

Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

23  
1982



AUTOPURIFICACION DE LAS  
CORRIENTES NATURALES

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

ADRIAN SOTO GOMEZ

MEXICO, D. F.

1982



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



Universidad Nacional  
AUTONOMA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-276

AL Pasante señor ADRIAN SOTO GOMEZ,  
P r e s e n t e .

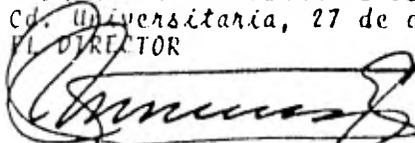
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Héctor Álvarez Ramírez, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"AUTOPURIFICACION DE LAS CORRIENTES NATURALES"

- I. Introducción.
- II. Contaminación de corrientes naturales por aguas residuales.
- III. Contaminantes y parámetros de la contaminación en las corrientes naturales.
- IV. Calidad del agua en las cuencas.
- V. Autopurificación de corrientes naturales con descargas residuales domésticas.

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

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 27 de octubre de 1981  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

  
JUL 10 1981

T E M A :

"AUTOPURIFICACION DE LAS CORRIENTES NATURALES"

I N D I C E

Pág.

I. Introducción.	1
II. Contaminación de corrientes naturales por aguas residuales.	3
III. Contaminantes y parámetros de la contaminación en las corrientes naturales.	6
IV. Calidad del agua en las cuencas.	20
V. Autopurificación de corrientes naturales con descargas residuales domésticas.	36

## 1.- INTRODUCCION.

El agua de las corrientes superficiales constituye uno de los componentes más importantes del ambiente. Es utilizada como abastecimiento de agua potable, en procesos industriales, riego, recreación, pesca, generación de energía eléctrica, navegación y como transporte de desechos líquidos y sólidos. Este último uso es el que en ocasiones impide o limita todos los anteriores, ya que altera la calidad del agua en el cuerpo receptor.

El medio es un sistema que engloba a todos los seres vivientes tanto del aire, del agua y del suelo, que constituye su habitat o lugar donde desarrollan normalmente su ciclo vital.

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 y de utilizar los productos de desecho como materia prima para otros nuevos productos .

Al satisfacer el acelerado incremento de la demanda de caudales de agua para todo tipo de usos han aumentado los volúmenes de aguas residuales. Estas aguas residuales al integrarse a los ríos y depósitos los afectan seriamente en su calidad provocando problemas de contaminación.

La acción del hombre sobre el equilibrio ecológico es innegable, es el causante de la acumulación de grandes cantidades de desechos, que son los que provocan la contaminación del medio, que repercute en la calidad de la vida y en la salud de la población.

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 disponibilidad de uso y aprovechamiento, lo que económicamente en alguna medida afecta al 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 contaminación.

Por otro lado, se ve afectado 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.

El resguardo del medio queda implícitamente contemplado en la Ley General de Asentamientos Humanos en su Artículo 30, Fracción VIII, que establece "el mejoramiento de la calidad de la vida de la comunidad", a través de uno de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo Urbano, en el que fija el de mejorar y preservar el medio que conforman los asentamientos humanos.

## II.- CONTAMINACION DE 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 puedan afectar, disminuir ó 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 versión del Plan Nacional Hidráulico del año de 1975.

Las 218 cuencas hidrográficas con que cuenta el país, el Plan Nacional Hidráulico las ha clasificado en tres órdenes, 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 No. 1.

Las cuencas clasificadas como de primer orden tienen las características y orden de prioridad que se muestran en el cuadro No. 2.

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

Las 164 cuencas restantes se clasificaron 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. 1

CLASIFICACION DE LAS CUENCAS HIDROLOGICAS  
DE ACUERDO AL PLAN NACIONAL HIDRAULICO

No. de orden	No. de Cuencas	PORCENTAJES DE			
		Carga Orgánica	Población Total Nacional	Superficie bajo riego	Valor Bruto de la Producción Nacional
Primer	11	54	59	52	77
Segundo	43	41	22	45	16
Tercer	164	5	19	3	7
Total	218	100	100	100	100

CUADRO No. 2  
 CUENCAS HIDROLOGICAS CON MAYOR GRADO DE CONTAMINACION  
 CARACTERISTICAS PRINCIPALES EN 1975

CUENCA	AREA DE LA CUENCA Km <sup>2</sup> .	ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL Miles de m <sup>3</sup> .	POBLACION (hab)	APORTACION DE DBO TOTAL. Kg/año	VALOR BRUTO DE LA PRODUCCION INDUSTRIAL. Miles de pesos.
1. PANICO	67,872	11'810,000	11'679,666	344'721,590	88'979,416
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	60'471,529	2'911,777
5. GUAYALEJO	17,084	2'198,000	156,311	60'426,204	1'299,074
6. SN. JUAN	32,678	129,000	1'606,214	60'273,424	23'615,991
7. CULTACAN	21,677	3'141,280	363,272	48'682,455	313,692
8. FUERTE	3,590	5'037,891	251,800	48'163,068	729,295
9. COMIGUAYAN	7,301	1'548,000	194,770	73'411,172	657,403
10. NAZAS	54,632	277,000	720,378	16'075,387	3'715,197
11. COMUROS	71,964	1'079,450	717,140	11'911,687	2'235,046

FUENTE: Plan Nacional Hidráulico, SARH 1975.

### III.- CONTAMINANTES Y PARAMETROS DE LA CONTAMINACION EN LAS CORRIENTES NATURALES.

#### 3.1 Principales contaminantes.

Las aguas residuales que contaminan las diversas cuencas tienen tres diferentes orígenes que son los siguientes:

##### a).- Contaminantes residuales municipales.

Son los ocasionados por aguas domésticas, públicas y comerciales, cuyas características promedio se muestran en el cuadro número 3 de acuerdo a cada zona del país.

Para el caso del Valle de México donde el gasto de aguas residuales es de 46 m<sup>3</sup>./seg. (4 millones de m<sup>3</sup>./día) en el período 1971 - 1976 el 56% corresponde a aguas residuales domésticas, el 41% a aguas industriales y el 3% restante a otras actividades, la calidad del efluente típico en el gran canal de desagüe se da en el cuadro No. 4.

##### b).- Contaminantes residuales industriales.

Estas aguas producen diversos grados de contaminación en función de los artículos producidos por las industrias y del proceso empleado para fabricarlos. Así se encuentran como en el caso de la industria alimenticia, la cual produce aguas residuales con una alta concentración de materia orgánica que es fácilmente degradable.

Existen aguas residuales industriales que contienen alta concentración de materia orgánica de difícil degradación como en el caso de la industria del petróleo y la química.

CUADRO No. 3

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 °C	15.4	25.8	24.9	
DBO 5 días	229.2	325.7	158.7	199.00
DQO	461.9	684.1	307.1	597.00
Sólidos sedimentables	1.5	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	
PO total	23.3	12.9	36.1	
SARH	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	228.2	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. SARH. (1975)

CUADRO NO. 4.

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

Parámetros	Valores característicos
pH, unidades	7.78
DBO 5 días, mg/l	199.00
DQO, mg/l	297.00
N-amoniacoal, mg/l	6.30
Ortofosfatos, mg/l	4.03
Sulfatos, mg/l	94.00
SAAM, 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 SRH. (1975)

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

Algunas aguas residuales contienen compuestos tóxicos o bien pueden resultar tóxicos por la alta concentración con que son descargados, como ejemplo se puede citar las curtidorías, cromadoras, plantas de acrilonitrilo, de tetraetil 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 agua.

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, del petróleo, de la celulosa y el papel descargan aproximadamente el 30% del agua residual industrial del país.

En el cuadro No. 5 se muestra las industrias principales, localización y tipo de contaminantes contenidas en sus desechos líquidos.

c).- Aguas residuales de origen agrícola.

Las aguas residuales agrícolas que retornan a los cuerpos de aguas, contienen fertilizantes y plaguicidas que son utilizadas en los cultivos.

Por ejemplo en el Distrito de Nievo No. 75, localizado en

CUADRO NO. 5

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

TIPO DE INDUSTRIA	LOCALIZACION (ESTADOS)	TIPO DE CONTAMINANTES
Azucarera	Veracruz, Sinaloa, Jalisco, Nayarit, Michoacán, Tamaulipas, San Luis Potosí, Guerrero, Morelos, Tabasco, Oaxaca, Chiapas y Campeche.	Materia orgánica en suspensión, sólidos sedimentables, grasas y aceites compuestos químicos utilizados en el proceso pH, temperaturas mayores a las normales, fosfatos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico y nitratos, detergentes.
Empacadoras de frutas y legumbres.	Distrito Federal, Guanajuato, Estado de México, Michoacán, Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, Baja California Norte y Puebla.	Materia orgánica, gérmenes en suspensión, colorantes, pH temperaturas y detergentes.
Metálicas básicas	Michoacán, Coahuila, Nuevo León y Puebla.	pH, temperatura, 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 (termo Eléctrica).	Todo el País.	Temperatura, pH, sólidos suspendidos y en disolución, nitrógeno, fosfatos y coliformes.

Curtiduría	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.
Petroquímica básica.	Tamaulipas, Veracruz, Tabasco y Chiapas, Puebla, Hidalgo, Guanajuato, Estado de México, Chihuahua y Sonora.	Ácidos, álcalis, sulfuros, aceites, fenoles, plomo, nitrógeno, fosfatos, hierro y otros elementos tóxicos.
Vitivinícola y cervecera.	Coahuila, Aguascalientes, Durango, Baja California, Sonora, -- Chihuahua, Nuevo León, Sinaloa, Veracruz, Yucatán, Estado de México y Distrito Federal.	Materia orgánica, pH, colorantes, detergentes.
Textil	Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Distrito Federal.	Colorantes, detergentes, pH, temperatura.
Beneficios de café.	Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Hidalgo, Nayarit.	Materia orgánica, pH, detergentes, espuma.
Fertilizantes.	Veracruz, Michoacán.	pH, temperatura, grasas y aceites, carbonato de calcio, nitratos, fosfatos, coliformes.

el Valle del Fuerte, Sinaloa; en 1973 se utilizaron ----  
397 000 litros y 613 000 Kg. (en términos de formulación  
comercial y no de ingredientes activo) de plaguicidas, co  
rrespondiendo el 73% a fosforados, 18% a organoclorados y  
9% a los de tipo carbonato.

En el cuadro No.6 se presenta una comparación de los re-  
sultados de plaguicidas encontrados en los Distritos de  
riego No.10 y 75.

El transporte de nutrientes de los drenes agrícolas de -  
este distrito a las bahías fueron:

Aportación de fósforo 1,147 Kg/día

Aportación de nitrógeno 1,442 Kg/día

La contaminación del medio por aguas residuales se hace  
cada día más crítica, a pesar de los esfuerzos que reali-  
za la administración pública para evitarlo.

La complejidad política, económica y social que prevalece  
en nuestro país ha dificultado el estricto cumplimiento de  
las normas y los reglamentos para el uso y aprovechamiento  
del recurso agua; hecho que repercute en una falta de tra-  
tamiento para la mayoría de las descargas de agua municipa  
les, industriales y de origen agrícola.

Un análisis efectuado para el período 1971 - 1976 indicó -  
que existían 276 ciudades con más de 10,000 habitantes que  
poseían servicio de alcantarillado y de ellas sólo 30 po-  
blaciones lo que representa el 11% contaban apenas con --  
algún sistema de tratamiento para sus aguas residuales; -  
siendo las lagunas de estabilización el tratamiento prefe-  
rido y usado en 20 poblaciones, seguidas por 9 tanques --  
Imhoff y por 12 plantas de lodos activados. En el cuadro

CUADRO NO. 6

CANTIDADES DE PLAGUICIDAS ENCONTRADOS EN LOS DISTRITOS  
DE RIEGO NO. 10 Y 75. ( VALLE DEL FUERTE SINALOA)

	C O N C E N T R A C I O N E S		N I V E L E S P E R M I S I B L E S	
	Dist. de riego	Distrito de riego	D.A.	Descarga en lagos y estuarios.
	No. 10	No. 75		
	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	0.04
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 hepta- cloro	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 unicamente.

+ No reglamentado.

CUADRO NO. 7

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUALES NUMERO, TIPO DE TRATAMIENTO Y  
DISTRIBUCION POR ENTIDADES FEDERATIVAS

ENTIDAD FEDERATIVA	NUMERO TOTAL	TIPO DE TRATAMIENTO * Y NUMERO.
BAJA CALIFORNIA NORTE	2	LE (2)
BAJA CALIFORNIA SUR	2	LE (1), TI (1)
COAHUILA	6	LE (2), TI (1), LA (2), FR (1)
COLIMA	1	LE (1)
DISTRITO FEDERAL	7	LA (6) FR (1)
DURANGO	1	LE (1)
GUANAJUATO	1	LE (1)
GUERRERO	1	LE (1)
HIDALGO	1	LE (1)
JALISCO	1	SS (1)
NUEVO LEON	7	TI (3) LA (4)
PUEBLA	1	LE (1)
QUERETARO	1	TI (1)
QUINTANA ROO	1	LE (1)
SONORA	5	LE (5)
TAMAULIPAS	6	LE (3) TI (3)
T O T A L	44	

LA.- Lodos Activados.  
LE.- Lagunas de Estabilización  
TI.- Tanques Imhoff.  
FR.- Filtros Rociadores  
SS.- Sedimentación Simple

FUENTE: SAHOP.- Ex-Dirección General de Operación de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. 1980.

No. 7 se muestran las plantas de tratamiento de aguas residuales, número y tipo de tratamiento y distribución por entidades federativas.

Del total de poblaciones con servicio de alcantarillado, - en 97 de ellas se utilizaban las aguas negras para riego de cultivos.

Los efectos que provoca la contaminación del medio acuático son de diversa índole e implican a la flora, la fauna, al hombre mismo y a la calidad de su vida.

Un efecto de la contaminación se observa por el azolve de los cuerpos de agua, como es el caso de la presa de Tuxpango, en el Estado de Veracruz, donde se ve reducida grandemente su capacidad repercutiendo en la economía, en la alimentación y en la calidad de vida de las poblaciones asentadas en las riberas del Río Blanco.

Otro ejemplo se presenta en el Distrito de riego No. 75, - donde el azolvamiento producido por aguas de origen agrícola ha llegado a inhibir el crecimiento y reproducción de los organismos de los bentos, trayendo como consecuencia la emigración y en algunos casos la mortandad de peces, - por lo cual ha disminuído la pesca de especies comerciales en las zonas cercanas a la costa.

### 3.2.- PARAMETROS DE CONTAMINACION Y SUS EFECTOS

El efecto que producen los contaminantes como son los compuestos tóxicos, grasas y aceites, se ha identificado en el Río Coatzacoalcos, contaminado por el complejo petroquímico de Pajaritos que descarga principalmente compuestos de mercurio, plomo, fenoles, grasas y aceites en concentraciones que inhiben el desarrollo piscícola, disminuyendo la capacidad para -

aprovechamiento pesquero, comercial, industrial y restringiendo el uso recreativo de la zona, así como el valor de su paisaje.

En forma general puede decirse que cada contaminante tiene efectos sobre la flora, la fauna y el hombre mismo. A continuación se muestra un cuadro con los principales contaminantes, su parámetro de medición y los efectos que causa.

TIPO DE CONTAMINACION	PARAMETRO DE MEDICION	E F E C T O
Materia orgánica	D B O D Q O	Abate la concentración de oxígeno disuelto, provocando la asfixia y emigración de especies pesqueras. Provoca en el agua color, olor y turbiedad.
Bacteriológica	N.M.P. de coliformes fecales por 100 ml.	Provoca un desequilibrio en el contenido de microorganismos naturales del agua, causando enfermedades endémicas y epidémicas.
Grasas y aceites	Capa visible	Evita la recreación natural del agua, disminuyendo el oxígeno disuelto, además interfiere en la fotosíntesis ya que inhibe la entrada de luz al fitoplancton del agua. Mancha a las especies pesqueras.
Sólidos disueltos	Dureza, cloruros fierro y manganeso, salinidad nitrógeno, fosfatos.	Provoca aguas duras, salinas, turbias con olor y sabor, llegando a causar enfermedades cardiovasculares. Los fosfatos provocan una hiperfertilización que causa la eutroficación de las aguas.

TIPO DE CONTAMINACION	PARAMETRO DE MEDICION	E F E C T O
Térmica	Grados centígrados.	Abate el oxígeno disuelto del agua, interfiere con los microorganismos del agua y afecta al pH, a las especies pesqueras las afecta en su metabolismo y puede provocar su quemadura y muerte.
Plaguicidas	Identificación y cuantificación.	Es tóxico para los microorganismos y especies pesqueras, siendo bioacumulativo, llegando al hombre a través de la fauna acuática.
Metales pesados	Identificación y cuantificación.	Es tóxico para la fauna acuática siendo bioacumulativo y llegando finalmente al hombre.

Se ha detectado en diversos lugares del país la influencia negativa de algunas obras hidráulicas que, por falta de un estudio previo de impacto ambiental han cambiado la ecología de la región.

Tal es el caso de la presa de Cerro de Oro, en el límite de los Estados de Puebla y Tlaxcala, donde los ejidatarios --- asentados en lo que hoy es el vaso de la presa fueron trasladados a la región del Uxpanapa, en los límites de los estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, provocando la deforestación y luego desertización de un gran número de hectáreas en uno de los más raros y valiosos reductos de selva alta -- perennifolia en el país.

Es considerable la falta de conciencia de la población sobre la problemática ambiental que incide sobre la calidad de vida de los asentamientos humanos y sobre la disminución de sus recursos naturales, principalmente el agua.

#### IV.- CALIDAD DEL AGUA EN LAS CUENCAS.

Las corrientes tienen una capacidad finita para asimilar desechos -- que se han descargado en ellas, sin que se altere significativamente la calidad de sus aguas. Cuando la carga de desechos excede tal capacidad, la corriente empieza a sufrir cambios en detrimento de su calidad, tales como abatimiento del nivel de oxígeno disuelto que afecta la vida de los peces y otras formas de vida acuática, produce gases y olores desagradables e implica la presencia de materia orgánica o sustancias que demandan oxígeno; contenidos de grasas y aceites que impiden la reaeración del agua e imparten sabor a los peces y organismos acuáticos que entran en contacto con ella; sustancias tóxicas que afectan la vida acuática y la salud del hombre.

La determinación de la capacidad de asimilación de una corriente se lleva a cabo mediante estudios de calidad de agua que comprenden la localización de todas las fuentes de contaminación que descargan en ella, mediciones de campo, toma de muestras de agua y análisis de laboratorio las cuales se evalúan tomando en consideración los factores sociales y económicos de la cuenca en estudio y los usos a que se destinan las aguas de dicha corriente.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos realizó los estudios para determinar la capacidad de asimilación en las corrientes que tienen en su cuenca la mayor concentración de poblaciones e industrias, principales generadoras de aguas residuales. Actualmente ha realizado estudios de calidad de agua en los ríos Lerma, Pánuco, Blanco, Atoyac-Zahuapan, Alto Amacuzac y Coatzacoalcos cuyas cuencas representan el 12% del área total del país; el 42% de la población total y el 59% de la población industrial de la República Mexicana.

Los resultados obtenidos en esos estudios se presentan brevemente a continuación.

RIO LERMA.- Esta cuenca es una de las más importantes, comprende el 6.5% del área total, el 15% de la población y el 13% de la producción industrial de la República Mexicana. El estudio de este río se efectuó como "estudio piloto" para el control de la calidad de agua. Se efectuaron trabajos de muestreo y análisis durante un período de 10 meses en 111 estaciones que cubrieron al río, desde su inicio hasta la descarga en la Laguna de Chapala. Durante el estudio se efectuaron 12,500 determinaciones de laboratorio cuya evaluación es la siguiente:

En el tramo, del inicio del río a la presa J. Antonio Alzate, se presenta una zona de alta contaminación, originada por la descarga de aguas residuales proveniente de la ciudad de Toluca y su zona industrial que cuenta con 75 diversas industrias, la cual aporta al río Lerma 10 ton/día de materia orgánica como Demanda Bioquímica de Oxígeno. Los cálculos realizados de la capacidad de asimilación de este tramo en tiempo de estiaje, arrojan un valor medio de solo 2 ton./día; lo cual significa que la presa José Antonio Alzate recibe 8.0 Ton/día de DBO. La deficiencia en la capacidad de asimilar la diferencia, hace que este tramo se encuentre en condiciones sépticas durante todo el año. Actualmente se ha establecido un distrito para el control de la contaminación en esta zona que realiza los estudios tendientes a agrupar al municipio y a las diferentes ramas industriales, para efectuar el tratamiento de las aguas residuales en plantas comunes, con los consiguientes beneficios económicos y una posible reutilización del agua.

De la salida de la presa J. Antonio Alzate hasta su entrada a la presa Solís, la calidad del agua es aceptable.

Otra zona de alta contaminación se presenta en las inmediaciones de la ciudad de Salamanca; en donde recibe las descargas de: "Arroyo Feo" que conduce las aguas residuales de Guanos y Fertilizantes, Negromex, Montrose y Lerma Industrial, con un aporte de 22.4 Ton/día de DBO; -- las aguas residuales de la refinería de Pemex y la planta termoeléctrica, con un aporte de 61.8 Ton/día de DBO y las aguas residuales municipales con un aporte de 13.0 Ton/día de DBO. Las descargas mencionadas producen un abatimiento total del oxígeno disuelto en una longitud aproximada de 70 Km.

En ese tramo el río presenta un color negro, las grasas y aceites manchan ambas márgenes del río, no existe vida acuática útil y si algún pez sobrevive su sabor a petróleo identifica la zona donde fue capturado.

En las cercanías de la presa Markazuza, grandes cantidades de espuma y materia flotante son retiradas de las aguas del río y quemadas en una fosa lateral para impedir que afecten los cultivos en cuyo riego son utilizados. En esta presa el agua recibe una reaeración, recuperando más rápidamente una calidad aceptable.

En el tramo que circunda a la población de La Piedad Cabadas, Mich., se advierte de nuevo un alza en la concentración de materia orgánica, producto de las descargas de aguas residuales provenientes de las actividades porcinas de la localidad, lo cual nuevamente reduce --

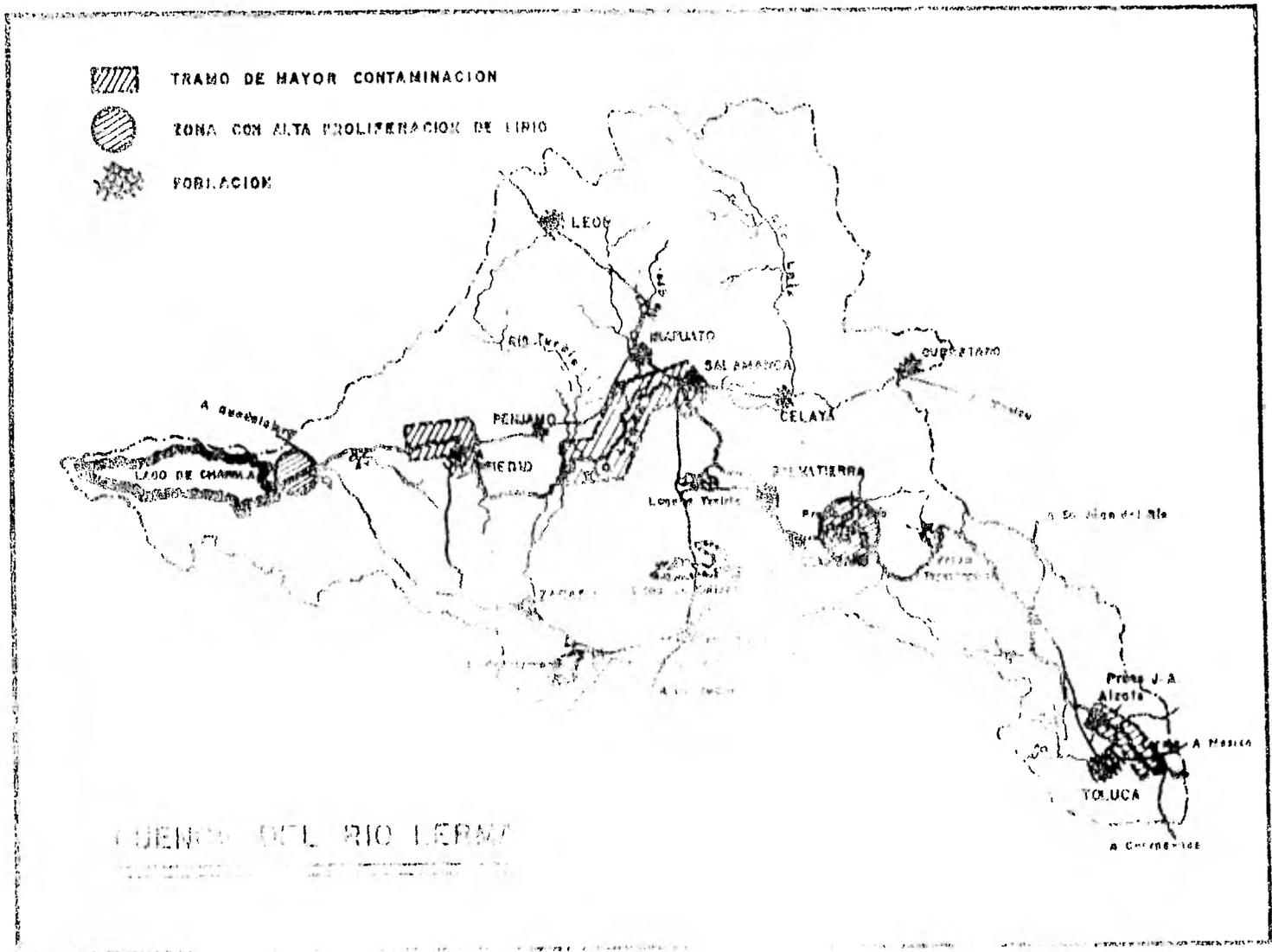
considerablemente el contenido del oxígeno disuelto en el agua, presentándose además una fuerte proliferación del lirio acuático que impide la -- transferencia de oxígeno del aire.

En la cascada denominada "El Salto" se obtiene una recuperación en el -- contenido de oxígeno, el cual llega a valores del 70% de saturación, de "El Salto" a Yurécuaro el río se mantiene con una calidad aceptable. Antes de su descarga al Lago de Chapala recibe la descarga de la Barca y -- disminuye su velocidad por la acción de la presa Maltaraña por lo que se presenta una alta proliferación de lirio acuático que cubre totalmente -- el río en sus últimos ocho kilómetros.

La descarga de materias bioestimulantes al Lago de Chapala a través del río Lerma contribuye a la eutrofización del Lago.

RÍO BLANCO.- Las principales fuentes de contaminación de las aguas del río Blanco son: La Ciudad de Orizaba, las industrias Kimberly Clark, Cervecera Moctezuma y CIDOSA las cuales contribuyen con el 72% de la carga orgánica total que recibe el río. Otras fuentes de contaminación importantes son las poblaciones de Cd. Mendoza, Río Blanco, Nogales y Córdoba, Ver., así como las industrias cercanas a ellas entre las que destacan -- las textiles y los beneficios de café.

El tramo de mayor índice de contaminación es el comprendido entre Cd. -- Mendoza y la Presa Tuxpango. Esta presa construida con una capacidad original de 500,000 m<sup>3</sup> ha visto disminuida su capacidad en un 50% por los





azolves provenientes de deslaves y aguas residuales con altos contenidos de sólidos suspendidos. Esto no permite generar los Kw/h/año para los que fue planeada y la presa presenta zonas con descomposición anaerobia.

En el tramo antes mencionado no existen los peces ni otras -- formas de vida acuática convenientes en una corriente sana.

Los contaminantes que arrastra el río son depositados en el vaso de la presa Tuxpango en donde se sedimentan y descomponen, disminuyendo su capacidad de almacenamiento.

Durante los últimos tres años la Comisión Federal de Electricidad ha tratado de ganar capacidad en el vaso de la presa mediante la apertura de las compuertas que dan salida a gran parte de los sólidos sedimentados, originando una onda de lodo que se desplaza aguas abajo de la presa, acabando con la vida acuática totalmente, especialmente los peces que mueren por asfixia. Al mismo tiempo afecta los usos del río inutilizando sus aguas durante un período aproximado de cinco días afectan a 16 poblaciones con aproximadamente 130,000 habitantes.

RIO ATOYAC-ZAHUAPAN. -- El estudio comprendió el muestreo y análisis de agua de los ríos Zahuapan y Atoyac, desde su inicio hasta la presa Manuel Avila Camacho, en los estados de Tlaxcala y Puebla.

Se localizaron 100 industrias productoras de desechos dentro de la cuenca de las cuales se muestrearon y caracterizaron -- diez y siete, que se seleccionaron como representativos de su rama por su capacidad, regularidad de proceso y carácter contaminante. La principal industria de la región es el ramo textil

que representa la tercera parte de la total.

Las principales poblaciones que generan aguas residuales son: San Martín Texmelucan, Apizaco, Sta. Ana Chiautempan, Tlaxcala y Puebla.

Durante el estudio se localizaron tres zonas de mayor afectación por las aguas residuales.

Zona 1.- Comprende el tramo del río Tequisquial desde que recibe la descarga de la fábrica de Celulosa Celfimex la cual - representa el 18% de la carga orgánica total de la cuenca, - hasta su confluencia con el río Zahuapan. La poca dilución - que recibe la descarga, abate el oxígeno disuelto en este tramo a valores entre uno y cero mg/l.

Zona 2.- Comprende el arroyo Los Negros que concentra las descargas de la población de Sta. Ana Chiautempan y la industria textil que se encuentra en ella. Este arroyo es afluente del Zahuapan y presenta en ocasiones alta concentración de color en sus aguas.

Zona 3.- Lo forma el tramo del río Atoyac desde la ciudad de Puebla hasta La Presa Manuel Avila Camacho. Este tramo recibe las descargas provenientes de la ciudad de Puebla incluyendo las industrias que se encuentran en ella. Estas descargas representan el 79% de la carga orgánica total que llega al río, lo cual aunado a la baja velocidad de la corriente hace que - la capacidad de asimilación sea menor que la carga contaminante y se presenten valores de cero mg/l de oxígeno disuelto, - en las aguas del río Atoyac.

El río aporta al lago formado por el vaso de la presa Manuel -



Avila : Camacho 460 Kg/día de nitrógeno orgánico y 17,400 Kg/día de fosfatos totales que contribuyen a una hiperfertilización del lago el cual se encuentra en un 80% de lirio, lo que impide su reareación atmosférica y aumenta su evapotranspiración, en perjuicio de los volúmenes de agua disponible.

CUENCA ALTA DEL RIO AMACUZAC.- Se efectuaron estudios para evaluar la calidad del agua de los ríos Apatlaco, Tetlama y Cuautla, los cuales se ven afectados por las descargas de aguas residuales de las ciudades de Cuernavaca, Cuautla, Jojutla, -- Emiliano Zapata, Zacatepec y Jiutepec, así como de las industrias existentes en la zona, entre las que destacan la Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) y el ingenio de Zacatepec.

El río Apatlaco recibe la afluencia de las Barrancas de Puente Blanco, Rastro Municipal y La Gachupina que transportan las -- descargas de la zona industrial de CIVAC la cual comprende actualmente dentro de sus instalaciones 27 industrias, teniendo en proyecto llegar hasta 150 en su etapa final. La zona CIVAC vierte sus desechos líquidos por medio de tres colectores, dos los recibe la barranca de Puente Blanco y tienen una aportación de 9.8 ton/día y 8.7 ton/día de DBO respectivamente, el tercero llega a la barranca La Gachupina junto con las aguas residuales municipales de la población de Tejalpa. El agua que colectan estas barrancas se utiliza con fines de riego y se ha observado que el rendimiento de los cultivos ha disminuido en algunos casos en un 15% aproximadamente.

Presentan además zonas con descomposición anaerobia que producen olores desagradables que originan protestas constantes de los habitantes cercanos. En esta área se estudia la posibilidad de efectuar un tratamiento común, captando las aguas residuales de las barrancas anteriormente mencionadas, con una --



inversión aproximada de 23 millones de pesos que producen una erogación de 3 millones de pesos al año, durante 10 años, repartidos entre los municipios, industrias de CIVAC e industrias aledañas.

Otra zona de alta contaminación detectada fue en el tramo del río Apatlaco comprendido entre Zacatepec y su descarga en el Amacuzac.

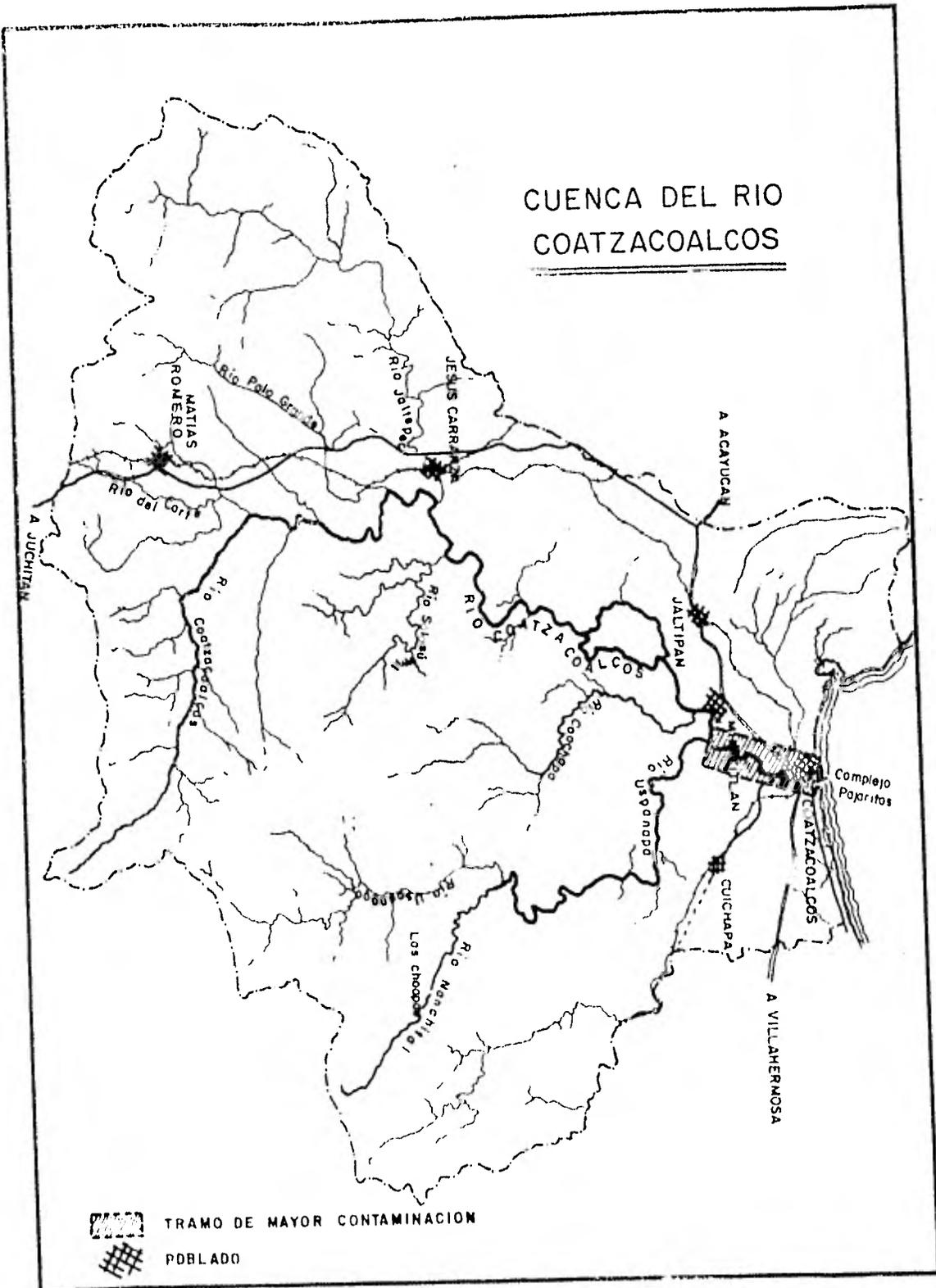
Lo anterior es producto de los desechos líquidos del ingenio azucarero Emiliano Zapata localizado en la población de Zacatepec. El aporte de aguas residuales provenientes del ingenio es de 3.1 ton /día de DBO que afecta una longitud de 12 Km, - en donde se encontró el río exento de oxígeno disuelto.

RÍO COATZACOALCOS.- El estudio de este río se llevó a cabo en el tramo comprendido entre Minatitlán y la desembocadura en el Golfo de México. Los usos actuales del estuario en el tramo estudiado son: navegación de buques de gran tonelaje, abastecimiento para enfriamiento en la industria y pesca en pequeña escala. Las principales fuentes de contaminación son las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, la refinería de Pemex en esta última, los complejos industriales de Cosoleacaque, y Pajaritos y los puertos libres mexicanos, siendo un total de 47 descargas de aguas residuales que llegan al río en forma directa o a través de sus afluentes.

La Refinería de Pemex es una de las principales descargas de aguas residuales aportando 10.1 ton /día de DBO, 87,6 ton / día de grasas y aceites y 0.3ton/día de Fenoles que llegan al río Coatzacoalcos a través del arroyo San Francisco.

Otras descargas de aguas residuales de gran impacto ecológico son las de Guanos y Fertilizantes que cuenta con dos unidades, una en Minatitlán y otra en Coatzacoalcos. Estas descargas con

# CUENCA DEL RIO COATZACOALCOS



alto contenido de yeso forman grandes áreas blancas en donde son depositados destruyendo la flora terrestre existente.

Se encuentra también la Congregación de Nanchital, importante estación de carga de barcos petroleros de gran tonelaje, en donde al embarque y desembarque de líquidos originan derrames que afectan la calidad del estuario. El complejo petroquímico de pajaritos cuenta con doce descargas entre las cuales se encuentra la de TEMSA que aporta 35 kg/día de Plomo, metal altamente tóxico a los seres vivos.

Actualmente tanto Pemex, como las diferentes industrias de la región han trazado planes tendientes a abatir la contaminación del estuario para preservar la calidad de sus aguas.

RIO PANUCO.- En esta cuenca se efectuó un estudio integral del alto y bajo Pánuco, cuya cuenca es de gran importancia económica y social ya que comprende el 75% de la población total del País y el 42% de la producción industrial nacional, incluyendo dentro de los porcentajes anteriores al Distrito Federal.

En la investigación efectuada se encontró la existencia de tramos cortos del río con alta concentración de contaminantes. Entre estos se encuentra un tramo del río Tula cuya degradación en la calidad de sus aguas es ocasionada por la descarga de aguas residuales de la ciudad de México, D.F., y de los túneles de Tequisquián.

Se encuentra también el tramo del río Valles próximo a la población de Cd. Valles que recibe las aguas residuales de la ingeniería "Plan de Ayala", La Fábrica Fibrocél, y de la Plantación y los molinos papeles de Cd. Valles, S.A.P.

Tanto el ingenio como la fábrica Fibracel vierten altas con -  
centraciones de sólidos suspendidos y materia orgánica que oca -  
cionan la muerte de los peces en una longitud de aproximada -  
mente 20 Km.

Se encuentra también alta concentración de contaminantes en  
los tramos del río que bordean los ingenios de Agua Buena, -  
Mante, Pánuco, El Higo y Xicotencatl, cuyas descargas con -  
centraciones de materia orgánica alta, degradan la calidad  
de las aguas.

En la parte baja de la cuenca el río recibe las descargas de  
las poblaciones de Tampico y Cd. Madero, la Refinería de Pe -  
mex y Química del Mar. Estas descargas al permanecer gran -  
porcentaje del tiempo ahogadas, forman gruesas capas de lodos  
bentales en sus cercanías y las aguas cercanas a ellas con -  
tienen altas concentraciones de coliformes.

La Refinería vierte al estuario aproximadamente 1,5 ton /día  
de grasas y aceites los cuales por su densidad forman una pe -  
lícula superficial que se mantiene en la margen izquierda del  
río e, imprime una coloración negra a dicha margen.



## V.- AUTOPURIFICACION DE CORRIENTES NATURALES CON DESCARGAS RESIDUALES DOMESTICAS.

Como ya se mencionó anteriormente los volúmenes de aguas residuales han aumentado considerablemente en las últimas décadas. Estas aguas residuales al integrarse a los ríos y depósitos los afectan seriamente en su calidad provocando problemas de contaminación.

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.

Dentro de la naturaleza, el muypreciado recurso agua merece especial atención tanto en el aspecto cantidad como calidad. Actualmente la contaminación de los ríos por desechos residuales, domésticos e industriales tienen características críticas, ya que sus aguas algunas veces no tienen utilidad para riego ni para dotar de agua potable a poblaciones que se encuentran cercanas a su cauce. En estas últimas décadas el hombre ha tratado de evitar esta contaminación declarando leyes y decretos mundiales para limitar la cantidad de desechos que deban verterse a los cauces de los ríos, exigiendo el tratamiento de las aguas negras de las poblaciones, para que cumplan con las normas de calidad que señalan los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes.

Las condiciones de descarga de aguas residuales a que se hace referencia se puede enunciar en:

- 1.- Lugar de descarga
- 2.- Normas de calidad que señalan los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes, los cuales se indican en el cuadro 5.1.

C U A D R O 5.1

LIMITES MAXIMOS DE CONTAMINANTES  
 CON QUE DEBERAN DE DESCARGAR  
 LAS AGUAS RESIDUALES

CONCEPTO	CANTIDAD
SOLIDOS SEDIMENTABLES	1.0 mg/l
GRASAS Y ACEITES	70.0 mg/l
MATERIA FLOTANTE	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm. de claro libre-cuadrado.
TEMPERATURA	35°C
POTENCIAL HIDROGENO (P.H)	4.5 - 10

Estas condiciones de descarga se fijan en función de tres grupos de variables, el primero corresponde a las características de la corriente o cuerpo receptor, el segundo grupo lo constituye la característica de las aguas residuales o efluente tales como los caudales medios máximos y mínimos, tipos de contaminantes, grado de concentración. El tercer grupo es el relativo a los usos del agua abajo del punto en que se produce la descarga y las características que la corriente presenta - de asimilación, dilución y autodepuración en general.

#### 5.1.- CONSIDERACIONES GENERALES

La calidad del agua que se encuentra en la naturaleza es muy variable, depende fundamentalmente de las condiciones geográficas, geológicas y climatológicas; de la cantidad de partículas que contenga y de la oportunidad que tenga para mantenerlas en suspensión o en estado coloidal; también de su temperatura, volumen, flora microbiana y de la contaminación producida por las actividades propias de la población.

En esta forma podemos decir que la calidad del agua se perjudica en los siguientes casos.

- 1.- Durante su paso natural sobre y a través de la tierra, desde las nubes al mar.
- 2.- Por los diversos y múltiples usos que le da el hombre .

La mayor parte del poder de recuperación es de carácter natural necesitándose solo una pequeña ayuda para que ésta sea total. La ayuda necesaria la pro-

porciona el ingeniero sanitario que debe estar familiarizado no sólo con las características de la contaminación y los métodos para prevenirla o evitarla, sino que debe conocer también las fuerzas naturales de autopurificación, las cuales - por sí misma puede producir una reducción de los sistemas de contaminación.

El ingeniero debe ser capaz de:

- a) Identificar los orígenes e intensidades de la contaminación.
- b) Medir y estimar la magnitud de las fuerzas naturales de autopurificación.
- c) Reconocer si una corriente de agua se corregirá espontáneamente o si necesita ayuda externa.

Las fuerzas de purificación son múltiples y variables clasificándose en físicas, químicas y biológicas, como son la sedimentación, la reducción, oxidación y acción solar estando relacionados y dependiendo entre sí mutuamente.

Estas fuerzas participan en diversas formas y se han aprovechado en los diferentes métodos de tratamiento que se han diseñado para la purificación de las aguas de desecho. Así en estas instalaciones, estas fuerzas naturales son activadas a propósito, para lograr que en tiempo y espacio pequeños, se logren los cambios que en forma natural pueden necesitar días, grandes distancias o grandes áreas.

Por ciertas ventajas, se referirá este escrito a la autopurificación de corrientes de agua, contaminadas por desechos domésticos.

Debe entenderse por "contaminar": La penetración de inmundicias en un cuerpo causando manchas, mal olor y el empobrecimiento de la calidad del agua natural, que le priva de sus propiedades; las corrientes de residuos domésticos e industriales se clasifican según la naturaleza de las sustancias, en física, química y biológica.

## 5.2.- PATRONES O SINTOMAS DE CONTAMINACION Y PURIFICACION NATURAL.

Cuando se descarga en un volumen de agua clara, agua negra doméstica o una sustancia contaminante similar se produce 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 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 otro lado, 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 autopurificación no es estático, sino que se mueve longitudinalmente a lo largo del curso, modificándose en su intensidad con los cambios de temperatura y distancia, especialmente durante los meses más calientes y en los menores flujos del agua corriente.

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 efecto similar al producido por un aumento de agua limpia en la corriente.

Cuando se hace una sola descarga importante de aguas negras o de otra materia putrecible, el agua se hace turbia, la luz no llega a las partes profundas y mueren - las plantas verdes que eliminan el bióxido de carbono - del agua por medio de la fotosíntesis y que al mismo - tiempo liberan oxígeno; los organismos saprófitos aumentan en un número tal que se acoplan a la cantidad ó - abasto de alimento.

La intensidad de sus actividades vitales se refleja en la intensidad de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ya que rápidamente se extraen las reservas de oxígeno - del agua.

En las corrientes cuyas aguas se encuentran sobrecargadas, puede desaparecer complementamente el oxígeno, por el desarrollo normal de los ciclos nitrógeno, carbono, azufre y otros elementos nitrogenados importantes. Se encuentran en estos casos diversos grupos de microbios que "Desdoblan" los materiales del agua negra, de acuerdo con sus requerimientos y adaptabilidad al medio de - los diferentes organismos.

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 por el --- tiempo y distancia de viaje o de flujo necesario.

Si la contaminación se mantiene dentro de ciertos límites contribuirá a la fertilidad del agua ya que se promoverá el crecimiento de la vida acuática útil y así los peces aumentarán 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. 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.

Este peligro no debe nunca perderse de vista.

### 5.3.- PARAMETROS DE CONTAMINACION Y PURIFICACION NATURAL.

La contaminación y la purificación natural del agua debe medirse física, química y biológicamente; ninguna de las medidas aislada dará las condiciones completas de la corriente. Dependiendo de la naturaleza de las sustancias contaminantes y de los usos que se vayan a dar a los cuerpos de agua receptores (o el agua tomada en ella) las mediciones deberán incluir determinaciones tales como turbiedad, color, olor, nitrógeno en sus diversas formas, DBO, oxígeno disuelto y otros gases, sustancias minerales de diversas clases, bacterianas y organismos acuáticos mayores.

Cuando las aguas que han estado sujetas a contaminación se piensa emplearlas para propósitos municipales de abastecimiento de agua o como aguas para balnearios, el progreso de la autopurificación de bacterias se mide por las prevalencias del grupo coliforme como los organismos principalmente determinantes.

La calidad del agua desde el punto de vista de la atracción natural, agrado y aspecto urbanístico, debe considerarse en relación con el contenido de materias orgánicas en solución, estado coloidal; material sedimentable y flotante o aceites y otras sustancias provenientes de residuos, estos aspectos fundamentalmente conducen a: a) proceso desagradable al sentido de la vista, y b) olores desagradables que afectan al sentido del olfato. Por el hecho de que estos aspectos están íntimamente relacionados con la descomposición anaerobia de las aguas servidas.

El déficit de oxígeno desempeña un papel fundamentalmente en el proceso, por lo tanto, para definir la calidad

sanitaria del agua se sugiere un criterio bien preciso, el cual se puede resumir en los siguientes términos: "El déficit de oxígeno del agua en cualquier punto del curso no debe bajar de 5 ppm. tendiente a mantener la vida superior correspondiente a las necesidades de oxígeno disuelto requerida por los peces".

El mantenimiento de esta condición en el agua, está íntimamente relacionada con el balance entre el volumen del agua receptora, el volumen y concentración de las aguas que se descargan al curso correspondiente, por lo tanto, de acuerdo con estas características deben hacerse las exigencias del tratamiento de las aguas servidas que se vacían a determinado curso receptor.

Por otra parte, los residuos industriales que producen una reducción o un alza excesiva del pH. y salinidad, o de sustancias tóxicas, deben considerarse especialmente para mantener la vida superior en los cursos de agua receptoras.

Allen Hazen estableció en 1897 que la dilución requerida para no producir condiciones de desagrado u ofensivas en un curso receptor, debía variar como mínimo de 140 a 280 l.p.s (5 a 10 pies<sup>3</sup>/seg. ) por mil personas; y en 1902; Goodnough estableció la cifra de 170 l.p.s ( 6 pées<sup>3</sup> / seg . por mil personas).

En el mecanismo y desarrollo del proceso de la contaminación y autopurificación, si no se controla la carga que se vacía al curso de agua, pueden distinguirse cuatro zonas bien definidas: zona de degradación, zona de activa descomposición, zona de recuperación y zona de aguas claras.

ZONA DE DEGRADACION. Esta zona se encuentra normalmente muy cerca del punto de descarga de las aguas negras, las cualidades físicas y químicas del agua son deterioradas y las formas de vida inferior más tolerantes reemplazan a las formas de vida superior.

El límite inferior de esta zona corresponde a una distancia para la cual el contenido de oxígeno disuelto se aproxima a 45% de saturación con temperatura de verano. En esta zona de degradación aumenta la flora bacteriana, se producen depósitos de lodo de alto contenido de materia orgánica, decrece paulatinamente el oxígeno disuelto y se incrementa el anhídrido carbónico. En cuanto viene la descomposición, los hongos acuáticos reemplazan a las plantas verdes y a los microorganismos superiores.

ZONA DE DESCOMPOSICION ACTIVA. Esta zona caracterizada por la ausencia de oxígeno disuelto y por las condiciones sépticas, marcado color gris oscuro, con olor característico a descomposición de aguas negras (ácido sulfhídrico, olor a huevos descompuestos), depósito de lodo negro viscoso desprendimiento de burbujas de gas. Al establecerse la descomposición anaerobia, se incrementa el anhídrido carbónico y el amoníaco y las bacterias anaerobias reemplazan a las aerobias, descomposición que permanece hasta que la D.B.O. es menor que la tasa de aeración.

ZONA DE RECUPERACION. En esta zona, las características son opuestas a la zona de degradación. Hay una gradual clarificación del agua, el oxígeno disuelto se incrementa hasta el punto de saturación, disminuye el anhídrido carbónico mientras que los nitritos y nitratos aumentan. No hay bur

burbujas. El recuento bacteriano disminuye a medida que baja el alimento del agua y se desarrollan protozoos, - y crustáceos.

ZONA DE AGUAS CLARAS. Esta zona se caracteriza por una similitud con las aguas naturales. Es atractiva en apariencia y tiene vida animal y vegetal normal. En esta zona hay bacterias aerobias junto con otros microorganismos y las condiciones permiten la vida superior (peces).

En un curso de agua en el cual se pretenden mantener las condiciones agradables al sentido de la vista y del olfato, que haya vida superior y que sea atractiva desde el punto de vista urbanístico, el contenido de oxígeno del agua no debe bajar de 5 ppm., tal como se estableció previamente, y para lograrlo es necesario estudiar las ecuaciones de autopurificación de los cursos, tendientes a precisar y cuantificar la carga orgánica máxima permitida en cualquier punto del curso, considerada en función de la demanda bioquímica de oxígeno (D B.O.).

INDICIOS DE VIDA EN LA POLUCION DE LAS CORRIENTES  
Y AUTOPURIFICACION

ZONA

Degradación

Los peces y las algas verdes disminuyen.

Formas litorales de algas verdes y azul-verdes cuelgan de las piedras, frecuentemente humedecidas. Entre ellas figuran *Stigeoclonium*, *Oscillatoria*, y *Ulothrix*.

Formas vivas de zona profunda en el lodo: gusanos rojizos (*Tubificideos*), parecidos a las lombrices de tierra, como *Tubifex* y *Limnodrilus*.

Hongos de agua típicamente blancos, verde oliva, gris pardo, rojizos. *Sphaerolitus natans*, *Leptomitus*, *Achya*.

Protozoos ciliados, como *Carchesium*, *Epistylis* y *Vorticella*.

Descomposición  
activa

Florece la flora bacteriana, desplazando los anaerobios, que reaparecen hacia el extremo más inferior de la zona.

Los protozoos siguen la marcha de las bacterias aeróbicas, disminuyendo primero y reapareciendo después.

Los hongos siguen un camino análogo, desapareciendo bajo verdaderas condiciones sépticas, para reaparecer más tarde. Los organismos son filarios y desarrollan un tinte rojizo, cremoso o gris.

Se encuentran algas, en muy pequeña extensión, en el extremo inferior de la zona.

El *Tubifex* se encuentra únicamente en los extremos superior e inferior de la zona.

En toda la zona, con excepción de la parte -

más séptica, existen pupas y larvas de *Psychoda* (mosca de las aguas negras).

Recuperación Aparecen protozoos, rotíferos y crustáceos. Se encuentran hongos en grado limitado. Aparecen algas en el siguiente orden: Cianofíceas, Clorofíceas y Diatomeas. Plantas superiores: aparecen esponjas, briozoarios, etc.

Entre los organismos del fondo se encuentran Tubifex, ciertos mariscos, caracoles y larvas de insectos.

Hay carpas, rémoras y otras formas más resistentes de peces.

Aguas claras Condiciones normales, caracterizadas especialmente por la presencia de peces útiles para la pesca comercial.

5.4. - ECUACIONES DE AUTOPURIFICACION DE LOS CURSOS DE AGUA Y CARGA MAXIMA PERMITIDA EN FUNCION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO.

Para formular las ecuaciones de autopurificación del río, es necesario conocer las constantes de la ecuación que determina el déficit de oxígeno ( $D_t$ ) en un punto cualquiera del río, para un tramo determinado del curso correspondiente, en función de la carga orgánica y del tiempo de escurrimiento, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$D_t = \frac{K_D L_a}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_a 10^{-K_2 t}$$

En la que:

$D_a$  = Déficit de oxígeno disuelto en el punto de contaminación o de referencia (ppm).

$D_t$  = Déficit de oxígeno disuelto en el punto distante un tiempo "t" del punto de referencia (ppm).

$L_a$  = Valor último de la DBO, de la primera etapa del agua del punto en referencia; ppm. (carga orgánica del agua del río).

$K_1$  = Tasa de remoción de D.B.O. (días<sup>-1</sup>).

$K_2$  = Tasa de reoxigenación (días<sup>-1</sup>).

$K_D$  = Tasa de desoxigenación (días<sup>-1</sup>).

La tasa de remoción  $K_1$  es la producida por la biooxidación y la tasa de la sedimentación y/o absor-

ción es igual  $K_1 = K_D + K_3$  donde  $K_3$  es la tasa de remoción debido a la sedimentación, cuando estos fenómenos no existen  $K_1 = K_D$ . Para la obtención de la ecuación se considerará exclusivamente a  $K_1$ .

La constante  $K_1$  y el término  $L_a$  corresponde a la mezcla del agua del río con la descarga contaminada en el punto considerado o de referencia.

Pueden ser calculados con base en determinaciones de laboratorio de la DBO y aplicando posteriormente cualquier método conocido para tal objeto, (por ejemplo: método de los mínimos cuadrados, método de los momentos, método de Harold Thomas etc.)

El valor de la constante  $K_2$  del tramo del río considerado se calcula sobre la base del valor de la DBO. que el agua tiene al comienzo y al final del sector del río en estudio. 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 muestre, se consigue una serie homogénea de datos para las condiciones medias del curso del río considerado y se logra una aproximación razonable y suficiente.

Los valores  $L_a$ ,  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_D$  se obtendrían para cada conjunto de datos homogéneos, y por consiguiente, la ecuación que determina el déficit de oxígeno para la sección o tramo considerado.

Una vez conocida la ecuación para el tramo considerado, se determina el valor de la carga máxima permitida, límite superior ( $D_a = 0$ ) y el límite inferior ( $D_c =$  déficit

crítico de oxígeno) y el tiempo correspondiente para que se produzca el déficit crítico de oxígeno, el cual se establece previamente según las condiciones requeridas del río en estudio y que corresponden a lo que fundamentalmente le interesa en este aspecto al ingeniero sanitario.

5.5.- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO. La demanda bioquímica de oxígeno de las aguas negras, es la cantidad de oxígeno libre consumido durante la estabilización aerobia biológica en determinadas condiciones de tiempo, temperatura y dilución.

En el laboratorio se acostumbra determinar la DBO. en ppm. para un período de incubación de cinco días a 20°C; con la tabla No. 1, se puede calcular la DBO para cualquier temperatura y período de incubación.

TABLA No. 1

Demanda bioquímica de oxígeno satisfecha normalmente en la primera etapa, según tiempo y temperatura en relación con un período de incubación de cinco días a 20°C.

Tiempo (días)/temp.	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	1.45	..	..	..
Primera etapa	1.02	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	1.90

La línea diagonal 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 demanda bioquímica de oxígeno normal. Si las aguas negras se han sometido a un tratamiento biológico, su DBO. se habrá reducido en parte.

Mientras que la descomposición corresponda a la primera etapa la DBO. se regirá de acuerdo con las fórmulas, aunque aparentemente será de menor duración que la primera etapa normal. Si empezó la nitrificación o segunda etapa, la DBO. no se rige por las fórmulas aludidas.

La reducción de la DBO. por la remoción física de materias orgánicas (precipitación química, sedimentación) es relativamente baja. En cambio, por los métodos de tratamiento biológico, la DBO. en gran parte se satisface durante el proceso.

El curso seguido por la DBO. en el tratamiento, es similar al que se esperaría en las aguas negras después de varios días - de actividad biológica normal. La reducción parcial de la DBO. puede llevar a las aguas negras a la zona de nitrificación y ocurrir que la DBO. del efluente sea mayor que para un tratamiento menos completo. Por esta razón, algunos operadores de plantas tienden a detener el tratamiento biológico poco antes de que empiece la nitrificación. Esto dependerá de los requerimientos de la planta y de las características del agua receptora.

#### 5.6.- SEGUNDA ETAPA DE 'LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO' O ETAPA DE NITRIFICACION.

La segunda etapa de la DBO. no ha sido suficientemente estudiada. Algunos investigadores han demostrado que la nitrificación ocurre en este período. La forma de la curva de la segunda etapa se conoce desde los trabajos realizados por Adeney. El punto en el que la DBO. alcanza un valor constante, para un mismo espacio de tiempo, varía en las aguas domiciliarias (negras) de 15 a 22 días para una incubación a 20°C. La temperatura acelera el proceso y las características de las aguas tienen marcada influencia. Los organismos nitrificantes que se desarrollan en esta etapa son más difíciles de aislar y de cultivar, de tal manera que las experiencias de laboratorio son escasas en relación con la primera etapa. La observación del consumo de oxígeno está sujeta a un mayor número de errores que la primera etapa, por lo que no se ha podido formular una ecuación satisfactoria.

Las características químicas del agua, tal como los fosfatos, cloruros, etc., tienen un efecto muy pronunciado en el avance del proceso correspondiente a la segunda etapa.

### 5.7.- FORMULACION MATEMATICA DE LA AERACION U OXIGENACION DE LAS AGUAS CONTAMINADAS.

El oxígeno necesario para mantener las condiciones biológicas aerobias de un curso o de cualquier otra fuente, se deriva fundamentalmente de la atmósfera con la cual está en contacto, el oxígeno liberado por las plantas durante el proceso de fotosíntesis a pesar de ser un recurso importante, se limita a los siguientes casos: a) aguas que no están suficientemente contaminadas como para evitar el desarrollo de plantas o algas, o que han tenido el tiempo suficiente para que se desarrollen; b) aguas que se han purificado lo suficiente para establecer la presencia de plantas o algas; c) las horas de sol y estaciones calurosas del año.

El resultado del ciclo diurno de oxígeno disuelto en aguas ricas en vegetación, varía con la intensidad de la luz solar y la cantidad de las plantas presentes, por lo cual no se considera en los cálculos del balance de oxígeno de las aguas contaminadas.

Podemos decir que la velocidad de absorción de oxígeno es proporcional al déficit de saturación del mismo, por lo que la oxigenación presenta la siguiente forma:

$$\frac{dc}{dt} = K_2 (C_s - C_t)$$

en donde:

$$\frac{dc}{dt} = \text{Velocidad de absorción en el tiempo } t$$

$c_s$  = Concentración de saturación de oxígeno disuelto a una temperatura dada.

$c_t$  = La concentración en tiempo  $t$  de oxígeno disuelto.

$K_2$  = Tasa de reoxigenación ( $\text{días}^{-1}$ ) que depende de las condiciones existentes de exposición.

Considerando que  $C_s - c_t$  no es otra cosa más que el déficit de oxígeno disuelto =  $D_t$  en el tiempo  $t$  se tiene:

$$\frac{dD_t}{dt} = K_2 D_t$$

e integrando la ecuación nos queda:

$$D_t = D_a e^{-K_2 t}$$

donde  $D_a$  es el déficit de oxígeno en el punto de referencia.

Como la temperatura tiene que ver en el proceso de aereación la constante  $K_2$  a cualquier temperatura está dada por la siguiente expresión:

$$K_2 (a t^\circ c) = K_2 \vartheta^{(t-20)} \quad (a 20^\circ c)$$

donde:

$$\vartheta = 1.0159 \quad (\text{Becker})$$

$$\vartheta = 1.010 \quad (\text{Adeney})$$

5. 8.- FORMULACION DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO O DESOXIGENACION.

La primera etapa de la demanda bioquímica de oxígeno se rige por la siguiente ecuación diferencial:

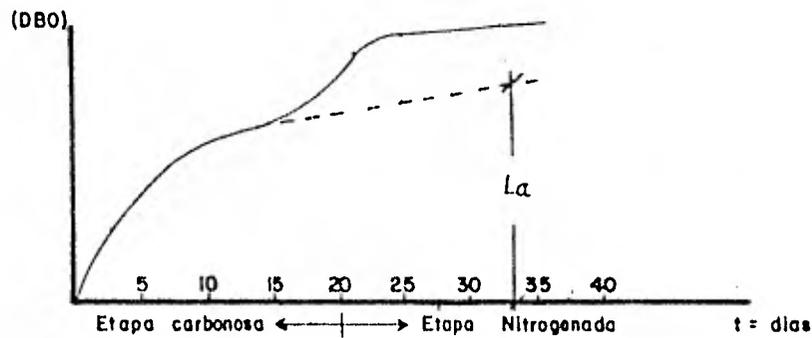


Fig. 1. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) contra tiempo a  $T^{\circ}C$ .

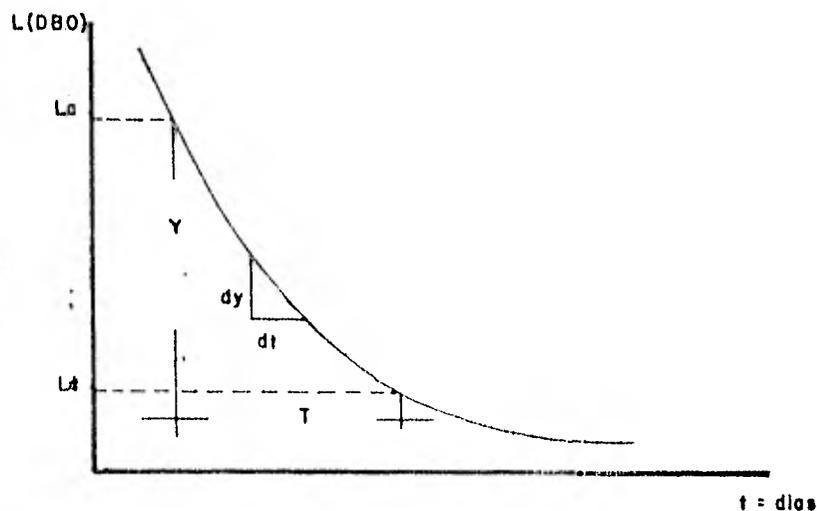


Fig. 2. Representación gráfica de la derivación de la ecuación monomolecular de la DBO.

$$\frac{dy}{dt} = K_1 (L_a - y)$$

Integrando la ecuación, toma la forma:

$$y = L_a (1 - e^{-K_1 t})$$

$$y = L_a (1 - 10^{-K_1' t})$$

En la que:

$y$  = D.B.O. satisfecha durante el tiempo " $t$ " (mg/l)

$L_a$  = Valor último de la D.B.O. en la primera etapa (mat. orgánica carbonácea) (mg/l).

$K_1$  = Tasa de remoción de D.B.O. (días<sup>-1</sup>)

$t$  = Días

$$K_1' = 0.4343 K_1$$

(constante para transformar de base  $e$  a base 10)

5.9.- FORMULACION DE LA ECUACION CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE LA AERACION Y DESOXIGENACION,

La superposición de los fenómenos de desoxigenación de las aguas contaminadas (DBO), y su oxigenación o aeración origina una curva característica del déficit de oxígeno disuelto (DO) a través del escurrimiento (Fig. 5.7.1)

Las propiedades matemáticas de la curva en relación con los cálculos de contaminación permitida en las aguas receptoras han sido formuladas en los estudios clásicos de Streeter y Phelps, (H.W. Streeter y E.B. Phelps, U.S. Public. Health Bur. 146, 1925).

La ecuación diferencial que identifica la acción combinada de desoxigenación y aeración, establece que el cambio en el déficit de oxígeno disuelto,  $\frac{dD_t}{dt}$ , es igual a la suma algebraica de la utilización del oxígeno por la DBO. en ausencia de aeración  $\frac{dD_t}{dt} = K_1 (L_a - y)$  y tasa de absorción de oxígeno por oxigenación en ausencia de DBO.  $\frac{dD_t}{dt} = -K_2 D_t$

El déficit decrece por la aeración a una tasa que es proporcional al déficit mismo en consecuencia:

$$\frac{dD_t}{dt} = K_1 (L_a - y) - K_2 D_t$$

$$(1) D_t = \frac{K_1}{K_2 - K_1} \frac{L_a}{e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}} + D_0 e^{-K_2 t}$$

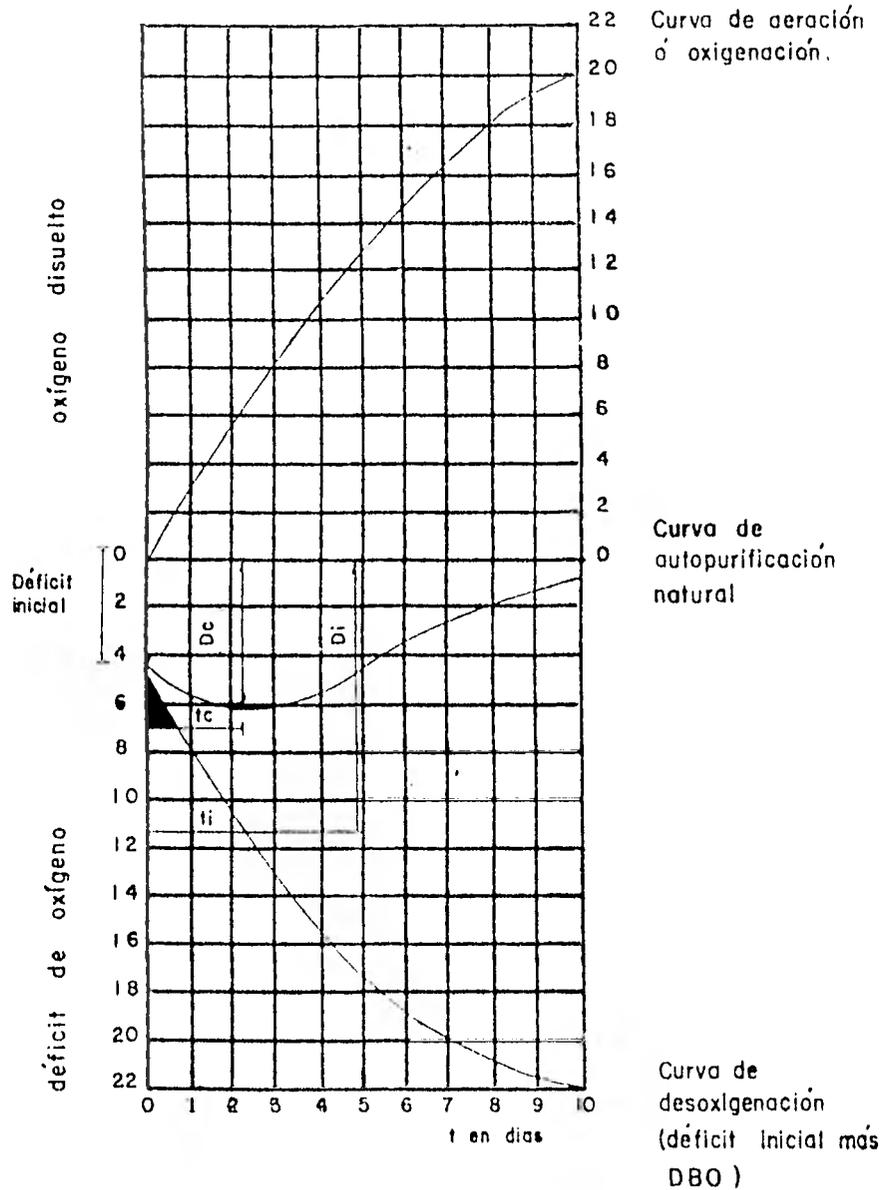
$\delta$

$$D_t = \frac{K_1 La}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_a 10^{-K_2 t}$$

ecuación que puede escribirse para " $\delta$ " denominada constante de autopurificación:

$$\delta = \frac{K_2}{K_1}$$

$$(2) D_t = \frac{La}{\delta - 1} 10^{-K_1 t} \left[ 1 - 10^{-\frac{(\delta-1)K_1 t}{\delta}} \left( 1 - (\delta-1) \frac{D_a}{La} \right) \right]$$



5.7.1.- Efecto combinado de la oxigenación y desoxigenación en el proceso de autopurificación natural - del agua (Water Supply and Waste - Water Disposal, Fair and Geyer). En donde:

- $D_c$  = Déficit crítico
- $D_i$  = Déficit de inflexión
- $t_c$  = tiempo crítico
- $t_i$  = tiempo de inflexión

### 5.10 PUNTOS CARACTERISTICOS DE LA CURVA DE OXIGENACION Y DESOXI- GENACION.

Hay dos puntos de especial interés para la Ingeniería Sanitaria; a) el punto de máximo déficit de oxígeno o punto crítico con coordenadas  $D_c$  y  $t_c$ ; b) punto de inflexión de la curva, que corresponde al punto de máxima tasa de recuperación de oxígeno con coordenadas  $D_i$ ,  $t_i$  (Fig. 4)

Punto crítico. Derivando la ecuación (3) y haciendo la derivada igual a cero, encontramos el punto crítico o de máximo déficit de oxígeno para:

$$(3) \quad D_t = \frac{La}{\beta-1} 10^{-K_1 t} \cdot \left[ 1 - 10^{-\beta-1 K_1 t} \left[ 1 - (\beta-1) \frac{Da}{La} \right] \right]$$

Transformando la ecuación tenemos:

$$D_t = \frac{La}{\beta-1} 10^{-K_1 t} - \frac{La}{\beta-1} 10^{-(\beta-1) K_1 t} - K_1 t \left( 1 - (\beta-1) \frac{Da}{La} \right)$$

Haciendo

$$A = 1 - (\beta - 1) \frac{Da}{La}$$

$$B = \frac{La}{\beta-1}$$

Sustituyendo y Agrupando

$$(4) \quad D_t = B 10^{-K_1 t} - BA 10^{-(\beta-1) K_1 t} - \beta K_1 t$$

realizando la derivada con respecto al tiempo

$$(5) \quad \frac{dD_t}{dt} = -K_1 B 10^{-K_1 t} + (\beta-1) K_1 B A 10^{-(\beta-1) K_1 t} - \beta K_1 = 0$$

Reduciendo términos

$$K_1 B (-10^{-K_1 t} + \delta A 10^{-\delta K_1 t}) = 0$$

Por lo que:

$$(6) \quad \delta A 10^{-\delta K_1 t} = 10^{-K_1 t}$$

Sacando antilogaritmos:

$$\text{Log } \delta A - \delta K_1 t = -K_1 t$$

reagrupando

$$K_1 t = \frac{\text{Log } \delta A}{\delta - 1}$$

Sustituyendo el valor de A

$$(7) \quad K_1 t = \frac{1}{\delta - 1} \text{Log} \left[ \delta \left( 1 - (\delta - 1) \frac{D_a}{L a} \right) \right]$$

En donde  $t = t_c$ .

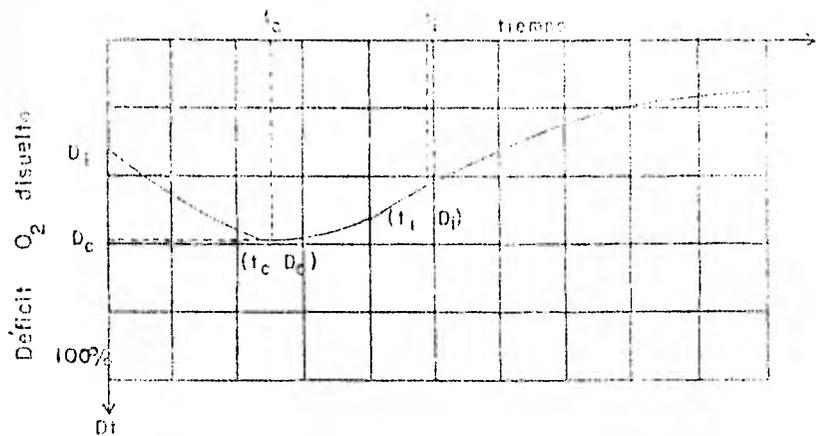


Fig. 4. Curva de autopurificación de un curso de agua

El déficit  $D_c$  se encuentra substituyendo (6) en (4)

(8)

$$\text{que se puede escribir : } D_c = \frac{La \cdot 10^{(-K_1 t_c)}}{\delta}$$

$\delta$

(9)

$$\log D_c = \frac{\log La}{\delta} - \left[ -K_1 t_c \right]$$

PUNTO DE INFLEXION O PUNTO DE MAXIMA TASA DE RECUPERACION DE OXIGENO.

La ordenadas de este punto se encuentran haciendo la segunda derivada de la ecuación (5) igual a cero ordenando los términos:

Nos queda

$$K_1^2 B 10^{-K_1 t} - \delta^2 K_1^2 A B 10^{-\delta K_1 t} = 0$$

Reagrupando:

$$10^{-K_1 t} = \delta^2 A 10^{-\delta K_1 t} = C$$

Por lo que:

$$(10) \quad 10^{-K_1 t} = \delta^2 A 10^{-\delta K_1 t}$$

Sacando antilogaritmos:

$$-K_1 t = \text{Log } \delta^2 A - \delta K_1 t$$

$$K_1 t = \frac{\text{Log } \delta^2 A}{\delta - 1}$$

Sustituyendo el valor de A

$$(11) \quad K_1 t = \frac{1}{\delta - 1} \text{Log} \left[ \delta^2 \left[ 1 + (\delta - 1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right]$$

donde  $t = \tau$

Para obtener D se sustituye (10) en (4)

$$D\tau = B 10^{-K_1 \tau} - \frac{B 10^{-K_1 \tau}}{\delta^2}$$

$$\delta^2 D\tau = \delta^2 B 10^{-K_1 \tau} - B 10^{-K_1 \tau}$$

$$\delta^2 D\tau = B 10^{-K_1 \tau} (\delta^2 - 1)$$

$$\text{donde } (\delta^2 - 1) = (\delta + 1)(\delta - 1)$$

Sustituyendo

$$\delta^2 D\tau = B 10^{-K_1 \tau} (\delta + 1)(\delta - 1)$$

El valor de B =  $\frac{L_a}{\delta - 1}$ , por lo que

$$\delta^2 D\tau = L_a 10^{-K_1 \tau} (\delta + 1)$$

El déficit de oxígeno en este punto está dado por la expresión:

$$(12) \quad D_i = \frac{\delta + 1}{\delta^2} \cdot L_a 10^{-K_1 t_i}$$

Donde  $D_t = D_i$

### 5.11 RELACION ENTRE EL PUNTO CRITICO Y EL PUNTO DE INFLEXION

Se puede demostrar que la relación entre tiempo  $t_c$  y  $t_i$ , está dada por ecuación:

$$(13) \quad K_1 (t_i - t_c) = \frac{1}{\delta - 1} \log. \delta$$

$$(14) \quad \frac{D_i}{D_c} = \frac{\delta + 1}{\delta} 10^{-K_1 (t_i - t_c)}$$

$$(15) \quad \log \frac{D_i}{D_c} = \log \left[ \frac{\delta + 1}{\delta} \right] - K_1 (t_i - t_c)$$

La ecuación (13) es igual a la ecuación (7) cuando  $D_a = 0$ .

Algunos valores informativos de la constante de autpurificación " $\delta$ " están dados a continuación considerando una temperatura de 20°C y las velocidades medias de los ríos estudiados.

Aguas receptoras

"f" a 20°C

1.- Lagunas y aguas estacionarias provenientes de ríos	0,5 a 1.0
2.- Cursos muy lentos y lagos ó 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 o caídos de agua	más de 5.0

La corrección del valor 'f' por la temperatura puede efectuarse considerando las relaciones siguientes:

$$K_1 (T) = K_1 (20^\circ\text{C.}) \times 1,047^{(T - 20)}$$

$$K_2 (T) = K_2 (20^\circ\text{C.}) \times 1,0159^{(T - 20)}$$

$$f (T) = f (20^\circ\text{C.}) \times 0,970^{(T - 20)}$$

Valor de los coeficientes para la constante de autopurificación "f" según la temperatura en relación a 20°C.

Temperatura °C	5	10	15	20	25	30
Valor - relativo de f	1,58	1,35	1,16	1,00	0,859	0,737

5.12.- VALORIZACION DE LAS ECUACIONES PARA LA CARGA MAXIMA PERMITIDA

Un análisis de las ecuaciones (3), (7) y (8) indica la carga (contaminación)-La (valor último de la DBO. de la primera etapa) resultantes de la mezcla - del agua del curso y la descarga contaminante está determinada por los siguientes parámetros anteriormente definidos:

Constante de desoxigenación  $K_1$

constante de autopurificación  $f = \frac{K_2}{K_1}$

Déficit crítico de oxígeno  $D_c$

Déficit inicial de oxígeno  $D_a$

Si se trata de evitar condiciones sépticas, la magnitud máxima de  $D_c$  corresponde a la saturación (9.2 mg/l a 20°C) S.N.M.

Para el caso de conservar la vida de los peces que se requieren como mínimo 5 ppm. de oxígeno disuelto, el déficit crítico o concentración de oxígeno permitido debe ser superior a 4.2 mg/l a 20°C

El máximo valor del déficit crítico debe ser elegido según el comportamiento esperado en el agua.

El déficit inicial de oxígeno disuelto,  $D_a$ , establece dos valores límites para valores correspondientes de  $K_1$ ,  $f$  y  $D_c$ ; límite superior e inferior de la carga máxima permitida.

#### 5.12.1 LIMITE SUPERIOR DE LA CARGA MAXIMA PERMITIDA

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

Haciendo  $D_a = 0$  en la ecuación (7), se tiene el tiempo en que se establece el déficit crítico para el límite superior de la carga máxima permitida.

$$(16) \quad K_1 t'_c = \frac{1}{f - 1} \log f$$

Por las ecuaciones (8) y (16) se consigue calcular el valor último de la

D.B.O. en la primera etapa  $L'_a$  para estas condiciones.

(17)

$$\frac{L'_a}{D_c} = \delta \cdot 10^{K_1 t'_c}$$

(18)

$$\log \frac{L'_a}{D_c} = \log \delta + K_1 t'_c = \log \delta + \frac{1}{\delta-1} \log \delta$$

(19)

$$\log \frac{L'_a}{D_c} = \frac{\delta}{\delta-1} \log \delta$$

Por las ecuaciones (13) y (16) se puede establecer el tiempo para que se tenga la máxima recuperación de oxígeno.

(20)

$$K_1 (t'_i - t'_c) = \frac{1}{\delta-1} \log \delta = K_1 t'_c$$

(21)

$$t'_i = 2t'_c$$

Considerando las ecuaciones (14), (17) y (21) se calcula  $D'_i$ .

(22)

$$\frac{D'_i}{D_c} = \frac{\delta + 1}{\delta} 10^{-K_1 t'_c}$$

(23)

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

Límite inferior de la carga máxima permitida. Para el caso más desfavora--

ble,  $D_a$  debe ser igual a  $D_c$  (déficit máximo de oxígeno permitido); por lo tanto:

$$(24) \quad t'_c = 0$$

De la ecuación (8) y (24)

$$(25) \quad \frac{L'_a}{D_c} = \delta$$

De las ecuaciones (13), (16) y (24)

$$(26) \quad t'_i = \frac{1}{\delta - 1} \cdot \frac{\log \delta}{K_1} = t'_c$$

De las ecuaciones (14), (24) y (26)

$$(27) \quad \frac{D''_i}{D_c} = \frac{\delta + 1}{\delta} 10^{-K t'_c}$$

De las ecuaciones (22) y (27)

$$(28) \quad \frac{D''_i}{D_c} = \frac{D'_i}{D_c} \delta \quad D''_i = D'_i$$

De las ecuaciones (19), (25) y (16)

$$(29) \quad \log \frac{L'_a}{L'_a} = \frac{1}{\delta - 1} \log \delta = K_1 t'_c$$

Los valores dados por las ecuaciones planteadas y establecidas para el límite superior e inferior de la carga máxima permitida, como también para valores intermedios, se pueden calcular del diagrama del libro *Water Supply and Waste Water Disposal*, página 509, de Fair and Geyer.

Como resumen, se concluye:

- a) El límite inferior de la carga máxima permitida en las aguas receptoras es igual a "f" veces el déficit de oxígeno aceptado (ecuación 25)
- b) El límite de carga superior es alrededor de dos veces el límite inferior (escurrimientos normales).
- c) El déficit en el punto de inflexión es alrededor de 7/11 del déficit crítico.
- d) Para escurrimientos normales, a temperaturas altas de verano, los tiempos críticos y de inflexión son alrededor de tres y seis días, respectivamente.
- e) Para el límite inferior de carga máxima permitida, el tiempo crítico es cero, y para cursos normales a temperaturas altas de verano el tiempo requerido para alcanzar el punto de inflexión es de alrededor de tres días.

Ejemplo: A). Condiciones de una corriente

$f = 2.4$ ; O.D. = 9.2 ppm. (20°C); C.D. permitida = 1.0 ppm.

( $D_c = 5.2$  ppm);  $K_1 = 0.1$  por día

B). Problemas:

a) Calcular  $C_c$  y  $C_{c,1}$  (tiempo para cada uno de los límites superior e inferior de la carga máxima permitida).

Límite Superior:

Límite inferior:

De la ecuación (16)

$$t'_c = \frac{1}{0.1 \times 1.4} \log 2.4 = 2.72 \text{ días } t'_c = 0 \text{ días}$$

b) Calcular el valor último de la DBD. de la primera etapa correspondiente al límite superior e inferior de la carga máxima permitida.

Límite superior

Límite inferior

De la ecuación (19)

De la ecuación (25)

$$\log \frac{L'_a}{0.1} = \frac{2.4}{1.4} \log 2.4 = 0.652 \quad \frac{L'_a}{5.2} = 2.4$$

$$L'_a = 4.49 \times 5.2 = 23.4 \text{ ppm.} \quad L'_a = 2.4 \times 5.2 = 12.5 \text{ ppm}$$

La carga permitida en el curso considerado varía entre 12.5 y 23.4 ppm. (valor último de la DBD. en la primera etapa) para un déficit de 5.2 ppm. y saturado de oxígeno respectivamente.

### 5.13 PROBLEMAS ILUSTRATIVOS EMPLEANDO UN MONOGRAMA PARA LA ECUACION DE STREETER-PHELPS.

El gran número de cálculos tediosos involucrados en la solución de muchos problemas en los que se emplea la ecuación de Streeter-Phelps, urgieron al autor a desarrollar un monograma de dos pasos para resolver estas ecuaciones:

Reacomodando la ecuación de la siguiente forma:

$$D = \frac{L_p}{k_2} - \frac{L_a}{k_1} \left[ 10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t} \right] + \frac{L_a}{k_1} 10^{-k_2 t} = \text{Déficit de oxígeno en mg./lts.}$$

a la forma:

$$D = \frac{K_D}{K_2 - K_1} \frac{L_A}{10^{-K_1 t}} - \left[ \frac{K_D L_A}{K_2 - K_1} - D_a \right] 10^{-K_2 t}$$

La déficit "D" de oxígeno disuelto, puede calcularse como la diferencia de dos términos, o sea el término:

$$\left[ \frac{K_D}{K_2 - K_1} \frac{L_A}{10^{-K_1 t}} \right]$$

menos el término:

$$\left[ \frac{K_D}{K_2 - K_1} \frac{L_A}{10^{-K_2 t}} - D_a \right]$$

Problema 1.

Para ilustrar el uso del nomograma, se calculará la curva de oxígeno para una corriente que tiene las siguientes condiciones a 25°C.

$K_D = K_1 = 0.12$ ;  $D_a = 3 \text{ mg/lt}$  (déficit de oxígeno antes del punto de descarga).

$K_2 = 0.20$ ;  $L_A = 30 \text{ mg/lt}$  (DBO, 20°C mezcla desecho y agua de la corriente).

(1) Calcular el punto pivote

$$\frac{K_D L_A}{K_2 - K_1}$$

TABLA NUM. 5.14

"CALCULO DE CURVA DE OXIGENO DISUELTO EN UNA CORRIENTE"

$t$ dias	$K_1 t =$ $0.12$ $xt$	$K_2 t =$ $0.20$ $xt$	$\left[ \frac{K_D La}{K_2 - K_1} \right] 10^{-K_1 t}$	$\left[ \frac{K_D La}{K_2 - K_1} - Da \right] 10^{-K_2 t}$	$D$ mg/lt	$error$ calcula do mg/lt
1	0.12	0.2	34.0	26.40	7.60	-0.04
2	0.24	0.4	25.5	16.50	9.00	-0.17
3	0.36	0.6	19.5	10.30	9.20	+0.11
4	0.48	0.8	14.8	6.60	8.20	-0.04
5	0.60	1.0	11.1	4.15	6.95	-0.15
6	0.72	1.2	8.4	2.60	5.80	-0.12
7	0.84	1.4	6.4	1.65	4.75	-0.08
8	0.96	1.6	4.9	1.05	3.85	-0.03
9	1.08	1.8	3.7	0.66	3.04	-0.04
10	1.20	2.0	2.8	0.41	2.39	-0.03
Cols (1)	(2)	(3)	(4)	(5)	$6 = (4) - (5)$	(7)

$$\frac{K_D \quad La}{K_2 - K_1} = \frac{0.12 \quad (30)}{0.20 - 0.12} = 1.5 \quad (30) = 45$$

(2) Calcular  $K_1 t$ , y  $K_2 t$  columnas (1) (2) y (3) en incrementos de un día (ver tabla 5.14)

(3) Localizar el punto pivote, determinado previamente o sea, el valor 45, - en escala núm. uno (1) y el punto  $K_1 t = 0.12$ , en la escala número tres (3). Uniéndolos con una línea recta, se leerá un valor de aproximadamente 34.0, en la escala número dos (2) correspondiente a  $t = 1$  días; haciendo esto sucesivamente para todos los incrementos de tiempo de  $K_1 t$  se obtiene la columna (4).

(4) Calcular el punto pivote para el segundo término.

$$\frac{K_D \quad La}{K_2 - K_1} - D_a = 45.0 - 3.0 = 42.0$$

(5) Localizar el punto pivote para 42 en la escala número (1) y hallar  $K_2 t = 0.20$  en la escala número tres. Efectuar esto para incrementos sucesivos de tiempo de ( $K_2 t$ ) obteniéndose la columna (5).

(6) Restando estos resultados o sea los valores de las columnas (4) menos los valores de la columna (5) se obtienen los valores de los déficits de oxígeno disuelto "D" como se representan, en la columna (6) de la tabla Num. 4.

## Problema II

Un problema relacionado al anterior es encontrar que carga de DBO ( $La$ ) no causará que la curva de oxígeno baje más de cierta concentración (arbitrariamente escogida) de oxígeno disuelto.

Para las mismas constantes que se dieron en el problema número 1, determinar que valor ( $L_a$ ), mantendrá una concentración mínima de oxígeno disuelto de 3.0 mg/l. en la corriente.

La concentración de oxígeno disuelto en agua saturada a 25°C, es de 8.38 - mg/l. por lo tanto, el déficit máximo permisible ( $D$ ) es igual a 8.38-3.00 = 5.38 mg/l; ( $D = 5.38$  mg/l.)

(7) Suponer algún valor para  $L_a$ .

Por ejemplo: si  $L_a = 20$  .

$$\frac{KD}{K_2 - K_1} \frac{L_a}{L_a} = 30 ; \frac{KD}{K_2 - K_1} \frac{L_a}{L_a} - D_a = 27$$

(8) El déficit  $D$  calculado del nomograma, excede el máximo déficit permisible (ver tabla 5).

TABLA NUM. 5

PRIMER TANTEO PARA DETERMINAR DEFICIT DE  $O_2$  DISUELTO

t días	$\left[ \frac{K_D}{K_2 - K_1} \frac{L_a}{L_a} \right] 10^{-K_1 t}$	$\left[ \frac{K_D}{K_2 - K_1} \frac{L_a}{L_a} - D_a \right] 10^{-K_2 t}$	D mg/lt	D max. Perm.
1	22.6	17.0	5.6	5.38
2	17.1	10.7	6.4	5.38
3	13.0	6.7	6.3	5.38

En todos los casos calculados el déficit de oxígeno excede al máximo permitido  $D = 5.38$  mg/lt.

De aquí que sea necesario tantear con otro valor menor para  $L_a$ , por ejemplo

si:

$$La = 16, \frac{K_D \cdot La}{K_2 - K_1} = 2.4 ; \frac{K_D \cdot La}{K_2 - K_1} - Da = 21$$

(ver tabla Núm. 6)

TABLA NUM. 6

SEGUNDO TANTEO PARA DETERMINAR DEFICIT DE  $O_2$

Tomando  $La = 16 \text{ mg/lt.}$  (DBO. mezcla agua río y desecho)

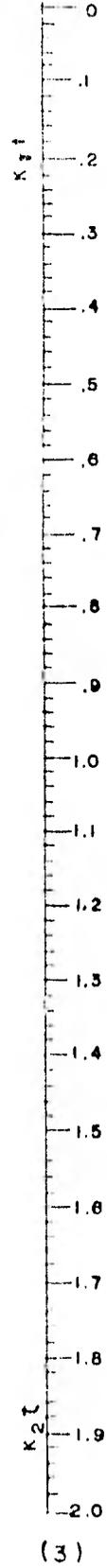
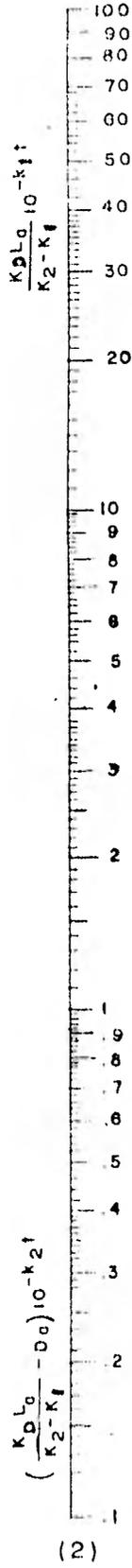
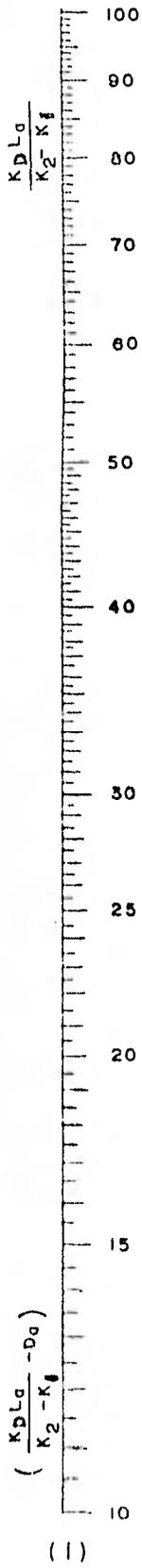
días	$\left[ \frac{K_D \cdot La}{K_2 - K_1} \right] 10^{-K_1 t}$	$\left[ \frac{K_D \cdot La}{K_2 - K_1} - Da \right] 10^{-K_2 t}$	D mg/lt.
1	18.0	13.1	4.9
2	13.8	8.3	5.5
3	10.3	5.2	5.1
4	7.8	3.3	4.5

(9) La respuesta aproximada para  $La$  es  $16 \text{ mg/lt.}$  debe hacerse notar que es muy improbable que el tiempo crítico  $T_c$ , ocurre siempre en días completos si es necesario obtener respuestas más precisas, pueden emplearse medios días u otras fracciones de días apropiados para determinar valores de "D" en la región crítica.

CONCLUSIONES

Usando el nomograma, pueden obtenerse una curva del oxígeno completa, o bien puede encontrarse por tanteos las condiciones de carga que satisfagan un cierto valor mínimo de requerimiento de oxígeno disuelto, en un río. Lo anterior se puede calcular en cuestión de minutos.

Por R. J. LOFY  
1988



#### 5.14.- CORRECCION DE LA CURVA DE AUTOPURIFICACION DEBIDO A FACTORES DE COMPOSICION DEL AGUA Y CARACTERISTICAS DEL LECHO,

Es posible que cierta materia orgánica (DBO). Se incorpora al fondo o paredes del canal por donde escurre el agua contaminada o tenga una reducción biológica de superficie. La variación o cambio de la recuperación de oxígeno en el proceso de autopurificación del curso de agua considerando se refleja en una constante  $K_3$

$K_3$  es una constante de corrección para "t" en días, que se refleja la composición de las aguas negras y agua receptora y la quietud del curso bajo consideración. Cuando hay muchas turbulencias, como en el caso de grandes escurrimientos con altas velocidades,  $K_3$  puede ser negativa, originándose un efecto adverso a la deposición. Las tres constantes  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  son afectadas por la temperatura y tienen las mismas unidades (por día).

La relación matemática del déficit de oxígeno considerando estas tres constantes está dado por la fórmula:

$$D = \frac{K_1 L_a}{K_2 - K_1 - K_3} \left[ 10^{-(K_1 + K_3)t} - 10^{-K_2 t} \right] + D_a 10^{-K_2 t}$$

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

$$K_1 \text{ por día} = 0.06 \text{ a } 0.36$$

$$K_2 \text{ por día} = 0.06 \text{ a } 0.96$$

$$K_3 \text{ por día} = 0.56$$

### 5.13.1 EVALUACION DE LAS CONSTANTES

Se puede estudiar un curso de agua para evaluar el valor de las constantes de la curva de autopurificación  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$ . Para ello se elige, como se estableció previamente, un tramo con objeto de tomar muestras durante un período determinado y conocer además del escurrimiento, el valor de la DBO y O.D. al comienzo y al final del tramo en cuestión. Con un número mínimo de muestras en estaciones sucesivas, a tal punto que sea aproximadamente la misma masa de agua la que se considere, consiguiéndose de este modo una serie homogénea de datos para las condiciones medias del curso. Las constantes  $K_1$ ,  $K_2$ , y  $K_3$  se obtendrán por cada conjunto de datos homogéneos.

Cuando no es posible tomar muestras sincronizadas, las constantes pueden determinarse sobre la base de los valores medios de la DBO y O.D para un período determinado, si la cantidad y composición de la contaminación permanecen razonablemente uniformes.

Según Thomas, las siguientes fórmulas derivadas de las ecuaciones procedentes pueden emplearse para conocer  $K_2$  y  $K_3$  para cada serie de muestras:

$$K_1 + K_3 = \frac{1}{t} \log. \frac{L_a}{L_b}$$

$$K_2 = K_1 \frac{L}{D} - \frac{D}{2.3 tD}$$

$L_a$  y  $L_b$  = valor último de la DBO. en la primera etapa (ppm ó kilos), sección inicial y final tramo, figura 5.

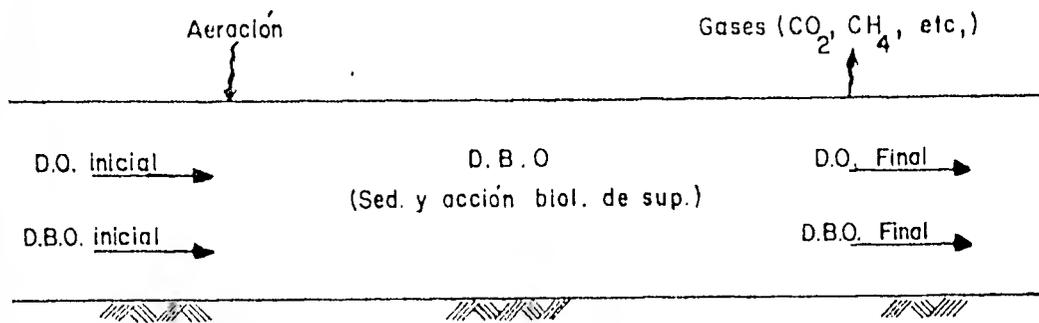


Fig. 5 Efecto de la sedimentación de la materia orgánica y acción biológica de superficie en un curso de agua.

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

$\Delta D$  =  $(D_b - D_a)$  = cambio en el déficit de oxígeno disuelto en el agua de las secciones inicial y final del tramo considerado (ppm. o kilos).

$\Delta t$  = Tiempo medio empleado por la masa de agua en pasar a través del tramo considerado (días)

$\bar{D}$  =  $0.5 (D_a + D_b)$ , término medio del déficit de oxígeno disuelto en las secciones inicial y final del tramo considerado.