrológicas que se dispongan a escala apropiada con ayuda del longímetro, o bien directamente en campo cuando así se requiera.

Otra característica importante, es la sección hidráulica -- del cauce, ya que a partir de ésta se obtiene un dato importante: el radio hidráulico de la sección, el cual se usará para obtener por ejemplo el coeficiente de reaeración que interviene en el proceso de asimilación y dilución de la corriente, de su obtención se hablará en el capítulo 5.

Pero no sólo la sección hidráulica del cauce interviene de manera directa en el saneamiento de corrientes, sino también intervienen en el proceso: las características de fondo del cauce, la velocidad media de la corriente, obtenida en función de los aforos hechos en la corriente, y la pendiente - del tramo de cauce en estudio (de la cual ya se habló al principio de ésta sección).

Así entonces éstos factores son de gran importancia, por lo que su obtención siempre se hará necesaria para efecto de inferir características de degradación de materia orgánica y características de recuperación de oxígeno en la corriente.

Por lo que respecta a características de fondo en el cauce,

éstas se refieren fundamentalmente a la determinación de un coeficiente llamado de rugosidad o de fricción el cual interviene en forma muy importante en la determinación del coeficiente de reaeración. Este coeficiente de rugosidad se identifica mediante la letra N y representa la resistencia que opone el cauce al flujo de la corriente en el mismo y está en función del tipo de material del lecho del río. En el capítulo 5 se presenta una tabla de valores del coeficiente de rugosidad propuestos por el Ingeniero irlandés Robert Manning para cursos naturales, ésta tabla es de gran utilidad práctica dado que presenta diferentes casos de tipos de lecho en los cauces naturales.

Por otra parte en cuanto al orden de corriente, se puede decir que su determinación nos dará la información necesaria para saber el número de aportaciones que recibe la corriente, así como saber los puntos o sitios de incorporación al cauce principal.

En términos generales, el orden de corriente es un número que queda determinado por la característica de ser tributaria o no una corriente, en función de considerarla como permanente o intermitente, todo esto referido a las características hidrológicas y morfológicas de la cuenca a la cual pertenezcan.

Para obtener el orden de las corrientes se empieza del nacimiento de las mismas hasta el punto de interés, de acuerdo

a los siguientes criterios:

- a) Serán de orden 1 todas las corrientes intermitentes o perennes que no tengan otros tributarios.
- b) Serán de orden 2, aquellas corrientes resultado de la unión de dos de orden 1.
- c) Serán de orden 3, aquellas corrientes resultado de la unión de dos de orden 2, y así sucesivamente.
- d) Predominará el orden mayor, cuando se unan dos corrientes de diferente orden.

Como nota final, se mencionará que la corriente principal se identificará por aquella que predomine en orden y reciba la mayor cantidad de tributarios en su longitud.

Así entonces en la figura 3.1, se muestra un ejemplo de obtención de ordenes de corrientes, donde se puede ver lo antes explicado. También de importancia es la forma de la cuenca así como su área de extensión, porque a partir de esto se puede pronosticar un volumen de escurrimiento en las corrientes de acuerdo a la frecuencia y distribución en tiempo y espacio de la precipitación pluvial. Y con todo esto determinar posibles aportaciones al caudal promedio transportado en un tramo aislado de alguna corriente en estudio y también calcular aproximadamente derivaciones y/o extracciones de agua de la corriente natural.

De las características ya mencionadas, falta agregar que se pueden obtener directamente en campo mediante procedimientos de aforo y de sondeo en el caso de determinaciones de secciones hidráulicas y material de fondo.

De los procedimientos de aforo se habla en la siguiente sección, además de explicar el origen del escurrimiento superficial y la obtención de gastos de diseño en las corrientes, en función de la historia hidrométrica de ésta, usando para ello alguna distribución probabilística de eventos de las existentes para éste efecto.

FIGURA 3.1
EJEMPLO DE OBTENCION DE ORDENES DE CORRIENTE



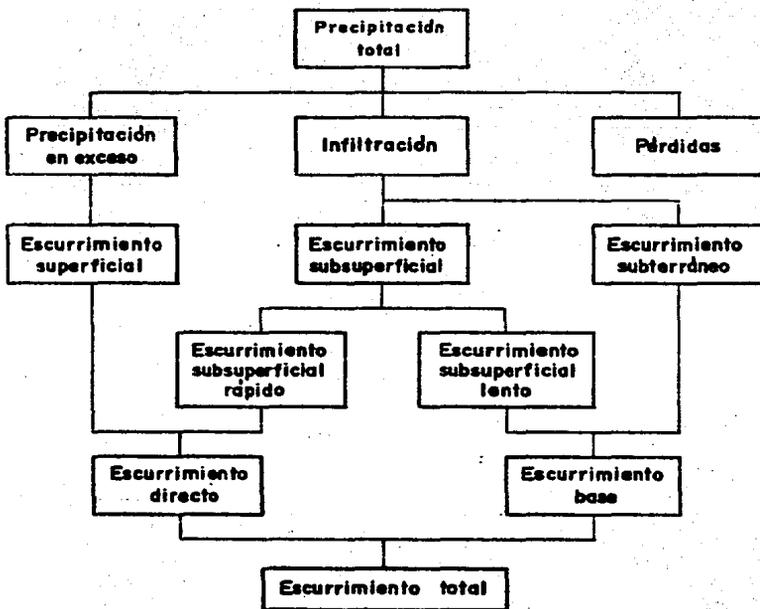
3.3. DETERMINACION DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN CORRIENTES NATURALES.

Es el escurrimiento la parte de la precipitación drenada por las corrientes de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes, y con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial y subterráneo, sólo interesándonos para efecto de éste trabajo aquél que es superficial.

El superficial es aquél que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y sólo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que ésta cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se denomina precipitación en exceso.

La participación del escurrimiento superficial en el escurrimiento total en una cuenca se puede observar en la figura 3.2, donde se puede notar que su influencia en porcentaje respecto al total sólo es de un 25% aproximadamente, además que representa aproximadamente el 50% del escurrimiento directo. Como es de suponerse éstos porcentajes se verán sujetos a variaciones de acuerdo a las características geológicas, morfológicas y hidrológicas y de clima propias de la cuenca a la cual pertenecen las corrientes -

FIGURA 3.2
RELACION ENTRE LA PRECIPITACION
Y EL ESCURRIMIENTO TOTAL



en estudio, es decir éstos porcentajes se mencionan solo - para indicar su contribución teórica.

El proceso de escurrimiento depende de las condiciones --- geológicas existentes en la cuenca y de la cantidad de --- agua producida por la tormenta, además de que existan depó--- sitos de agua subterránea cerca del cauce.

Después de que las depresiones del suelo han sido llenadas y que la vegetación existente ha tomado la agua que necesi--- ta, si la intensidad de lluvia excede a la capacidad de -- infiltración del suelo, la diferencia es la llamada lluvia en exceso, hpe. Esta lluvia en exceso primero se acumula_ sobre el terreno como detención superficial D. Y a conti--- nuación fluye hacia los cauces. A éste movimiento se le - denomina flujo por tierra, y el agua que en ésta forma lle--- ga a los cauces es el escurrimiento superficial.

Un escurrimiento superficial puede ser perenne si además - del agua aportada por la lluvia en exceso, tiene una apor--- tación directa de agua subterránea a lo largo de un tramo de cauce o bien en sitios puntuales en su recorrido. Esto se puede ver en la figura 3.3.

Así también un escurrimiento efímero se origina cuando só--- lo tiene aportación de agua de la lluvia en exceso y ade--- más tiene varias derivaciones que hacen que su caudal se - vea reducido. Esto aunado a lo principal, que es la ausen--- cia de aportación de agua de las aguas subterráneas que - pueden estar muy separadas del cauce o bien su nivel freá---

FIGURA 3.3
ESCURRIMIENTO PERENE

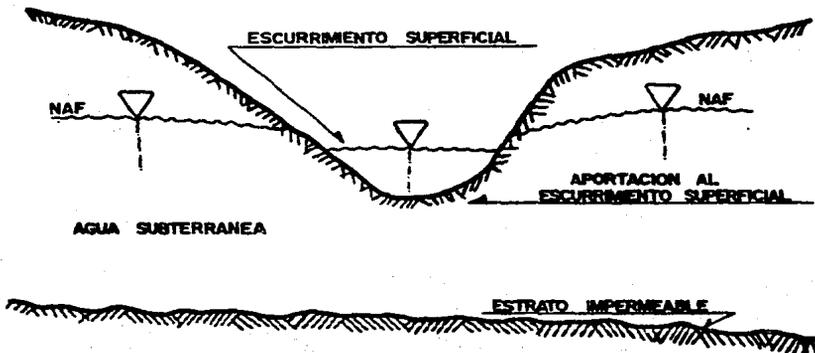
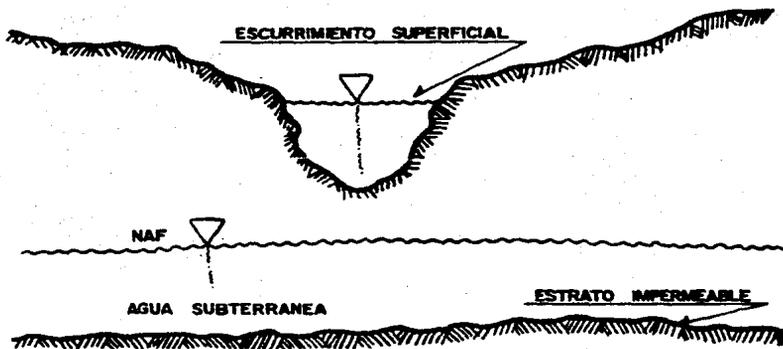


FIGURA 3.4
ESCURRIMIENTO EFIMERO



tico sea muy profundo debido a las características geológicas del terreno en esa zona. Esta separación puede notarse en la figura 3.4.

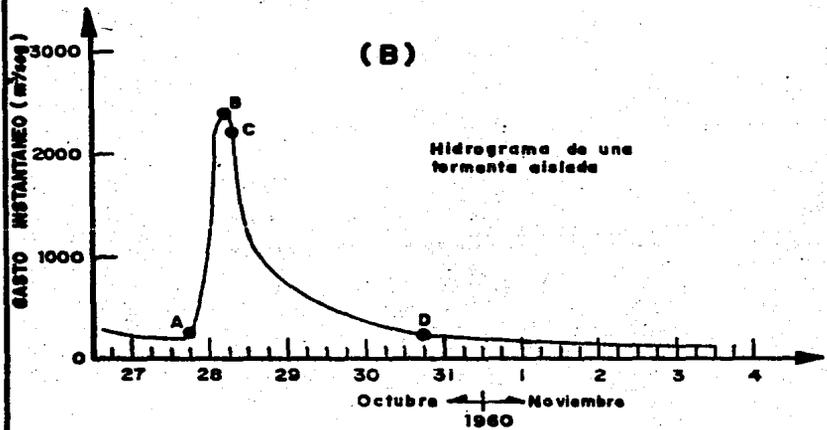
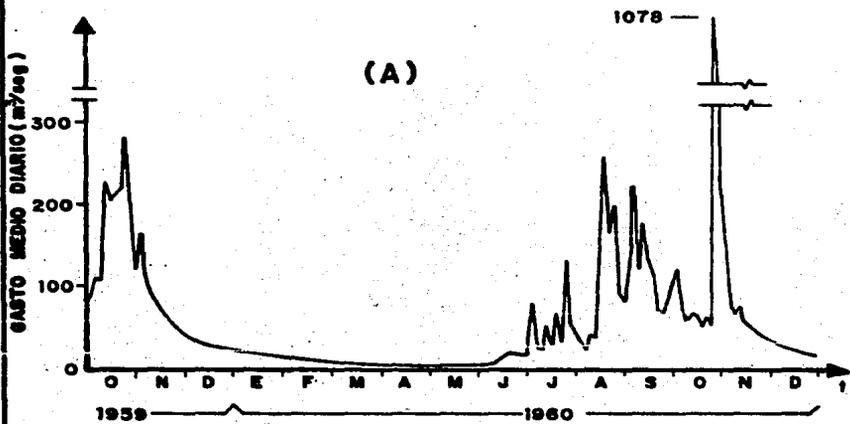
Ahora bien para estimar los volúmenes escurridos de agua - debidos a la aportación de la lluvia en exceso y al escurrimiento base en una corriente perenne, son usados hidrogramas, que en términos generales son la representación gráfica de sus variaciones de flujo, arregladas en orden cronológico, donde para expresar el flujo de agua escurrido se usa el gasto, que es la relación del volumen escurrido contra el tiempo necesario para ello. En la figura 3.5 se muestra un Hidrograma típico para una historia de datos hidrométricos (a), y el hidrograma típico para una tormenta aislada (b).

De la figura 3.5a, puede observarse que se tienen gastos máximos (picos de la curva) a intervalos de tiempo que a veces por conveniencia pueden considerarse constantes, así como gastos mínimos durante la época de sequías en el año.

Estos gastos mínimos son los que nos interesarán para determinar las condiciones más críticas en una corriente natural cuando se vierte en ella una cantidad o volumen importante de aguas servidas. De esto enseguida se hablará.

También en la figura 3.5b, se puede ver que el gasto escurrido en un cauce después de una tormenta crece poco después de que ésta ha cesado hasta tener un máximo y luego -

FIGURA 3.5
HIDROGRAMAS TÍPICOS DE UNA CORRIENTE NATURAL



se va aminorando a medida que transcurre el tiempo y la mayor de la agua precipitada ha sido desalojada hasta alcanzar un gasto medio en el cauce, pudiendo suceder que el cauce se seque si ya no tiene aportaciones de agua, ya sea ésta por pequeñas corrientes tributarias o por aportaciones de agua subterránea.

Como se dijo antes, lo que a nosotros interesa para este trabajo es determinar gastos mínimos en cauces naturales para planear la cantidad y calidad de descargas de aguas servidas en éstos a fin de no contaminar sus aguas, ya que en ésta situación se presentan las condiciones críticas de los mismos respecto a su calidad.

Los gastos mínimos en una corriente se presentan en la época de sequía, la cual en México va de Diciembre a Mayo. Siendo por lo general los meses más críticos: Marzo, Abril y Mayo, pues éstos se ubican al final del período seco, siendo ésta la época en que las corrientes presentan menor gasto. Asociado al gasto mínimo de un río se encuentra su capacidad de dilución de sustancias contaminantes; así como el volumen descargado y el nivel mínimo de aprovechamiento para usos que utilizan tomas directas de las corrientes y los requerimientos de un cuerpo de agua para sustentar vida acuática de manera permanente.

La medición de gastos, sean mínimos o máximos se realiza directamente en la corriente, esto es; mediante el procedimiento de aforo, que consiste en determinar el gasto que

pasa por una corriente, en la unidad de tiempo. Y existen diversas formas de aforar una corriente, dependiendo de -- las características del río, así como del equipo disponi-- ble en las estaciones hidrométricas ubicadas en lugares -- estratégicos de la cuenca.

En lo que respecta a los métodos de aforo de una corriente, éstos se pueden agrupar en los tres siguientes criterios:

1. Secciones de control.

Este criterio es el más exacto de los tres, pero sólo es - aplicable a cauces artificiales o a ríos de sección peque-- ña y escaso escurrimiento. Para más detalle consultar la referencia 8 .

2. Relación sección - velocidad.

Este criterio es el más usual en ríos, y se basa en el --- principio de continuidad en Hidráulica, ésto es que:

$$Q_e = Q_s \quad \text{donde:} \quad \begin{aligned} Q_e &= V_e A_e \\ Q_s &= V_s A_s \end{aligned}$$

donde: Q_e es el gasto que entra en un volumen de control.
 Q_s es el gasto que sale de ése volumen de control.

Lo anterior implica que para conocer el gasto de un río, - en cierta sección de éste, se requiere valuar su velocidad y su área. Esto se puede consultar con más detalle en la referencia 8.

3. Relación sección - pendiente

Este criterio es empleado para completar los registros que no pudieron obtenerse mediante el criterio 2, aunque es -- muy usado para obtener gastos máximos de la corriente cuando no se dispone de aparatos de medición. Además, éste -- criterio permite obtener el gasto de una corriente a partir de la fórmula de Manning, que como es sabido relaciona las características geométricas de la sección del cauce -- con su pendiente y con las características de fondo (coeficiente de rugosidad) del mismo. Para más detalles consultar la referencia 8 .

En complemento al aforo de corrientes, también se puede decir lo siguiente del volumen de aguas negras que se dispondrán en la corriente. El gasto de descarga de aguas servidas puede obtenerse mediante un aforo de la descarga o --- bién mediante una estimación de su volumen en base al número de habitantes del poblado que origina ésta descarga, -- así como de un coeficiente llamado de retorno usando el -- gasto máximo estimado por disponer en función de la dotación de agua a dicha población.

Como conclusión a los criterios de aforo, ahora se hablará de como determinar el gasto de diseño que se consideraría para efecto de calcular el proceso de asimilación y dilución en una corriente natural.

Así entonces, de la historia hidrométrica de la corriente en estudio se seleccionarán aquellos registros de gastos

mínimos ocurridos para que por medios estadísticos y probabilísticos se puedan inferir resultados de diseño.

Estos valores seleccionados se pueden ajustar mediante disintos métodos numéricos de distribuciones de probabilidad, tales como: La Distribución Normal, la Poisson, la Logarítmica - Normal, la Gamma, la Binomial, la Gumbel, la T'student, la ji cuadrada, la Nash, etcétera. El seleccionar - una u otra distribución dependerá del grado de ajuste que éstas tengan en relación al registro de datos y su tendencia en el tiempo.

De entre éstas distribuciones, a continuación se menciona una en particular; La Log-Normal, sólo para ilustrar y dar una herramienta que pueda ser útil para el cálculo de un gasto de diseño en una corriente natural en base a un grupo de datos recopilados para éste propósito.

Como el fin del presente trabajo es dar una herramienta -- útil para poder obtener un gasto de diseño en base a probabilidades y datos estadísticos, las siguientes expresiones que se presentan no tendrán un desarrollo matemático, sino que se dan de manera aislada. Para mayor información acudir a la referencia 12.

Así pues, la expresión que permite calcular el gasto de diseño en un cauce es:

$$Q = Q - S_Q (0.78 w - 0.45)$$

donde: $W = - \ln \ln (T / T - 1)$

donde: Q es el gasto de diseño en el cauce que corresponde al gasto mínimo más crítico que se espera --- ocurra para un período de retorno T .

Q es el gasto medio del grupo de gastos mínimos registrados.

S_Q es la desviación estándar del grupo de datos del registro, permitiéndose una variación hasta ---- incluso del 40% con respecto a la media, para éste criterio.

W es una función que relaciona, al período de re-
torno T con una distribución Log-Normal, o de valores extremos de probabilidad.

T es el período de retorno del evento extraordinario seleccionado para cada caso.

El período de retorno seleccionado dependerá del riesgo que se tome para éste efecto en base a las siguientes probabilidades.

La probabilidad de que el gasto X ocurra por lo menos una - vez en N años es lo que se le llama riesgo, ésto es:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Así mismo, la probabilidad de que el gasto X , no ocurra en

N años es:

$$P(Qx) = (1 - 1/T)^N$$

También, la probabilidad de que el gasto X, no se presente en cualquier año es:

$$P(Qx) = 1 - 1/T$$

Y como complemento a lo anterior, se puede decir que la -- probabilidad de que el gasto X, ocurra en cualquier año es:

$$P(Qx) = 1/T$$

De la expresión para calcular el riesgo se puede notar que si se quiere un riesgo igual a cero se tendría que tener un período de retorno igual a infinito, lo cual no puede suceder, así pues será necesario tomar un razonable porcentaje de riesgo para obtener un período de retorno de factible ocurrencia.

PARAMETROS DE CALIDAD DEL AGUA E IMPORTANCIA SANITARIA

En éste capítulo se hace una clasificación de las aguas residuales que se generan en las localidades, en función del origen del uso de las mismas y atendiendo a sus características físicas, químicas y biológicas más comunes. También se describen los parámetros de contaminación en las aguas descargadas así como sus efectos al mezclarse con las aguas claras de una corriente cualquiera.

Además como parte fundamental de éste capítulo se mencionan algunos de los usos posibles del agua de corrientes naturales indicando los límites tolerables (para sustancias potencialmente peligrosas) para contaminantes presentes en cada tipo de agua en acuerdo a los índices mínimos de calidad que deben cumplir éstas aguas.

Y como complemento a todo lo anterior, al final se hace una descripción un tanto detallada de los contaminantes más comunes encontrados en las aguas de desecho mencionando sus efectos en los seres vivos (flora y fauna) de la corriente así como sus efectos en el ser humano como consecuencia de su ingestión, bien sea ésta; accidental y /o provocada. También se indican sus efectos en otros usos diferentes al de consumo humano, como pueden mencionarse por ejemplo; para usos industriales, agrícolas, pecuarios, etc.

4.1 CLASIFICACION DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales que se vierten en corrientes naturales - se pueden clasificar de acuerdo a su origen en tres grandes - grupos como a continuación se muestra:

a) Aguas residuales de origen municipal.

Estas aguas son generalmente de origen doméstico, público y - comercial, cuyas características promedio se muestran en el - cuadro 4.1 de acuerdo a cada zona económica del país.

Para el caso del Valle de México donde el gasto de aguas resi-
duales es aproximadamente de $51 \text{ M}^3/\text{seg}$ (4.4 millones de M^3
al día) en el período 1977 - 1982, el 60% correspondía a ---
aguas residuales domésticos, el 36% a aguas residuales indus-
triales y el 4% restante a otras actividades, fugas y desper-
dicios del agua. En particular en el cuadro 4.2 se muestra --
la calidad del efluente típico en el gran canal del desagüe.

b) Aguas residuales de origen industrial.

Las aguas de origen industrial como su nombre lo indica son -
aquellas aguas usadas en procesos industriales y luego descar-
gadas en algún cuerpo receptor. Estos procesos industriales_
son muy variados dados las múltiples bondades del líquido ---
agua, ya que por ejemplo dada su gran capacidad calorífica --

es usada para enfriar o calentar otros cuerpos, de donde se obtiene una agua modificada en su temperatura natural en la corriente y que puede representar un peligro para la flora y fauna del cuerpo receptor natural que la recibirá después de haber sido usada.

Además de tener agua de desecho por transferencia de calor en la industria, se tienen por ejemplo aguas residuales que fueron utilizadas para transporte de materias, lavado de materias primas, dilución de desechos orgánicos, generación de energía eléctrica, como lubricante, etcétera.

Así entonces, sus características físico, químicas y biológicas pueden afectar en gran medida a un ecosistema si no se vigilan estrechamente, de aquí la importancia de crear una reglamentación estricta que regule la cantidad y calidad de las aguas servidas dispuestas en las corrientes naturales, así como de la ubicación de éstas descargas en la longitud propia del cauce.

Este tipo de aguas producen diversos grados de contaminación en función de los artículos producidos por las industrias y del proceso empleado para fabricarlos. Como es el caso de la industria alimenticia, la cual produce aguas residuales con una alta concentración de materia orgánica que es fácilmente degradable, pero que cuando es grande su concentración representa un serio problema de contaminación en las corrientes naturales donde es descargada.

También existen aguas residuales industriales, que contienen alta concentración de materia orgánica de difícil degradación como en el caso de la industria petroquímica y la industria química básica.

Otras descargas industriales contienen cantidades apreciables de sales en solución, como es el caso de algunas industrias encargadas de elaborar fertilizantes, pigmentos y sales inorgánicas.

Algunas otras aguas residuales contienen compuestos tóxicos o bien pueden resultar tóxicas por la alta concentración con que son descargadas, como por ejemplo se pueden citar las cordurías, cromadoras, plantas de acrilonitrilo, de tetraóxido de plomo, etc.

El hecho de que diversas industrias desechen residuos que podrían aprovecharse a través de sus descargas, indica una falta de reutilización de desechos industriales como materia para otras industrias así como la del recurso. Por otra parte, se ha detectado que la industria azucarera es la que más agua residual industrial descarga, representando el 54% del país, estimándose además que la industria química, petroquímica, de la celulosa y el papel descargan aproximadamente el 30% del agua residual industrial del país.

En el cuadro No. 4.3 se muestran las industrias principales, su localización y el tipo de contaminantes contenidos en sus desechos líquidos.

c) Aguas residuales de origen agrícola y pecuario.

Invariablemente las aguas residuales agrícolas que retornan a los cuerpos de aguas, contienen toda clase de fertilizantes y plaguicidas que son utilizados en los cultivos.

A continuación se dan algunos ejemplos de lo antes expuesto. En el Distrito de riego No. 75, que se localiza en el Valle del Fuerte, Sinaloa; en 1978 se utilizaron aproximadamente unos 408,000 litros y 624,000 Kg (en términos de formulación comercial y no de ingredientes activos) de plaguicidas, correspondiendo el 73% a ferforados, el 18% a organoclorados y 9% a los del tipo carbonato. En el cuadro 4.4, se presenta una comparación de los resultados de plaguicidas encontrados en los Distritos de riego No. 10 y No. 75.

Además el transporte de nutrientes de los drenes agrícolas del Distrito No. 75 a las bahías, fue de :

Aportación de fósforo :	1,853 Kg/día
Aportación de nitrógeno :	1,982 Kg/día

A continuación se muestran los cuadros 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4. mencionados en los párrafos anteriores.

En cuanto a las aguas de origen pecuario, se puede decir que el principal contaminante que contienen es la alta concentración de materia orgánica, defecada por ganados existentes en regiones cercanas a corrientes naturales, según el giro de actividad pecuaria preponderante en esas zonas.

Los excrementos del ganado fundamentalmente van a dar a una corriente natural cuando en los establos se realiza el trabajo de lavado tanto de instalaciones del establo como del propio ganado, originando con ésto que se tengan que desalar aguas sumamente turbias con alta concentración de materia orgánica, lista a ser degradada en el cuerpo receptor - de destino, provocando con ésto que en la corriente natural se pueda llegar a tener un déficit crítico de oxígeno (Dc, más adelante se explicará ésto con detalle) debido a la alta demanda bioquímica de oxígeno (D B O) para reducir a sustancias inorgánicas dicha materia orgánica.

Los principales contribuyentes a la producción de éstos de sechos orgánicos de los animales, son los que en el giro de actividad económica pecuaria se dedican a la crianza y --- engorda de ganados: Vacuno, bovino y porcino fundamentalmente y enseguida los que se dedican a la crianza y engorda de ganados: Caprino, ovino y caballar. Y en menos escala con respecto a éstos, se encuentra la avicultura dedicada a la crianza y engorda de aves de corral, además de aves de corral ponedoras con un promedio de aportación mayor debido - a su existencia más larga.

Los principales Estados de la República dedicados a la --- crianza y engorda de ganado vacuno son: Veracruz, Chihuahua, Jalisco, Sonora y Zacatecas, Nayarit, Aguascalientes, Guanajuato y parte de Nuevo León, Tabasco y Yucatán.

Los Estados de la República dedicados a la crianza y engorda de ganado caprino son: Zacatecas, Oaxaca, Coahuila, Puebla y Nuevo León, no siendo ésta actividad, exclusiva de ellos.

Por lo que respecta al ganado porcino, se puede mencionar que los estados donde más abunda éste tipo de ganado son: Michoacán, Guanajuato, Puebla, Tlaxcala, Zacatecas, Veracruz y parte de Jalisco, Hidalgo y Sinaloa.

Los anteriores Estados casi corresponden también a los que -- principalmente se dedican al ganado caballar, entre los cuales se pueden mencionar a : Veracruz, Jalisco, Michoacán, Zacatecas y Chiapas.

Finalmente en lo que se refiere a la avicultura, ésta se practica más abundantemente en: Jalisco, Veracruz, Puebla, México Michoacán, Querétaro, Tlaxcala y partes importantes de Sonora Chihuahua y Coahuila.

CUADRO No. 4.1

CARACTERISTICAS PROMEDIO DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES
EN TRES ZONAS DEL PAIS Y EL VALLE DE MEXICO.

PARAMETRO *	ZONA NORTE	ZONA CENTRO	GOLFO Y SURESTE	VALLE DE MEXICO
pH, unidades	7.1	7.2	7.1	7.78
Temperatura	15.4	25.8	24.9	-----
D B O a los 5 días	229.2	325.7	158.7	199.00
D Q O	461.9	684.1	307.1	597.00
Sólidos sedimentables	1.6	8.7	7.2	-----
Grasas y aceites	45.7	60.3	57.5	78.00
N - amoniacal	23.1	28.6	16.1	6.30
N - orgánico	18.5	18.1	16.2	-----
N - total	39.7	41.4	27.0	-----
PO4 total	23.3	12.9	36.1	-----
SAAM	11.9	9.8	17.6	3.80
Sólidos totales	1,355.6	1,115.2	1,004.9	1,845.00
Sólidos suspendidos totales	218.9	316.4	237.7	-----
Sólidos disueltos totales	1,326.2	815.5	740.2	-----
Sólidos volátiles totales	443.1	524.2	479.8	-----
Sólidos suspendidos volátiles	114.0	228.8	159.7	-----
Sólidos disueltos volátiles	352.4	292.4	295.1	-----
Sólidos fijos totales	919.7	617.4	574.0	-----
Sólidos fijos suspendidos	105.0	106.0	82.1	-----
Sólidos fijos disueltos	973.4	511.3	481.4	-----

* Unidades en miligramos por litro, salvo el pH y la temperatura

FUENTE : Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.

S A R H (1975)

CALIDAD DE LAS AGUAS NEGRAS EN EL GRAN CANAL DEL DESAGUE.

PARAMETROS	VALORES CARACTERISTICOS
pH, unidades	7.78
DBO a los 5 días, mg/l	199.00
DQO, mg/l	597.00
N - amoniacal, mg/l	6.30
Ortofosfatos, mg/l	4.03
Sulfafos, mg/l	94.00
S A A M, mg/l	3.80
Cloruros, mg/l	235.00
Sólidos totales, mg/l	1,845.00
Sólidos totales volátiles, mg/l	620.00
Grasas y aceites, mg/l	78.00

FUENTE : Protección y Mejoramiento de la Calidad del Agua.

S.R.H. (1975)

CUADRO No. 4.3

INDUSTRIAS HUMEDAS PRINCIPALES, LOCALIZACION Y TIPO DE CONTAMINANTES CONTENIDOS EN SUS DESECHOS LIQUIDOS.

TIPO DE INDUSTRIA	LOCALIZACION (ESTADO)	TIPO DE CONTAMINANTES.
Azucarera.	Veracruz, Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Michoacán, Tamaulipas, S.L.P., Guerrero, Morelos, Tabasco, Oaxaca, Chiapas y Campeche.	Materia orgánica en suspensión, sólidos semientables, grasas y aceites compuestos químicos utilizados en el proceso pH, temperaturas mayores a las permitidas, fosfatos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos, detergentes.
Empacadoras de frutas y legumbres.	Distrito Federal, Guanajuato, Estado de México, Michoacán, Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, B.C.N. y Puebla.	Materia orgánica, gérmenes en suspensión, colorantes, pH, temperaturas no permitidas y detergentes.
Metálicas Básicas	Michoacán, Coahuila, -- Nuevo León y Puebla.	pH, temperatura alta, polvos óxidos tóxicos.
Celulosa y papel	Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Tlaxcala, Veracruz Jalisco, Chihuahua, Guerrero y Oaxaca.	Materia orgánica en suspensión o dilución, azúcares y breas, celulosas ligninas y bagazo.
Eléctrica (Termoeléctrica)	Todo el país	Temperaturas altas, pH, sólidos suspendidos y en disolución, nitrógeno, fosfatos y coliformes.
Cortiduría	Distrito Federal, Guanajuato, Jalisco, Nuevo León y Veracruz.	Materia orgánica en suspensión, pH, sulfuros, fenoles, grasas, colorantes, taninos, cromo y sus compuestos y otros tóxicos.
Acabado de metales	Distrito Federal, Jalisco, Nuevo León, Estado de México.	ácidos, cianuros, cromatos y otros materiales pesados como zinc, cobre y cadmio, todos ellos tóxicos.

CONTINUACION DEL CUADRO No. 4.3

<p>Petroquímica básica.</p>	<p>Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Chiapas, Puebla, Hidalgo, - Guanajuato, Estado de México Chihuahua y Sonora.</p>	<p>Acidos, álcalis, sulfuros, aceites, fenoles, plomo, - nitrógeno, fosfatos, fierro y otros elementos tóxicos.</p>
<p>Vitivinícola y cervecera.</p>	<p>Coahuila, Aguascalientes, Durango, B.C., Sonora, Chihuahua, Nuevo León, Sinaloa, Veracruz, Yucatán, Estado de México y -- D.F.</p>	<p>materia orgánica, pH, colorantes, detergentes.</p>
<p>Textil</p>	<p>Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, D.F.</p>	<p>Colorantes, detergentes, pH, temperatura alta.</p>
<p>Beneficios de café</p>	<p>Chiapas, Veracruz, Oaxaca, -- Puebla, Hidalgo, Nayarit.</p>	<p>Materia orgánica, pH, detergente, espuma.</p>
<p>Fertilizantes</p>	<p>Veracruz, Michoacán.</p>	<p>pH, temperaturas altas, grasas y aceites, carbonato de calcio, nitratos, fosfatos, coliformes</p>

FUENTE : Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.
S.A.R.H. (1975)

CUADRO 4.4.

CANTIDADES DE PLAGUICIDAS ENCONTRADOS EN LOS DISTRITOS DE RIEGO No. 10 y No. 75 (Valle del Fuerte, Sinaloa).

CONTAMINANTE	CONCENTRACIONES ENCONTRADOS		NIVELES	PERMISIBLES
	DISTRITO DE RIEGO No. 10	DISTRITO DE RIEGO No. 75	D. A.	DESCARGA EN LAGOS Y ESTUARIOS
	1973 - 1974	1974 - 1975	mg / l	mg / l
D D E	0.1523	0.0583	+	
D D T	0.3878	0.0107	0.042	0.60
Endrín	0.1594	0.5360	0.001	0.20
Heptacloro	0.6572	0.0026	0.018	0.20
Aldrín	0.1022	0.0190	0.017	0.40
Dieldrín	0.0267	x	0.017	0.30
Lindano	0.1067	x	0.056	0.20
D D D	0.1439	x	+	+
Clordano	x	x	0.003	2.00
Epóxido de heptacloro.	x	x	0.018	0.20
Metoxicloro	x	x	0.025	4.00

D.A. = Abastecimiento para sistema de agua potable e industria alimenticia con desinfección únicamente.

+ = No reglamentado

x = No reportado

FUENTE : Protección y Mejoramiento de la Calidad del Agua S. R. H. (1975).

4.2. PARAMETROS DE CONTAMINACION Y SUS EFECTOS.

4.2.1 Aguas negras domésticas y efluentes industriales.

El reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas define, en su artículo 70 a las ---- Aguas residuales de Usos Puramente Domésticos de la siguiente manera: " Son las aguas residuales que se generan y provienen de las casas habitación, y que no han sido utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas y pecuarios ".

Además la composición de las aguas negras domésticas es, en general, bastante uniforme en lo que se refiere a sus características físicas, químicas y biológicas. El cuadro 4.5 presenta valores comunes de los parámetros contaminantes cuya presencia es frecuente en ---- éstas.

De la observación detenida de este cuadro se desprende que, dependiendo de la concentración de los contaminantes, el agua residual se puede clasificar como elevada, regular o baja, aclarando que, tanto la concentración como los mismos contaminantes no son constantes sino que varían considerablemente de acuerdo con la hora, día, semana y mes de que se trate, así como de otras varias condiciones locales que se puedan presentar.

COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL CRUDA DE ORIGEN DOMESTICO.

* TODAS LAS CONCENTRACIONES EN Mg/l EXCEPTO LOS SOLIDOS SEDIMENTABLES QUE ESTAN EXPRESADOS EN ML/L.

COMPONENTES	CONCENTRACION		
	ELEVADA	REGULAR	BAJA
Sólidos totales	1200	720	350
Disueltos, totales	850	500	250
fijos	525	300	145
volátiles	325	200	105
Suspendidos, totales	350	220	100
fijos	75	55	20
volátiles	275	165	80
Sólidos sedimentables	20	10	5
D B O ₅	400	220	110
Carbono orgánico total	290	160	80
D Q O	1000	500	250
Nitrógeno, total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo, total	15	8	4
Orgánico	5	3	1
Inorgánico	10	5	3
Cloruros (1)	100	50	30
Alcalinidad (1) (CaCO ₃)	200	100	50
Grasas y aceites	150	100	50

(1) La proporción puede incrementarse dependiendo de la cantidad presente en el abastecimiento.

FUENTE: Met-calf and Eddy. Waste Water Engineering, Treatment, Disposal, Reuse, E.U.A. 1979.

Por otra parte en lo que se refiere a efluentes industriales; del agua que se emplea en la industria solamente una parte se incorpora a sus productos o se pierde por evaporación. En general la mayor parte del flujo se vierte finalmente a los cuerpos receptores en forma de agua de desecho.

Las características de calidad del agua de los efluentes de las industrias están en función del uso que del agua se haya hecho. Es claro, que dependiendo del uso que haya tenido el agua, los contaminantes y su concentración variarán en forma importante de proceso a proceso y de industria a industria.

Debido a lo anterior y a la gran variedad de tipos de industrias que se tienen actualmente, así como a la cantidad tan enorme de procesos en los cuales el agua juega un papel importante es imposible generalizar con respecto a las características de calidad de sus efluentes.

El cuadro 4.6 presenta un resumen del origen de los desechos industriales, y de sus principales características de calidad en forma cualitativa.

En un principio puede pensarse que las industrias tienen derecho a descargar sus desechos líquidos en el sistema local de alcantarillado y a su vez éste descargar en cualquier corriente natural cercana. Sin embargo esto debe ser considerado con bastante cuidado, puesto que, en general, la concentración de ciertos parámetros en los efluentes industria

les es mucho mayor que en las aguas negras. Para ilustrar esto en el cuadro 4.7 se presenta una comparación de las cargas contaminantes de cuatro industrias contra las aguas negras domésticas. Cabe recordar que los valores permisibles de las concentraciones de los contaminantes han sido citados en el capítulo 2. De la observación de éste cuadro es fácil concluir que el problema que los efluentes industriales representan debe ser tratado en forma separada al de las aguas negras domésticas.

En el caso particular de nuestro país son ocho las industrias que generan el 97 % de los contaminantes descargados en cuerpos receptores. En el cuadro 4.8 se presenta la participación, en cuanto a contaminación, de cada una de éstas ocho industrias.

DESECHOS INDUSTRIALES, SU ORIGEN Y CARACTERISTICAS.

INDUSTRIA	ORIGEN DE LOS DESECHOS	PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE.
Textiles	Cocción de fibras, desmenuzamiento de las mismas.	elevada alcalinidad, color, DBO elevado, temperatura, sólidos suspendidos altos.
Cortiduría	Eliminación del pelo, impregnación, lavado.	Sólidos totales altos, sulfuros, cromo, pH, cal precipitada y DBO alta.
Lavandería	Lavado	Turbiedad alta, alcalinidad y sólidos orgánicos.
Enlatado	Picado, lavado y enjuagamiento, blanqueado.	Alto en sólidos suspendidos, materia orgánica coloidal disuelta.
Lácteos	Dilución, lavado y deshidratado.	Mucha materia orgánica, principalmente proteínas, grasa y lactosa.
Cervecería y bebidas destiladas	Separación y prensado del grano, residuos de la destilación y condensación de la evaporación.	Sólidos orgánicos disueltos elevados, almidones fermentados y nitrógeno.
Carne	Patios, destazamiento, desechos de huesos y grasas, lavado.	Muy elevada concentración de materia suspendida y disuelta, sangre y otras proteínas, grasas.

CONTINUACION DEL CUADRO 4.6

INDUSTRIA	ORIGEN DE LOS DESECHOS	PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE.
Criaderos y animales.	Excreciones	Alta concentración de DBO y sólidos suspendidos.
Farmacéutica	Micelios, filtración y lavado.	Materia orgánica suspendida, vitaminas disueltas.
Levadura	Residuos de filtración	Sólidos orgánicos y DBO.
Café	Molienda y fermentación del grano.	Sólidos suspendidos y DBO.
Pescadería	Desechos de centrifugación, prensas, evaporador y otros productos del lavado.	DBO muy elevada, olor y -- sólidos orgánicos.
Arroz	Impregnación, cocción y lavado.	DBO muy elevada, sólidos -- totales y suspendidos, --- principalmente almidón.
Refrescos	Lavado de botellas, piso y equipo, tanque de concentrados.	DBO, pH muy alto, sólidos suspendidos.
Pastelería	Lavado y engrasado de molinos, lavado de pisos y utensilios.	DBO elevada, grasa, azúcares, harina, detergentes
Producción de agua	Lavado de filtros, lodos, - alumbre.	Minerales y sólidos suspendidos.
Pulpa y papel	Cocción, refinamiento, lavado de fibras, tamizado de - pulpa.	pH alto y/d bajo, color, -- sólidos disueltos, suspendidos y coloidales.

CONTINUACION DEL CUADRO 4.6

INDUSTRIA	ORIGEN DE LOS DESECHOS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE .
Productos fotográficos	Soluciones de revelados - y fijador.	Alcalinidad, agentes, reductores orgánicos e inorgánicos.
Acero	Coquización del carbón, lavado de gases, molienda del material.	pH bajo, ácidos, cianogeno, fenol, mineral, cal, álcalis, aceites, desperdicio de carbón y molienda, sólidos suspendidos.
Terminado de metales	Eliminación de óxidos, limpieza y tratamiento del metal.	Volúmenes reducidos, ácidos, metales, sustancias tóxicas, minerales.
Fundición de hierro.	Lavado de arena.	Sólidos suspendidos, principalmente arena, arcilla y carbón.
Campos petroleros	Lodos de perforación, sales, aceites y gas natural, lodos, ácidos y aceites varios de la refinación.	Sales disueltas de los campos, DBO elevada, olor, fenol, compuestos de azufre en refinerías.
Hule	Lavado de látex, coagulación del hule, impurezas del hule crudo.	DBO elevada, olor, sólidos suspendidos, pH variable, muchos cloruros.
Vidrio	Pulido y lavado del vidrio.	Color rojo, sólidos suspendidos, no sedimentables y alcalinos.

CONTINUACION DEL CUADRO 4.6

INDUSTRIA	ORIGEN DE LOS DESECHOS	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE.
Velas	Derrames de cera, condensación del ácido esteárico.	Ácidos orgánicos liposos.
Ácidos	Agua de lavado y dilución.	pH bajo, poco contenido orgánico.
Detergentes	Lavado y purificación de jabones y detergentes.	DBO elevada, jabones saponificados.
Almidón	Condensación del evaporador, melaza de desperdicios, productos del embotellado.	DBO elevada, materia orgánica disuelta, principalmente almidón y sustancias relacionadas con éste.
Explosivos	Lavado T N T y algodón pólvora para purificación.	T N T, color, acidez, olor, ácidos orgánicos y alcohol, aceites y jabones.
Pesticidas	Lavado y purificación de productos.	Materia orgánica, ácida, tóxica para peces y bacterias.
Fosfatos y fósforo	Lavado, tamizado, condensación de reductores.	Arcillas y limos, aceites, pH bajo, sólidos suspendidos elevados, fósforo, sílice y fluoruros.

CONTINUACION DEL CUADRO 4.6

INDUSTRIA	ORIGEN DE LOS DESECHOS	PRINCIPALES CARACTERIS TICAS DEL EFLUENTE.
Plásticos y resinas.	Operaciones unitarias de - la preparación y uso de -- polímeros, derrames y lava do.	Acidos, caústica, materia - orgánica disuelta como fenc les formaldehídos.
Generación de ener - gía con vapor.	Agua de enfriamiento, dre naje.	Temperatura elevada, volúme nes grandes, sólidos inorgá nicos disueltos.
Procesamiento de car bón.	Lavado y clasificación del carbón, eliminación de azu fre con agua.	Sólidos suspendidos altos, principalmente carbón.
Energía nuclear.	Procesamiento de minerales, lavado de prendas contamina das.	

FUENTE : L. Nemerow - Liquid Wastes of Industry, Theory,
Practices and Treatment, E.U.A. 1972.

Cuadro 4.7

COMPARACION ENTRE LAS CARGAS CONTAMINANTES PRESENTES EN --
EFLUENTES INDUSTRIALES Y LAS DE LAS AGUAS NEGRAS DOMESTICAS

ORIGEN DE DESECHO	POBLACION EQUIVALENTE *	
	D B O	SOLIDOS SUSPEND.
Agua negra doméstica	1	1
Desecho de la industria del papel.	16 - 1330	6100
Desecho de industria de curtido.	24 - 48	48-80
Desecho de industria -- textil	0.4-360	130-580
Desecho de industria -- enlatadora.	8 - 800	3 -440

* Personas por unidad de producción diaria.

FUENTE : L. Nemerow - Liquid Waste of Industry - E.U.A. 1972

Cuadro 4.8

PARTICIPACION DE LAS OCHO INDUSTRIAS CONTAMINANTES MAS
 IMPORTANTES DEL PAIS.

I N D U S T R I A	D B O	SOLIDOS TOTALES .
Bebidas	48 %	31 %
Azúcar	28 %	40 %
Productos químicos	15 %	1 %
Papel y celulosa	3 %	3 %
Alimentos	2 %	2 %
Petróleo	0.34 %	19 %
Textil	0.33 %	0.5 %
Siderurgia	0.33 %	0.5 %
T O T A L	97 %	97 %

FUENTE : Comisión del Plan Nacional Hidráulico - S A R H
 Perfil del Uso del Agua en las Plantas de Nueve
 Industrias - México - 1979.

4.2.2. CONTAMINACION EN CORRIENTES NATURALES POR AGUAS --- RESIDUALES.

Dada la importancia del recurso agua en el desarrollo de los asentamientos humanos, es necesario el conocimiento y estudio de los factores que pueden modificar, disminuir o degradar la calidad de dicho recurso, a fin de minimizar el impacto que su degradación pueda originar en el hombre y en su bienestar.

La contaminación del medio por aguas residuales se encuentra en las siguientes condiciones, de acuerdo con la información obtenida de la Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica, S. A. R. H. (1975)

Las 218 cuencas hidrográficas con que cuenta México, la D.G. de Protección y Ordenación Ecológica las ha clasificado en tres ordenes, de acuerdo a su grado de contaminación y a indicadores físicos, económicos y sociales, obteniéndose, como resultado 11 cuencas de primer orden que requieren atención inmediata, ya que en ellas se encuentra el 54% de la carga orgánica, el 59% de la población total nacional, el 52% de la superficie bajo riego y el 77% del valor bruto de la producción industrial, como se podrá observar en el cuadro 4.9.

Las cuencas clasificadas como de primer orden tienen las - características y orden de prioridad que se muestra en el - cuadro 4.10

Así mismo se clasificaron 43 cuencas de segundo orden que - representan el 41% de la carga orgánica, el 22% de la Po - blación, el 45% de la superficie para riego y el 16% del - valor bruto de la producción industrial.

Las 164 cuencas restantes se clasificarón como de tercer grado -- y contienen sólo 5% de la carga orgánica, el 6% de la población total, el 3% de la superficie bajo riego y el 7% del valor de la producción y no representa niveles significativos de contaminación.

Cuadro No. 4.9

CLASIFICACION DE LAS CUENCAS HIDROLOGICAS DE ACUERDO AL PLAN NACIONAL HIDRAULICO.

No. DE ORDEN	No. DE CUENCAS	PARTICIPACION CON RESPECTO AL TOTAL			
		CARGA ORGANICA (%)	POBLACION TOTAL NACIONAL (%)	SUPERFICIE BAJO RIEGO (%)	VALOR BRUTO DE PROD. NAL. (%)
Primero	11	54	59	52	77
Segundo	43	41	22	45	16
Tercero	164	5	19	3	7
TOTAL	218	100	100	100	100

FUENTE : D.G. de Protección y Ordenación Ecológica, S A R H (1975)

Cuadro 4.10

CUENCAS HIDROLOGICAS CON MAYOR GRADO DE CONTAMINACION, CARACTERISTICAS PRINCIPALES EN 1975.

CUENCA	AREA DE LA CUENCA (Km ²)	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL (10 ³ m ³)	POBLACION (HAB.)	APORTACION DE DBO TOTAL (Kg / año)	VALOR BRUTO DE LA PRODUCCION (10 ³ PESOS)
1. Pánuco	67,872	11'810,000	11'079,696	334'721,590	88'879,416
2. Lerma	129,263	7'277,000	7'454,257	134'784,687	25'007,575
3. Balsas	111,300	14'045,000	5'146,041	92'293,830	11'199,163
4. Blanco	2,738	1'095,200	444,960	60'471,569	1'911,777
5. Guayalejo	17,084	2'198,000	156,311	60'426,204	1'299,074
6. San Juan	32,678	129,000	1'606,214	60'278,424	23'615,991
7. Culiacán	21,677	3'141,280	368,784	48'682,455	813,692
8. Fuerte	33,590	5'007,890	252,026	48'163,064	729,293
9. Coahuayana	7,301	1'842,000	194,770	26'423,497	657,403
10. Nazas	59,632	274,000	720,878	16'075,089	3'715,197
11. Conchos	71,964	1'079,460	712,146	11'911,687	2'285,046

FUENTE : D.G. de Protección y Ordenación Ecológica, S A R H 1975.

Es evidente que en la ejecución de distintos procesos las características del agua no serán necesariamente las mismas, es decir, las características deseables del agua destinada al consumo humano difieren notablemente de aquellas de la que se destine al riego de cultivos. De ésta manera se podrían enumerar una serie de ejemplos que nos conducirían a una misma conclusión: la calidad requerida del agua depende fundamentalmente del uso a que se destine ésta.

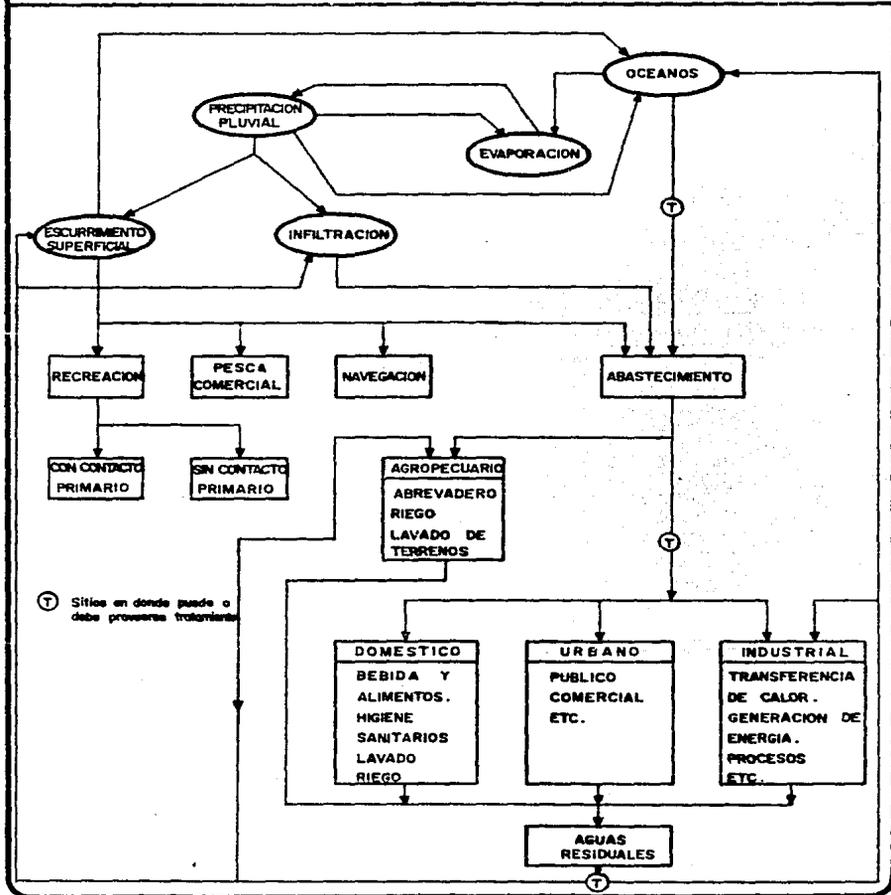
Los usos del agua a su vez dependerán, debido principalmente a limitaciones económicas, de la procedencia del recurso, estableciéndose con ésto el ciclo que se presenta en la figura 4.1.

En lo relativo a usos del agua la legislación nacional es bastante explícita al respecto, jerarquizando específicamente los usos del agua en la República Mexicana en la Ley Federal de Aguas:

Artículo 27. Para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas de propiedad nacional que incluyen las del subsuelo, la Secretaría de Recursos Hidráulicos deberá observar el siguiente orden de prelación:

- I. Usos domésticos
- II. Servicios públicos urbanos.

FIGURA 4.1
USOS DEL AGUA EN FUNCION
DEL CICLO HIDROLOGICO



- III. Abrevaderos de ganado.
- IV. Riego de terrenos:
 - a) Ejidales y comunales.
 - b) De propiedad privada.
- V. Industrias:
 - a) Generación de energía eléctrica para servicio público.
 - b) Otras industrias.
- VI. Acuacultura
- VII. Generación de energía eléctrica para servicio privado.
- VIII. Lavado y entarquinamiento de terrenos y
- IX. Otros.

El Ejecutivo Federal podrá alterar éste orden cuando lo exija el interés, salvo el de los usos domésticos, que siempre tendrán preferencia.

4.3.1. AGUA PARA USO DOMESTICO.

Como se hace evitente en la Ley Federal de Aguas, es al uso doméstico de las aguas al que mayor importancia se ha concedido, debido principalmente al hecho de que será el agua -- destinada a éste uso la que consumirán directamente los seres humanos, bién como agua potable o en alguno de sus múltiples usos culinarios; será además el agua que se dedicará a otros fines como lo son la higiene personal, lavado de -- vestido o la vivienda, calefacción o acondicionamiento de -- aire, sanitarios, riego de jardines, etc.

Con propósito de especificar las características que debe cumplir el agua que se destine al consumo humano la Secretaría de Salubridad y Asistencia en el Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable incluye las Normas de Calidad del Agua que debe satisfacer el agua para consumo humano. Estas normas se refieren exclusivamente a los requerimientos de calidad en cuanto a propiedades físicas, químicas y bacteriológicas. En el cuadro 4.11 se presentan los requerimientos físicos y químicos que propone la legislación nacional así como los valores de éstos mismos parámetros propuestos por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), la Comunidad Económica Europea (C.E.E.), los Estados Unidos de Norteamérica (U.S.A.), Canada, España y Francia.

Las normas de calidad que en cuanto a propiedades biológicas se deben satisfacer se presentan en el cuadro 4.12. Estas normas son las propuestas por México, la O.M.S., Francia, España y los Estados Unidos de Norteamérica.

De la observación de los cuadros 4.11 y 4.12 se pueden desprender las siguientes observaciones:

En cuanto a las propiedades físicas, las normas nacionales permiten valores de los parámetros bastante similares a los contemplados por otras legislaciones.

En lo referente a las propiedades químicas se pueden hacer las siguientes observaciones:

La práctica de expresar la dureza total, dureza permanente y alcalinidad total en términos de carbonato de calcio ---- (Ca CO₃) no es generalizada, siendo sin embargo paráme -- tros cuya presencia en el agua no afecta en forma definitiva a la salud humana.

En la generalidad de los parámetros químicos contemplados - las normas nacionales caen dentro o bien coinciden con los límites máximos tolerables de las otras legislaciones analizadas. Hay sin embargo dos excepciones, el Cobre y el Zinc, cumpliéndose en ambos casos que la legislación nacional permite concentraciones que triplican las concentraciones más tolerables de las legislaciones extranjeras.

Existen elementos químicos cuya presencia en las aguas destinadas al consumo humano es de manifiesta toxicidad y que sin embargo no son contempladas en nuestra legislación. Tal es el caso del Mercurio, el Bario, el Níquel, los Cianuros, el Fósforo, los Hidrocarburos, los Detergentes y los Pesticidas como el Aldrine, Clordano, D.D.T., Dieldrine, Endrine, Heptacloro, Lindano, Carbonatos, Toxafeno, etc.

CUADRO 4.11 NORMAS RELATIVAS AL AGUA POTABLE.

PROPIEDADES FISICAS

PARAMETRO	ESCALA	MEXICO	O.M.S.	C.E.E.	U.S.A.	CANADA	ESPAÑA	FRANCIA
Turbiedad	de sílice	10	25	10	5	5	5	12
pH		6.0 - 8.0	6.5 - 9.5	6.0 - 9.5	----	6.5 - 8.3	6.5 - 9.2	6.5 - 9.2
Olor		Inodora	Inobjetable	----	Inodora	----	Inodora	Aceptable
Sabor		Agradable	Inobjetable	----	Inobjetable	----	Insípida	Aceptable
Color	Platino Cobalto	20	50	20	3	15	15	50

CONTINUACION DEL CUADRO 4.11

PROPIEDADES QUIMICAS: VALORES MAXIMOS ADMISIBLES

PARAMETRO EN mg/l	MEXICO	O.M.S.	C.E.E.	U.S.A.	CANADA	ESPAÑA	FRANCIA
Nitrógeno (N) Amomacal	0.50	----	0.50	----	0.50	----	0.50
Nitrógeno (N) Protefco	0.10	----	0.50	----	----	----	----
Nitrógeno (N) de nitritos	5.00	----	0.10	----	----	----	----
Oxígeno consumido en --- medio ácido.	3.00	----	5.00	----	----	----	1.50
Sólidos totales	1000.00	1500.00	----	----	----	1500.00	----
Alcalinidad total en Ca CO ₃	400.00	----	----	----	----	----	----
Dureza total en Ca CO ₃	300.00	----	35°F	----	18°F	----	----
Dureza permanente en Ca CO ₃	150.00	----	----	----	----	----	----
Cloruros en Cl	250.00	350.00	200.00	250.00	250.00	350.00	250.00
Sulfatos en SO ₄	250.00	400.00	250.00	250.00	500.00	400.00	250.00

CONTINUACION DEL CUADRO 4.11

PARAMETRO EN mg/l	MEXICO	O.M.S.	C.E.E.	U.S.A.	CANADA	ESPAÑA	FRANCIA
Magnesio en Mg	125.00	125.00	50.00	100.00	150.00	100.00	125.00
Zinc en Zn	15.00	5.00	2.00	5.00	2.00	1.50	5.00
Cobre en Cu	3.00	1.00	0.05	1.00	1.00	1.50	1.50
Fluoruros en F1	1.50	1.50	1.50	2.40	----	1.50	1.00
Hierro y Manganeso en Fe y Mn	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Plomo en Pb	0.10	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10
Arsénico en As	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10	0.10
Selenio en Se	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05
Cromo hexavalente en Cr	0.05	0.05	----	0.05	0.05	0.05	0.05
Compuestos fenólicos en (Fenol)	0.001	0.001	0.0005	0.001	0.002	0.001	0.001
Cloro libre	1.00	----	----	0.3	----	----	----

FUENTES: Manual Técnico del Agua - Degrémont - España - 1979.
Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable - S.S.A. México.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS.

M E X I C O .

- a) Menos de 20 organismos de los grupos coli 6 coliforme por litro de muestras, definiéndose como organismos coli 6 coliforme todos los bacilos aerobios o anaerobios facultativos no esporógenos, gram negativos, que fermentan el caldo lactosado con formación de gas.
- b) Menos de 200 colonias bacterianas por ml de muestra en la placa de agar incubado a 37° C por 24 horas.
- c) Ausencia de colonias bacterianas licuantes de la gelatina, cromógenas, o fétidas en la siembra de un ml. de muestra en gelatina incubada a 20°C por 48 horas.

FUENTE : Normas S.S.A.

O. M. S.

- a) Ausencia de coliformes en una muestra de 100 ml de agua en el caso de agua tratada con cloro.
- b) Ausencia de escherichia coli en una muestra de 100 ml en el caso de agua no tratada con cloro.
- c) Máximo de 3 coliformes en una muestra de 100 ml en el caso de agua no tratada con cloro.
- d) La proporción de muestras de 100 ml exentas de coliformes no será inferior al 95%
- e) Ninguna muestra contendrá más de 10 coliformes por 100 ml
- f) No se detectarán coliformes en 2 muestras sucesivas de 100 ml.

F R A N C I A .

- a) Ausencia de organismos parásitos o patógenos.
- b) Ausencia de escherichia coli en muestras de 100 ml.
- c) Ausencia de estreptococos fecales en muestras de 50 ml.

U. S. A.

- a) Con muestras de 10 ml no más de 10% de éstas en cualquier mes debe mostrar presencia del grupo coliforme. La presencia del grupo coliforme en 3 ó más porciones de 10 ml de una muestra estándar no serán aceptables si esto sucede en:
 - a.1 Dos muestras consecutivas.
 - a.2 En más de una muestra por mes cuando se examinan menos de 20 muestras.
 - a.3 En más de 5% de las muestras cuando se examinan 20 ó más muestras.
- b) Con muestras de 100 ml, no más del 60% en cualquier mes mostrarán la presencia del grupo coliforme. La presencia del grupo coliforme en 5 muestras no será aceptable si esto sucede en:
 - b.1 Dos muestras consecutivas.
 - b.2 En más del 20% de las muestras cuando se examinan 5 ó más muestras
 - b.3 En más de una muestra al mes cuando se examinan menos de 5 muestras.
- c) Cuando se emplea la técnica del filtro membrana la media aritmética de la densidad de coliformes en las muestras estándar examinadas por mes no debe exceder a 1 por 100 ml. Las colonias de coliformes por muestras estándar no debe exceder 3 por 50 ml, 7 por 200 ml ó 13 por 500 ml.en:
 - c.1 Dos muestras consecutivas.
 - c.2 Más de una muestra estándar cuando se examinan menos de 20 por mes.
 - c.3 Más de 5% de las muestras estándar cuando se examinan 20 ó más muestras mensualmente.

E S P A Ñ A .

- a) El recuento total de bacterias aerobias, en placas de agar nutritivo, incubados a 37°C durante 24 horas, máximo 100 colonias por ml de agua.
- b) Presencia de coliformes, estreptococos fecales y clostridio sulfito reductores, máximo uno a dos de cualquiera de éstos gérmenes en las siembras efectuadas con un volumen mínimo de 100 ml de agua problema.
- c) Ausencia total de gérmenes potencialmente patógenos y del escherichia coli, 6 de los bacteriófagos anti-E. coli y anti-Shigella.

FUENTE:

Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable.
S.S.A. México.

Manual Técnico del Agua - Degramont - España - 1979.

Hay asimismo una característica que puede representar un peligro para la salud y cuya presencia no está regulada en estas normas, es decir, la radiactividad.

Los valores propuestos por las normas internacionales como máximos tolerables de éstos parámetros son los mostrados en el cuadro 4.13

Por otro lado, acerca de las características biológicas de calidad se puede observar que es factor común en todas ellas el hecho de que se procura evitar la presencia de los organismos de los grupos coli ó coliformes, variando en este sentido únicamente los medios de cultivo y las técnicas estadísticas de estudio que se siguen.

4.3.2 AGUA PARA USOS AGROPECUARIOS.

De acuerdo al orden de prelación establecido por el artículo 27 de la Ley Federal de Aguas son los usos agropecuarios los que le siguen en importancia a los usos domésticos. Dentro de éstos se pueden diferenciar dos maneras distintas de empleo que son: El agua destinada al consumo del ganado (abrevadero) y el agua destinada al riego agrícola.

En lo referente al agua destinada al consumo del ganado debieran satisfacerse características de calidad similares a aquellas del agua destinada al consumo humano, debido esto principalmente a la similitud existente entre el organismo humano y el organismo del ganado. Existen, sin embargo, dife

rencias notables que dependen fundamentalmente del tipo de ganado que va a consumir el agua, limitándose a la tolerancia de diversos tipos de ganado. Los criterios prevalecientes en éste sentido se pueden observar en los cuadros 4.14, 4.15, 4.16.

CUADRO 4.13

LEGISLACION EXTRANJERA SOBRE PARAMETROS NO CONTEMPLADOS EN LA LEGISLACION NACIONAL.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO	LEGISLACION
Mercurio	mg/l	0.001	O.M.S, C.E.E, Francia
		0.002	U. S. A.
		0.005	Canada
Bario	mg/l	0.10	C. E. E.
		1.00	U.S.A., Canada
Níquel	mg/l	0.05	C. E. E.
Cianuros	mg/l	0.05	O.M.S. C.E.E., Francia
		0.20	U.S.A., Canada
		0.01	España
Fósforo	mg/l	2.00	C.E.E.
		0.002 (PO ₄)	Canada
		0.003 (PO ₄)	Francia
Detergentes ABS	mg/l	0.10	C.E.E.
		0.50	U.S.A., Canada
		0.05	Francia

CONTINUACION DEL CUADRO 4.13

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR MAXIMO	LEGISLACION
PESTICIDAS:			
Aldrine	mg/l	0.001 0.017	U.S.A., Francia Canada
Clordano	mg/l	0.003	U.S.A., Canada
D D T	mg/l	0.05 0.042	U.S.A. Canada
Dieldrine	mg/l	0.001 0.017	U.S.A., Francia Canada
Endrine	mg/l	0.0002 0.01	U.S.A. Canada
Heptacloro	mg/l	0.0001 0.18	U.S.A. Canada
Lindano	mg/l	0.004 0.056	U.S.A. Canada
Carbonatos	mg/l	0.1	Canada
Toxafeno	mg/l	0.005	U.S.A., Canada
PARA EL CASO DE LA RADIOACTIVIDAD SE PROPONE:			
Radio 226-228	(PCi/l)	5	U.S.A.
Estroncio 90	(PCi/l)	2	U.S.A.
	(PCi/l)	15	U.S.A.
		3	Francia
B	(PCi/l)	4	U.S.A.
		10	Canada
		30	Francia
		100	España
Fotones	(PCi/l)	4	U.S.A.
		1000	Francia

FUENTE : Manual Técnico del Agua - Degremont - España - 1979.

CRITERIOS SOBRE LA CALIDAD EN BASE A LA SALINIDAD -
DEL AGUA DESTINADA AL CONSUMO DEL GANADO.

G A N A D O	SALINIDAD CONCENTRACION MAXIMA
Aves de corral	2860 mg/l
Porcino	4250 mg/l
Equino	6435 mg/l
Bovino Lechero	7150 mg/l
Bovino carne	10,000 mg/l
Ovino adulto	12,900 mg/l

TIPO DE AGUA	CONCENTRACION SALINA
Buena	2500 mg/l
Aceptable	3500 mg/l
Pobre	4500 mg/l
Inapropiada	más de 4500 mg/l

TIPO DE AGUA	CONCENTRACION SALINA
Excelente	0 - 1000 mg/l
Buena	1000 - 4000 mg/l
Satisfactoria	4000 - 7000 mg/l
Insatisfactoria	más de 7000 mg/l

FUENTE : Murguía Vaca Ernesto - Contaminación de Aguas
Facultad de Ingeniería - U.N.A.M. - México.

GUIA PARA EL USO DE AGUAS SALINAS DESTINADAS AL CONSUMO DE GANADO.

SALINIDAD (mg/l)	TOTAL	U S O R E C O M E N D A D O
1000		Excelente para todo tipo de ganado, mayor y menor.
1000 - 3000		Satisfactorio para todo tipo de ganado, puede provocar - diarrea leve y temporal.
3000 - 5000		Satisfactoria para el ganado mayor, puede provocar dia-- rrea temporal o no ser aceptada por los animales en un - principio. En ganado avícola puede provocar un incremen- to en mortandad y limitar el crecimiento.
5000 - 7000		Se puede utilizar con relativa seguridad en vacunos, equi- nos, ovinos y porcinos. Evitar el uso con hembras preña - das o animales lactantes. Inadecuada para avicultura.
7000 - 10,000		Inaceptable para avicultura y posiblemente para porcicul- tura, considerablemente riesgoso emplearla en vacas, ye - guas u ovejas preñadas así como en los especímenes jove - nes. Su uso se debe evitar aunque los especímenes mayores pueden subsistir bajo ciertas condiciones.
> 10,000		Los riesgos al emplear éstas aguas son tan considerables que no se recomienda su utilización bajo ninguna circuns- tancia.

FUENTE : O.W.R.T.- Water Reuse and Recycling - E.U.A. 1979.

CUADRO 4.16

RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA DESTINADA AL CONSUMO DEL GANADO Y FAUNA SILVESTRE.

P A R A M E T R O	C R I T E R I O S			
	NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (1972)	EPA (1973)	NATIONAL TECHNICAL ADVISORY COMMITTEE (1968)	OWRT (1979)
Alcalinidad (CaCO ₃) mg/l	30 - 130	30 - 130	35 - 200	30 - 130
Aluminio (Al) mg/l	5.0	5.0	----	5.0
Vida acuática	evitar algas	evitar algas	evitar algas	evitar algas
Arsénico (As) mg/l	0.2	0.2	0.05	0.2
Coliformes totales NMP	---	5000/100mg/l	----	5000/100mg/l
Coliformes fecales NMP	---	1000/100mg/l	----	1000/100mg/l
Boro (Bo) mg/l	5.0	5.0	----	5.0
Cadmio (Cd) mg/l	0.05	0.05	0.01	0.05
Cromo (Cr) mg/l	1.0	1.0	0.05	1.0
Cobalto (Cb) mg/l	1.0	1.0	----	1.0
Cobre (Cu) mg/l	0.5	0.5	----	0.5
Fluoruros (Fl) mg/l	2.0	2.0	2.4	2.0
Hierro (Fe) mg/l	sin límite	sin límite	----	0.3
Plomo (Pb) mg/l	0.1	0.1	0.05	0.05
Manganeso (Mn) mg/l	sin límite	sin límite	----	0.05
Mercurio (Hg) mg/l	0.0005	0.001	----	0.001
Nitritos (N) mg/l	10	10	----	10
Nitritos + Nitratos (N) mg/l	100	100	----	100
Grasas y aceites	no visible	no visible	excluido	no visible
oxígeno disuelto (OD)mg/l	---	---	aeróbico	aeróbico
Pesticidas mg/l	2	2	2	2
p H	7.0 - 9.2	6.0 - 9.0	7.0 - 9.2	7.0 - 9.0
Selenio	0.05	0.05	0.01	0.05
Sólidos sedimentables	mínimo	mínimo	excluido	mínimo
Sólidos disueltos mg/l	3000	3000	10,000	3000
Vanadio (Va) mg/l	0.1	0.1	----	0.1
Zinc (Zn) mg/l	25.0	25.0	----	25.0

FUENTE: O.W.R.T. - Water Reuse Recycling - E.U.A. - 1979.

Para el agua destinada al riego agrícola es necesario tomar en consideración la calidad de la misma en relación al clima, a las plantas que van a cultivarse y a los suelos que se encuentran en el área de interés. Esta correlación tendrá, a su vez, un notable nexo con los métodos de riego, -- con la capacidad del sistema de distribución, trabajos de drenaje y el área que podría irrigarse con una cantidad de agua determinada.

En éste sentido se consideran varios criterios de los cuales únicamente se presentarán dos:

El primero de ellos considera tres grupos para el agua destinada a riego:

<u>CLASE</u>	<u>USO ADMISIBLE</u>
I	Excelente a buena para todo cultivo.
II	Buena a insatisfactoria para ciertos cultivos bajo ciertas condiciones.
III	Insatisfactoria a perjudicial o nociva para la mayoría de cultivos.

Las características asociadas con ésta clasificación se presentan en el cuadro 4.15.

Otros criterios, referentes únicamente a las propiedades -- químicas y a los problemas que se pueden presentar debido a éstas características se presentan en los cuadros 4.17, ---- 4.18 y 4.19.

4.3.3 AGUA PARA USOS INDUSTRIALES

La industria es indudablemente uno de los solicitantes más importantes del recurso agua. Sin un suministro suficiente y adecuado de aguas de calidad aceptable es casi imposible que la industria subsista. En realidad, en éste sentido, el progreso del hombre se puede describir en función de su --- aprovechamiento de los recursos acuíferos de la tierra y el progreso futuro dependerá en gran parte del uso racional -- que de ella se haga.

Los usos que del agua se hace en la industria son de la más diversa índole. Debido a su enorme capacidad calorífica es un elemento comúnmente empleado en procesos de transferen-- cia de calor, llámese calentamiento o bien enfriamiento, en éste sentido basta saber que para lograr un mismo enfria -- miento se requiere utilizar el doble del volumen de agua en el caso de que se utilizara aceite o alcohol con éste fin - y aproximadamente tres mil volúmenes en el caso de que se - utilizara aire. Por lo que a procesos de calentamiento se_ refiere el vapor ha sido el tradicional medio de transmi-- sión debido a los altos coeficientes de transferencia térmica que con él se obtienen. En plantas modernas, sin embargo, los sistemas de calentamiento a base de vapor van siendo --

A G U A		C A R A C T E R I S T I C A S B I O L O G I C A S		
CLASE	ORIGEN	P A R A M E T R O		V A L O R
I	Superficial	NMP Presuntivo; promedio		500/100 ml
	Superficial	NMP Confirmativo; promedio		50/100 ml
	Subterránea	NMP Presuntivo; promedio		1500/100 ml
II		NMP; promedio		2400/100 ml
		NMP; máximo		4600/100 ml
III		NMP		4600/100 ml
C A R A C T E R I S T I C A S F I S I C A S Y Q U I M I C A S				
C L A S E				
		I	II	III
Residuos flotantes		Ausentes	Ausentes	---
Olor y sabor			No rechazable 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	---
% Na		30-60	30-35	70-75
B (mg/l)		0.5 - 1.5	0.5 - 2.0	2.0 - 3.75
Cl (mg/l)		2.0 - 5.5	2.0 - 16	6.0 - 16
SO4 (mg/l)		4 - 10	4 - 20	12 - 20
C.E. m mhos/cm		500	500 - 3000	2500 - 3000
Sales totales		700	350 - 2100	1750 - 2100
P O R S A L I N I D A D D E L A G U A (Límites en mg/l)				
C L A S E				
		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

FUENTE : Murguía Vaca Ernesto - Contaminación de Aguas - Facultad de Ingeniería - U.N.A.M.

CUADRO 4.18

RELACION DE PROBLEMAS POTENCIALES A CONCENTRACIONES DE PARAMETROS INORGANICOS EN AGUAS DE IRRIGACION EN CLIMAS ARIDOS Y SEMI-ARIDOS

PROBLEMA Y PARAMETRO RELACIONADO	GRAVEDAD DEL PROBLEMA		
	NINGUNA	ALGUNA	SEVERA
Salinidad (a)			
CE. del agua de irrigación, mmhos/cm	0.75	0.75 - 3.00	3.0
Permeabilidad			
CE del agua de irrigación, m mhos/cm	0.50	0.50	0.2
RAS (b)	6.00	6.0 - 9.0	9.0
Toxicidad específica de iones			
Absorción por raíz			
Sodio (valuado por RAS)	3.00	3.0 - 9.0	9.0
Cloruros, mg/l	142.00	142 - 355	355
Boro, mg/l	0.50	0.5 - 2.0	2.0 - 10.0
Absorción foliar (aspersores)			
Sodio, mg/l	69.00	69	---
Cloruros, mg/l	106.00	106	---
Varios			
HCO ₃ , mg/l	90.00	90 - 520	520
pH	6.5 - 8.4	6.5 - 8.4	6.5 - 8.4

NOTA: Estas interpretaciones se basan en los posibles efectos de éstos parámetros en las cosechas o en los suelos. Los valores sugeridos son flexibles y deben ser modificados cuando la experiencia local o condiciones de cosecha, o método de irrigación lo permitan.

a) Suponiendo el agua para la cosecha además del agua de lavado de terrenos: conductividad eléctrica (CE) m mhos/cm X 640 = sólidos disueltos totales (SDT) en mg/l.

b) RAS = Relación de Absorción de Sodio

$$RAS = \frac{Na}{\frac{Ca+Mg}{2}} \quad \text{Todos expresados en mg/l}$$

FUENTE: Environmental Protection Agency - Land Disposal of Municipal Wastewater - E.U.A. - 1981

CUADRO 4.19

RESUMEN DE OTROS CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO AGRICOLA

PARAMETRO (mg/l)	C R I T E R I O S					O W R T (1979)
	National Academy of Science. (1972)	McKee & Wolf (1963)	E P A (1973)			
			Largo	Plazo		
Aluminio	5.0	1.0	5.0		20.0	5.0
Arsénico	0.1	---	0.1		2.0	0.1
Coliformes fecales	1000/100 ml	---	1000/100 ml		----	1000/100 ml
Berilio	0.1	---	0.1		0.5	0.1
Boro	0.5	1.5	0.5		1.5	0.5
Cadmio	0.01	---	0.01		0.05	0.1
Cloruros	----	100	0.4		1.8	---
Cromo	0.10	3	0.1		1.0	0.1
Cobalto	0.05	0.1	0.05		5.0	0.2
Cobre	0.2	0.17	0.2		5.0	0.2
Fluoruros	1.0	10.0	2.0		15.0	2.0
Hierro	5.0	---	5.0		20.0	5.0
Plomo	5.0	---	5.0		10.0	5.0
Litio	2.5	0.05	2.5		----	2.5
Manganeso	0.2	0.5	0.2		10.0	0.2
Molibdeno	0.01	---	0.01		0.05	0.01

CONTINUACION DEL CUADRO 4.19

PARAMETRO (mg/l)	C R I T E R I O S					O W R T (1979)
	National Academy of Science (1972)	McKee & Wolf (1963)	E P A (1973)			
			Largo Plazo	Corto Plazo		
Níquel	0.2	0.5	0.2	2.0	0.2	
pH	4.5 - 9.0	6.0 - 9.0	---	---	6.0 - 9.0	
Fenoles	----	50	---	---	50	
Selenico	0.02	0.1	0.02	---	0.02	
R A S	5.5	6	---	---	6.0	
Sólidos disueltos	< 700 clase I	---	< 700 clase I	---	---	
Totales	700 - 2100 clase II	---	700-2100 clase II	---	---	
	> 2100 clase III	---	> 2100 clase III	---	200	
Sulfatos	---	200	---	---	200	
Vanadio	0.10	0.10	---	---	0.10	
Zinc	2.0	3.0	---	---	2.0	

FUENTE: O.W.R.T.- Water Reuse and Recycling E.U.A. - 1979.

sustituídos por sistemas a base de agua caliente debido a los menores costos de instalación.

Además de la transferencia de calor son innumerables los usos que se dan al agua dentro de la industria, destacándose por su importancia la generación de energía eléctrica, el transporte de materias, dilución de desechos, lavado, materia prima, lubricante, blindaje, etc.

Debido a ésta enorme variedad de aplicaciones es imposible formar un criterio general sobre la calidad del agua deseable para consumo industrial y las características que el agua deba reunir dependerán del uso específico al que estén destinadas.

A éste respecto se han elaborado estudios completos con respecto a los criterios de calidad requeridos para algunas industrias. Algunos de éstos criterios se presentan en los cuadros 4.20 y 4.21.

4.3.4 AGUA PARA ACUACULTURA

Al hablar de los requerimientos de calidad del agua destinada a la acuicultura es necesario mencionar que existen dos tipos, en general, de especies; de agua fría y de agua templada. Los límites máximos de temperatura para ésta clasificación son 18.2°C y 29.9°C para las especies de agua fría y templada respectivamente. La única diferencia apreciable en cuanto a características de calidad será el oxígeno disuel-

CUADRO 4.20

CARACTERISTICAS DE CALIDAD DE AGUA EN ALGUNAS INDUSTRIAS.

U S O	Turbiedad.	Color	Sólidos Disueltos.	Sólidos Suspendidos.	Dureza CaCO ₃	Alcalinidad CaCO ₃	pH	Cloruros Cl.	Sulfatos SO ₄	Hierro Fe	Manganeso Mn.	Fluoruros F1.	Calcio Ca.	Magnesio Mg.
Aire acondicionado	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.5	0.5	--	--	--
Purificación	10	10	--	--	--	--	--	--	--	0.2	0.2	--	--	--
Cervecería	0-10	0-10	500-1500	--	80-150	75-80	6.5-7.0	60-100	--	0.1	0.1	1.0	--	--
Bebidas suaves	1-2	5-10	850	--	70-250	50-130	--	250	250	0.1-0.2	0.2	0.2-1.0	60	--
Lácteos	--	0	500	--	180	--	--	30	60	0.1-0.3	0.3-1.0	--	--	--
Enlatado y congelado	1-10	--	850	--	25-400	30-250	7.5	--	--	0.2	0.2	1.0	--	--
Lavado de equipo de alimentos	1	5.2-	850	--	10	--	--	250	--	--	--	1.0	--	--
Proceso alimentos	1-10	5-10	850	--	10-250	30-250	--	--	--	0.2	0.2	1.0	--	--
Papel mecánico	--	30	--	--	--	--	6-10	1000	--	0.3	0.1	--	--	--
Papel crudo sin blanquear	--	30	--	10	100	--	6-10	200	--	1.0	0.5	--	20	12
Papel blanqueado	--	10	--	10	100	--	6-10	200	--	0.1	0.05	--	20	12
Rayón y fibra acetato	5	5	100	--	8	30-75	--	--	--	0.05	0.03	--	--	--
Curtido pieles	--	5	--	--	150	--	6-8	250	250	50	--	--	60	--
Cemento	--	--	600	500	--	400	5.5-8.5	250	250	25	0.5	--	--	--
Hielo	5	5	170-1300	--	--	--	--	--	--	0.2	0.2	1.5	--	--
Lavandería	--	--	--	--	0.50	60	6-6.8	--	--	0.1	0.05	--	--	--

CONTINUACION DEL CUADRO 4.20

QUIMICA :														
Alcalis y cloro	--	10	--	10	140	80	6-8.5	--	--	0.1	0.1	--	40	8
Alquitrán de hulla	--	5	400	5.0	180	50	6.5-8.3	30	200	0.1	0.1	--	50	14
Orgánico	--	5	250	5.0	170	125	6.5-8.7	25	75	0.1	0.1	--	50	12
Inorgánico	--	5	425	50	250	70	6.5-7.5	30	90	0.1	0.1	--	60	25
Plásticos y resina	--	2	1.0	2.0	0.0	1.0	7.5-8.5	0.0	0.0	0.005	0.005	--	0.0	0.0
Goma sintética	--	2	2.0	2.0	0.0	2.0	7.5-8.5	0.0	0.0	0.005	0.005	--	0.0	0.0
Farmacéutico	--	2	2.0	2.0	0.0	2.0	7.5-8.5	0.0	0.0	0.005	0.005	--	0.0	0.0
Jabón y detergente	--	5	300	10.0	130	50	-	40	150	0.1	0.1	--	30	12
Pinturas	--	5	270	10.0	150	100	6.5	30	125	0.1	0.1	--	37	15
Goma y madera	--	20	1000	30.0	900	200	6.5-8.0	500	100	0.2	0.2	--	100	50
Fertilizantes	--	10	300	10.0	250	175	6.5-8.0	50	150	0.2	0.2	--	40	20
Explosivos	--	8	200	5.0	150	100	6.8	30	150	0.1	0.1	--	20	10
Petróleo	--	--	1000	10.0	350	-	6.0-9.0	300	-	1.0	--	--	75	30

FUENTE: A.W.W.A - Water Quality and Treatment - E.U.A. - 1971

Murguía Vaca Ernesto - Contaminación de Aguas - Facultad de Ingeniería U.N.A.M. México.

CALDERAS A PRESIONES VARIABLES (TODAS LAS UNIDADES EN PPM EXCEPTO EL pH)

PARAMETRO	P R E S I O N													
	BAJA HASTA	INTERMEDIA			ELEVADA						MUY ELEVADA			SUPER CRITICA
	250 Psi	250-300 Psi	300-450 Psi	450-500 Psi	500-600 Psi	600-750 Psi	750-900 Psi	900-1000 Psi	1000-1250 Psi	1250-1500 Psi	1500-2000 Psi	2000-2500 Psi	2500-3000 Psi	Mayor a 3000 Psi
Dureza total en CaCO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidad total en CaCO ₃	-	700	-	500	500	400	300	250	200	200	150	100	100	-
Hidroxidos en CaCO ₃	150-300	-	130	100	100	100	50-75	50-75	50-75	-	-	-	-	-
Silice en SiO ₂	100-133	50-67	50-67	50-67	19-25	19-25	7.5-10	7.5-10	3.8-5	2.1-2.5	2.8-1.0	1.3-0.5	0.09	0.02
Oxígeno disuelto	0.015	-	-	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005
Sólidos disueltos	3000-5000	3500	3000	2500	2500	2000	1500	1250	1000	1000	750	500	500	0.05-0.5
Sólidos suspendidos	300-600	300	-	150	150	100	60	40	20	20	-	-	-	-
pH	9.5	-	-	9.7	-	-	-	-	10.3-10.8	10.3-10.8	10.3-10.8	-	-	9.0-9.6
Grasas y aceites	1.0	-	-	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hierro, Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Cobre, Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfito de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ₂ SO ₃	30-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos, PO ₄	40-80	30-50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1 Psi = 0.07037 Kg/cm² = 703.7 Kg/m²

FUENTE: A.W.W.A. - Water Quality and Treatment - E.U.S. 1971.

to, que se requerirá en cantidades inferiores, debido a la relación temperatura del agua - solubilidad del oxígeno, en las especies de aguas templadas.

Así entonces, en términos generales se puede decir que el agua deberá tener un pH cercano a la neutralidad, un contenido de oxígeno disuelto (OD) que varíe de 3.4 a 7.6, una conductividad eléctrica de 150 a 550 m mhos/cm, que corresponde al rango de 100 a 350 mg/l de sólidos disueltos totales, una turbiedad que permita la penetración de la luz solar y concentraciones de amoníaco menores a 0.02 mg/l

Los cuadros 4.22 y 4.23 presentan varios criterios relativos a las características de calidad del agua destinada a la acuicultura.

4.3.5 AGUA PARA RECREACION

Del agua destinada a la recreación se distinguen dos tipos; aquella que se destine al contacto primario y la que se destine al contacto secundario, entendiéndose por contacto primario aquellos casos en los que el cuerpo humano vaya a estar sumergido durante periodos considerables de tiempo, --- mientras que el contacto secundario difiere del anterior en la frecuencia y duración de las inmersiones. Este uso se asocia con actividades del tipo de remo, velleo, pesca, etc., es decir, aquellas en las que no está contemplada ninguna inmersión aunque éstas puedan ser factibles.

CUADRO 4.22

RESUMEN DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA DESTINADA A LA ACUICULTURA.

PARAMETROS	C R I T E R I O S					
	AGUA FRIA		AGUA TEMPLADA			
	NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE 1972	Mc KEE & WOLF 1963	EPA 1976	DAVIES & GOETTL 1976	OWRT 1979	OWRT 1979
Alcalinidad (CaCO ₃) mg/l	--	10-120	20-130	--	20-130	--
Arsénico mg/l	--	1.0	--	0.05	0.05	0.05
Bario mg/l	--	5.0	--	--	5.0	5.0
Berilio mg/l	--	--	0.011-1.1	0.011-1.1	0.011-1.1	0.011-1.1
Cadmio mg/l	0.0004	--	0.0012	0.004	0.015	0.015
Cloro mg/l	0.003	--	0.002	--	0.002	0.002
Color unidades Pt-Co	--	--	Máx = 10%	--	Máx = 10%	Máx = 10%
Cromo mg/l	0.05	0.05	0.1	0.3	0.1	0.1
Cobre mg/l	0.1	0.02	0.1	0.1	0.04	0.01
Cianuros mg/l	0.005	--	0.005	0.005	0.005	0.005
Fluoruros mg/l	--	1.5	--	--	1.5	1.5
Hierro mg/l	--	--	1.0	0.5	0.5	0.5
Plomo mg/l	0.03	0.1	0.01	0.05	0.15	0.15
Manganeso mg/l	--	1.0	--	1.0	1.0	1.0
Mercurio mg/l	0.00005	--	0.00005	0.00006	0.00005	0.00005
Níquel mg/l	0.02	--	0.01	0.2	0.4	0.4
Nitrógeno amoniacal mg/l	0.02	--	0.02	0.02	0.02	0.02
pH	6.5-8.5	--	6.5-9.0	--	6.5-9.0	6.5-9.0
Fenoles	--	0.2	0.0001	--	--	--
Selenio	--	--	0.01	0.05	0.05	0.05
Plata	--	--	0.01	0.00025	0.00025	0.00025
Sólidos suspendidos mg/l	400	--	--	--	25	25
Sólidos totales mg/l	--	2000	--	--	2000	2000
Temperatura °C	18.2	--	--	20	18.2	29.9
Zinc mg/l	0.005	--	0.005	0.800	0.600	0.600

FUENTE: O.W.R.T. Water Reuse And Recycling - E.U.A. - 1979.

CARACTERISTICAS DESEABLES DEL AGUA DESTINADA A LA ACUACULTURA

PARAMETRO	V A L O R
Sólidos suspendidos	Tales que permitan la penetración de luz solar a no menos de 5 m.
Oxígeno disuelto	> 4 mg/l (a)
p H	6.8 - 8.4
Conductividad eléctrica	150 - 500 x 10 ⁶ mmhos / cm 1000 - 2000 x 10 ⁶ mmhos / cm máxima
Amoniaco	1.5 mg/l
Cianuros	0.1 mg/l
Ferrocianuros	0.4 mg/l
Cobre	0.2 mg/l
Zinc	0.3 mg/l
Cadmio	0.3 mg/l
N M P. En menos del 10 % de muestras	< 70/100 ml y > 230/100 ml respectivamente.

(a) Algunas especies como la trucha requieren un mínimo de 5 mg/l mientras que otras como el bagre pueden vivir en concentraciones inferiores.

FUENTE : Fair - Geyer - Okun - Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales - México - 1981.

Para el caso de la recreación con contacto primario se mencionan tres cualidades que debe reunir el agua en cuestión y que son: (1) el agua debe ser de aspecto agradable, (2) no debe contener sustancias que sean tóxicas a su ingestión ni que provoquen irritación o molestias en ojos y piel, (3) debe estar razonablemente libre de organismos patógenos.

En cuanto a la recreación con contacto secundario se refiere, las cualidades que se deben reunir contemplan factores como sólidos flotantes ausentes, vegetación acuática excesiva, color, olor, sabor (característica no determinante, ya que no se espera tener un contacto primario con éste tipo de agua) y turbiedad objetables; aceite, espuma y grasas visibles, etc.

En los cuadros 4.24 y 4.25 se presentan algunos criterios acerca de las características de calidad del agua destinada a recreación con contacto primario y secundario.

CUADRO 4.24

CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA DESTINADA A RECREACION.

PARAMETROS	C R I T E R I O S				
	NATIONAL ACADEMY SCIENCE (1972)	E P A (1973)	E P A (1976)	NATIONAL TECHNICAL ADVISORY COMITEE	O W R T (1979)
Flora acuática	Practicamente Libre de	--	Libre de	Libre de	Practicam. libre de
Coliformes totales NMP	---	200/100 ml	--	--	--
Coliformes fecales NMP	---	--	200/100 ml	200 / 100 ml	200 /100 ml
Turbiedad (Disco SECCHI)	---	4	--	4	4
Prof. ft.	---	4	--	4	4
Color, olor, sólidos flotantes, espumas, grasas	Practicamente libres de	libre de	libre de aeróbico	libre de --	Practicamente libre de --
Oxígeno disuelto	---	--	--	6.5 - 8.3	6.5 - 8.3
pH	6.5 - 8.3	6.5 - 8.3	--	6.5 - 8.3	6.5 - 8.3
Sólidos sedimentables	Practicamente libre de	libre de	libre de	libre de	libre de
Temperatura °C	15 - 35	15 - 30	--	14 - 30	18 - 35

CONTINUACION DEL CUADRO 4.24

CONTACTO

SECUNDARIO

PARAMETROS	NATIONAL TECHNICAL ADVISORY COMITEE (1968)
Flora acuática	Practicamente libre de
Coliformes totales N M P	100/100 ml
D Q O mg/l	60
Sólidos flotantes, espumas grasas, olor.	Practicamente libre de
Oxígeno disuelto	Aeróbico
pH	6.5 - 8.3
Sólidos sedimentables	Practicamente libre de

FUENTE : O.W.R.T. Water Reuse and Recycling - E.U.A. - 1979.

CARACTERISTICAS RECOMENDABLES DE CALIDAD DE AGUA PARA RE--
CREACION (CONTACTO PRIMARIO)

I. PISCINAS.

A. Biológicas

1. Conteo en placas agar a 35°C, < 200 colonias/ml
2. N M P 2.2/100 ml

B. Químicas y Físicas

1. Turbiedad - deberá ser visible un disco de 15cm de diámetro, negro en fondo claro en el punto de mayor profundidad.
2. Cloro. - Mínimo 0.4 PPM
3. Alcalinidad - 50 PPM al anaranjado de metilo
4. pH - 7.2 - 8.4
5. Temperatura - < 25.6°C

II . PLAYAS.

A. Biológicas

1. NMP - 240 - 2400/100 ml
2. Ausencia de Cercarias de esquistoma
3. Ausencia de Leptospiras

FUENTE : Degrémont - Manual Técnico del Agua - España - 1979.

En los subcapítulos anteriores se han presentado los valores establecidos por diversas organizaciones en cuanto a los valores permisibles de los parámetros que determinan la aceptabilidad del agua sin reparar en los efectos y cualidades que que sobre el desarrollo de ciertas actividades puedan tener. A continuación se presentan algunos de ellos y su repercusión e importancia en los usos del agua.

Alcalinidad. - Es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Indica la presencia de carbonatos, silicatos, fosfatos, y sustancias orgánicas. Se expresa como un equivalente de CaCO_3 (carbonato de calcio). Su medida es básica para determinar la tratabilidad de las aguas, encontrándose dificultades en éste sentido cuando la alcalinidad es muy elevada. Cuando se hierven aguas alcalinas, los sólidos disueltos suelen precipitarse dando origen a incrustaciones. En algunos casos también se puede liberar un sabor muy desagradable.

Arsénico. - Se ha clasificado como un metaloide de características similares a las del fósforo, se puede asociar con sustancias orgánicas dando origen a compuestos sumamente tóxicos. Una vez ingerido se desecha lentamente por medio de la orina y su acumulación se manifiesta en síntomas

severos de intoxicación. En concentraciones bajas estimula el crecimiento de las plantas --- mientras que en dosis elevadas destruye la clo rofila. Su forma trivalente es sumamente tóxi- ca para la vida marina.

Bario.- Metal alcalino cuyas sales se encuentran en pe queñas cantidades en la naturaleza y que afec- tan al corazón, sistema circulatorio y muscu- lar del ser humano, provocando incluso proble- mas de parálisis musculares.

Boro.- Se presenta comúnmente en las aguas en forma - de borato de sodio o de calcio en proporciones relativamente pequeñas. En cantidades importan- tes afecta al sistema digestivo y nervioso cen- tral. En pequeñas cantidades ayuda a ciertas - cosechas siendo los cítricos particularmente - sensibles a él.

Cadmio.- Se encuentra en cantidades insignificantes en - las aguas naturales. No es desechado por el -- organismo y afecta a las arterias, riñones y - pulmones. Son síntomas de intoxicación los ma- reos, vómitos y diarreas. En relación a su to xicidad la dieta es importante habiéndose ---- observado que ésta será mayor cuanto más impor- tante sea la deficiencia de proteínas ingeri- das. Su presencia afecta negativamente a las - cosechas.

Calcio.- Es uno de los cationes más abundantes en la naturaleza. Junto con el magnesio es uno de los responsables de la dureza del agua. Su exceso en agua destinada al consumo humano propicia la formación de cálculos renales. En general las recomendaciones relativas a su concentración se fundamentan en las características de dureza que confiere al agua.

Carbono.- Se presenta en dos formas: carbono orgánico y carbono inorgánico. Debido a sus propiedades químicas su presencia en forma orgánica propicia la disminución del oxígeno disuelto al combinarse con éste. En su forma inorgánica se presenta como carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico. Su presencia en éste último estado es objetable, sobre todo en las aguas destinadas a usos industriales debido a la corrosividad que confiere al agua.

Cromo.- El cromo se encuentra comúnmente en presencia de rocas ígneas en alguna de sus tres formas, bivalente, trivalente o hexavalente. Debido a su interacción con la insulina su presencia en pequeñas cantidades es indispensable. En su forma trivalente es inofensivo al ser humano siendo la hexavalente la que más significativamente lo afecta, atacando principalmente el tracto intestinal. En todas sus formas es tóxico para las plantas.

Color.-

Se diferencian dos medidas; el color real y el color aparente. El color real es una medida de los compuestos colorantes disueltos, mientras que el color aparente está determinado por elementos sedimentables. Su medida se realiza de acuerdo a la escala platino - cobalto, que compara el color de una muestra con el de una serie de soluciones químicas estándar. No se le considera como un problema serio de contaminación, aunque para ciertos usos puede ser perjudicial al obstaculizar el paso de la luz e impedir la realización de la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Algunos usos lo limitan debido principalmente a consideraciones estéticas.

Cianuros.-

Son algunos de los compuestos orgánicos más simples y comunes en la naturaleza. Son biodegradables y forman compuestos con iones metálicos como el cobre y hierro. No se acumulan en el cuerpo humano y dosis pequeñas pueden ser metabolizadas adecuadamente. La cloración del agua reduce significativamente los niveles de cianuros. Son sumamente tóxicos para la generalidad de las especies acuáticas.

Cloro.-

Su ingestión no presenta problemas, aún en cantidades grandes. Es comúnmente empleado como desinfectante en los abastecimientos debido a sus cualidades bactericidas.

En grandes cantidades y en presencia de calcio y magnesio incrementa la corrosividad del agua afectando así el equipo metálico con el que se encuentre en contacto.

Dureza.- La dureza de una agua está determinada, por la presencia de calcio y magnesio aunque otros -- componentes tales como el hierro, manganeso y aluminio contribuyen a la dureza total.

La dureza de una agua está relacionada con la facilidad que se tenga para producir espuma de jabón. Se expresa como un equivalente de carbonato de calcio. Los grados de dureza de un agua se indican enseguida:

Ca CO ₃ (mg/l)	Grado de Dureza
0 - 30	muy suave
31 - 60	suave
61 - 120	moderadamente suave
121 - 181	dura
> 181	muy dura

Se ha demostrado que existe una cierta correlación entre la dureza de un agua y determinadas enfermedades del corazón. Su empleo en calderas es restringido pues forma incrustaciones, asimismo afecta a los textiles, cerámica y enlatado. El uso de aguas duras con fines de limpieza resulta en un incremento en los consumos de jabón.

Hidrocarburos. Son compuestos orgánicos que contienen exclusivamente carbono e hidrógeno. Debido a lo generalizado de su empleo se les encuentra comúnmente en casi todas las fuentes de abastecimiento. Aunque la ingestión de los aceites del petróleo es nociva para la salud, éstas grasas causan olores y sabores bastante objetables en concentraciones muy inferiores a las que se pueden considerar peligrosas.

Hierro.- Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y se le encuentra tanto en su estado ferroso como férrico. En el agua el ión ferroso se oxida a la forma férrica y se precipita, produciendo manchas rojizas. Su solubilidad en el agua aumenta al disminuir el pH. No tiene efectos adversos sobre la salud y su presencia en el agua potable se objeta principalmente debido al sabor que adquiere el agua que lo contiene. En concentraciones excesivas puede favorecer la actividad bacteriana en las tuberías así como disminuir el oxígeno disuelto al combinarse con éste.

Magnesio.- Es un metal alcalino muy abundante en la superficie terrestre y bastante común en las aguas naturales. Es uno de los dos componentes principales de la dureza total siendo el calcio el otro. Sus sales son muy solubles y tiende a --

permanecer en solución después de que el calcio se ha precipitado. No es un elemento tóxico y no afecta ni a la salud humana ni a la vida acuática. Su presencia es, de hecho, benéfica para el sistema circulatorio y nervioso. Su presencia se objeta por provocar un efecto laxante en personas no acostumbradas a su ingestión.

Manganeso.- Es un catión metálico, similar al hierro en su comportamiento químico y con el que se encuentra comúnmente asociado. Los nitratos, sulfatos y cloruros de manganeso son muy solubles en agua mientras que los óxidos, carbonatos, e hidróxidos no lo son tanto. En áreas en las que los suelos muestran deficiencias de manganeso se hace necesaria su incorporación mediante el riego. Es un elemento esencial en la nutrición de los animales y ser humano. Su deficiencia puede inhibir el crecimiento, afectar el sistema nervioso e interferir con las funciones reproductivas. Es además un elemento esencial en el metabolismo de las plantas. Las limitaciones en cuanto a su concentración se basan en consideraciones estéticas y económicas puesto que puede provocar sabor en el agua y manchas oscuras en los enseres domésticos.

Mercurio.- Es un elemento poco común en la corteza terrestre. Es el único metal que se presenta en estado líquido a la temperatura ambiente.

Es un elemento comúnmente empleado en procesos industriales por lo que se encuentra frecuentemente en las descargas de aguas residuales. -- Sus compuestos son sumamente tóxicos para el hombre, siendo las sales absorbidas en el tracto intestinal y acumuladas en los riñones e hígado, además es transportado por la sangre hasta el cerebro en donde provoca daños irreversibles.

Níquel.- Es un metal relativamente inerte que no es común en la naturaleza en su estado libre sino presente en muchos minerales. El contacto con algunas sales puede provocar dermatitis y su ingestión oral no representa ningún peligro. -- Su proceso en la agricultura está limitado debido a que es tóxico para las plantas en concentraciones muy bajas.

Nitrógeno.- Es el principal componente de la atmósfera y sus compuestos están presentes en innumerables formas en la naturaleza, de éstos hay algunos de particular interés como lo son el amoníaco, nitratos y nitritos.

Respecto al amoníaco hay que mencionar que éste incluye al ion amoníaco (NH_4) y al amoníaco disuelto (NH_3). Estos y sus sales son muy solubles en agua. Contribuyen en forma significativa a la fertilibilidad del agua siendo un importante --

nutriente vegetal. No presenta un peligro para la fisiología humana aunque es sumamente tóxico para los peces al reducir su capacidad sanguínea para transportar oxígeno.

Los nitratos son la forma más común del nitrógeno en la naturaleza. Su consumo afecta la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, lo cual es particularmente importante para los infantes.

Los nitritos por su parte, al ser fácilmente combinados con el oxígeno representan una amenaza para la salud debido a la toxicidad que esto implica.

Olor.- El olor y el sabor son parámetros subjetivos íntimamente relacionados. Es importante tomarlo en cuenta debido a consideraciones de tipo estético que son bien conocidas.

Oxígeno.- Es uno de los elementos indiscutiblemente más importantes en la naturaleza. Con respecto al oxígeno son tres las medidas más comúnmente empleadas y que son la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el oxígeno disuelto.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica mediante la actividad aeróbica de ciertos microorganismos hasta formas estables de compuestos inorgánicos. La DBO se reporta comúnmente como la cantidad de oxígeno consumida en un período

determinado de tiempo en condiciones de incubación determinadas. No constituye en si misma una forma de contaminación si no que representa una forma de medir la contaminación por materia orgánica presente en un agua.

La demanda química de oxígeno (DQO) es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de la materia orgánica presente en un agua. Es asimismo una estimación de la materia orgánica reductible presente en el agua. No indica el origen o la naturaleza de la materia orgánica sujeta a oxidación. El empleo en la agricultura de aguas con un nivel elevado de DQO no es recomendable cuando las condiciones de drenaje no sean las adecuadas.

El oxígeno disuelto (OD) en un agua depende de varios factores, entre los que se puede mencionar la temperatura, salinidad, turbulencia y presión barométrica. Su concentración no tiene efectos fisiológicos adversos. Para la conservación de la vida acuática su presencia es indispensable. Su exceso puede inferir a las aguas de cierta corrosividad.

Pesticidas.- Son compuestos químicos orgánicos e inorgánicos utilizados para el control de plagas. Dichas plagas pueden ser insectos, hierbas y hongos. Los pesticidas presentan efectos tanto benéficos como perjudiciales y pueden clasificarse como contaminantes ambientales cuando su efecto se prolonga más allá del área de aplicación intencional o permanecen más tiempo del necesario para controlar la plaga.

Son varios los efectos nocivos que han sido atribuidos a los pesticidas. De entre éstos se puede mencionar el propiciar ciertos tipos de cáncer, su acumulación en los tejidos liposos del ser humano y su influencia en la absorción del oxígeno por diversos tejidos, lo cual lleva a una sofocación. También se les ha relacionado con ciertas afecciones del sistema nervioso periférico.

Plomo.- El plomo es un metal que puede ser encontrado en compuestos tanto solubles como suspendidos en el agua. Generalmente las concentraciones en el agua son bajas. Su toxicidad depende fundamentalmente de la dureza, pH, alcalinidad y oxígeno disuelto del agua. En el organismo humano tiende a acumularse en el sistema óseo. - La ingestión de grandes dosis en cortos lapsos de tiempo no es tan grave como la de pequeñas dosis en lapsos grandes. Los niños son particularmente vulnerables a sus efectos.

Sílice.- Es el segundo elemento más abundante en la costra terrestre. Su presencia no afecta negativamente a los usos domésticos o agropecuarios. Su exceso en aguas destinadas al uso industrial puede limitar los aprovechamientos puesto que tiende a incrustarse en las paredes de conductos y calderas.

Sodio.- Es el metal alcalino más común, prácticamente todos sus compuestos son solubles en agua.

Forma parte fundamental de todos los procesos metabólicos del ser humano aunque en exceso -- puede favorecer la aparición de problemas cardíacos, renales y circulatorios. En usos agropecuarios su exceso perjudica a la fruticultura.

Sulfatos.- Son una parte del azufre oxidado altamente solubles en el agua, razón para la cual sus concentraciones son sumamente variables. En ciertas concentraciones tiene un efecto laxante en el ser humano. En concentraciones grandes provee al agua de un sabor desagradable y de efectos irritantes en el tracto intestinal.

Turbiedad.- La turbiedad es una medida de las partículas - suspendidas tales como arcillas, materia orgánica, plancton, etc., los cuales son mantenidos en suspensión por el flujo turbulento y el movimiento Browniano. Niveles elevados de turbiedad reducen la actividad fotosintética de la vegetación acuática, afectando con ésto a las comunidades biológicas acuáticas. Los límites propuestos de turbiedad se refieren principalmente a consideraciones estéticas.

Zinc.- Es un metal que se encuentra comúnmente en las aguas, tanto superficiales como subterráneas. Los límites relativos a su presencia son en base a consideraciones de aspecto y sabor más -- que debidos a su toxicidad para el ser humano.

C A P I T U L O No. 5

PROCESO DE ASIMILACION Y DILUCION DE UNA CORRIENTE NATURAL.

5.1 DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO.

Para poder describir el proceso se hace necesario definir lo que se debe entender por capacidad de asimilación y dilución de una corriente natural. Así entonces el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas en su artículo 70 define como Capacidad de Asimilación a lo siguiente:

"Es la propiedad que tiene un cuerpo receptor ¹ 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".

Así mismo define como Capacidad de Dilución a lo siguiente:

"Es la cantidad de cualquier elemento, compuesto o sustancia que puede recibir un cuerpo receptor en forma

1 Cuerpo receptor es toda red colectora, río, cuenca, cauce, vaso o depósito de aguas que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales.

tal que no esceda 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".

También, por razones de comprensión del problema se hace necesario definir lo que se entenderá de aquí en adelante como aguas residuales, aguas de usos puramente domésticos y contaminación de aguas.

En base a lo anterior, como Aguas Residuales se debe entender que es el líquido de composición variada proveniente de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquiera otra índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original. De ésta manera las aguas de usos puramente domésticos serán las que se generen y provengan de las casas habitación, y que no sean utilizadas con fines industriales, comerciales, agrícolas y pecuarios.

Por lo que respecta al término de contaminación, se entenderá por ésto a: la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes², o cualquier combinación de ellos, que perjudique o resulte nocivo a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua (que es lo que atañe a éste trabajo), del suelo o de los bienes y recursos naturales en general.

Volviendo a la temática en cuestión se puede decir que dentro de la naturaleza el recurso agua actualmente ha merecido especial atención tanto en el aspecto cantidad como calidad. Actualmente la contaminación de los ríos por desechos industriales, domésticos y agrícolas tienen características críticas, ya que sus aguas algunas veces no tienen utilidad para riego ni para abastecimiento de agua potable, dadas las condiciones poco aptas para su consumo. En los últimos años, en algunos países se han promulgado leyes, reglamentos y guías para tratar de controlar la contaminación de aguas, limitando la cantidad de desechos que puedan verterse a los cauces de los ríos, exigiendo en algunos casos el tratamiento de las aguas negras para que cumplan con las normas de calidad fijadas por la autoridad competente en turno. Estas normas de calidad eminentemente consisten en respetar los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes.

En nuestro país estos límites son fijados por el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, también cabe mencionar que éstos valores ya fueron citados en el capítulo 2 del presente trabajo, solo restando decir que las condiciones de descarga se fijan en fun --

2 Por contaminante se entiende; toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora o fauna o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición natural o degrade su calidad.

ción de tres grupos de variables; correspondiendo el primero a las características de la corriente o cuerpo receptor, el segundo grupo lo constituye la característica de las aguas residuales, las cuales son los gastos medios, máximos y mínimos, tipos de contaminantes, grado de concentración, etc. Y finalmente el tercer grupo es el relativo a los usos del agua abajo del punto en que se produce la descarga y las características de asimilación y dilución que presenta la corriente en general.

Intrínsecamente el agua de las corrientes naturales posee una propiedad de recuperación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, cuando en ella se han vertido aguas residuales, así es que por éste motivo para tratar de conservar dichas propiedades en valores adecuados para su consumo, se deben identificar perfectamente los orígenes e intensidades de la contaminación en las aguas, además de medir y estimar la magnitud de las fuerzas naturales de asimilación y dilución y con ésto determinar si una corriente de agua dada podría por sí misma autopurificarse o si necesita la ayuda de un tratamiento proporcionado por el hombre para corregir el índice de contaminación si es que éste se hace considerablemente peligroso.

Las fuerzas antes mencionadas son múltiples y de distinta acción, dividiéndose en físicas, químicas y biológicas (de acuerdo a las propiedades de las aguas) y que pueden ser por ejemplo la sedimentación, la reducción, la oxidación y la radiación solar, estando todas ellas en una estrecha ---

interrelación.

Todas éstas fuerzas participan en diversas formas y se han aprovechado en los diferentes métodos de tratamiento que se han ideado para la purificación de las aguas de desecho. -- Así entonces, éstos procesos físicos, químicos y biológicos son forzados a ocurrir a propósito para lograr que en un -- tiempo y espacios relativamente pequeños (comparados por -- ejemplo con la longitud en un tramo cualquiera de una co -- rriente natural), se logren - cambios favorables en las con -- centraciones de contaminantes, que en forma natural podrían necesitar días, grandes distancias o extensiones considera -- blemente grandes de terreno.

Cuando se descarga en un volumen de agua clara, agua negra o una sustancia contaminante similar se producen una serie de cambios en la calidad del agua. Si el agua negra se descarga en un lago, en el cual las corrientes (cerca de la obra de vertido) son lentas y cambian continuamente su dirección con el viento, los cambios de calidad del agua ocurren próximos unos a otros traslapándose, con el resultado de que las diferentes zonas de cambios o descomposición no están perfectamente definidas.

Por otra parte, si el agua se mueve uniformemente hacia la descarga como en el caso de una corriente, ocurren cambios sucesivos en diferentes tramos del río, estableciéndose así, un perfil de contaminación y purificación natural casi matemático.

En la mayoría de las corrientes, la separación de las zonas de contaminación y asimilación y dilución es variable, es decir, se mueve longitudinalmente a lo largo del curso de la corriente, modificándose en su intensidad con los cambios de temperatura y distancia, especialmente durante los meses más calientes y en los menores flujos de la corriente natural.

En ocasiones el proceso puede ser suprimido, por ejemplo, durante invierno o cuando la corriente tiene una avenida fuerte. La disminución de la carga contaminante produce un efecto similar al producido cuando ocurre un aumento de agua limpia en la corriente natural.

Cuando se hace una sola descarga importante de aguas negras o de otra materia putrecible, el agua se hace turbia y consecuentemente la luz no llega a las partes profundas provocando con ésto, la muerte de las plantas verdes que crecen en el fondo del cauce, lo anterior como consecuencia de que las plantas ya no reciben la misma cantidad de radiación solar, interfiriendo su proceso de fotosíntesis, proceso por el cual al mismo tiempo que se sintetizan los nutrientes para la planta se libera una cantidad de oxígeno que a veces puede llegar a ser importante si el agrupamiento de plantas es uniforme.

Regresando al efecto de la descarga, también se puede añadir que los organismos saprófitos (aquellos que se alimentan de materia orgánica en proceso de degradación) aumentan a una velocidad proporcional al abasto de "alimento" que se

hace cuando se tiene una descarga fuerte de aguas negras en la corriente natural y como resultado de ésto se origina un "faltante" en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua natural que provocará serios trastornos en el equilibrio físico, químico y biológico de dicha agua. Así entonces, la intensidad de actividades vitales desarrolladas por los organismos animales y vegetales dentro del cuerpo de agua se verá reflejada en la intensidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (D B O) ya que puede ser que rápidamente se extraigan las reservas de oxígeno disuelto (O D) en el agua natural.

En las corrientes cuyas aguas se encuentran sobrecargadas de aguas negras, puede llegar a desaparecer completamente el oxígeno al ocurrir el desarrollo normal de los ciclos nitrógeno, carbono, azufre y otros elementos nitrogenados importantes.

Dependiendo de la hidrografía de la corriente, la materia en suspensión puede acarreararse junto con el agua o bien separarse de ésta, descendiendo al fondo de la corriente en función del tiempo y la distancia de viaje en la corriente y su velocidad.

Si la contaminación en la corriente se mantiene dentro de ciertos límites tolerables contribuirá a la fertilidad del agua ya que se promoverá el crecimiento de organismos animales y vegetales útiles para la vida acuática, como por ejemplo; podría ser que los peces en la corriente aumentaran

debido al incremento de microorganismos que se alimentan -- del nitrógeno y otras sustancias fertilizantes del agua de desecho.

El empleo de aguas negras sedimentadas para fertilizar lagunas de peces es un ejemplo de contaminación controlada y de la posibilidad de cosechar plancton rico en proteínas de -- las lagunas de oxidación. Así también, al fertilizar el -- agua por medio de aguas negras se corre el peligro de transmitir enfermedades a través de las plantas y de los animales que se emplean como alimentos.

Por todo lo antes expuesto, la contaminación y la capacidad de asimilación y dilución natural de una corriente de agua, cualquiera deberá medirse física, química y biológicamente, ya que ninguna de las medidas anteriores aislada (por sí sola) dará las condiciones completas de la corriente. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias vertidas en la corriente y de los usos del agua (ya descritos en el capítulo 4) que se den aguas abajo de la descarga, las mediciones deberán incluir determinaciones tales como turbiedad, color, olor, nitrógeno en sus diversas formas, DBO, OD y otros gases disueltos, sustancias minerales de diversas clases, cantidad y tipo de colonias bacterianas y organismos acuáticos mayores presentes en la corriente.

Cuando las aguas que han estado sujetas a contaminación se piensa emplearlas para propósitos municipales de abastecimiento de agua potable o como aguas para balnearios, se ---

deben observar los valores recomendados en el subcapítulo - 4.3 del capítulo 4 para tener una seguridad en la salva - guarda de la salud humana, ya que en éste tipo de aguas pue - de existir el tipo de bacterias coliforme que es un organis - mo altamente patógeno.

La calidad del agua desde el punto de vista de la atracción natural, de agrado a la vista y de paisaje, debe o por lo - menos debiera considerarse en relación con el contenido de meta - teria orgánica en solución, estado coloidal; de la canti - dad de materia sedimentable y flotante y de la cantidad de ace - ites y otras sustancias provenientes de los residuos -- vertidos en la corriente, ya que si algunos o todos éstos - aspectos presenta el agua de una corriente natural es claro observar que se presentaría una aversión hacia éstas aguas - dado su aspecto poco agradable a la vista y olor desagradable, éste último, relacionado estrechamente con la des - compo sición anaerobia de las aguas servidas.

El déficit de oxígeno desempeña un papel fundamental en el proceso, por lo tanto, para definir la calidad sanitaria -- del agua de una corriente, algunos autores sugieren un criterio preciso en cuanto a la cantidad de oxígeno disuelto - (O D) presente en la corriente después de la mezcla agua - ne - gra - agua clara ocurrida en el momento de la descarga máxima de aguas servidas en el cuerpo de agua, el cual en términos generales se enuncia como sigue: "La cantidad de oxígeno disuelto de una corriente antes y después de una ----- descarga de aguas residuales en cualquier punto del -----

curso del agua no deberá bajar de 5 mg/l, ésto con el objetivo de mantener la vida superior correspondiente a las necesidades de oxígeno requeridas por los peces y plantas ver des principalmente.

La conservación de la anterior condición en el agua, - está íntimamente relacionada con el balance entre el volumen del cuerpo receptor (podría ser el gasto de aguas claras) y el volumen y concentración de las aguas servidas que se descargan al curso de agua correspondiente, por lo tanto, de acuerdo con éstas características deben tomarse las medi das preventivas necesarias para exigir o no el tratamiento de las aguas negras que se piense verter en la corriente de agua.

Por otra parte, los residuos industriales que producen una reducción o un alza excesiva del pH, y salinidad o un incre mento de sustancias tóxicas, deben considerarse especialmen te, vigilando la cantidad y concentración de ellos de acuerdo a lo expuesto en el capítulo 4 en lo que se refiere a usos del agua, para mantener la vida de las especies animales y vegetales superiores en los cursos de los cuerpos receptores.

En el mecanismo y desarrollo del proceso de asimilación y dilución en una corriente natural, si no se tiene una injerencia directa en el control de una descarga de aguas ne-- gras, es decir, sin intervenir en el vertimiento de aguas servidas en un río por ejemplo, pueden reconocerse cuatro -

sitios o zonas bien definidas dentro de la corriente, correspondiente a los estados de contaminación del agua. Estos sitios o zonas a continuación se describen de manera aislada - pero sin olvidar que no existe una frontera perfectamente -- delineada entre ellas y además que no suceden aisladamente - sino contrariamente a su descripción, suceden de manera --- estrecha e interrelacionada aunque sí de manera escalonada.

La primera zona en mencionarse es la que se conoce con el -- nombre de zona de degradación, zona que se encuentra normalmente muy cerca del punto de descarga de las aguas negras -- originando que las cualidades físicas, químicas y biológicas del agua sean deterioradas y que las formas de vida inferior más tolerantes reemplazan a las formas de vida superior.

El límite inferior de ésta zona corresponde a una distancia _ para la cual el contenido de oxígeno disuelto se aproxima al 45% del oxígeno de saturación en función de una temperatura _ considerada como de verano. En ésta zona de degradación --- aumenta la flora bacteriana a la vez que se producen depósitos de lodo de alto contenido de materia orgánica que ha --- empezado a ser oxidada por el aumento de la actividad de descomposición, pero que en su mayoría no ha sido reducida, también como resultado de esto empieza a decrecer paulatinamente la cantidad de oxígeno disuelto y a incrementarse el anhídrido carbónico. Y como se dijo en líneas anteriores, en cuanto empieza a ocurrir la descomposición de materia orgánica, los hongos acuáticos iniciarán un reemplazamiento sistemático de las plantas verdes consumidoras de dióxido de ----

carbono y de los microorganismos de la flora normal reinante en las aguas claras.

Los indicios de vida en esta zona se describen enseguida. -- Algunas formas litorales de algas verdes y azul - verdes --- cuelgan de las piedras, frecuentemente sólo humedecidas; -- entre ellas se podrán encontrar por ejemplo a la *Stigeoclo-* *nium*, la *Oscillatoria* y tal vez la *Ulothrix*.

Así también se podrán encontrar formas vivas de zona profunda en el lodo; tales como gusanos rojizos (*Turbificideos*), -- muy parecidos éstos a las lombrices de tierra, como *tubifex-* *y limnodrilus*. Además existirán: hongos de agua; particularmente blancos, verde oliva, gris pardo, y rojizos con nombres científicos de *Sphaerolitus natans*, *Leptomitus*, -- *Aehya*, etc. Y por último, se podrán también encontrar protozoarios ciliados como los *Carchesium*, *Epistylis* y *Vorticella*, etc.

La siguiente zona indentificada es la que se conoce con el nombre de zona de descomposición activa que se caracteriza por la ausencia de oxígeno disuelto y por las malas condiciones sépticas, marcado color gris oscuro, con olor característico a descomposición de aguas negras (liberación del gas del ácido sulfhídrico que produce un olor fétido semejante al producido por huevos podridos), depósito de lodo negro -- viscoso con desprendimiento de burbujas de gas. Luego entonces al establecerse la descomposición anaerobia, se incrementa el anhídrido carbónico y el amoníaco y las bacterias ana-

erobias reemplazan a las aerobias, proceso que dura hasta - que la D.B.O. es menor que la tasa de aeración.

En ésta zona es característico el surgimiento de la flora - bacteriana, desplazando las anaerobias a las aerobias las - cuales reaparecen casi hacia el extremo inferior de la zona.

También los protozoarios existentes siguen el camino de las bacterias aeróbicas, disminuyendo primero (al inicio de la - zona) y reapareciendo después (al final de la zona).

Los hongos siguen un camino análogo, desapareciendo total- mente bajo éstas condiciones sépticas, pero reapareciendo - al final de ésta etapa, cuando ya se han mejorado las condi- ciones para su supervivencia, éstos organismos se les deno- mina filarios y desarrollan en tinte rozado, cremoso o gris.

También se pueden encontrar algas, en una muy pequeña exten- sión hacia el extremo inferior (final) de la zona. Además, otros organismos tales como el Tubifex se encuentran única- mente en los extremos inicial y final de la zona. Y en to- da la zona, con excepción de la parte con mayor concentra- ción de materia en descomposición, existen púpas y larvas - de Psychoda (mosca de las aguas negras).

La tercera zona identificada se le conoce como zona de recu- peración, caracterizándose por que sus condiciones físicas, - químicas y biológicas son opuestas a la zona de degradación, porque en ésta a diferencia de la anterior hay una gradual clarificación del agua, y también la cantidad de oxígeno --

disuelto en la corriente irá en aumento para que tiempo y distancia después se logre alcanzar el punto de saturación nuevamente si es que la corriente de agua natural no recibe otra descarga de aguas servidas que retrasen el tiempo de recuperación, así también ocurre que el anhídrido carbónico disminuye mientras que los nitritos y nitratos disueltos en la corriente aumentan.

Además desaparece el burbujeo casi en su totalidad en el agua y el recuento bacteriano disminuye a medida que baja la cantidad de materia orgánica que sirve de alimento a las colonias bacterianas, además se empiezan a notar indicios de vida de protozoarios más resistentes, y más adelante de pequeños crustáceos; de ésto se hablará enseguida.

Como se dijo en líneas anteriores aparecen protozoarios, rotíferos y pequeños crustáceos, encontrándose hongos de grado limitado. También aparecen algas en el siguiente orden: Cianofíceas, Clorofíceas y Diatomeas y plantas superiores como esponjas, briozoarios, etcétera.

Y entre los organismos del fondo se encontrarán por ejemplo el Tubifex, cierto tipo de mariscos, caracoles y gran variedad de larvas de insectos.

Y en cuanto a organismos de talla mayor se tienen algunas carpas, rémoras y demás formas de peces algo más resistentes y mejor adaptadas a condiciones cercanas a las críticas.

La cuarta zona definida es aquella de aguas claras que se caracteriza por una similitud con las aguas naturales, además que es atractiva en apariencia teniendo vida animal y vegetal normales. Ya en esta zona proliferan las bacterias aerobias junto con otros microorganismos y especies animales un tanto más delicadas que las especies de la zona anterior.

Así pues, en un curso de agua en el cual se pretenden mantener las condiciones agradables al sentido de la vista y del olfato, en el cual haya vida superior y que sea atractiva desde el punto de vista paisajístico, el contenido de oxígeno disuelto se debe procurar que no baje de 5 mg/l, tal como se estableció al inicio de este capítulo, luego entonces para lograr establecer como mínimo el anterior valor, se hace necesario estudiar las ecuaciones matemáticas que modelan de manera aproximada el proceso de asimilación y dilución en una corriente natural y con esto obtener datos y valores para precisar y cuantificar por ejemplo: la carga orgánica máxima permisible que se podría verter en cualquier punto de la corriente sin peligro de alterar las condiciones naturales de esta última.

Luego entonces, a continuación se inicia la representación matemática del proceso en condiciones aerobias.

5.2 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (D B O)

Como se recordará, en el capítulo 4 en la sección 4.4 se definió como DBO a la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica mediante la actividad aeróbica de ciertos microorganismos hasta formas estables de compuestos inorgánicos. Cabrá mencionar que lo anterior se da bajo de terminadas condiciones de calidad de agua de la corriente, tiempo y temperatura.

Cabe mencionar que algunos autores distinguen dos etapas en la DBO; la primera que corresponde normalmente al proceso de descomposición de la materia orgánica y una segunda llamada de nitrificación de la corriente natural, aunque ésta última no ha sido estudiada a fondo, de lo anterior a continuación se hablará.

Generalmente en el laboratorio se acostumbra determinar la DBO (en mg/l o ppm) para un periodo de incubación de cinco días, a una temperatura de 20°C, éste valor de suma importancia en el cálculo de la capacidad de asimilación y dilución de una corriente, se acostumbra a representar como sigue: DBO_5 .

Pero además de la determinación de la DBO_5 se pueden determinar otras DBO para diferentes temperaturas y tiempos de incubación si así lo requiere el estudio que se esté haciendo sobre la corriente. Pero todo éste trabajo ya ha sido realizado por algunos investigadores y a continuación se --

presenta un resumen de resultados de DBO para cualquier temperatura y período de incubación relacionado con el período de incubación de 5 días a 20°C.

TABLA 5.1

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO SEGUN TIEMPO Y TEMPERATURA EN RELACION CON UN PERIODO DE INCUBACION DE CINCO DIAS A 20° C (LOS VALORES DE DBO EXPRESADOS EN ppm = mg/l)

Temperatura (días) / Tiempo (°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

La línea quebrada indica aproximadamente el tiempo de transición a la etapa de nitrificación.

Si las aguas negras han sufrido descomposición parcial o tienen agentes reductores químicos, habrá una demanda inmediata que no forma parte de la DBO normal, sino que se presenta como un fenómeno de breve duración, además que si dichas aguas negras se han sometido a un tratamiento biológico previo, su DBO se habrá reducido tal vez considerablemente.

Mientras que la descomposición corresponda a la primera etapa, la DBO se regirá de acuerdo con las fórmulas que más adelante se deducirán, aunque aparentemente será de menor duración que la etapa normal, pero si la nitrificación o segunda etapa empieza traslapada con el final de la descomposición, la DBO no se regirá por la fórmulas aludidas.

La reducción de la DBO por la remoción física de materias orgánicas (precipitación química, sedimentación, etc) es relativamente baja dadas las características de aeración que necesita. En cambio, por medio de los tratamientos convencionales de tratamiento biológico, la DBO de las aguas es satisfecha ampliamente durante todo el proceso.

Entonces se puede decir, que el camino seguido por parte de la DBO en el proceso de tratamiento biológico artificial, es similar al que se esperaría en las aguas negras después de varios días de actividad biológica normal. También la reducción parcial de la DBO puede llevar a las aguas negras a la zona o etapa de nitrificación sin haber concluido la etapa de descomposición total y ocurrir que la DBO del

efluente sea mayor que para un tratamiento un poco menos - completo. Por esta razón, algunos encargados de la operación de las plantas de tratamiento tienden a detener el -- tratamiento biológico poco antes de que empiece la nitrifi- cación, y claro, ésto dependerá de la capacidad de la plan- ta y de las características mínimas de calidad que deberá- observar el efluente de la planta.

En cuanto a la segunda etapa de la DBO, se puede mencionar que aunque no se tengan todos los conocimientos deseables, sobre ésta etapa, algunos investigadores han demostrado -- que la nitrificación del agua de la corriente ocurre en -- éste periodo. Además, de la observación de la forma de la curva de la DBO se puede asegurar que el punto en el que + la DBO alcanza un valor constante para una variación en -- tiempo igual, varía en las aguas de uso doméstico (las ser- vidas) de 16 a 20 días para una temperatura de incubación_ de 20°C.

Cuando la temperatura aumenta se acelera el proceso y las_ características de las aguas tienen marcada influencia, -- por ejemplo: los organismos nitrificantes que se desarro- llan en ésta etapa son más difíciles de aislar y cultivar_ en laboratorio, también cabe mencionar que la observación_ del consumo de oxígeno está sujeta a un mayor número de -- errores que la primera etapa, por lo que aún no se ha podi- do deducir una representación matemática que más o menos - modelele éste fenómeno.

En la figura 5.1, se presenta una curva que relaciona la DBO contra el tiempo, en la que se puede observar el desarrollo de las etapas ocurridas de DBO en una corriente --- cuando se ha vertido en ella un volumen considerable de -- aguas servidas. Y como se podrá observar la etapa carbono sa comprende aproximadamente unos 19 o 20 días (ésto de -- acuerdo a la transición entre ésta etapa y la nitrogenada), y la etapa nitrogenada que más o menos empieza por ahí de los 20 días y que se extiende de manera casi constante a -- partir del día 30, creciendo ya muy poco la DBO a partir -- de éste período.

Así entonces, la representación matemática de la primera -- etapa de la DBO es la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{dDBO}{dt} = K_D (L_0 - DBO_t) \quad \text{Ecc. (1)}$$

En la figura 5.2, se puede observar la representación grá--fica de la derivación de la ecc. 1, donde se nota el decre--cimiento de la DBO conforme transcurre el tiempo, a partir de un máximo ocurrido en un tiempo específico, del cual -- más adelante se hablará.

El signo negativo de la pendiente de la curva, lo da el -- coeficiente K_D para un tiempo cualquiera luego de haber -- resuelto la ecuación 1.

La cual si se despeja en forma explícita para la DBO y lue--go se integra, queda una ecuación exponencial como se ---

FIGURA 5.1
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO
(DBO) CONTRA TIEMPO

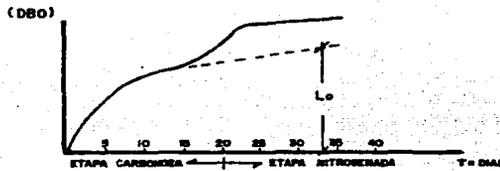
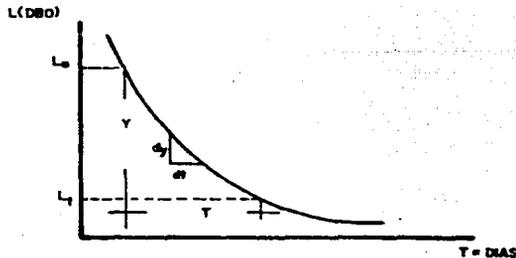


FIGURA 5.2
REPRESENTACION GRAFICA DE LA DERIVACION DE LA
ECUACION MONOMOLECULAR DE LA DBO



muestra a continuación:

$$DBO_t = L_0 (1 - e^{-K_D t}) \quad \text{Ecc. (2)}$$

dónde: DBO_t es la DBO que se satisface en un tiempo t , en mg/l.

L_0 : es el valor último de la DBO en la primera etapa (materia orgánica carbonácea) en mg/l.

K_D : es el coeficiente de degradación en días⁻¹.

t : es el tiempo en el cual se satisfará la DBO de la primera etapa, en días.

Por otra parte, cabe señalar que la ecc. (2) puede expresarse en función de la base 10 en lugar de la base e , como a continuación se anota:

$$DBO_t = L_0 (1 - 10^{-K'_D t}) \quad \text{Ecc. (2.a)}$$

dónde: K'_D es un coeficiente que está en función de K_D y del valor de la constante 0.434294 para transformación de base e a base 10, como sigue:

$$K'_D = 0.434294 \cdot K_D$$

5.3. DEFICIT DE OXIGENO EN UNA CORRIENTE NATURAL.

Para poder formular las ecuaciones del proceso de asimilación y dilución de una corriente natural, es necesario conocer las constantes de la ecuación que determina el déficit de oxígeno (Dt) que en términos generales resulta ser la concentración de oxígeno disuelto que falta en la corriente para tener la concentración de saturación (Cs) de oxígeno disuelto en un punto cualquiera del río, para un tramo determinado. Este Déficit de Oxígeno se formula en función de la carga orgánica y del tiempo de escurrimiento, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Dt = \frac{K_p \cdot Lo}{K_a - K_b} (10^{-K_b t} - 10^{-K_a t}) + Do \cdot 10^{-K_a t} \quad \text{Ecc. (3)}$$

de donde:

Do = Déficit inicial de oxígeno disuelto en un punto de referencia dentro de la corriente en mg/l.

Dt = Déficit final de oxígeno disuelto en un punto distante un tiempo "t" del punto de referencia en mg/l.

Lo = Carga orgánica inicial, medida como DBO₅, en mg/l

t = Tiempo de recorrido del tramo, en días.

K_p = Coefic. de degradación en días⁻¹

K_R = Coefic. de reaeración en días⁻¹

K_{D1} = Coefic. de desoxigeración en días⁻¹

K'_R y K'_D = son coeficientes dados en función de K_R y K_D respectivamente para la base e exponencial. Como a continuación se muestra:

$$K'_R = 0.434294 K_R$$

$$K'_D = 0.434294 K_D$$

La anterior ecuación 3 se presenta sin desarrollo matemático previo sólo para ilustrar la influencia del déficit de oxígeno en el desarrollo del proceso de asimilación y dilución de una corriente. Pero su planteamiento matemático se presenta en la sección 5.4 de éste capítulo. Así entonces sólo basta anotar dicha ecuación, por el momento.

El coeficiente de degradación K_D es el producido por la ---- bioxidación y el coeficiente de sedimentación y/o absorción, siendo igual a: $K_D = K_{D1} + K_S$, donde K_S es el coeficiente de remoción debido a la sedimentación; cuando éstos fenómenos no existen entonces; $K_D = K_{D1}$ y $K_S = 0$. Pero para fines del presente trabajo y para la obtención de la ecuación matemática, se considerará exclusivamente a K_D .

La constante K_D y el término L_0 corresponden a las condiciones de mezclado del agua del río con la descarga de aguas servidas en un punto considerado o llamado, de referencia.

Estos valores pueden ser determinados con base en experimentos de laboratorio de la D B O y luego ajustando sus valores usando cualquier método numérico para tal objeto, (por ejemplo: el método de los mínimos cuadrados, o bien el método de ajuste gráfico, etc).

El valor de la constante K_a del tramo de la corriente considerado, se calcula sobre la base del valor de la DBO, que el agua tiene al comienzo y al final del sector de la corriente en estudio. Y, con un número apropiado de muestras y sincronizando la toma de ellas en estaciones sucesivas, de tal modo que sea prácticamente la misma masa de agua la que se muestree, se conseguirá una serie homogénea de datos para las condiciones medias del curso de la corriente y con ésto lograr una aproximación razonable de acuerdo a las características reales de la corriente.

Los valores L_0 , K_d , K_a se obtendrán para cada conjunto de datos homogéneos, y por lo consiguiente, se obtendrá una ecuación para cada conjunto de datos, que determinará el déficit de oxígeno para la sección o tramo considerado dentro de la corriente natural.

Una vez conocida la ecuación para el tramo considerado, se determina el valor de la carga máxima permisible, para la cual sus límites serán: el límite superior para cuando D_0 sea igual a cero y el límite inferior representado cuando el D_c se presente en la corriente además del tiempo correspondiente para que se produzca el déficit crítico de oxígeno.

no, el cual se establece previamente según las condiciones requeridas en el cuerpo de agua en cuestión y que corresponden a lo que se piense hacer aguas abajo de la descarga con dicho cuerpo receptor.

Por otra parte, cabe mencionar que el oxígeno necesario para mantener las condiciones biológicas aerobias de un curso o de cualquiera otra fuente, se deriva fundamentalmente de la atmósfera con la cual está en contacto, porque el oxígeno liberado por las plantas durante el proceso de fotosíntesis a pesar de ser un recurso importante, siempre está limitado por los siguientes casos:

- a) Aguas que no fueron totalmente contaminadas como para evitar el desarrollo de plantas o algas, o -- que han tenido el tiempo suficiente como para que se desarrollen aún de manera esporádica.
- b) Aguas que se han purificado (que hayan casi asimilado y diluido toda la carga orgánica vertida en ellas) lo suficiente para que se den las condiciones propias para que se desarrolle normalmente la flora y fauna.
- c) El número de horas durante las cuales el sol incide en la superficie de las aguas (en nuestro caso) y además de la estación climática reinante en ese momento.

El resultado del ciclo diurno de oxígeno disuelto en aguas ricas en flora acuática, varía con la intensidad de la luz solar y la diversidad de especies reinantes en la corriente, por lo cual su presencia no es tomada en cuenta en los cálculos de balance de oxígeno disuelto de las aguas de la mezcla agua de la corriente - agua negra o bien en aguas exclusivamente de la corriente natural, ya que podría ser que su participación fuese efímera en un momento dado.

En complemento a lo anterior, se puede decir que la velocidad de absorción de oxígeno es proporcional al déficit de saturación del mismo, por lo que la oxigenación en las aguas presenta el siguiente modelo matemático.

$$\frac{dC}{dt} = K_R (C_s - C_t) \quad \text{Ecc. (4)}$$

en donde: $\frac{dC}{dt}$ representa la velocidad de la variación de absorción en un tiempo t.

C_s representa la concentración de la saturación de oxígeno disuelto en el agua a una temperatura dada (por ejemplo a 17°C).

C_t representa la concentración de oxígeno disuelto en el agua en un tiempo t.

K_R es el coeficiente de reaeración en días⁻¹ que depende de las condiciones existentes de exposición.

Pero además si se hace una diferencia entre el Cs y el Ct - se encontrará que : $C_s - C_t = D_t$, es decir, que la concentración de oxígeno de saturación menos la concentración de oxígeno disuelto en un tiempo t dado, no es otra cosa que - el déficit de oxígeno disuelto en ese mismo tiempo t, así - entonces la ecuación (4) se puede escribir como:

$$\frac{dC}{dt} = K_A D_t \quad \text{Ecc. (4.a)}$$

Pero aún más, la diferencial de concentración es intrínsecamente equivalente a la diferencial del déficit de oxígeno - disuelto por lo que finalmente la ecuación diferencial queda:

$$\frac{dD_t}{dt} = -K_A D_t \quad \text{Ecc. (4.b)}$$

De donde, poniendo de manera explícita al D_t se tendría:

$$D_t = \frac{dD_t}{dt} \frac{1}{-K_A} \quad \text{Ecc. (4.c)}$$

Resolviendo la ecc. 4.c, se obtiene:

$$D_t = D_0 e^{-K_A t} \quad \text{Ecc. (5)}$$

donde: D_0 es el déficit de oxígeno disuelto en el punto de referencia, en mg/l

Los demás términos en la ecuación son conocidos.

Como complemento a lo anterior, cabe aclarar que como el --

coeficiente de reaeración es afectado a cualquier temperatura de la corriente, éste se corrige usando una constante que toma en cuenta dicha influencia que está además íntimamente relacionada con una temperatura de referencia que es igual a 20°C, así entonces:

$$K_{AT} = (K_R) \phi^{(T-20^\circ\text{C})} \quad \text{Ecc. (6)}$$

donde: K_{AT} es el valor del coeficiente de reaeración a una temperatura T natural de la corriente en grados centígrados.

T es dicha temperatura natural de la corriente en °C.

K_R es el coeficiente de reaeración para las condiciones de autopurificación y degradación en el agua de la corriente, de su obtención más adelante se hablará.

ϕ como ya se había dicho es una constante, cuyo valor es diferente según el autor que lo recomienda, ésto es:

ϕ	= 1.0159	Becker
ϕ	= 1.010	Adeney
ϕ	= 1.0243	Fair, Geyer, Okun.

La selección del valor de ϕ quedará a criterio del interesado, aunque se podría recomendar usar el propuesto por Fair,

Geyer, Okun.

Por último, de la simple observación de la ecuación 6, se deduce que cuando la temperatura T de la corriente sea de 20°C, la constante λ no afectará el valor del coeficiente -- de reaeración K_R de ninguna manera, lo cual quiere decir -- que el coeficiente K_R sólo se corregirá de su valor promedio calculado, de acuerdo a la temperatura natural del agua. Análogamente a lo anterior, el coeficiente de degradación K_D , también es afectado por la temperatura, por lo tanto su valor se corrige por éste efecto mediante el uso de una --- constante λ que al igual que λ tiene valores distintos según se muestra a continuación:

$\lambda = 1.023$	Becker
$\lambda = 1.038$	Adeney
$\lambda = 1.047$	Fair, Geyer, Okun.

El valor a elegir dependerá del gusto de cada quién, ya que cada uno de estos valores representa sólo una aproximación a lo que en verdad ocurre en la corriente natural.

A continuación se anota la fórmula de corrección del coeficiente de degradación K_D :

$$K_{DT} = (K_D) \lambda^{(T-20^\circ\text{C})} \quad \text{Ecc. (7)}$$

de donde sólo hay que aclarar que K_{DT} es ahora el coeficiente de degradación a la temperatura natural del agua de la corriente.

Y que K_0 corresponderá al coeficiente de degradación a una temperatura de referencia igual a 20°C.

Y al igual que cuando se hizo el comentario para la ecuación 6, ahora se hace para la ecuación 7, donde se puede ver que el valor de la constante λ no afectará al coeficiente de degradación K_0 si la temperatura natural de agua de la corriente es igual a 20°C (temperatura de referencia), luego entonces, λ sólo funcionará para temperaturas diferentes de la de referencia (cosa que muy a menudo ocurrirá).

De lo anterior, sólo resta decir, que el valor del coeficiente de degradación a 20°C, K_0 se determina en función de los valores reportados de DBO en la corriente en estudio, y que cuando en una corriente no se detecte una alta DBO y no se perciba el efecto de descargas puntuales o distribuidas en ella, se puede asignar el valor de 0.17 a K_0 , ésto como resultado de que las DBO reportadas no muestren un efecto real de degradación en la corriente.

El anterior valor asignado a K_0 ésta de acuerdo con el criterio que siguen Fair, Geyer y Okun, recomendando también que si al principiar el estudio de la capacidad de asimilación y dilución de una corriente se encuentra uno de nosotros con lo antes mencionado, se pueden suponer valores de K_0 entre 0.12 y 0.23 para efluentes secundarios que pudieran en el futuro verterse en la corriente.

En cuanto a la determinación del coeficiente de reaeración K_R , se puede anotar que es una constante dependiente de un factor llamado de autopurificación y del conocido coeficiente de degradación K_D a 20°C.

Para su determinación es recomendable usar la siguiente expresión que lo relaciona con los otros dos, de esta manera:

$$f = \frac{K_R}{K_D} \quad \text{Ecc. (8)}$$

donde: f es el llamado factor de autopurificación

K_R es el coeficiente de reaeración

K_D es el coeficiente de degradación

Ahora bien para determinar el valor de f , se pueden usar dos criterios diferentes que están en función de la velocidad de la corriente; uno de ellos es un tanto empírico y actualmente de poco uso dada la subjetividad de su aplicación, y otro que es un tanto más reciente y de mayor aplicación debido principalmente a las mejores bases que sustentan su deducción. Estos criterios a continuación se describen.

Criterio 1: los valores de f que a continuación se presentan están dados considerando una temperatura de 20°C y velocidades medias de los ríos estudiados.

TABLA 5.2

AGUAS RECEPTORAS	VALORES DE f A 20°C
1. Lagunas y aguas estacionarias provenientes de ríos.	0.5 a 1.0
2. Cursos muy lentos y lagos o grandes almacenamientos.	1.0 a 1.5
3. Cursos grandes de baja velocidad	1.5 a 2.0
4. Cursos grandes de velocidad normal	2.0 a 3.0
5. Cursos de alta velocidad	3.0 a 5.0
6. Cursos muy rápidos	más de 5.0

La corrección del valor de f para temperaturas diferentes a la de 20°C, se puede efectuar mediante la expresión siguiente:

$$f_T = (f) 0.970^{(T-20)} \quad \text{Ecc. (9)}$$

donde: f_T es el valor de la constante de autopurificación para la temperatura normal de la corriente.

f es el valor de la constante de autopurificación recomendado en la tabla 5.2

T es el valor de la temperatura normal de la corriente.

Criterio 2: éste criterio para obtener los valores del -- factor de autopurificación se basa fundamentalmente en la velocidad media de la corriente y su temperatura natural, sin necesidad de corregir los valores recomendados por los autores Fair, Geyer y Okun debido a que éstos valores no se dan en relación a una temperatura de referencia de 20°C Ver tabla 5.3

Así entonces, los valores recomendados por Fair, Geyer y Okun para el factor de autopurificación son:

TABLA 5.3

VELOCIDAD DE LA CORRIENTE (m / s)	VALORES DE f
0 - 0.1	1.0
0.1 - 0.3	1.4
0.3 - 0.5	1.6
0.5 - 0.7	2.1
0.7 - 0.9	2.4
0.9 - 1.1	2.6

VALUACION PRACTICA DE LOS COEFICIENTES DE DEGRADACION Y REAERACION.

En el pasado, Theriault encontró que el valor K_p era muy constante para una variedad de aguas contaminadas y que éstas poseían una magnitud media de 0.23 por día a 20°C. Sin embargo, investigaciones posteriores del comportamiento de muestras de aguas residuales han demostrado que K_p puede variar de 0.16 a 0.70 por día a 20°C, y que el valor medio está próximo a 0.39. La variación posible en K_p implica que la D B O a cinco días y a 20°C no es en sí misma una medición completa de la concentración del agua residual o de la contaminación del agua porque no constituye una proporción constante del valor L_0 . La proporción de la demanda de la primera etapa alcanzada en un período de cinco días a las variaciones establecidas en K_p se encuentra entre 55.1 y 97.0 %. Por lo tanto se concluye que se deberían obtener comparaciones entre los valores a cinco días y a 20°C de diferentes aguas sólo si sus coeficientes de velocidad de degradación son idénticas.

En ausencia de pruebas reales se pueden utilizar los siguientes valores para estimaciones preliminares del comportamiento esperado de la DBO de aguas residuales municipales - crudas y tratadas. Se añaden, para comparaciones, los valores del agua que se obtiene en las tomas domiciliarias.

TIPO DE AGUA	VALOR DE K_D	VALOR DE L_0
Agua residual de baja concentración.	0.35	150
Agua residual concentrada.	0.39	250
Efluente primario.	0.23	75-150
Efluente secundario.	0.12-0.23	15-75
Agua de tomas domiciliarias	0.12	0-1

Por lo que respecta al coeficiente de reaeración K_R , éste se puede obtener de dos maneras: La primera, en función del valor de la constante de autopurificación f_p y del valor del coeficiente de degradación K_D mediante la relación ya antes vista, usando la tabla de valores de f que se proporciona. La segunda forma de obtenerlo se basa en las siguientes relaciones empírico-teóricas que se muestran. Estas expresiones las propusieron los investigadores Churchill, Elmore y Buckingham en base a observar que K_R varía con la exposición superficial y el volumen del agua, así como con la velocidad a la que se mezcla el agua por efecto de las corrientes verticales y horizontales que distribuyen el oxígeno absorbido y ponen volúmenes frescos e insaturados en contacto con la atmósfera.

$$K_R = (5.026) (v)^{0.969} / (R)^{1.673}$$

en donde: v es la velocidad media de flujo en determinado tramo del río.

R es el radio hidráulico medio.

Y aún más, la anterior expresión puede formularse en función de la ecuación de Robert Manning para canales, como sigue:

$$K_R = (7.5) (S)^{1/2} / (R) (n)$$

en donde: S es la pendiente media del tramo del río aislado.

n es el coeficiente de rugosidad de Manning para cursos naturales.

El valor de n para diferentes tipos de cauce se muestra en la tabla 5.4.

TABLA 5.4 VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD N DE --
MANNING PARA CURSOS NATURALES.

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCION	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
D.1 Cursos menores (ancho superior al nivel de crecida menor que 30.48 m)			
a) Cursos en planicie			
1. Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos.	0.025	0.030	0.033
2. Igual que 1, poco más piedras y pastos.	0.030	0.35	0.040
3. Limpio, curvado, algunos pozos y bancos.	0.033	0.040	0.045
4. Igual que 3, pero con algunos pastos y piedras.	0.035	0.045	0.050
5. Igual que 4, pero con más pendiente y sección inefectiva.	0.040	0.048	0.055
6. Igual que 4, pero con más piedras.	0.045	0.050	0.060
7. Tramos sucios, con pastos y pozos profundos.	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorridos de la crecida con mucha madera y arbustos bajos.	0.075	0.100	0.150
b) Cursos en montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas sumergidos para niveles altos.			
1. Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas.	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: Cantos rodados con grandes rocas.	0.040	0.050	0.070

CONTINUACION DE LA TABLA 5.4

TIPO DE CANAL Y DESCRIPCION	MINIMO	NORMAL	MAXIMO
D.2 Planicie crecida-			
a) Pasturas, sin arbustos			
1. Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
2. Pastos altos	0.030	0.035	0.050
b) Areas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
3. Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
c) Arbustos			
1. Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
2. Pequeños arbustos y árboles en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d) Arboles			
1. Sauces densos, en verano y rectos	0.110	0.150	0.200
2. Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
3. Igual que en 2, pero con crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
4. Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas.	0.080	0.100	0.120
5. Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
D.3 Cursos de agua importantes (ancho superior a nivel de inundación mayor que 30.48 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
a) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-----	0.060
b) Sección irregular y áspera	0.035	-----	0.100

5.4. REPRESENTACION MATEMATICA DEL EFECTO COMBINADO DE LA REAERACION
Y LA DEGRADACION.

La superposición de los fenómenos de degradación de las ---
aguas negras y su reaeración origina que se forme una curva
característica de déficit de oxígeno disuelto (O D) que -
describe el proceso de asimilación y dilución de una co---
rriente de manera indirecta pero de acuerdo con la cantidad
de oxígeno disuelto presente en la corriente durante todo -
el tiempo que dura la recuperación de la calidad natural de
la misma. Esto se puede observar en la figura 5.3, que pa-
ra éste propósito se presenta más adelante.

Las propiedades matemáticas de la curva de degradación ---
reaeración en relación con los cálculos de contaminación --
permisible en el cuerpo receptor han sido formuladas en ba-
se a los estudios clásicos realizados por Streeter - Phelps,
(H.W. Streeter y E.B. Phelps, U.S. Public Health Bul. 146,
1925).

La ecuación diferencial que identifica la acción combinada
de degradación - reaeración, establece que el cambio en el
déficit de oxígeno disuelto $d Dt/dt$, es igual a la suma ---
algebraica de la utilización del oxígeno disuelto por la de-
manda bioquímica de oxígeno (DBO) en ausencia de aeración,
y el efecto de reaeración en ausencia de la DBO, éste es:

$$\frac{dDt}{dt} = K_D (L_0 - DBO_t) - K_A (Dt) \quad \text{Ecc. (10)}$$

donde sucede que el déficit de oxígeno disuelto decrece a una velocidad de variación que es proporcional al déficit mismo.

Luego entonces, si se integra la ecc. (10) entre los límites cero y t, se tendrá lo siguiente:

$$Dt = \frac{(K_A)LO}{K_A - K_D} (e^{-K_D t} - e^{-K_A t}) + D_0 (e^{-K_A t}) \quad \text{Ecc. (11)}$$

Así mismo, la ecc. (11) podría obtenerse en función de una base distinta a la e, por ejemplo la base 10, luego entonces se tiene:

$$Dt = \frac{(K_A)LO}{K_A - K_D} (10^{-K'_D t} - 10^{-K'_A t}) + D_0 (10^{-K'_A t}) \quad \text{Ecc. (11.a)}$$

de donde: $K'_D = 0.434294 K_D$
 $K'_A = 0.434294 K_A$

Pero también la ecc. 11.a puede ponerse en función del factor de autopurificación, que como se recordará es igual al cociente de la división entre el coeficiente de reaeración y el coeficiente de degradación, ésto es:

$$f = \frac{K_A}{K_D} = \frac{K'_A}{K'_D} \quad \text{que es la ecc. (8)}$$

Así entonces, si se sustituye la ecuación 8 en la 11.a se tendrá que:

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) \left\{ 1 - \left[(10^{-(f-1)}) K'_D t \right] \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right) \right\}$$

Ecc. (12)

Además como se podrá observar la ecuación 11.a, transformada en la ecuación 12, no es más que la ecuación 3 formulada al inicio del subcapítulo 5.3, por lo que todos sus términos son conocidos. Así que solo resta anotar que la ecuación 12 modela el comportamiento del déficit de oxígeno de una corriente en un punto cualquiera de su curso cuando en ésta se han hecho descargas puntuales o distribuidas de aguas servidas en función ahora, del factor de autopurificación de la corriente de acuerdo a la carga orgánica depositada en ella y del tiempo de escurrimiento.

Con base a éste déficit final de oxígeno disuelto y la concentración de saturación en el tramo se obtiene la concentración de oxígeno disuelto final de acuerdo con:

$$ODt = S - Dt \quad \text{Ecc. (13)}$$

donde:

ODt es la concentración de oxígeno disuelto al final del tramo, en mg/l.

S es la concentración de saturación de oxígeno, en mg/l.

Dt es el déficit final de oxígeno disuelto, en mg/l.

Y cuando se tiene aportación adicional de agua, la concentración de oxígeno disuelto cambia como resultado de la nueva mezcla, obteniéndose una nueva concentración que se puede -- calcular con la expresión siguiente:

$$ODo = \frac{Q (OD) + Qt (ODt)}{Q + Qt} \quad \text{Ecc. (14)}$$

donde:

Q es el gasto de aportación en el tramo analizado.

Qt es el gasto de aportación del tramo anterior.

ODO es el oxígeno disuelto inicial en el tramo analizado.

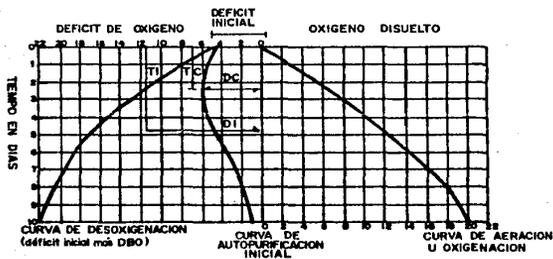
ODt es el oxígeno disuelto final del tramo anterior.

OD es el oxígeno disuelto del gasto aportado.

El efecto combinado de la aeración y desoxigenación en el -- proceso de asimilación y dilución del agua de una corriente se puede observar en la fig. 5.3, donde están representadas tres curvas; siendo la curva central la del tema en turno y las dos extremas las de los efectos aislados (de oxigenación o aeración y el de desoxigenación o degradación).

De los conceptos desconocidos en la figura 5.3, en seguida -- se hablará de acuerdo con la descripción de la curva de oxigenación y desoxigenación.

FIGURA 5.3
EFFECTO COMBINADO DE LA OXIGENACION Y DESOXIGENACION EN EL
PROCESO DE AUTOPURIFICACION NATURAL DEL AGUA



- DC = DEFICIT CRITICO
- DI = DEFICIT DE INFLEXION
- TC = TIEMPO CRITICO
- TI = TIEMPO DE INFLEXION

La curva de oxigenación y desoxigenación es la representación gráfica del proceso de asimilación y dilución de una corriente ya que en ésta se pueden observar las siguientes etapas en el proceso antes mencionado:

- 1a) Esta primera etapa ocurre antes de que se efectúe una descarga de aguas residuales en la corriente natural, cuando la cantidad de oxígeno disuelto no ha sido reducida aún, es decir, cuando la corriente posee un déficit inicial de oxígeno disuelto en condiciones naturales correspondiendo éste valor a la cantidad de OD que posee la corriente en condiciones naturales, esto se puede ver en el detalle 1 de la figura 5.4.

- 2a) La segunda etapa consiste (como se puede ver en el detalle 2 de la figura 5.4), de un decrecimiento en la concentración de oxígeno disuelto en la corriente en condiciones naturales, desde instantes después de que se ha hecho una descarga de aguas negras hasta el instante en que ha alcanzado el déficit crítico de oxígeno. Esto fundamentalmente obedece a que cuando se vierte en la corriente una cantidad de aguas negras se empieza a dar una demanda bioquímica de oxígeno como resultado de la degradación de la materia -

orgánica presente en las aguas dispuestas en la corriente, así entonces ésta DBO crece en el tiempo en función de la cantidad de la materia orgánica contenida, y crece de tal manera que consume casi la totalidad de oxígeno disuelto en la corriente llegando al punto llamado crítico. Este punto representa las condiciones máximas permisibles de contaminación por materia orgánica en la corriente, es decir, hasta éste punto puede bajar la concentración de O D sin que se ponga en peligro la calidad del agua de la corriente. Pero la DBO no crece indefinidamente sino que su acción se va minimizando conforme transcurre el tiempo a partir del tiempo crítico señalado en el detalle 3 de la figura 5.4 siendo éste concepto descrito en la etapa siguiente (3a).

3a) Esta tercera etapa, no lo es así en toda la extensión de la palabra ya que sólo es caracterizada por la transición que ocurre cuando se alcanza la máxima DBO, a su decrecimiento conforme transcurre el tiempo.

El déficit de oxígeno D_c se puede definir entonces como la máxima concentración de oxígeno que puede ser utilizada durante la oxidación de la materia orgánica presente en las aguas servidas vertidas en una corriente natural, sin que se

rebase la concentración mínima de OD según la --
clasificación de la corriente.

La concentración mínima (N) de oxígeno disuel-
to en una corriente se determina en base a las -
condiciones mínimas de calidad que deben obser--
varse para mantener las características natura--
les en la misma.

Además, el tiempo en el cual se alcanza el défi-
cit crítico de oxígeno (Dc) es llamado crítico
en relación al concepto antes mencionado; éste -
tiempo es medido desde el inicio de la DBO hasta
cuando se alcanza la máxima DBO o máximo déficit
de oxígeno disuelto (Dc).

Ver detalle 3 en la figura 5.4.

Para determinar el déficit crítico de oxígeno disuelto por
tramo de corriente, se puede utilizar la siguiente expre-
sión; que como podrá observarse es muy práctica.

$$Dc = S - N \quad \text{Ecc. (15)}$$

donde: Dc es el déficit crítico de oxígeno disuelto, -
en mg/l.

S es la concentración de saturación de oxígeno
en mg/l.

N es la concentración mínima de OD según la cla-
sificación de la corriente, por ejemplo, podría-
tomarse el valor de 5.0 mg/l, de acuerdo con lo -

mencionado al inicio de éste capítulo.

A su vez la concentración de saturación de oxígeno puede calcularse con:

$$S = \frac{(0.680 - (6 \times 10^{-4}) (T)) (P - P_w) (1 - (9 \times 10^{-6}) (n))}{T + 35}$$

Ecc. (16)

donde: S es la concentración de saturación de oxígeno, en mg/l.

T es la temperatura natural del agua, en °C.

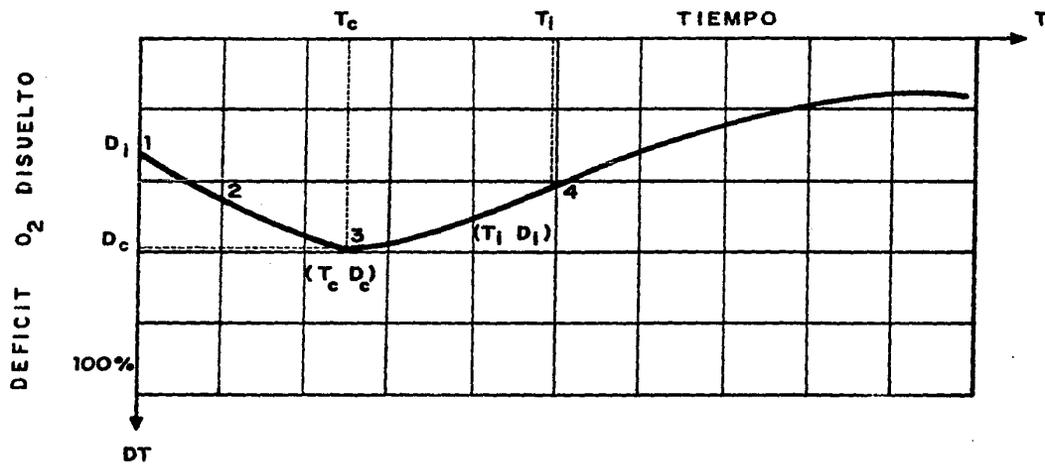
P es la presión atmosférica en el sitio, en mm de Hg.

P_w es la presión de vapor de agua, en mm de Hg.

n es la salinidad del agua, en mg/l Cl⁻

- 4a) Esta etapa, como ya se mencionó (al final de la descripción de la etapa 2) se caracteriza por el decrecimiento o reducción paulatina de la DBO, esto a partir de que se inicia la recuperación de la corriente que no es otra cosa que el desarrollo en sí del proceso de dilución y reaeración de la corriente. En ésta etapa se puede identificar en el detalle 4 de la figura 5.4 un punto llamado de máxima recuperación de oxígeno que representa ya formalmente el proceso de recuperación de oxígeno por la corriente para reestablecer las condiciones naturales que poseía antes de recibir la descarga de aguas negras.

FIGURA 5.4
CURVA DE OXIGENACION Y DESOXIGENACION



A continuación se describe el proceso matemático seguido para obtener los puntos característicos de la curva de desoxigenación y oxigenación.

Hay dos puntos de especial interés en la curva de desoxigenación-oxigenación para la Ingeniería Sanitaria, éstos puntos son el del máximo déficit de oxígeno disuelto o punto crítico con coordenadas D_c y t_c (detalle 3 en la fig. 5.4) y el punto de inflexión de la curva, que corresponde al punto de máxima recuperación de oxígeno que marca el inicio de la reaeración en la corriente para reestablecer las condiciones naturales que ésta poseía antes de la descarga de aguas negras.

El punto crítico se encuentra derivando la ecc. (12) y haciendo la derivada igual cero, como se muestra a continuación:

Recordando que la ecc. (12) es:

$$D_t = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) \left\{ 1 - \left[\left(10^{-(f-1) K'_D t} \right) \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right) \right] \right\}$$

Y desarrollándola se tiene que:

$$D_t = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) - \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t} - f K'_D t + K'_D t) \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right)$$

De donde, reduciendo se encuentra:

$$D_t = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) - \frac{L_0}{f-1} (10^{-f K'_D t}) \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right)$$

De esta última ecc., para facilitar el desarrollo de su derivada es necesario utilizar un cambio de variable para éste -- efecto, así entonces si hacemos que:

$$x = 1 - \left((f-1) \frac{D_0}{L_0} \right)$$

$$Y = \frac{L_0}{f-1}$$

Y substituyendo lo anterior en la ecc. (12) desarrollada, se tiene:

$$Dt = (Y) (10^{-K'_D t}) - (Y) (X \times 10^{-fK'_D t}) \quad \text{Ecc. (12.a)}$$

Derivando la ecuación anterior e igualando a cero se tiene -- que:

$$\frac{dDt}{dt} = -K'_D (Y) (10^{-K'_D t}) + fK'_D (Y) (X \times 10^{-fK'_D t}) = 0$$

Ahora reduciendo términos y reagrupando se obtiene:

$$K'_D \text{ y } \left[(-10^{-K'_D t}) + f (X \times 10^{-fK'_D t}) \right] = 0$$

de aquí se observa que $(K'_D) (Y)$ desaparece, por que lo que resulta que:

$$10^{-K'_D t} = f (X \times 10^{-fK'_D t}) \quad \text{Ecc. (12.b)}$$

Y si se saca antilogaritmo en los dos miembros de la ecc. --- anterior se tiene:

$$-K'_D t = \text{Log.} (f X) - f K'_D t$$

Agrupando términos semejantes;

$$- K'_D t + f K'_D t = \text{Log } (fX)$$

$$K'_D t (f-1) = \text{Log } (fX)$$

Despejando a $K'_D t$ en la anterior ecc. se tiene:

$$K'_D t = \frac{\text{Log } (fX)}{(-1+f)}$$

Sustituyendo el valor de X en la ecc. anterior resulta que:

$$K'_D t = \frac{1}{(f-1)} \text{Log} \left[f \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right) \right]$$

De la anterior ecc. si se despeja a t se tiene:

$$t_c = \frac{1}{K'_D (f-1)} \text{Log} \left[f \left(1 - (f-1) \frac{D_0}{L_0} \right) \right] \quad \text{Ecc. (17)}$$

de donde: t_c es el tiempo crítico correspondiente al déficit crítico de oxígeno disuelto en la corriente, en días.

K'_D es el coeficiente de degradación para base 10.

f es el factor de autopurificación de la corriente.

D_0 es el déficit inicial de oxígeno disuelto al inicio del tramo, en mg/l.

L_0 es la carga orgánica al inicio del tramo medida como DBOu, en mg/l.

Así mismo, el déficit crítico de oxígeno correspondiente -
al anterior tiempo crítico se obtiene si:

De la ecc. (12.b) se despeja la variable X, y se sustituye
en la (12.a), como se muestra enseguida:

De la ecc. (12.b):

$$X = \frac{10^{-K'_D t}}{(f) 10^{-fK'_D t}} = \frac{1}{f} (10^{-K'_D t} + fK'_D t)$$

Y sustituyendo lo anterior en la ecc. (12.a), sabiendo que:

$$Y = L_0 / f - 1$$

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) - \left(\frac{L_0}{f-1} \right) \left(\frac{1}{f} 10^{-K'_D t} + fK'_D t \right) (10^{-fK'_D t})$$

Reduciendo términos y factorizando:

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) - \left(\frac{L_0}{f-1} \right) \left(\frac{10^{-K'_D t}}{f} \right) = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) \left(1 - \frac{1}{f} \right)$$

Transformando y simplificando:

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K'_D t}) \left(\frac{f-1}{f} \right)$$

$$Dt = \frac{L_0}{f} (10^{-K'_D t}) \quad \text{Ecc. (18)}$$

donde: Dt = Dc es el déficit crítico de oxígeno asociado -
al tc.

t = tc es el tiempo crítico.

Los demás terminos de la ecc. (18) son conocidos.

Ahora bien, en cuanto al punto de máxima recuperación de --- oxígeno (punto de inflexión de la curva de la figura 5.4), se tiene lo siguiente:

Las coordenadas de éste punto se pueden encontrar a partir - de la segunda derivada de la ecc. (12), ésto es, la derivada de la ecuación (12.a), la cual se igualará a cero, como si- gue:

$$\frac{d^2Dt}{dt^2} = (K_D'^2) (Y) (10^{-K_D' t}) - f^2 K_D'^2 (X) (Y) (10^{-fK_D' t}) = 0$$

de donde, reduciendo términos y factorizando queda:

$$(K_D'^2) (Y) \left[(10^{-K_D' t}) - f^2 X (10^{-fK_D' t}) \right] = 0$$

De la anterior ecuación se puede eliminar el término $(K_D'^2) (Y)$ así entonces:

$$10^{-K_D' t} = f^2 X (10^{-fK_D' t}) \quad \text{Ecc. (19)}$$

de donde, sacando antilogaritmos, queda:

$$-K_D' t = \text{Log} (f^2 X) - fK_D' t$$

Ahora agrupando términos semejantes y factorizando:

$$K_D' t (f-1) = \text{Log} (f^2 X)$$

Y despejando el término $K_D' t$, se tiene:

$$K_D' t = \frac{\text{Log} (f^2 X)}{(f-1)}$$

Ahora, sustituyendo el valor de X, en la anterior ecuación, resulta:

$$K_D' t = \frac{1}{(f-1)} \text{Log} \left[f^2 \left(1 - \left((f-1) \left(\frac{D_0}{L_0} \right) \right) \right) \right]$$

De lo anterior se despeja a t, quedando finalmente:

$$t = \frac{1}{K_D' (f-1)} \text{Log} \left[f^2 \left(1 - \left((f-1) \left(\frac{D_0}{L_0} \right) \right) \right) \right] \text{Ecc. (20)}$$

donde: t = t_i es el tiempo de inflexión a partir del cual se inicia la reaeración de la corriente.

Cabe recordar que:

$f = \frac{K_a}{K_D}$ Este cociente es el factor de autopurificación de la corriente.

Todos los demás términos de la ecuación (20) son conocidos.

Ahora para encontrar el D_i asociado al t_i, se puede hacer lo siguiente:

Despejando de la ecc. (19), el término X, se tiene:

$$X = \frac{10^{-K_D' t}}{f^2 (10^{-f K_D' t})}$$

Y sustituyendo lo anterior en la ecc. (12.a), y sabiendo que:

$$Y = \frac{L_0}{f-1}$$

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K_D^1 t}) - \left(\frac{L_0}{f-1} \frac{10^{-K_D^1 t}}{f^2 (10^{-fK_D^1 t})} (10^{-fK_D^1 t}) \right)$$

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K_D^1 t}) - \left(\frac{L_0}{f-1} \frac{10^{-K_D^1 t}}{f^2} \right)$$

$$Dt = \frac{L_0}{f-1} (10^{-K_D^1 t}) \left(\frac{f-1}{f^2} \right)$$

Reduciendo:

$$Dt = (L_0) (10^{-K_D^1 t}) \left(\frac{f-1}{f^2} \right)$$

$$Dt = (L_0) (10^{-K_D^1 t}) \left(\frac{1}{f-1} \frac{(f-1)(f+1)}{f^2} \right)$$

$$Dt = (L_0) (10^{-K_D^1 t}) \left(\frac{f+1}{f^2} \right) \quad \text{Ecc. (21)}$$

donde: $Dt = D_i$ es el déficit de oxígeno disuelto de inflexión en la curva, asociado a t_i .

$t = t_i$ es el tiempo de inflexión.

Los demás términos de la ecc. (21) son conocidos.

5.6 CARGA MAXIMA PERMISIBLE.

Esta carga máxima permisible, se refiere a la carga máxima de materia orgánica contenida en las aguas negras que se puede verter en una corriente natural sin que se rebase la concentración mínima de OD según la clasificación de la corriente, cuando se presente la máxima demanda bioquímica de oxígeno como resultado de la degradación u oxidación de la carga orgánica antes mencionada, y en el caso más favorable el Do deber ser igual a cero para que las aguas receptoras permitan la máxima carga. Esto se manifiesta en el desarrollo matemático que a continuación se presenta.

Para la carga orgánica crítica al inicio del tramo, se hace el desarrollo matemático antes mencionado.

Luego entonces, de la ecuación (17), si se considera que $D_0 = 0$, se tiene:

$$t_c = \frac{1}{K_d (f-1)} (\log f) \quad \text{Ecc. (22)}$$

donde: t_c es el tiempo crítico, para el cual se alcanza -- la máxima DBO que representa la máxima carga -- orgánica asimilable y diluible para una corriente cuando su déficit inicial de oxígeno es nulo.

Luego entonces, de la ecc. (18) y (22), se obtiene la ecuación para calcular el valor de la carga máxima asimilable, - tal como se muestra:

$$L_0 = (Dc) (f) (10^{k'_D t_c})$$

Ecc. (23)

- en donde: L_0 es la máxima carga asimilable inicial -- permisible en mg/l.
- Dc es el déficit crítico de oxígeno, en --- mg/l.
- f es el factor de autopurificación, SU.
- t_c es el tiempo para el cual se consigue el límite superior del déficit crítico de oxígeno inicial, en días.
- k'_D es el coeficiente de degradación trans-- formado para base 10.

Así entonces, del anterior desarrollo se puede observar que la máxima carga inicial asimilable se hace igual a la carga orgánica crítica.

Pero sucede que ésta carga se va modificando a lo largo del río, tanto en los tramos en que se tienen nuevas aportaciones de agua como en aquellos en los que en el tramo anterior se alcanzó el déficit crítico, por lo tanto se calcula una nueva carga crítica en función de un nuevo tiempo crítico.

Luego entonces la carga final en cada tramo se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$L_t = (L_0) (10^{-k'_D t})$$

Ecc. (24)

La anterior expresión en acuerdo total con la ecc. (11) a)

donde: L_t es la carga orgánica final del tramo, medida como DBO_u , en mg/l.

L_o es la carga orgánica inicial del tramo, medida como DBO_u , en mg/l.

$K'_d = 0.434294 K_d$, (coeficiente de degradación).

t es el tiempo de recorrido del tramo, en días.

Y como ya se dijo antes, para el primer tramo, y en aquéllos en los que es factible adicionar carga orgánica, la carga orgánica inicial (L_o) se hace igual a la crítica; y en los tramos restantes, se hace igual a la carga final del tramo anterior (L_t). Pero cuando en el tramo analizado se adicionan volúmenes nuevos, la carga orgánica se modifica por dilución, obteniéndose de esta manera una carga orgánica inicial nueva mediante la expresión:

$$L_o = \frac{Q_L + Q_t \cdot L_t}{Q + Q_t}$$

Ecc. (25)

donde: Q es el gasto de aportación en el tramo analizado.

L es la carga orgánica del gasto de aportación.

L_t es la carga orgánica final del tramo anterior.

Q_t es el gasto de aportación del tramo anterior.

L_o es la carga orgánica inicial del tramo analizado.

Como complemento a lo anterior, también se puede calcular la carga asimilable en una corriente en función de la carga orgánica medida en laboratorio como DBO_5 y con ayuda de una constante multiplicada por el gasto de la corriente natural,

siendo éste, producto de un aforo hecho directamente en ella para el más pequeño de todos los gastos que escurren en el año más caluroso del registro hidrométrico con que se cuenta.

Si éste registro hidrométrico no es tan completo como se quisiera, entonces habrá que calcular la probabilidad de ocurrencia del menor gasto escurrido para un período de retorno previamente convenido.

Así entoces, la expresión es la siguiente:

$$C_A = (D B C_5) Q (86.4) \quad \text{Ecc. (26)}$$

donde:

C_A es la carga asimilable por la corriente, en Kg/día de DBO_5 .

DBO_5 es la carga asimilable medida en laboratorio como DBO_5 , en mg/l.

Q es el gasto de la corriente en m^3 /seg.

Pero también puede suceder que la corriente transporte una carga orgánica en proceso de asimilación y dilución, luego entonces la capacidad asimilable puede verse disminuida con el anterior suceso. Sucediendo que sólo exista una capacidad remanente en la corriente y no la máxima si la corriente no llevara materia orgánica en degradación. Esto se puede representar de la siguiente forma:

$$C_R = C_A - C \text{ real} \quad \text{Ecc. (27)}$$

donde: C_R es la carga asimilable remanente, en Kg/día.

C_A es la carga asimilable por la corriente, en --
Kg/día.

C real es la carga real transportada por la corriente en un momento dado, en Kg/día.

Como se puede observar de la ecc. (27) lo ideal para tener la máxima carga asimilable en una corriente para un tiempo posterior al instante de descarga de aguas negras, es que -- la C real se aproxime a cero lo más posible para con ésto -- tener una capacidad remanente en la corriente lo más alta posible.

Lo anterior con la finalidad de localizar en el curso de la corriente los puntos más idóneos para la descarga de aguas negras hacia la misma, si es que ésto puede suceder en un futuro.

También puede suceder que la C real, transportada supere a -- la asimilable aconteciendo que no se tenga una carga remanente en la corriente, sino todo lo contrario, que se tengan -- problemas por sobrepasar la capacidad de asimilación y dilución de la corriente, ésto como consecuencia de la falta de planeación en la localización de una segunda descarga aguas abajo de la primera realizada.

CONCLUSIONES

Como se mencionó en el capítulo 1 el recurso agua --- deberá protegerse y preservarse para el futuro en base a -- una adecuada planeación en su uso tanto para consumo humano, para el industrial, para el agropecuario, así como para --- cuerpo receptor de aguas servidas. Además es importante señalar que el acelerado crecimiento poblacional de nuestro - país así como el excesivo consumo de agua (producto del --- anterior fenómeno) ha ocasionado que por donde quiera se -- tengan descargas de aguas servidas descontroladas y mal ubi- cadas provocando con esto un incremento en el índice de con- taminación en las corrientes naturales y demás cuerpos re- ceptores naturales (pudiendo ser éstos: lagos, lagunas, cos- tas, etc) con las consabidas malas consecuencias que esto_ a originado en ellos, teniendo ejemplos claros de éste inae- seable suceso.

Así pues en el futuro será de primordial necesidad cui- dar nuestros recursos con más responsabilidad, ya que ---- actualmente se tienen serios problemas de contaminación en_ nuestro país, no sólo en lo que se refiere agua, ya que --- existen problemas también en otras áreas y recursos, sobre_ todo en los del tipo no renovable, además otro factor econó- mico de gran importancia para nuestro país que se ve seria-

mente afectado por la contaminación del recurso agua en ---
cuerpos receptores naturales es el aspecto turístico, ya --
que se poseen lugares en el territorio nacional de incalculable
belleza natural que se encuentran en peligro de desaparecer
por las múltiples disposiciones de aguas servidas -
de todo tipo que se hacen en ellos.

Por todo lo anterior es imprescindible hacer una revisión,
actualización y especificación más detallada de la le
gislación existente en nuestro país con respecto al verti--
miento de aguas residuales a corrientes naturales ya que la
actual es muy general y establece tolerables máximos un po-
co altos con respecto a los que proponen otros países. Ade-
más la actual legislación tiene carencias en lo que se re--
fiere al control de descargas tanto en su ubicación más con
veniente como en su óptima operación, así como en el control
de los métodos de tratamiento de las aguas residuales que -
los requieran.

En resumen se puede decir que se debe hacer una adecu
ación de las leyes y reglamentos existentes referentes al --
control de la contaminación de aguas acorde con el incremento
en los volúmenes descargados por industrias, ingenios --
azucareros y actividades agropecuarias principalmente con -
el objeto de controlar de manera más rigurosa los tipos y -

concentraciones de contaminantes más peligrosos para la flora y fauna silvestre del paisaje natural así como para el ser humano.

Por otra parte, en el capítulo 3 se hizo una descripción -- bastante detallada de la información necesaria para llevar a cabo un estudio de la capacidad de asimilación y dilución de una corriente natural determinada, siendo lo más importante de ésta, ya en específico para el estudio, las características morfológicas del cauce natural así como sus características de material de fondo y volúmenes críticos --- escurridos en la época de sequía. De entre éstos resaltan por su importancia en el cálculo del proceso; la determinación de pendientes medias por tramo y velocidades medias en la corriente así como la adecuada selección del coeficiente de rugosidad para la determinación de los coeficientes de degradación y de reaeración que intervienen en el proceso, además de la obtención del gasto de diseño en la corriente en función de la historia hidrométrica de la misma y de períodos de retorno de eventos extraordinarios (gastos mínimos escurridos en el cauce en estudio).

Además otro aspecto importante es el de conocer el número de aportaciones así como el volumen y punto de incorporación de aguas claras al cauce en estudio porque bajo estas condiciones el proceso de autopurificación en la corriente se ve beneficiado en su desarrollo.

Con respecto a los parámetros de calidad del agua y su importancia sanitaria es importante señalar la necesidad de conocer el origen de las aguas servidas que se disponen en las corrientes para de ésta manera relacionar el tipo de -- tratamiento que deba aplicarse al agua residual para salvaguardar las condiciones naturales del cuerpo receptor si es que su concentración de contaminantes rebasa los límites -- establecidos en leyes y reglamentos o bién si el volumen -- descargado excede la capacidad de asimilación y dilución de la corriente afectada. Lo anterior estrechamente relacionado con los usos del agua formando un gran ciclo de consumo -- disposición de agua en todas las actividades desarrolladas en cada una de las comunidades urbanas y rurales, ésto es; que de alguna manera se tengan los índices recomendables de calidad para cada uno de los usos del agua (ya citados en el capítulo 4).

Así pués, será de relevante importancia conocer el tipo y concentración de contaminantes presentes en la descarga para de éste modo proteger al cuerpo receptor de una posible contaminación de sus aguas mediante procedimientos de análisis directos en las aguas descargadas bién ya sean crudas o producto del efluente de plantas de tratamiento.

Por último en lo que respecta i desarrollo del proceso de asimilación y dilución en las corrientes naturales se puede decir que las características fundamentales a determi

nar son las del oxígeno disuelto en la corriente, también - el conocer la D B O inicial de la carga orgánica contenida en la agua negra dispuesta, así como determinar los coeficientes de degradación y reaeración, además de conocer los volúmenes de agua negra y de agua clara involucrados en el proceso y la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica. Todo lo anterior para calcular la carga asimilable máxima permisible en la corriente, que no ponga en peligro las condiciones naturales de la corriente, básicamente, no rebasando el déficit crítico de oxígeno disuelto, siendo éste último calculado de acuerdo con la cantidad de oxígeno disponible en la misma y del valor de la concentración mínima de oxígeno disuelto según la clasificación de la corriente.

B I B L I O G R A F I A

1. Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Fair, Geyer, Okun. México 1981
2. Apuntes del Curso de Hidrología. Ing. Mejía Chávez -- Florentino. México 1984
3. Apuntes del Curso de Ingeniería Ecológica. M.I. Menéndez Martínez Carlos M. México 1985
4. Apuntes del Curso de Sistemas de Alcantarillado. Ing. Gutiérrez Morales Luis A. México 1985
5. Clasificación de la Cuenca del Río Soto la Marina. BIC, Ingenieros Civiles para la S A R H. México 1982
6. Hidráulica de los Canales Abiertos. Ven Te Chow. Diana. México 1982
7. Hidrología para Ingenieros. Linsley, Kohler, Paulus. -- Mc Graw-Hill. México 1977
8. Hidrología, Primera Parte. Publicación D7 del Instituto de Ingeniería, UNAM. México 1970
9. Ley Federal de Protección al Ambiente . México 1971
10. Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. SARH. México 1973
11. Manual de Hidrología. Rafael Heras, Instituto de Hidrología. Madrid 1979
12. Metodología y Normas de Cálculo de Caudales de Proyecto Rafael Heras. Madrid 1979

13. Potabilización y Tratamiento. Tesis Profesional del -
Ing. Gutierrez Morales Luis A., Facultad de Ingenie--
ría, UNAM. México 1983
14. Probability, Statistics, and Decision for Civil ----
Engineers. Benjamín J.R. and Cornell C.A. Mc Graw Hill
U.S.A. 1970
15. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas
Residuales. Fair, Geyer, Okun. México 1981
16. Reglamento para la Prevención y Control de la Contamina
ción de Aguas. SARH. México 1973