

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Metodología para el Diseño Integral de Sistemas de Saneamiento Litoral

TESIS

Como requisito para obtener el título de
Ingeniero Civil

Presenta

ESPINAL GONZÁLEZ JUAN CARLOS

DIRECTOR DE TESIS

Dr. RODOLFO SILVA CASARÍN



281872

MÉXICO, D.F.

AGOSTO ~~1999~~

2000



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
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/203799

Señor **JUAN CARLOS ESPINAL GONZALEZ**,
Presente .

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **DR. RODOLFO SILVA CASARIN**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

“METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO INTEGRAL DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO LITORAL”

Introducción

1. Modelos hidrodinámicos bidimensionales.
 2. Calidad de agua.
 3. Ordenamiento del litoral.
 4. Diseño ambiental de sistemas de saneamiento litoral.
 5. Programa de conservación y control ambiental.
 6. Caso de aplicación.
- Conclusiones generales**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D.F., a 27 de agosto de 1999.

EL DIRECTOR

M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB/GMP/ser

*A mis padres Alfredo Espinal y Estela González, por
el apoyo y cariño en todo este tiempo.*

A mis hermanos Israel, Idania y Rene.

Y a mi sobrino Manuel.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería y sus maestros por los conocimientos y experiencias otorgados a lo largo de mi estancia en la Facultad de Ingeniería.

A Berenice por su paciencia, apoyo y comprensión a lo largo de esta etapa.

Al Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería, Adrián, Adolfo, Bere, Gabo, Georges, Martha, Roberto y Porfirio, por su apoyo y amistad a lo largo de esta labor y de los demás trabajos.

Muy especialmente al Dr. Rodolfo Silva, por su gran disposición y apoyo en la elaboración de este trabajo y por enseñarme otra filosofía de trabajo.

A Víctor Franco por la oportunidad que me brindo, al permitirme ser parte del Instituto de Ingeniería, además de su apoyo en mi formación académica en la Facultad de Ingeniería.

Resumen general

El litoral es importante en cualquier país, ya que en él se realizan actividades de orden social, económico, cultural, etc., además es la parte final de los sistemas de saneamiento litoral, objeto del estudio de este trabajo.

El propósito de establecer una metodología para el diseño integral de sistemas de saneamiento, es aportar una guía de apoyo, que proponga de manera lógica y ordenada, las fases en las cuales puede hacer frente a los problemas que implica, un diseño de este tipo.

El diseño de un sistema de saneamiento litoral implica el desarrollo de las etapas siguientes:

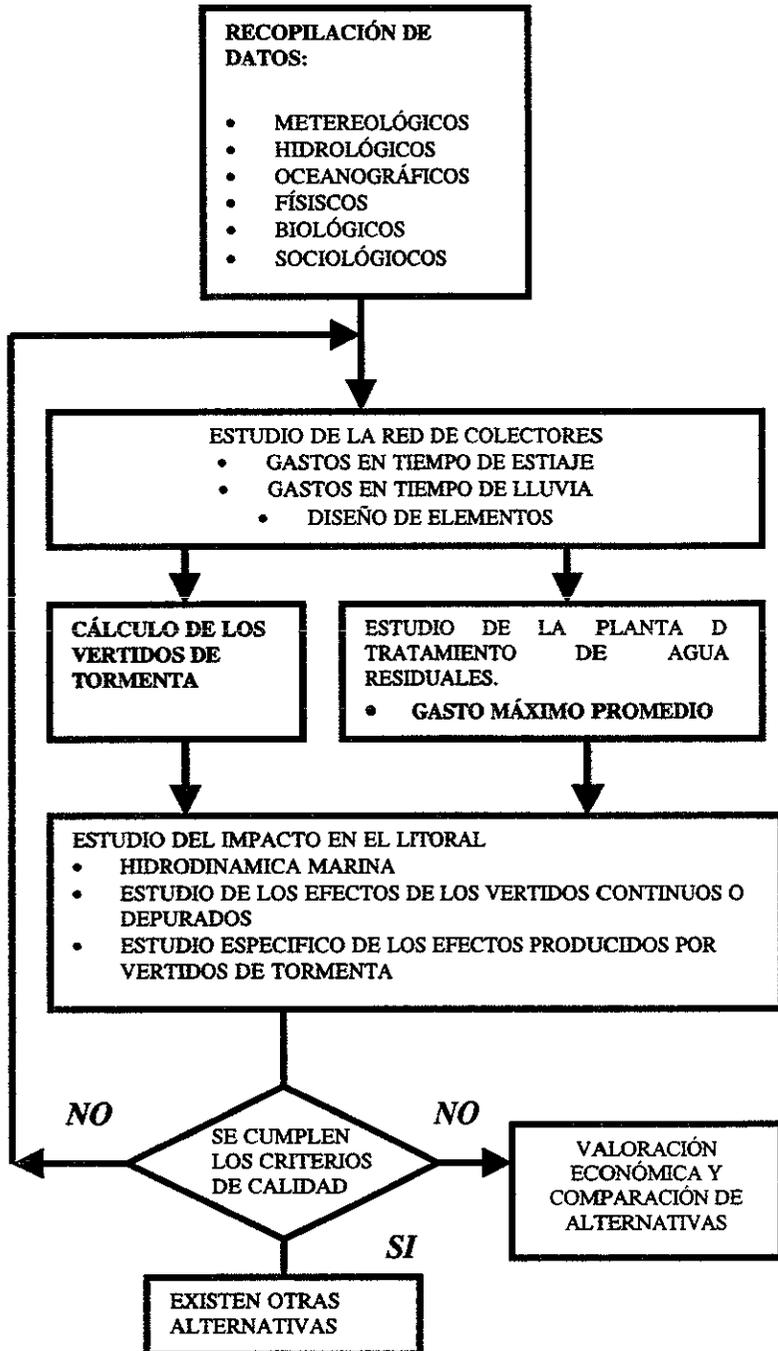


Diagrama de las fases de un sistema de saneamiento. "Metodología de estudio de los saneamientos litorales", edición base, Oviedo 1995.

Introducción

Esta tesis tiene por objeto, brindar una herramienta general al ingeniero civil, en el diseño de sistemas de saneamiento. Los problemas a los que se enfrenta el Ingeniero Civil trascienden al transformas los recursos naturales de manera eficiente para el desarrollo y bienestar de la sociedad, ahora es necesario desarrollar proyectos en los cuales se tenga presente la calidad y conservación del medio ambiente, como uno de los parámetros más importantes en el desarrollo del proyecto.

Para lograrlo el Ingeniero Civil debe encontrar el equilibrio entre la conservación y protección del medio ambiente y las necesidades de calidad y servicio que la sociedad exige. Por esto es necesario utilizar herramientas que sean capaces de establecer un marco general acerca de los efectos de la obra, sobre el medio ambiente en sus diferentes etapas (planeación, construcción y operación de las obras) y así establecer directrices en la toma de decisiones para mejores diseños de las obras.

Uno de los principales problemas de la humanidad, ha sido el control y evacuación de las aguas residuales. El agua una vez usada para las diferentes necesidades del hombre, se convierte en un contaminante capaz de degradar el medio ambiente y los recursos naturales de manera irreversible y aún en casos extremos la salud humana, de ahí que se tenga la necesidad de controlar y desalojar las aguas servidas.

Hasta fechas recientes, el diseño de las redes de saneamiento se basaba en criterios hidráulicos dirigidos principalmente, a establecer la capacidad de transporte de las tuberías de conducción, cuyo objetivo es alejar el vertido final de las aguas residuales hacia zonas alejadas de los asentamientos humanos. Al medio marino receptor se le suponía con capacidad ilimitada para recibir vertidos o, simplemente, se le sometía sin más consideraciones a la agresión que fuera necesaria, siempre y cuando ésta permanencia "oculta" a la vista humana.

Actualmente esta forma de actuar se ha vuelto intolerable debido al surgimiento de una conciencia ambiental originada entre otras causas, por el deterioro que la actividad humana ha llevado a numerosos escenarios naturales.

Por ello, en contraste con estos procedimientos de actuación, ha surgido el concepto de diseño integral de sistemas de saneamiento, que toma la capacidad de asimilación del medio acuático, como una de las principales limitantes, del diseño del sistema de saneamiento.

ÍNDICE.....	I
LISTA DE SÍMBOLOS.	IV
LISTA DE FIGURAS.	VIII
1 INTRODUCCIÓN.	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 DEFINICIONES	3
1.3 CONCEPTOS BÁSICOS	5
2.3.1 <i>Parámetros fisiográficos.</i>	5
2.3.2 <i>Características de las descargas.....</i>	7
2.3.1 <i>Estudios hidrodinámicos.</i>	7
1.4 CONCLUSIONES.....	8
2 MODELOS HIDRODINÁMICOS BIDIMENSIONALES.	9
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS	10
2.2.1 <i>Definición de un fluido.</i>	10
2.2.2 <i>Medio continuo.</i>	10
2.2.3 <i>Ecuación de movimiento en un medio continuo.</i>	11
2.2.4 <i>Relación movimiento-deformación.</i>	13
2.2.5 <i>Esfuerzos normales de deformación.....</i>	15
2.3 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL MODELO HIDRODINÁMICO.	17
2.4 CONDICIONES INICIALES DE FRONTERA.....	20
2.4.1 <i>Integración de la ecuación de onda larga en dos dimensiones</i>	22
3. CALIDAD DE AGUA.....	25
3.1 INTRODUCCIÓN.....	26
3.2 MODELOS DE CALIDAD DE AGUA.....	26
3.2.1 <i>Reaireación.</i>	27
3.2.2 <i>Fotosíntesis y respiración.</i>	28
3.2.3 <i>Demanda de oxígeno por sedimentos.....</i>	28
3.2.4 <i>Oxidación de DBOC</i>	29
3.3 MODELO DE DESAPARICIÓN BACTERIANA.....	30
3.3.1 <i>Solución numérica a los modelos de Advección dispersión</i>	32
3.3.2 <i>Integración de la Ecuación de Transporte de Masa en dos Dimensiones.....</i>	36
3.3.3 <i>Estudio de la dilución inicial.</i>	37
3.3.4 <i>Formulación general.....</i>	39
4. ORDENAMIENTO DEL LITORAL.	42
4.1 INTRODUCCIÓN.....	43

4.2 ZONIFICACIÓN DE USOS.....	43
4.2.1 <i>Recreativos.....</i>	43
4.2.2 <i>Pesca y cultivos marinos.....</i>	44
4.2.3 <i>Conservación de espacios litorales.....</i>	44
4.2.4 <i>Industriales.....</i>	45
4.2.5 <i>Ordenamiento ecológico.....</i>	45
4.3 ZONIFICACIÓN.....	49
4.4 ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS DE CALIDAD.....	52
5 DISEÑO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO LITORAL.....	57
5.1 INTRODUCCIÓN.....	58
5.2 DISEÑO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO.....	58
5.2.1 <i>Recopilación y generación de datos.....</i>	58
5.2.2 <i>Batimetría.....</i>	58
5.2.3 <i>Vientos.....</i>	59
5.2.4 <i>La fuerza de Coriolis.....</i>	60
5.2.5 <i>El oleaje.....</i>	61
5.2.5.1 <i>Tipos de oleaje.....</i>	62
5.2.6 <i>Mareas.....</i>	63
5.2.6.1 <i>Tratamiento organico de datos de Mareas.....</i>	64
5.3 PROCESOS DE APORTE DE OXÍGENO.....	65
5.3.1 <i>Reariación Atmosférica.....</i>	65
5.3.2 <i>Fotosíntesis.....</i>	66
5.3.3 <i>Procesos de Pérdida de Oxígeno.....</i>	66
5.4 ESTUDIO DE LA RED DE COLECTORES.....	68
5.4.1 <i>Estudio de la composición de las aguas residuales.....</i>	69
5.4.2 <i>Plantas de tratamiento de agua residuales.....</i>	74
5.5 OBJETIVOS Y CAMPO DE APLICACIÓN DE LA NOM-001.....	75
5.5.1 <i>Definiciones.....</i>	75
5.5.2 <i>Especificaciones.....</i>	81
5.6 ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL EN EL LITORAL.....	81
5.7 ESTUDIOS Y DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	84
5.7.1 <i>Scoping.....</i>	84
5.7.2 <i>Toma de decisiones.....</i>	84
5.7.3 <i>Los análisis post-decisión.....</i>	84
6 PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL.....	85
6.1 INTRODUCCIÓN.....	85
6.2 PROGRAMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL.....	85
6.1.1 <i>Evaluación del sistema de normas.....</i>	89
6.3 INSPECCIÓN Y VIGILANCIA DE LOS RECURSOS NATURALES.....	90
6.1.2 <i>Participación de la comunidad y de otros órdenes de gobierno.....</i>	92
6.3.1 <i>Programa de atención a contingencias en los recursos naturales.....</i>	92
5.1.1 <i>Sistema de Índices de Cumplimiento de la Normatividad Ambiental (SICNA).....</i>	93

5.1.1 Sistema de Índices de Cumplimiento de la Normatividad Ambiental (SICNA)	93
6.3.2 Instrumentos de Planeación y Control	93
6.3.3 Sistemas de Información Servicios de Información.....	94
6.3.4 Difusión e Información	94
6.3.5 Observancia de la norma ambiental NOM-ECOL-1999	95
7 CASO DE APLICACIÓN.....	97
7.1 INTRODUCCIÓN.	97
7.2 PROBLEMÁTICA ESTRUCTURAL DE CANCÚN	99
7.3 DEMANDAS COMUNITARIAS PERMANENTES	99
7.4 ZONIFICACIÓN DE USOS.	99
7.4.1 Industriales.....	101
7.4.2 Ordenamiento ecológico	101
7.5 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS LITORALES.	103
7.6 APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDRODINÁMICOS Y DE CALIDAD DE AGUA.	103
7.7 DATOS ESPECIFICOS PARA EL MODELO DE OXÍGENO DISUELTO	104
7.8 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE OXÍGENO DISUELTO.	104
7.9 ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA.	104
7.10.1 Descripción de escenarios y condiciones de frontera	105
7.10.2 Condiciones de frontera hidrodinámicas.	105
7.10.3 Condiciones de frontera para el modelo de calidad de agua.....	105
7.10 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL.	106
7.11 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	108
7.12.1 Resultados Hidrodinámicos.....	109
7.12.2 Calidad del agua.	115
7.12.2 Conclusiones.....	121
CONCLUSIONES GENERALES.	127
BIBLIOGRAFÍA.	128

LISTA DE SÍMBOLOS

Capítulo I

ρ	Densidad del agua.
∇^2	Operador Laplaciano.
∇	Operador Nabla.
u_i	Componentes instantáneos de la velocidad.

Capítulo II

Δt	Intervalo de tiempo.
Δv	Diferencial de volumen.
Δm	Diferencial de masa.
T	Tensor de esfuerzos.
Da	Diferencial de área.
xy, xz, yx, yz, zx, y zy	Componentes escalares.
τ_{ij}, τ_{ji}	Esfuerzos en el plano.
xp	Volumen total.
$\tau_{yz} dx dz$	Esfuerzos considerados como funciones continuas.
$\alpha(dr)^2$	El radio de giro diferencial.
X	Aceleración masica.
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	Lados del cubo diferencial.
τ_{xy}, τ_{xz}	Esfuerzo sobre el área formada por los planos xy, xz.
$\frac{dU}{dt}$	Aceleración en al dirección x.
ρ	Densidad del agua.
∇^2	Operador Laplaciano.
∇	Operador Nabla.
ξ, η, χ	Funciones de las coordenadas.
ax, ay, az	Componentes de aceleración.
μ	Viscosidad dinámica del agua.
ϵ_1	Deformación lineal unitaria en el eje x.
ϵ_2	Deformación lineal unitaria en el eje y.
ϵ_3	Deformación lineal unitaria en el eje z.
n	Modulo de Poisson.
	El coeficiente de viscosidad de expansión.
l, m, n	Cosenos directores.
σ'	Esfuerzo normal de deformación.
g	Aceleración de la gravedad.
P	Tensión normal.
U, V, W	Componentes de velocidad en las componentes x,y,z.
H	Profundidad total.
h	La profundidad de bajo del nivel medio.

Z	La sobre elevación en el nivel medio.
T	tiempo.
U, V	Las velocidades promediadas en vertical.
f	$0.733 \cdot 10^{-4}$ rad/día.
\dot{V}	Es la velocidad angular de la rotación de la tierra.
l	Latitud de la tierra.
τ_{bx}, τ_{by}	Tensiones en el fondo.
C	Coefficiente de Chezy.

Capítulo III

∇, A	Son el número y áreas superficial del cuerpo de agua.
K_1	Rapidez con la cual el nivel de saturación del oxígeno disuelto se recupera.
Cs	Constante derivada de la ley de Henry.
H_e	Constante de la ley de Henry.
P	Presión de O_2 en mm Hg.
CO_2	Bióxido de Carbono.
H_2O	Agua.
$C_6H_{12}O_6$	
O_2	Oxígeno.
OD	Oxígeno disuelto.
DBOC	Cantidad del oxígeno disuelto necesario para la oxidación de la materia orgánica.
K_2	Tasa de Oxidación.
DBOC ₀	DBOC inicial.
OD5	Oxígeno consumido en cinco días.
CF	Concentración de coliformes fecales.
K_1	Es la constante de desaparición debida al efecto sobre las bacterias de la temperatura del medio, su densidad y los procesos de depredación en él que se originan.
K_2	Es la constante de desaparición debida a la luz.
K_3	Es el coeficiente de desaparición debido a la desaparición de sólidos.
K_4	Es el coeficiente de la población bacteriana.
K_T	Es la constante de desaparición debido a la temperatura.
K_s	Es la constante de desaparición debido a la salinidad.
K_2	Es la constante de desaparición debido a la luz.
T	Temperatura del agua en grados centígrados.
S	Salinidad del agua en tanto por mil.
K_0	Constante de desaparición bacteriana a $20^\circ C$ de temperatura, en un medio al 8.5% de salinidad y en completa oscuridad.
C_1 y C_2	Coefficientes de ajuste del modelo.
i_z	Es la intensidad de la luz expresada en Kw/m^2 .
C_3	Es un coeficiente de ajuste del modelo.
Cs	Concentración de oxígeno disuelto a la saturación.
F	Producción de oxígeno por fotosíntesis.
F_{max}	Producción de oxígeno por fotosíntesis a medio día.
α	Inclinación solar respecto al horizonte.

R	Consumo de oxígeno por respiración.
DOS	Demanda de oxígeno por sedimentos.
c	Concentración instantánea de la sustancia.
u	Velocidad instantánea.
x	Coordenada cartesiana, j=1,2,3- las tres direcciones de las coordenadas.
q	Flujo de masa(kg m ² s ⁻¹).
k	Constante de difusión molecular de Fick.
\bar{c}, \bar{U}	Son la concentración y la velocidad promediadas para un intervalo de tiempo conveniente.
c', u'	Son las desviaciones instantáneas sobre los valores medios de la concentración y la velocidad respectivamente con media igual cero.
ϵ_j	Son coeficientes de difusión turbulenta para las tres direcciones j.
$\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$	Son los coeficientes de difusión turbulenta en las direcciones x, y, z del plano cartesiano.
C	Concentración en un punto determinado.
D _l	Coefficiente de dispersión en dirección del flujo.
U*	Velocidad de fricción.
S	Pendiente de la superficie libre.
Δl	Tamaño de la celda en dirección del flujo.
Δt	Paso de tiempo utilizando en el cálculo.
u	Velocidad del flujo.
D _t	El coeficiente de dispersión perpendicular al flujo.
n	Número de pasos de tiempo transcurridos.
N Δt	Duración de la simulación.
A	Área transversal del chorro o de la pluma.
ω	Velocidad media en la dirección del eje del chorro o la pluma.
m	Cantidad de movimiento.
β	Flujo de flotabilidad.
$\Delta\rho$	Diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor.
D _i	Dilución inicial media.
$q = \frac{Q}{L}$	Es el caudal por unidad de longitud del difusor.
Q	Gasto del vertido.
L	La longitud del difusor.
$b = g_0^1 q$	Flotabilidad.
g_0^1	Aceleración de la gravedad.
ρ_a	Densidad del medio marino en el punto de vertido.
ρ_0	Densidad del efluente.
u_j	Velocidad en la boquillas.
L	Es la distancia entre las boquillas.
u	Es la velocidad de la corriente en la zona.
N	Frecuencia de flotabilidad.
z	Coordenada vertical.
θ	Ángulo formado entre la dirección de la corriente y el eje del difusor.

l_g, l_b, l_m

Medidas de los flujos de volumen, flotabilidad y cantidad de movimiento, respectivamente.

Capítulo V

H_0	Altura del nivel medio del agua sobre datos utilizados.
H_1, H_2, H_3	Amplitudes de las componentes de mareas.
$x(t)$	Registro de medición de la marea del puerto en cuestión
v	Velocidad del constituyente.
ξ	Fase del constituyente.
U	Velocidad media del sistema acuático.
W	Velocidad media del viento.
O_2	Oxígeno.
OD	Oxígeno disuelto.
DBOC	Cantidad del oxígeno disuelto necesario para la oxidación de la materia orgánica.
K_2	Tasa de Oxidación.
DBOC ₀	DBOC inicial.
OD5	Oxígeno consumido en cinco días.
CF	Concentración de coliformes fecales.
K_1	Es la constante de desaparición debida al efecto sobre las bacterias de la temperatura del medio, su densidad y los procesos de depredación en él que se originan.
K_2	Es la constante de desaparición debida a la luz.
K_3	Es el coeficiente de desaparición debido a la desaparición de sólidos.
K_4	Es el coeficiente de la población bacteriana.
K_T	Es la constante de desaparición debido a la temperatura.
K_S	Es la constante de desaparición debido a la salinidad.
K_2	Es la constante de desaparición debido a la luz.
T	Temperatura del agua en grados centígrados.
S	Salinidad del agua en tanto por mil.
K_0	Constante de desaparición bacteriana a 20°C de temperatura, en un medio al 8.5% de salinidad y en completa oscuridad.
C_1 y C_2	Coefficientes de ajuste del modelo.
i_z	Es la intensidad de la luz expresada en Kw/m ² .
C_3	Es un coeficiente de ajuste del modelo.
C_S	Concentración de oxígeno disuelto a la saturación.
F	Producción de oxígeno por fotosíntesis.
F_{max}	Producción de oxígeno por fotosíntesis a medio día.
α	Inclinación solar respecto al horizonte.
R	Consumo de oxígeno por respiración.
DOS	Demanda de oxígeno por sedimentos.

LISTA DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Página
Capítulo I		
Capítulo II		
2.1	El tensor de esfuerzos tiene como componentes escalares en las tres direcciones y en los diversos planos xy , xz , yx , yz , zx , y zy o sea nueve componentes.	
2.2	Se muestra los lados de un cubo en donde se marcan los esfuerzos que, considerados como funciones continuas, actúan en la dirección x .	
2.3	los esfuerzos actúan sobre las caras normales.	
2.4	Otras relaciones de movimiento-deformación: deformación lineal y deformación angular.	
2.5	Vector esfuerzo	
Capítulo III		
3.1	Nomenclatura utilizada en la descripción de los esquemas numéricos empleados en la integración de la ecuación de transporte de masa en dos dimensiones.	
3.2	Condiciones de mezcla inicial entre el efluente y el agua de mar "Confederación Hidrográfica del Norte. Oviedo, Diciembre de 1995. AQUAMAP Manual del Usuario."	
3.3	Perfil longitudinal de un emisor y detalle del tramo difusor. "Confederación Hidrográfica del Norte. Oviedo, Diciembre de 1995. AQUAMAP Manual del Usuario."	
Capítulo IV		
4.1	El Marlin es una de las especies más gustadas en la pesca	

deportiva “Instituto Nacional de Ecología México.”.

- 4.2 Cultivo de Camarón en el Golfo de California
“www.semarnap.gob.mx”.
- 4.3 “ICAVE” Terminal de contenedores puerto de Veracruz,
México, Puerto de Veracruz.
- 4.4 ***4.5 Ordenamientos ecológicos regionales en México. ”***
www.ine.gob.mx”.
- 4.5 Ordenamientos ecológicos locales en México ”
www.ine.gob.mx”.
- 4.6 Ordenamiento Marino del Mar de Cortés “ www.ine.gob.mx”.
- 4.7 Pesca deportiva en parte del pacifico Mexicano.
“www.semarnap.gob.mx”.
- 4.8 Biodiversidad Arrecife típico, Cancún Quintanarro, México
“www.semarnap.gob.mx”.
- 4.9 Ordenamiento ecológico del Mar de Cortés Méxcio.
“www.ine.gob.mx”.
- 4.10 desarrollo turístico nacional “www.ine.gob.mx”.

Capítulo V

Capítulo VI

- 6.1 Esquema metodológico aplicable al desarrollo del Plan de
Vigilancia y Control Ambiental. “Metodología de estudio de los
Saneamientos Litorales Edición Base, Oviedo, Diciembre de
1995”.
- 6.2 Programa de normas oficiales mexicanas SEMARNAP (1998).
- 6.3 Programa de normas oficiales mexicanas. Semarnap programa 98.

Capítulo VII

- 7.1 Sistema Lagunar Nichupté. "SEMARNAP 99".
- 7.2 **Figura 6.2** Mapa del Sistema Lagunar Nichupté.
- 7.3 Ordenamiento ecológico Sistema Lagunar Nichupté. "SEMARNAP 99".
- 7.4 Condiciones de marea consideradas en el ejemplo.
- 7.5 Batimetría del Sistema Lagunar Nichupté "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.6 *Discretización de la malla utilizada del SLN, utilizado en ejemplo.* "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.7 Discretización de la malla de detalle utilizada del SLN, utilizado en ejemplo. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.8 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Pleamar "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.9 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Saliente. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.10 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Bajamar. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.11 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Entrante. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.12 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de pleamar. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.13 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de entrante, de la malla de aproximación. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.14 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de entrante de la

mallá de aproximación, con el canal adicional. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

- 7.15 Contornos de OD situación actual para condición de entrante. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.16 Contornos de OD situación actual para condición de pleamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.17 Contornos de OD situación actual para condición de saliente. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.18 Contornos de OD situación actual para condición de Bajamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.19 Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de Entrante. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.20 Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de pleamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.
- 7.21 Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de Saliente. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Principalmente los países en vías de desarrollo presentan serios problemas de contaminación ambiental, debido al uso de tecnologías deficientes en los procesos productivos, además la problemática ambiental, venía ocupando un lugar secundario ante otros de mayor importancia, tales como: alimentación, salud, vivienda, educación, etc.

Con lo cual el presupuesto con que disponen las autoridades, se ve insuficiente para poder cubrir todas las necesidades y destinar fondos a la conservación y control ambiental, sin embargo este problema ha alcanzado niveles intolerables que no sólo afectan al medio ambiente sino también la salud de la población, por otra parte los mecanismos de financiamiento internacional ya exigen de alguna manera, como condición; que parte de los fondos destinados a estos países se inviertan a cuestiones ambientales. Pero ésta no es la única razón ya que la población en general empieza a tener una conciencia ecológica acerca de la magnitud real del problema, es por ello que ante esta preocupación social se busquen, mejores alternativas para la solución de los problemas relacionados con el deterioro ambiental.

El ingeniero civil como parte importante en el desarrollo de la infraestructura de la sociedad y en su función de transformar a la naturaleza en bienestar de la población haciendo uso de la optimización de recursos, debe comprometerse en esta misma línea, con la conservación y protección del medio ambiente, mediante la evaluación de los efectos que pudieran generar las obras, a fin de poder mejorar los diseños hasta llegar a aquel, con el cual el efecto negativo de la presencia de la obra, sea lo menor posible, además procurando revertir el impacto negativo que pueda presentarse.

En el caso de los sistemas de saneamiento litoral, una de las principales razones por las cuales, no se tomaba en consideración los efectos que podría tener la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua, principalmente en las aguas litorales, es por que se consideraba al mar como un gran reactor biológico, de capacidad de recepción ilimitada, es por ello que el diseño únicamente se realizaba desde el punto de vista de la Hidráulica, podemos ver esto de otra forma; el diseño de sistemas de saneamiento litoral, empezaba de la tierra hacia el mar, ahora se debe de hacer del mar hacia la tierra, con esto se quiere decir que el diseño debe respetar la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua, no sólo de aguas continentales, si no también de lagunas, ríos, y cualquier otro cuerpo de agua, de manera tal que los efectos del vertido de las aguas residuales pueda controlarse, de manera que el ecosistema de la región que se ve influenciada por el vertido tenga la oportunidad de asimilar las descargas, con esto agregamos al diseño de sistemas de saneamiento la parte integral; que es llevar como uno de los principales parámetros a lo largo del diseño, las consideraciones necesarias para proteger y conservar los recursos naturales.

Por lo antes mencionado el Ingeniero civil, debe estar consciente de la importancia de considerar los parámetros, con los cuales podrá evaluar el impacto ambiental, que este tipo de obras tendría sobre él, trabajando en conjunto con otros especialistas, con el único fin de lograr un equilibrio entre la capacidad del medio ambiente para recuperarse de la contaminación o cualquier otro tipo de efecto y la funcionalidad de la obra, es decir que cumpla con el objetivo con el cual fue diseñado.

1.2 DEFINICIONES

Aguas costeras

Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.

Aguas nacionales

Las aguas propiedad de la Nación, en los términos del párrafo quinto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

Aguas residuales

Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas pluviales

Aquellas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

Bienes nacionales

Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.

Carga contaminante

Cantidad de un contaminante expresada en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

Condiciones particulares de descarga

El conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de agua residual, determinados por la Comisión Nacional del Agua para el responsable o grupo de responsables de la descarga o para un cuerpo receptor específico, con el fin de preservar y controlar la calidad de las aguas conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento.

Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: grasas y aceites, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígenos, nitrógeno total (suma de las concentraciones de nitrógeno Kjeldahl, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/litro de nitrógeno), fósforo total, temperatura y pH.

Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los coliformes fecales y los huevos de helminto.

Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

Embalse artificial

Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

Embalse natural

Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.

Estuario

Es el tramo del curso de agua bajo la influencia de las mareas que se extiende desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.

Humedales naturales

Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénegas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.

Límite máximo permisible

Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana sólo se consideran los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuros.

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 1. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

1.3 CONCEPTOS BÁSICOS

Uno de los principales problemas que se enfrentan al diseñar un sistema de saneamiento litoral, es englobar todos los parámetros que influyen en el diseño, ordenando todos y cada uno de ellos según su importancia, que está basada en la influencia que pueda tener durante el diseño del sistema, está dificultad aumenta con la naturaleza aleatoria con que pueden presentarse alguno de ellos.

Por ello el diseñador debe tener un grado de conocimiento global, de los parámetros importantes; principalmente podemos encontrar dentro del diseño de sistemas de saneamiento litoral, tres grupos de parámetros, estos son: Fisiográficos, que incluyen la latitud, longitud, batimetría, oleaje, viento, marea, corrientes etc. Por otro lado están los aspectos oceanográficos, como son; la composición del ecosistema marino, la sedimentología, etc. Por último las condiciones fisicoquímicas tales como la temperatura, salinidad, Oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno por sedimento entre otros.

Todos estos parámetros se tratarán a continuación de forma descriptiva, estableciendo su importancia dentro del diseño del sistema de saneamiento, con el objetivo de evitar la omisión de alguno de ellos, por no conocer su importancia o subestimar el efecto que pueda alcanzar en condiciones extremas.

2.3.1 Parámetros fisiográficos.

Dentro de los parámetros fisiográficos podemos mencionar a la latitud y longitud, que son datos de partida además con estos datos es posible inferir otros de importancia, como la inclinación de la llegada de la luz al cuerpo de agua, con la cual se puede inferir el grado de penetración de la luz solar, si es muy grande la zona de estudio, efectos como coriolis, o la influencia de la curvatura de la tierra, pueden empezar a tomar importancia en el diseño.

Existen dos tipos de oleaje, estos son el Sea y el Swell, dependiendo del oleaje, se presentarán condiciones diferentes que podrán ser favorables, o no, por ejemplo la descarga de aguas residuales, con un oleaje tipo Sea, tendrá mayor problema para poder definir el comportamiento de la pluma, ya que el comportamiento del oleaje Sea es caótico, es decir no se puede definir, por otro lado si está misma descarga se hace bajo la influencia de un oleaje tipo Swell, será un oleaje con mayor

definición, con lo cual se podrá valorar el comportamiento de la pluma, el oleaje es por lo tanto un parámetro a considerar en el diseño de emisores submarinos, que funge como parte final del sistema de saneamiento litoral.

El viento es otro factor importante, ya que al conocer la rosa de viento a lo largo del año, se podrá conocer el viento reinante, dominante, es decir la máxima velocidad de viento presentada en la zona y la velocidad promedio anual, con esta información se tendrá idea si el viento favorecerá a la disipación del vertido, así como a la Reaireación del cuerpo de agua.

Las mareas en la región de estudio, nos proporciona datos de gran relevancia como son los niveles de variación de la marea, a lo largo del año, con los cuales podremos tener idea del volumen de agua que se cuenta, e inferir otros como la salinidad, la variación de oxígeno disuelto etc. En los casos de marea diurna, la amplitud y periodo pueden ser mejor definidos, por lo tanto se sabrá mejor el comportamiento del volumen de agua así como la cantidad de agua que pueda entrar o salir en periodos de tiempo de doce horas.

Durante la marea semidiurna existe un mayor intercambio del agua, puesto que sus periodos son más cortos (seis horas), por lo tanto los niveles de salinidad, oxígeno disuelto(OD) y de la demanda bioquímica de oxígeno(DBO), son más frecuentes.

En el caso de las corrientes, puede ser de interés su estudio en dos casos, uno de ellos es por la magnitud con que se presenten y el otro es por su dirección y frecuencia, existen corrientes permanentes e intermitentes a lo largo del año, este es uno más de los parámetros con los cuales, dependiendo de su intensidad y grado de influencia en la zona pueden llegar a tomar importancia a lo largo del estudio, para la interpretación de datos.

Cuando en los cuerpos del litoral, no se presentan corrientes o las velocidades son pequeñas, los niveles de OD son bajos, si además la demanda de oxígeno por sedimento es alta, la calidad del agua disminuirá, además sólo el viento registrado en la zona y de las condiciones de oleaje y marea que se presenten podrá mejorar los niveles de oxígeno disuelto.

Como puede observarse, si no se tiene el conocimiento básico de los parámetros, que pueden intervenir en el diseño de sistemas de saneamiento litoral, en las zonas de descarga, pueden presentarse problemas muy graves por subestimar o excluir parámetros dentro de la proyección del sistema de saneamiento litoral, por otro lado si se hace un análisis de estas variables, podremos entender mejor el comportamiento general de la zona de descarga de aguas residuales, con ello se podrán encontrar mejores soluciones, en el ámbito de la eficiencia, cuidado y protección al medio ambiente, pues sobre la base de las observaciones del comportamiento del sistema, daremos la oportunidad al medio receptor de poder asimilar las descargas de aguas residuales y con ello conservar mejor el medio ambiente, de la zona afectada por los vertidos.

En la medida que los diseños de sistemas de saneamiento partan desde la capacidad de asimilación del medio receptor, se tomará el camino hacia un diseño de forma integral, que no necesariamente será más costoso y sí más eficiente.

La composición animal y vegetal del ecosistema marino, forma parte de la información oceanográfica y sin ella no se podrá dar un fallo objetivo y conveniente acerca de los daños que podrá sufrir el ecosistema sin conocer, además de estos los datos oceanográficos de la región de estudio, es inconcebible un estudio integral de sistemas de saneamiento. Por ello en esta etapa del

diseño del sistema de saneamiento litoral, se hace necesario la intervención de otros profesionales, tales como Biólogos marinos, Físicos, Ambientalistas, etc.

2.3.2 Características de las descargas.

El origen de las aguas residuales es diverso y difícil de determinar su verdadero origen y por lo tanto la composición de esta agua residual. Sin embargo existen indicadores que nos pueden dar una aproximación acerca de estos orígenes, por ejemplo el tipo de población a la cual pertenecen las descargas, las actividades que se realizan dentro de la comunidad, el tipo de industria que se desarrolle o la economía característica de la región.

Como se puede observar estos son sólo algunos de los parámetros que intervienen en la determinación de las características típicas de cierta zona, otra que es más directa es hacer la caracterización en un laboratorio por medio de una muestra de diferentes zonas y con una cantidad de agua que sea representativa del sitio que se quiere analizar, sin embargo las características pueden variar en rangos muy amplios y en espacios de tiempo muy cortos, desde el punto de vista práctico se establecen rangos de los diferentes parámetros que pueden componer el agua residual, sin embargo existe problemas al tratar de llevar a cabo la caracterización de las aguas residuales, en parte por la inconsciencia e irresponsabilidad de gente que vierte muchas sustancias tóxicas e incluso peligrosas al drenaje municipal, provocando graves problemas al ecosistema de los cuerpos receptores y el Ecosistema alrededor de las aguas residuales, este es uno de los principales problemas que se enfrentan al diseñar plantas de tratamiento, puesto que la composición del agua residual no es uniforme y no se puede tener un tratamiento tan amplio que pueda eliminar los componentes tóxicos o peligrosos a un grado tolerable o dentro de los Standard de calidad de agua.

Por ello es necesario realizar disposiciones legales en contra de los vertidos clandestinos al alcantarillado público e informar a la población, en general de la magnitud del problema. En el ámbito de este marco legal es necesario implementar rangos de calidad y composición de agua que aseguren la protección y conservación del Ecosistema de la región.

2.3.3 Estudio hidrodinámico

El estudio hidrodinámico observa las causas que originan el movimiento de los cuerpos de agua, así como la trayectoria que siguen las partículas.

Estas causas pueden variar dependiendo de las condiciones particulares de cada región, provocando un nivel de variación en la magnitud e importancia de los efectos y fuerzas generadas, por ejemplo; la diferencia de salinidad provoca movimiento en las masas de agua, corriendo un flujo de aguas con mayor salinidad a las de menor salinidad, otra causa es la influencia del viento a lo largo de una superficie, o el movimiento que provoca las mareas en sus diferentes etapas (entrante, bajamar, pleamar, saliente), dependiendo de la latitud y longitud del punto donde se ubica el punto en estudio.

Para la formulación de los modelos hidrodinámicos aplicables al estudio de la hidrodinámica marina se parte de los principios fundamentales de la mecánica clásica y una serie de hipótesis que hacen posible llegar a soluciones, siempre aproximadas, pero en muchas ocasiones útiles, a la hora de interpretar fenómenos hidrodinámicos que tienen interés desde un punto de vista práctico. La aplicación del segundo principio de Newton y del principio de la viscosidad, aún fluido incompresible, conduce a la ecuación de Navier-Stokes:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \mu \nabla^2 u_i \quad (\text{ec.1.1})$$

Donde ∇^2 es el Laplaciano; p es la tensión normal; g la aceleración de la gravedad; ρ la densidad del fluido; μ la viscosidad dinámica y u_i los componentes instantáneos de la velocidad.

El estudio hidrodinámico, se tocará con mayor amplitud, en el capítulo dos de esta tesis.

1.4 CONCLUSIONES.

Es importante contar con una base de datos extensa, que satisfaga las necesidades de información del proyecto en la zona litoral, que sea adecuada en calidad y tiempo.

Antes de iniciar cualquier estudio, ubicada en la zona Litoral, es necesario conocer los diferentes fenómenos que afectan la interacción de cada uno de ellos, y la importancia que cada uno de estos puede tomar dadas las circunstancias particulares del sitio en estudio.

**2 MODELOS.
HIDRODINÁMICOS
BIDIMENSIONALES**

2.1 INTRODUCCIÓN

Es importante plantear desde un principio que los modelos matemáticos no son la panacea en la solución a problemas que deben enfrentar los ingenieros y demás profesionales, al hacer la evaluación del impacto ambiental, de los diferentes agentes que pueden provocar contaminación a un cuerpo de agua, por ello es importante conocer las hipótesis con las que fue formulado el modelo, con el objeto de establecer, sus alcances y limitaciones, dentro del diseño así como para poder elegir aquel modelo matemático, que se apegue mejor a las condiciones reales del escenario real que se está estudiando, el diseñador a encontrado en los modelos matemáticos, una herramienta muy importante, pues tiene la oportunidad de generar escenarios, con las condiciones de diseño que pudieran presentarse en la realidad.

2.2 CONCEPTOS BÁSICOS

2.2.1 Definición de un fluido.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se lo sujeta a un esfuerzo cortante, sin importar la magnitud de éste. Una fuerza cortante actúa tangencialmente a una superficie y al dividirse entre el área de la superficie, da como resultado el esfuerzo cortante medio sobre dicha área. El esfuerzo cortante en un punto es el límite de la fuerza cortante dividida entre el área, conforme esta última se reduce al punto. Streeter et al. (1996).

2.2.2 Medio continuo.

Para poder estudiar matemáticamente el movimiento de cualquier fluido, es conveniente considerar su estructura molecular real, es decir, que se tiene un medio continuo ideal. Dentro de esta hipótesis se supone que propiedades tales como su densidad, volumen específico, presión velocidad y aceleración, varían continuamente a través de todo el fluido.

La densidad ρ , de un fluido es su masa por unidad de volumen. Para definir la densidad en cualquier punto, la masa Δm de un fluido contenida en un volumen infinitesimal Δv , es dividida por su volumen.

$$\rho = \lim_{\Delta v \rightarrow \xi^3} \frac{\Delta m}{\Delta v} \quad (\text{ec. 2.1})$$

La gravedad específica S de una sustancia es la relación entre el peso de la sustancia y el peso de un volumen igual de agua en condiciones estandar. También se puede expresar como la relación de la densidad o del peso específico de la sustancia a la correspondiente densidad o peso específico del agua Streeter et al. (1996)

La presión media en el seno de un fluido es la fuerza normal que actúa sobre una superficie plana, dividida entre el área de la superficie. La presión en un punto se define como el cociente de la fuerza perpendicular entre el área, conforme esta última se aproxima a un área pequeña que circunscriba al punto. Si un fluido ejerce una presión contra las paredes de un recipiente, éste a su vez ejercerá una reacción de compresión sobre el fluido. A continuación se establecen los conceptos de esfuerzo y

rápidez de deformación, se estudián las relaciones entre ellos y se obtienen las ecuaciones de Navier-Stokes. Estas se utilizan para establecer las leyes de similitud y las de los flujos turbulentos.

2.2.3 Ecuación de movimiento en un medio continuo.

Las ecuaciones del movimiento de un fluido real se pueden desarrollar si se consideran las fuerzas que actúan sobre un pequeño elemento del fluido incluyendo los esfuerzos cortantes generados por el movimiento del mismo fluido y por la viscosidad. Considérese un flujo en movimiento y los esfuerzos que se presentan en un área diferencial y el tensor T representan los esfuerzos en dicha área, como T depende del área entonces T es función de dA.



Figura 2.1. El tensor de esfuerzos tiene como componentes escalares en las tres direcciones y en los diversos planos xy, xz, yx, yz, zx, y zy o sea nueve componentes.

$$T = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Pero $\tau_{ij} = \tau_{ji}$ pues los esfuerzos τ_{xy} y τ_{yx} en el plano dx dy. Al considerar fuerzas y sus momentos pueden igualarse al volumen total xp y el radio de giro diferencial $\alpha(dr)^2$

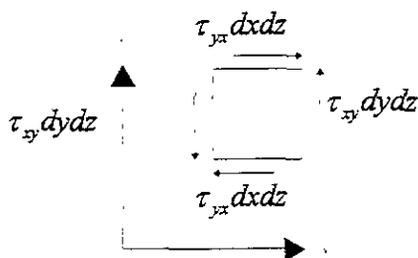


Figura 2.2. Lados del cubo en donde se marcan los esfuerzos que, considerados como funciones continuas, actúan en la dirección x.

$$\frac{dx dy dz}{2} (2\tau_{yx} - 2\tau_{xy}) = \rho dx dy dz \alpha (dr)^2 \tag{ec.2.2}$$

$$\tau_{yx} = \tau_{xy}$$

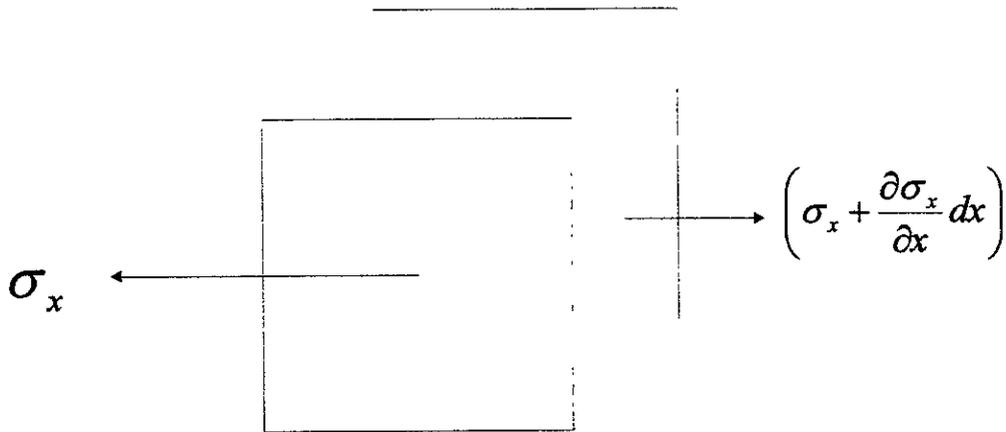


Figura 2.3. Esfuerzos actúan sobre las caras normales.

Todos estos esfuerzos al ser multiplicados por las áreas de las donde actúan darán lugar a fuerzas en al dirección del eje x que, sumadas a las que produzcan la aceleración másica X, que se considera para establecer las ecuaciones de Euler, producirán fuerzas iguales a la masa del paralelepípedo por la aceleración en la dirección x es decir.

$$\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \Delta y \Delta x \Delta z + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \Delta z \Delta x \Delta y + X \rho \Delta x \Delta y \Delta z = \rho \Delta x \Delta y \Delta z \frac{du}{dt} \tag{ec.2.3}$$

O bien simplificando, la ecuación de movimiento, haciendo intervenir las fuerzas que producen el tensor de fuerzas resulta:

$$\rho \frac{dU}{dt} = X + \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \tag{ec.2.4}$$

con respecto a la dirección x y si se considera que, $\sigma_x = -p + \sigma' x$ esfuerzo de presión + esfuerzo de deformación, tenemos (ecuaciones de Saint-Venant):

$$\rho \frac{Du}{Dt} = x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma' x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \text{ en la dirección x} \tag{ec.2.5}$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \sigma' y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \text{ en la dirección y} \tag{ec.2.6}$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = z - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial \sigma' z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \quad \text{en la dirección } z \quad (\text{ec.2.7})$$

Por definición de laplaciano el segundo termino de la derecha es $\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}$, en tanto que, por considerar al flujo incompresible la divergencia es nula, omitiendo el termino.

Definición de Divergencia:
$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z} \quad (\text{ec.2.8})$$

Definición de Laplaciano:
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad (\text{ec.2.9})$$

2.2.4 Relación movimiento-deformación.

Volviendo ahora al paralelepípedo de la *Figura x* puede imaginarse que al actuar los esfuerzos σ trataran de comprimir las moléculas en sentido vertical y expanderlas en los sentidos transversales para deformar al cuerpo y darle un forma como las mostradas en las siguientes figuras, Campos de velocidad $dt=1$

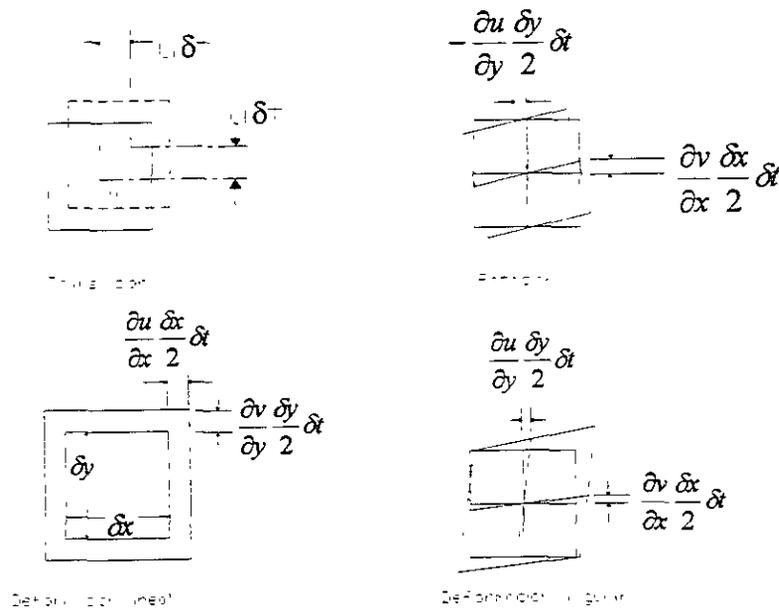


Figura 2.4. Relaciones de movimiento-deformación: deformación lineal y deformación angular.

Definiendo las deformaciones angulares en función del rotacional.

Dirección	letra	Deformación angular	Rotacional.	
z	ξ	$= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$	$wz = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$	(ec.2.10)

x	χ	$= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$	$wx = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} \right)$	(ec.2.11)
---	--------	---	---	-----------

y	η	$= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}$	$wy = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial z} \right)$	(ec.2.12)
---	--------	---	---	-----------

Entonces, las componentes de la aceleración quedan:

$$a_x = \frac{du}{dt} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v\eta + w\xi - vw_z + ww_y \quad (\text{ec.2.13})$$

$$a_y = \frac{dv}{dt} = v \frac{\partial u}{\partial y} + u\chi + w\xi - uw_z + ww_x \quad (\text{ec.2.14})$$

$$a_z = \frac{dw}{dt} = w \frac{\partial w}{\partial z} + u\chi + v\eta - uw_y + vw_x \quad (\text{ec.2.15})$$

y como se vio, las expresiones del movimiento y esfuerzo:

$$\rho a_x = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \sigma'_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad (\text{ec.2.16})$$

$$\rho a_y = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \sigma'_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \quad (\text{ec.2.17})$$

$$\rho a_z = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \sigma'_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \quad (\text{ec.2.18})$$

Al compararse las ecuaciones pueden definirse los esfuerzos tangenciales en $f(u,v,\dots)$.

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{ec.2.19})$$

Donde la viscosidad dinámica (μ) es una propiedad de cada fluido. Debe recordarse que los términos $\frac{du}{dt}$ pueden desarrollarse como en las ecuaciones de Euler. En general:

$$\pi_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (\text{ec.2.20})$$

2.2.5 Esfuerzos normales de deformación.

Si se considera un cubo unitario y los esfuerzos normales en las tres direcciones, entonces la deformación unitaria será:

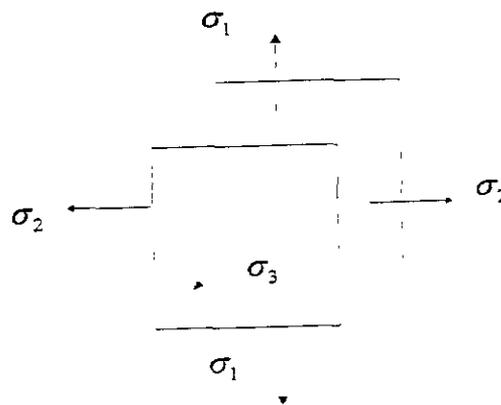


Figura 2.5.

Se comprende que si se consideran actuando esfuerzos normales, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, el efecto total que ellos produzcan en la dirección x será la deformación lineal unitaria en ese sentido, entonces, la deformación unitaria será:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - n(\sigma_2 + \sigma_3)] \quad (\text{ec.2.21})$$

También puede entenderse que habrá expresiones similares en las otras dos direcciones; estas son:

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - n(\sigma_1 + \sigma_3)] \quad (\text{ec.2.22})$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - n(\sigma_1 + \sigma_2)] \quad (\text{ec.2.23})$$

donde: n = módulo de Poisson.

Considerando un estado de movimiento donde se presentan solamente esfuerzos normales (en dirección de los ejes principales), resulta que la variación de U, V y W, componentes de la velocidad esta dada por:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = \alpha_1 \sigma_1 - \beta_1 (\sigma_2 + \sigma_3) \quad (\text{ec.2.24})$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} = \alpha_1 \sigma_2 - \beta_1 (\sigma_1 + \sigma_3) \quad (\text{ec.2.25})$$

$$\frac{\partial W}{\partial z} = \alpha_1 \sigma_3 - \beta_1 (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (\text{ec.2.26})$$

despejando algebraicamente queda:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \alpha_2 \frac{\partial U}{\partial x} + \beta_2 \left(\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) = \alpha_3 \frac{\partial U}{\partial x} + \beta_2 \text{div} \bar{v} \\ \sigma_2 &= \alpha_2 \frac{\partial U}{\partial x} + \beta_2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial z} \right) = \alpha_3 \frac{\partial V}{\partial y} + \beta_2 \text{div} \bar{v} \\ \sigma_1 &= \alpha_2 \frac{\partial W}{\partial x} + \beta_2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) = \alpha_3 \frac{\partial W}{\partial x} + \beta_2 \text{div} \bar{v} \end{aligned} \quad (\text{ec.2.27})$$

Experimentalmente se ha encontrado el valor de:

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= 2\mu \\ \beta_2 &= \wp - \frac{2}{3}\mu = \lambda \end{aligned} \quad (\text{ec.2.28})$$

Siendo el coeficiente de viscosidad de expansión (en fluidos incompresibles se desprecia), para generalizar, las expresiones en cualquier dirección se tienen:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \sigma_1 l_1^2 + \sigma_2 l_2^2 + \sigma_3 l_3^2 \\ \sigma_y &= \sigma_1 m_1^2 + \sigma_2 m_2^2 + \sigma_3 m_3^2 \\ \sigma_z &= \sigma_1 n_1^2 + \sigma_2 n_2^2 + \sigma_3 n_3^2 \end{aligned} \quad (\text{ec.2.29})$$

donde

l_1, m_1, n_1 los cosenos directores X respecto a 1,2,3

l_2, m_2, n_2 los cosenos directores Y respecto a 1,2,3

l_3, m_3, n_3 los cosenos directores Z respecto a 1,2,3

Algunas propiedades de los cosenos directores (de ortonormalidad):

$$l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 = l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 = l_3^2 + m_3^2 + n_3^2 = 1 \quad (\text{ec.2.30})$$

$$l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = l_1 l_3 + m_1 m_3 + n_1 n_3 = \dots = 0 \quad (\text{ec.2.31})$$

Con esas expresiones y desarrollando las anteriores se obtiene finalmente la expresión general de los esfuerzos normales de la deformación:

$$\begin{aligned} \sigma'_x &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{v} \\ \sigma'_y &= 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{v} \\ \sigma'_z &= 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{v} \end{aligned} \quad (\text{ecs.2.32})$$

Sustituyendo en la ecuación de movimiento, la expresión (para la dirección x), resulta:

$$\rho a_x = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \text{div} \bar{v} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (\text{ec.2.33})$$

agrupando

$$\rho a_x = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \frac{1}{3} \mu \frac{\partial}{\partial x} \text{div} \bar{v} \quad (\text{ec.2.34})$$

generalmente la ecuación de Navier-Stokes se expresa como:

$$\rho \bar{a} = \rho \bar{g} - \text{gra} dp + \mu \nabla^2 \bar{v} + \frac{1}{3} \mu \text{gra} d \text{div} \bar{v} \quad (\text{ec.2.35})$$

$$\rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \rho (\bar{v} \cdot \nabla) \bar{v} = \rho \bar{g} - \text{gra} dp + \mu \nabla^2 \bar{v} + \frac{1}{3} \mu \text{gra} d \text{div} \bar{v} \quad (\text{ec.2.36})$$

Para un flujo no viscoso, las ecuaciones de Navier-Stokes se reducen a las de Euler en tres dimensiones. Para el flujo unidimensional de un flujo real en la dirección x, con z dirigida verticalmente hacia arriba, las ecuaciones de Navier-Stokes se reducen a

$$\frac{\partial}{\partial z} (p + \gamma z) = 0 \quad (\text{ec.2.37})$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (\text{ec.2.38})$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (\text{ec.2.39})$$

y si se trata de un flujo permanente, la primera ecuación se simplifica a

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (\text{ec.2.40})$$

Esta ecuación fue desarrollada por varias personas pero se le da el nombre del primero y el último:

Navier (1785-1836)
 Cauchy (1789-1857)
 Poisson (1781-1840)
 Saint-Venant (1797-1886)
 Stokes (1819-1903)

2.3 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL MODELO HIDRODINÁMICO.

Modelos hidrodinámicos, su objetivo es el cálculo de velocidades promediadas en vertical inducidas, principalmente, por la acción del viento y la marea. En las siguientes líneas se presentan el fundamento teórico de los modelos hidrodinámicos:

Parten de la ecuación de Navier-Stokes:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_e \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) \quad (\text{ec.2.41})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_e \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) \quad (\text{ec.2.42})$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} + U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} - g \frac{\rho}{\rho_0} + \nu_e \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} \right) \quad (\text{ec.2.43})$$

y de la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{ec.2.44})$$

Donde p es la tensión normal; g la aceleración de la gravedad, ρ la densidad del agua; ν_e la viscosidad de remolino; t el tiempo U, V y W las componentes de la velocidad en las direcciones x, y, z del plano cartesiano, promediadas para un intervalo de tiempo dado.

Para las condiciones que vamos a observar durante las descargas de aguas residuales en el litoral se puede tomar como hipótesis que habitualmente las velocidades W son muy pequeñas. Esto se debe a que generalmente en estas zonas el flujo se genera normalmente por ondas cuya longitud (L) es mucho mayor que la magnitud (L) es mucho mayor que la profundidad del agua (H) como es el

caso, por ejemplo, el de la marea. La condición de onda larga ($W \approx 0$), que se puede considerar aplicable a partir de $L > 20H$.

En las condiciones mencionadas las ecuaciones (1) y (2) se transforman en:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + v_e \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.45})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + v_e \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.46})$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho \quad (\text{ec.2.47})$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (\text{ec.2.48})$$

En esta última ecuación del sistema describe una distribución lineal de la presión en la vertical, equivalente al caso de presión hidrostática.

Nótese también que en la ecuación no es posible despreciar el término que contiene w , ya que los tres sumandos del primer miembro de la misma son de igual orden de magnitud. En algunas situaciones se considera directamente $W=0$ y entonces, en la ecuación, el término que contiene W se hace nulo.

Cuando el movimiento que se estudia presenta una distribución de las velocidades prácticamente uniforme, se puede establecer la siguiente hipótesis:

$$U(z) = \text{constante}$$

$$V(z) = \text{constante}$$

Si ahora se realiza la promediación en vertical para los distintos términos de las ecuaciones, operando se obtiene:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + fV + v_e \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.49})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + fU + v_e \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.50})$$

Para la ecuación de continuidad, sin necesidad de hacer la hipótesis se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^z U(z) dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^z V(z) dz + W_{z=z} - W_{z=-h} = 0 \quad (\text{ec.2.51})$$

y teniendo en cuenta que $W_{(z=-h)} = 0$ y $W_{(z=Z)} = \frac{\partial Z}{\partial t}$ se tiene:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (\text{ec.2.52})$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{Z} + \mathbf{h} \quad (\text{ec.2.53})$$

En las ecuaciones anteriores H es la profundidad total; h la profundidad de bajo del nivel medio; Z la sobreelevación en el nivel medio; t el tiempo; x e y las coordenadas cartesianas; U y V las velocidades promediadas en vertical.

Las ecuaciones 6 y 8 forman un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas (U(x, y, t); V(x, y, t); y Z(x, y, t)).

En la ecuación 6 ha sido introducido en un nuevo término fV . Este termino tiene en cuenta en cuenta las fuerzas de Coriolis, donde $f = 2\Omega \text{ sen } l = 0.73 \cdot 10^{-4}$ rad/día es la velocidad angular de la rotación de la tierra y l es la latitud del dominio del modelo.

En las ecuaciones 6 y 8 se ha introducido una nueva hipótesis 5, la de perfil uniforme en vertical para las velocidades U(z) y V(z). Esta hipótesis es admisible en los casos en las que las corrientes marinas son debidas a marea, ya que el perfil es prácticamente uniforme. Dicha hipótesis podría aplicarse al estudio de corrientes generadas por el viento en aguas poco profundas.

2.4 CONDICIONES INICIALES DE FRONTERA.

Las condiciones iniciales que permiten resolver estas condiciones son la sobreelevación del agua y las velocidades en las direcciones x e y en el dominio del modelo para el instante t=0.

$$Z_{t=0} = Z_0(x, y) \quad (\text{ec.2.54})$$

$$U_{t=0} = U_0(x, y) \quad (\text{ec.2.55})$$

$$V_{t=0} = V_0(x, y) \quad (\text{ec.2.56})$$

Sin embargo las funciones Z_0 , U_0 , y V_0 normalmente no son conocidas, por esto habitualmente estas funciones se asumen iguales a cero. Cuando el movimiento modelado es periódico, como en el caso de la marea, una solución estable se obtiene después de varios ciclos.

Las ecuaciones 6 y 8 tienen que ser completadas con condiciones de frontera apropiadas. Desde un punto de vista físico se hace necesario definir las siguientes condiciones de frontera: en la línea de costa, en la superficie libre, en el fondo en mar abierto. En la línea de costa se asume que la

componente de la velocidad normal a la línea de costa es nula, mientras que en las componentes tangencial no se impone ninguna condición.

Sobre la superficie libre pueden actuar tensiones tanto normales como tangenciales:

- Condiciones de frontera de tensión normal en la superficie libre: En las ecuaciones 6 se supone una presión atmosférica constante sobre todo el dominio del modelo, sin embargo la presión en estas ecuaciones pueden ser funciones del tiempo y del espacio $P = (x, y, t)$ (ya sea empírica o analítica), tiene que ser conocida.
- Condición de frontera de tensión tangencial en la superficie libre: Las tensiones tangenciales en la superficie libre normalmente son tangenciales por el viento. Las tensiones tangenciales generadas por el viento en las direcciones x e y se pueden expresar de la siguiente forma:

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho_0} = v_e \left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_{z=-h} = \frac{gU \cdot \overline{U^2 + V^2}}{C^2} \quad (\text{ec.2.57})$$

$$\frac{\tau_{by}}{\rho_0} = v_e \left. \frac{\partial V}{\partial z} \right|_{z=-h} = \frac{gV \cdot \overline{U^2 + V^2}}{C^2} \quad (\text{ec.2.58})$$

Donde τ_{bx} y τ_{by} son las tensiones en el fondo generadas por fricción y C es el coeficiente de Chezy.

Por último la frontera hacia mar abierto es una línea ficticia que separa el dominio del modelo del resto del mar. Es evidente entonces que para una correcta simulación es necesario conocer las características hidrodinámicas de esta frontera, ya sea en términos de velocidades o de frontera en mar abierto, como la de radiación libre de Somerfield, la manera más confiable para obtener resultados correctos es disponer de datos reales.

Teniendo en cuenta las ecuaciones 6 y 8 y las condiciones de frontera de superficie libre 10 y del fondo 11, las ecuaciones de onda larga en dos dimensiones se pueden escribir de la siguiente forma:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + fV - \frac{K_v W_x \cdot \overline{W_x^2 + W_y^2}}{H} - \frac{gU \cdot \overline{U^2 + V^2}}{HC^2} + v_e \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.59})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + U \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + fU - \frac{K_v W_x \cdot \overline{W_x^2 + W_y^2}}{H} - \frac{gU \cdot \overline{U^2 + V^2}}{HC^2} + v_e \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (\text{ec.2.60})$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial HU}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (\text{ec.2.61})$$

Las ecuaciones anteriores se conocen como ecuaciones de onda larga, su integración normalmente se lleva a cabo empleando el método implícito de dirección alternante (ADI).

2.4.1. Integración de las ecuaciones de onda larga en dos dimensiones

La integración numérica de las ecuaciones (2.62), (2.63) y (2.64) normalmente se lleva a cabo empleando el método implícito de dirección alternante (ADI). Una forma de discretización se describe a modo de ejemplo a continuación. El esquema de diferencias finitas en el espacio se presenta en la tabla 1.

j+1	Z	U	Z	U	Z
j+1/2	V	h	V	h	V
j	Z	U	Z	U	Z
j-1/2	V	h	V	h	V
j-1	Z	U	Z	U	Z
	i-1	i-1/2	i	i+1/2	i+1

Tabla 1

Esquema de diferencias finitas en el espacio empleando en la integración numérica de las ecuaciones de Continuidad y Cantidad de Movimiento del Modelo propuesto(H2D).

La solución en le tiempo se obtiene en el siguiente orden:

En $t + \Delta t \rightarrow$ se resuelve V, Z implícitamente y U explícitamente.

En $t + \Delta t/2 \rightarrow$ se resuelve U, Z implícitamente y V explícitamente.

En $t \rightarrow$ se conocen U, V, Z .

Las expresiones numéricas para el paso de t a $\Delta t/2$ son de la siguiente forma:

• Punto $(i + 1/2, j)$

$$U^{k+1/2} = U^k - \frac{\Delta t}{2} \left[U^{k+1/2} \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^k + V^k \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^k - V^k f + g \left(\frac{\partial Z}{\partial x} \right)^{k+1/2} + g U^k \frac{\sqrt{(U^k)^2 + (V^k)^2}}{C_x^2 (h_z + Z_z^k)} \right] \quad (\text{ec.2.62})$$

En la ecuación (66) los términos no lineales, advectivos y de fricción en $t + \Delta t/2$ se aproxima con sus valores en t . Los símbolos utilizados, para una función genérica F , son:

$$F_{i,j}^k = F(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta t)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \left(F_{i+1/2,j} + F_{i-1/2,j} \right)$$

$$F_y = \frac{1}{2} \left(F_{i,j+\frac{1}{2}} + F_{i,j-\frac{1}{2}} \right) \quad (\text{ec.2.63})$$

$$F = \frac{1}{4} \left(F_{i-\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}} + F_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2}} + F_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} + F_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2}} \right)$$

• *Punto(i, j)*

$$Z^{k+\frac{1}{2}} = Z^k - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \frac{\partial[(h_y + Z_x)U]^{k+\frac{1}{2}}}{\partial x} + \frac{\partial[(h_x + Z_y)U]^k}{\partial y} \right\} \quad (\text{ec.2.64})$$

• *Punto(i, j + 1/2)*

$$V^{k+\frac{1}{2}} = V^k - \frac{\Delta t}{2} \left[V^{k+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^k + U^{k+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^k - U^{k+\frac{1}{2}} f + g \left(\frac{\partial Z}{\partial y} \right)^k + g V^{k+\frac{1}{2}} \frac{\left[\left(U^{k+\frac{1}{2}} \right)^2 + \left(V^k \right)^2 \right]}{C_y^2 \left(h_x + Z_y^{k+\frac{1}{2}} \right)} \right] \quad (\text{ec.2.65})$$

Para el paso de tiempo $t + \Delta t$ las expresiones son:

• *Punto(i, j + 1/2)*

$$V^{k+1} = V^{k+\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{2} \left[V^{k+1} \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^{k+\frac{1}{2}} + U^{k+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^{k+\frac{1}{2}} - U^{k+\frac{1}{2}} f + g \left(\frac{\partial Z}{\partial y} \right)^{k+1} + g V^{k+\frac{1}{2}} \frac{\left[\left(U^{k+\frac{1}{2}} \right)^2 + \left(V^{k+\frac{1}{2}} \right)^2 \right]}{C_i^2 \left(h_x + Z_y^{k+\frac{1}{2}} \right)} \right] \quad (\text{ec.2.66})$$

• *Punto(i, j)*

$$Z^{k+1} = Z^{k+\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{2} \left\{ \frac{\partial[(h_z + Z_x)U]^{k+\frac{1}{2}}}{\partial x} + \frac{\partial[(h_z + Z_x)V]^k}{\partial y} \right\} \quad (\text{ec.2.67})$$

• *Punto(i + 1/2, j)*

$$U^{k+1} = U^{k+\frac{1}{2}} - \frac{\Delta t}{2} \left[U^{k-1} \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^{k+\frac{1}{2}} + V^{k+\frac{1}{2}} \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^{k+\frac{1}{2}} - V^{k+\frac{1}{2}} f + g \left(\frac{\partial Z}{\partial x} \right)^{k+1} + g U^{k+\frac{1}{2}} \frac{\left[\left(U^{k+\frac{1}{2}} \right)^2 + \left(V^{k+\frac{1}{2}} \right)^2 \right]}{C_p^2 \left(h_x + Z_y^{k+\frac{1}{2}} \right)} \right] \quad (\text{ec.2.68})$$

Este procedimiento se repite para cada paso entero de tiempo.

Conclusiones.

Dadas las características de flujo, que se presentan en zonas poco profundas, utilizar modelos matemáticos bidimensionales en el estudio de la hidrodinámica es apropiado.

Es necesario conocer las características e hipótesis de los modelos, para poder realizar una interpretación correcta de los resultados que arroje el modelo.

El esquema numérico de los modelos matemáticos, debe ser en términos medios, fácil de programar y con un margen de error en sus resultados de entre 10% y 20%.

3 CALIDAD DEL AGUA

3.1 INTRODUCCIÓN

El problema de la reducción de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en las masas de aguas superficiales, originada principalmente por el vertido de sustancias contaminantes ha sido detectado y estudiado desde el principio de este siglo.

Es importante hacer notar que bajas concentraciones del oxígeno disuelto producen desequilibrios en el ecosistema acuático, lo que se traduce en un aumento de la mortalidad entre los diferentes organismos, deterioro estético, aparición de olores, etc. Es válido y conveniente considerar la concentración de OD como un índice de salud general del ecosistema acuático.

El equilibrio en las concentraciones del oxígeno disuelto es producto de complejas interrelaciones de organismos que habitan en el medio acuático, las sustancias químicas presentes en él, los procesos biológicos que se desarrollan en un seno y sus condiciones físico-químicas. Este equilibrio puede ser alterado debido a cambios, más o menos bruscos, de cualquiera de los factores anteriormente mencionados, cambios que pueden tener su causa en fenómenos naturales o ser el resultado de la acción de la presencia y actividad humana.

Este planteamiento da a conocer la complejidad que se presenta al tratar de modelar las diferentes interrelaciones de los fenómenos que intervienen en la determinación del Oxígeno Disuelto, sin embargo se pueden llegar a modelos que tengan una buena estimación sobre las posibles variaciones en las concentraciones del OD debido a los procesos que a continuación se describen brevemente.

3.2 MODELOS DE CALIDAD DE AGUA.

Existe una gran diversidad de modelos de calidad de agua que van, desde aproximaciones sencillas de parámetros concentrados, hasta modelos complejos cuya calibración requiere una gran cantidad de factores. De la misma forma, es reconocido que dichos parámetros son, indudablemente, el punto delicado de los modelos de calidad del agua, ya que son factores que dependen fuertemente del cuerpo de agua específico que se pretende modelar. El resultado básico de un modelo de calidad de agua, lo constituye la evolución a lo largo del tiempo de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el dominio del modelo o en puntos específicos del mismo.

Es muy recomendable que previo a la realización de análisis numéricos, se realicen campañas de campo in situ que permitan determinar con la mejor aproximación posible el mayor número de parámetros requeridos para la modelación, esto es con la finalidad de calibrar al modelo con la información más apegada a las condiciones reales del cuerpo de agua, sin embargo estas condiciones tienen una variabilidad a lo largo del tiempo y del espacio además se presentan de manera aleatoria, sin embargo puede llegar a calibrarse los modelos con condiciones extremas, ya que al utilizar estos modelos en la generación de escenarios, se deben tomar en consideración las condiciones más desfavorables que se pueden presentar, para poder dar alternativas viables desde el punto de vista ambiental, técnico y económico.

Si bien los modelos matemáticos son una herramienta importante en el diseño de Sistemas de Saneamiento Litoral, debe tomarse las consideraciones necesarias para poder llevar a cabo una evaluación objetiva de las condiciones a las que se puede enfrentar el cuerpo de agua y los daños que pueden crearse por la presencia de contaminantes.

3.2.1 Reaireación.

La experiencia indica que el proceso de cambio de la concentración del oxígeno disuelto se describe adecuadamente con una ecuación diferencial lineal ordinaria de primer orden. Más concretamente, se considera que la validación de la concentración es proporcional al déficit de oxígeno disuelto, es decir, a la diferencia entre el nivel de saturación C_s y su estado actual.

$$\forall \frac{d(OD)}{dt} = K_1 A (C_s - OD) \quad (\text{ec.3.1})$$

Donde \forall y A son el número y área superficial del cuerpo de agua, el coeficiente K_1 expresa la rapidez con la cual el nivel de saturación del oxígeno disuelto se recupera y depende principalmente de dos factores:

- El estado turbulento del medio acuático, que habitualmente se considera proporcional a la velocidad media U .
- La mezcla por viento, que es proporcional a la velocidad media del viento W .

Existen muchas formulas para el cálculo del coeficiente K_1 , una de ellas es la siguiente:

$$K_1 = 13. \frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} + \frac{W}{H} \left[\text{dia}^{-1} \right] \quad (\text{ec.3.2})$$

donde H es la profundidad.

El nivel medio de saturación del oxígeno disuelto C_s se deriva de la ley de Henry, la cual establece que "el peso de cualquier gas disuelto en un volumen dado de líquido a temperatura constante es proporcional a la presión que este gas experimenta por parte del líquido".

$$C_s = \frac{P}{H_e} \quad (\text{ec.3.3})$$

donde:

H_e es la constante de Henry en $\frac{\text{mmHg} \cdot \text{l}}{\text{mg}}$

P es la presión de O_2 en mm Hg

Existen muchas fórmulas para el cálculo de la concentración del oxígeno a saturación, entre las que cabe señalar la siguiente, que expresa dicha concentración en función de la salinidad (S) y de la temperatura (T) del agua, a continuación se presenta la formula para calcular C_s , utilizada por la Confederación Hidrográfica del Norte "Oviedo 1995".

$$C_s = 14652 - 0.0841S + T[0.0026S - 0.41022 + T(0.007991 - 0.0000374S - 0.000077774T)] \quad (\text{ec.3.4})$$

3.2.2 Fotosíntesis y respiración.

La presencia de las plantas en el medio acuático tiene un efecto muy importante sobre los niveles del oxígeno disuelto. Esta importancia consiste en la capacidad de las plantas acuáticas de sintetizar sustancias orgánicas y oxígeno a partir de otras inorgánicas, utilizando la energía luminosa. Este proceso, que se denomina fotosíntesis, puede ser descrito de la siguiente manera:



Como la concentración de saturación del oxígeno disuelto viene definida por la salinidad y la temperatura, el aporte del oxígeno por fotosíntesis puede dar lugar a concentraciones de oxígeno disuelto mayores que la saturación. Valores de 150%-200% de sobresaturación no son inusuales.

3.2.3 Demanda de oxígeno por sedimentos.

El vertido en el medio acuático de aguas residuales con componentes orgánicos sedimentables, puede provocar el depósito de estos sedimentos orgánicos en el fondo marino, formando bancos de sedimentos con espesor variable, según las cantidades vertidas y las condiciones hidrodinámicas locales.

En las capas superficiales de dichos sedimentos tiene lugar una descomposición aeróbica, consumiendo el oxígeno disuelto de las aguas con que tiene contacto. Sin embargo, en las capas más profundas de estos bancos de sedimento, de origen orgánico, tiene lugar la descomposición anaeróbica, cuyos productos pueden ser Bióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄) y ácido sulfhídrico (H₂S). Si la producción de estos gases es importante se pueden producir problemas estéticos ya que estos gases "levantan" los fondos sedimentados hasta la superficie.

Los sedimento de origen orgánico se pueden producir también, en los fondos, por la acumulación de restos de organismos acuáticos o detritos, transportados por escurrimientos superficiales(ríos). Este fenómeno es especialmente intenso, cuando se produce la sedimentación de fitoplancton en zonas eutróficas, de esta manera según las condiciones locales, los fondos marinos pueden tener zonas con espesores importantes de materia orgánica sedimentada, en sitios donde las aguas están casi estancadas y las cargas de vertido, de aguas residuales, son considerables con el consiguiente incremento de la demanda de oxígeno por sedimento, mientras que en otras zonas de buena renovación y sin vertidos, los sedimentos de origen orgánico pueden estar ausentes. En la tabla siguiente se presenta algunos de los valores típicos de la demanda de oxígeno por sedimentos.

Tipos de fondo	Rango (mg/l)	Media (mg/l)
Fangos de tipo urbano (reciente)	20.0-10.0	15.00
Fango de origen urbano (viejos)	1.0-2.0	1.5
Fango de estuario	1.0-2.0	1.5
Arenas	0.2-1.0	0.5
Suelos mineralizados	0.05-0.10	0.07

Tabla 3.1. Valores de demanda de oxígeno por sedimentos según el tipo de fondo.

En general, los distintos autores asumen que la demanda de oxígeno por fondos (DOS) se mantiene constante e independiente de la concentración del oxígeno disuelto del agua (OD) cuando ésta es superior a 2-5 mg/l. Sin embargo algunos autores indican que el consumo de oxígeno por sedimentos depende de las concentraciones de oxígeno disuelto circundante, sobre todo, cuando éstas son bajas. Un ejemplo de una relación de este tipo, obtenida a partir de datos experimentales, es la siguiente:

OD se le asigno el valor de 3.07 gO₂/m²día.

$$DOS = 7.2 \left[\frac{OD}{0.7 + OD} \right] = 5.86 \text{ gO}_2/\text{m}^2\text{día.} \quad (\text{ec.3.6})$$

3.2.4 Oxidación de DBOC.

DBOC (Demanda de Oxígeno de tipo Carbonáceo) representada la demanda de oxígeno correspondiente a la degradación de las complejas sustancias orgánicas contenidas en las aguas residuales urbanas. Así la DBOC es

la cantidad del oxígeno disuelto necesario para la oxidación de la materia orgánica, de manera que se consume el oxígeno disuelto produciendo Bióxido de carbono (CO_2) y H_2O .

Es habitual considerar el proceso de asimilación de la materia orgánica por el medio o, lo que es lo mismo, su oxidación, como un proceso cinético de primer orden:

$$\frac{d(DBOC)}{dt} = -K_2 DBOC \quad (\text{ec.3.7})$$

donde K_2 es la tasa de oxidación.

La solución de la ecuación anterior es:

$$DBO = DBOC_0 - DBOC \quad (\text{ec.3.8})$$

Donde $DBOC_0$ es la demanda Bioquímica inicial

El oxígeno consumido entonces será

$$DBO = DBOC_0 - DBOC \quad (\text{ec.3.9})$$

$$OD_5 = DBOC_5 = DBOC_0 \left[(1 - e^{-K_2 t}) \right] \quad (\text{ec.3.10})$$

El oxígeno consumido en cinco días será:

$$OD_5 = DBOC_5 = DBOC_0 \left[(1 - e^{-K_2 t}) \right] \quad (\text{ec.3.11})$$

La razón de presentar la ecuación anterior, es que la materia orgánica introducida en el medio acuática se oxida en un periodo aproximado de cinco días y las medidas estándares normalmente se dan en función de la $DBOC_5$.

La constante de oxidación K_2 varía según el tipo de agua. Valores comunes de esta constante se encuentran entre 1.1 y 1.5 (día^{-1}).

3.3 MODELO DE DESAPARICIÓN BACTERIANA.

El vertido de aguas supone una introducción de concentraciones de bacterias entéricas (como lo pueden ser los coliformes) en un medio adverso para su desarrollo. La evolución de las poblaciones bacterianas depende de los factores físicos, ecológicos y biológicos de la región. Los factores físicos están relacionados con los cambios en la concentración de microorganismos, propios de los fenómenos de dispersión y dilución, causados por el desplazamiento de las masas de agua y la interacción de éstas con los efluentes vertidos. Simultáneamente, se produce la inactivación de dichas poblaciones bacterianas como consecuencia del efecto combinado de factores naturales, tales como la radiación solar, la salinidad, temperatura y la presencia de agentes inhibidores.

Por último, las reacciones interespecificas (competencia y depredación), con otros organismos del medio acuático afectan también negativamente la dinámica poblacional de estas bacterias.

El modelo que se plantea para ejemplificar asume que la desaparición bacteriana obedece a la siguiente ecuación diferencial de primer orden propuesta por la Confederación Hidrográfica del Norte "Oviedo, Diciembre de 1995".

$$\frac{dCF}{dt} = -KCF \quad (\text{ec.3.12})$$

Donde CF es la concentración de coliformes fecales; t el tiempo y K la constante de desaparición. El problema se centra en la determinación de la constante K . Esta constante puede expresarse como la suma de las siguientes constantes:

$$K = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 \quad (\text{ec.3.13})$$

donde:

- K_1 Es la constante de desaparición debida al efecto sobre las bacterias de la temperatura del medio, su densidad y los procesos de depredación en él que se originan.
- K_2 Es la constante de desaparición debida a la luz.
- K_3 Es el coeficiente de desaparición debido a la desaparición de sólidos.
- K_4 Es el coeficiente de la población bacteriana.

El mencionado modelo de desaparición bacteriana, supone la siguiente expresión de la constante.

K mencionada:

$$K = K_T + K_S + K_2 \quad (\text{ec.3.14})$$

donde

- K_T Es la constante de desaparición debido a la temperatura.
- K_S la debida a la salinidad; y
- K_2 la debida a la luz.

En este modelo como en otros similares se considera la temperatura, la salinidad, y la luz.

$$K_1 = K_T \cdot K_S = K_0 C_1^{T-20} C_2^{(S-8.5)} \quad (\text{ec.3.15})$$

donde:

- T es la temperatura del agua en grados centígrados
- S la salinidad del agua en tanto por mil
- K_0 la constante de desaparición bacteriana a 20°C de temperatura, en un medio al 8.5% de salinidad y en completa oscuridad.
- C_1 y C_2 coeficientes de ajuste del modelo

La constante K_2 debida a la luz se puede expresar en función de la intensidad lumínica de la forma siguiente

$$K_2 = C_3 i_z \quad (\text{ec.3.16})$$

donde :

i_z es la intensidad de la luz expresada en Kw/m²
 C_3 es un coeficiente de ajuste del modelo

La intensidad de la luz en la columna de agua se expresa es función de la profundidad z como:

$$i_z = i_0 e^{-c_3 z} \quad (\text{ec.3.17})$$

De la aplicación de las ecuaciones (16) y (17) a la ecuación diferencial de primer orden que define el modelo de desaparición bacteriana (12), se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{dCF}{dt} = -\left[\left(K_0 C_1^{(T-20)} C_2^{(S-8.5)} + C_3 i_0 C_4 z \right) CF \right] \quad (\text{ec.3.18})$$

A la luz de todo lo expuesto se puede definir el siguiente modelo de oxígeno disuelto:

$$\frac{d(OD)}{dt} = K_1 (C_s - OD) - DBOC + F - R - DOS \quad (\text{ec.3.19})$$

$$\frac{d(DBOC)}{dt} = -K_2 (DBOC) \quad (\text{ec.3.20})$$

donde

K_1 es el coeficiente de reaeración.
 C_s la concentración de oxígeno disuelto a la saturación
 OD la concentración de oxígeno disuelto
 F la producción de oxígeno por fotosíntesis
 $F = 0 \rightarrow \alpha < 0$
 $F = F_{max} \text{sen}(\alpha) \rightarrow \alpha > 0$
 F_{max} la producción de oxígeno por fotosíntesis a medio día
 α la inclinación solar respecto al horizonte
 R el consumo de oxígeno por respiración
 DOS la demanda de oxígeno por sedimentos
 K_2 la constante de oxidación de la materia orgánica

La integración de la ecuación (3.9), se puede realizar en dos pasos.

1. Primero se resuelve la ecuación de transporte de contaminantes para un paso de tiempo y para las dos sustancias DBOC Y OD por separado.
2. A continuación para el mismo paso de tiempo y para cada celda de la malla, se resuelven las ecuaciones(ec.3.19) y (ec.3.20).

3.3.1 Solución numérica a los modelos de Advección dispersión

Estos modelos tienen su fundamento en la ecuación de transporte de masa:

La ecuación de conservación de la masa o de transporte de una sustancia diluida en un fluido se formula en términos de velocidad y concentraciones instantáneas, a través de la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \frac{\partial q}{\partial x_j} = 0 \quad (\text{ec.3.21})$$

donde:

c es la concentración instantánea de la sustancia, u la velocidad instantánea, x la coordenada cartesiana, $j=1,2,3$ - las tres direcciones de las coordenadas, q el flujo de masa ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

La ecuación (3.21) expresa el principio de los cambios locales y advectivos en la concentración, sumados al cambio de flujo de masa q , tiene una resultante nula, siempre y cuando no haya aportaciones de masa procedentes del exterior del dominio del modelo. Para la integración de la ecuación (3.21) es conveniente expresar el flujo de masa en términos de la concentración de la sustancia. Esta relación viene dada por la ley de Fick cuya expresión es la siguiente:

$$q = -K \frac{\partial c}{\partial x_j} \quad (\text{ec.3.22})$$

Donde k es la constante de difusión molecular de Fick. Es importante decir que la constante k es una propiedad del fluido, de la sustancia diluida en él y del estado termodinámico de la mezcla y su valor es conocido para los principales fluidos.

Al sustituir la ecuación (3.22) en (3.21) se obtiene la ecuación de transporte (conservación) de masa en función de la concentración de una sustancia determinada.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \frac{\partial q}{\partial x_j} = K \frac{\partial^2 c}{\partial x_j^2} \quad (\text{ec.3.23})$$

Una manera de sustituir las concentraciones y velocidades instantáneas por valores promedios en el tiempo, es utilizar la descomposición de Reynolds:

$$\begin{aligned} c &= \bar{C} + c' \\ u &= \bar{U} + u' \end{aligned} \quad (\text{ec.3.24})$$

donde :

\bar{C}, \bar{U} son la concentración y la velocidad promediadas para un intervalo de tiempo conveniente.

c', u' son las desviaciones instantáneas sobre los valores medios de la concentración y la velocidad respectivamente con media igual cero.

Haciendo uso de esta descomposición, la ecuación (3.23) se puede expresar de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{U}_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} + \frac{\partial (\bar{u}'_j c')}{\partial x_j} = K \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial x_j^2} \quad (\text{ec.3.25})$$

el último sumando del primer miembro de la ecuación (3.25), es función de las desviaciones instantáneas c' y u' .

Para sustituir este término por otro, función de valores medios, es más cómodo rescribir la ecuación (3.25) de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[K \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} - \overline{u'_j c'} \right] \quad (\text{ec.3.26})$$

si el segundo miembro de la ecuación (3.26) se pudiese expresar en función del gradiente de la concentración media, se obtiene una ecuación con la misma forma que la ecuación inicial (3.23). Para lograr esto Boussinesq propone la siguiente relación:

$$-\overline{u'_j c'} = \varepsilon_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial X_j} \quad (\text{ec.3.27})$$

Donde ε_j son coeficientes de difusión turbulenta para las tres direcciones j , que en un principio son distintos y expresan el grado de difusión de la concentración \bar{C} debida a las fluctuaciones turbulentas. Si ahora se sustituye la ecuación (3.27) en (3.28) se obtiene:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[K \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} + \varepsilon_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial X_j} \right] \quad (\text{ec.3.28})$$

Si consideramos que K es varios ordenes de magnitud menor que cualquiera de los coeficientes ε_j , el penúltimo término de la ecuación (3.28) se puede despreciar frente a estos últimos, obteniéndose la forma:

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + U_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\varepsilon_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial X_j} \right] \quad (\text{ec.3.29})$$

haciendo el cambio de nomenclatura:

$$x_1 = x; x_2 = y; x_3 = z; \bar{C} = C; U_1 = U; U_2 = V; U_3 = W; \varepsilon_1 = \varepsilon_x; \varepsilon_2 = \varepsilon_y; \varepsilon_3 = \varepsilon_z.$$

Con lo que la ecuación (3.29) se puede escribir como:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} + W \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right] \quad (\text{ec.3.30})$$

Donde $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ son los coeficientes de difusión turbulenta en las direcciones x, y, z del plano cartesiano; C es la concentración en un punto determinado, promediados para un intervalo de tiempo determinado y los parámetros restantes tienen el significado dado con anterioridad.

Para la integración de la ecuación (3.30) se utilizan velocidades promediadas en vertical (como las obtenidas en los modelos hidrodinámicos bidimensionales), los coeficientes de difusión horizontal han de tener en cuenta el cortante. Este efecto se debe a que la distribución de la velocidad en vertical no es uniforme, lo que origina que en las zonas de mayor velocidad la sustancia diluida en el fluido se mueva más rápidamente que en las zonas de menor velocidad, de manera que se realiza una importante dispersión de las sustancias que no se tiene en cuenta al utilizar la promediación. Los coeficientes con los que se tiene en cuenta el efecto cortante se

denominan normalmente coeficientes de dispersión y suelen ser mucho mayores que los de difusión turbulenta horizontal. Entra las formulas a las que han llegado diferentes autores encontramos una de las más conocidas, esta es la formula de Elder:

$$D_l = 5.9U^*h \tag{ec.3.31}$$

$$U^* = \frac{ghS}{\nu}$$

Donde D_l es el coeficiente de dispersión en dirección del flujo U^* la velocidad de fricción; S la pendiente de la superficie libre; y los parámetros restantes tienen el significado dado previamente. Teniendo en cuenta la velocidad de fricción para aguas costeras suelen ser del orden de 6% de la velocidad de flujo, la fórmula (3.31) tendrá la siguiente forma:

$$D_l \approx 0.4Uh \tag{ec.3.32}$$

Sin embargo, la experiencia señala que los coeficientes de dispersión obtenidos en la calibración de los modelos matemáticos son, en muchas ocasiones mayores a los calculados en la formula (ec.3.32) u otras semejantes. Este fenómeno se puede explicar por el hecho de que la discretización necesaria para resolver numéricamente estos modelos. Entonces es lógico intentar calcular los coeficientes de dispersión en función de la discretización, las siguientes fórmulas son un ejemplo de ello.

$$D_l = 0.5(u|\Delta t - \Delta t^2)$$

$$D_l = K_1\Delta lu; K_1 = 0.20 \tag{ec.3.33}$$

$$D_l = K_2\Delta tu; K_2 = 0.2058$$

donde Δl es el tamaño de la celda en dirección del flujo; Δt el paso de tiempo utilizando en el cálculo; K_1 , K_2 son los coeficientes; u es la velocidad del flujo; y el resto de los parámetros tienen el significado mencionado anteriormente.

El coeficiente de dispersión perpendicular al flujo D_t se podría considerar un orden de magnitud menor que D_l . La proyección de los coeficientes de dispersión D_l y D_t sobre los ejes x e y se pueden calcular a partir de las siguientes expresiones:

$$D_x = \left[\left(\frac{\cos \alpha}{D_l} \right)^2 + \left(\frac{\sin \alpha}{D_t} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$D_y = \left[\left(\frac{\sin \alpha}{D_l} \right)^2 + \left(\frac{\cos \alpha}{D_t} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \tag{ec.3.34}$$

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta el momento sobre los coeficientes de dispersión y realizando un promedio en vertical para los distintos términos de la ecuación (ec.3.30) en forma análoga a la efectuada para las ecuaciones de Navier-Stokes en los modelos bidimensionales la ecuación de transporte de masa tendrá la siguiente forma:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (\text{ec.3.31})$$

además suponiendo que existe mezcla completa en vertical es posible eliminar el último término de la ecuación (3.31), obteniéndose de esa manera la ecuación de transporte de masa en dos dimensiones.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (\text{ec.3.32})$$

3.3.2 Integración de la Ecuación de Transporte de Masa en dos Dimensiones

Para la integración de la ecuación de transporte de masa en dos dimensiones (3.32) se presentan dos esquemas numéricos de primer orden, el primero de ellos centrado y el segundo denominado contra flujo. En estos esquemas se utiliza la nomenclatura mostrada en la *Figura 3.1*.

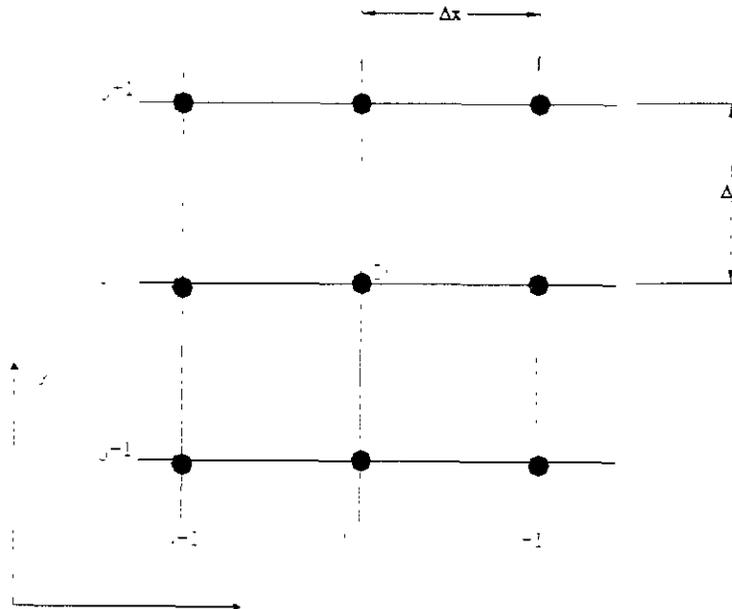


Figura 3.1. Nomenclatura utilizada en la descripción de los esquemas numéricos empleados en la integración de la ecuación de transporte de masa en dos dimensiones.

- Esquema numérico centrado.

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^n - \frac{\Delta t U}{2\Delta x} (C_{i+1,j}^n + C_{i-1,j}^n) - \frac{\Delta t V}{2\Delta y} (C_{i,j+1}^n + C_{i,j-1}^n) + \frac{\Delta t D_x}{\Delta x^2} (C_{i+1,j}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n) + \frac{\Delta t D_y}{\Delta y^2} (C_{i,j+1}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i,j-1}^n) \quad (\text{ec.3.33})$$

donde n es el número de pasos de tiempo transcurridos ($n=1, 2, 3, \dots, N$); $N\Delta t$ es la duración de la simulación.

- Esquema numérico "upwind".

Como indica el nombre del esquema (contra el flujo), el promedio se realiza desde donde viene el flujo hacia el centro.

$$\begin{aligned}
 C_{i,j}^{n+1} = & C_{i,j}^n + \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[\frac{U - |U|}{2} (C_{i+1,j}^n - C_{i,j}^n) + \frac{U + |U|}{2} (C_{i,j}^n - C_{i-1,j}^n) \right] + \\
 & + \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[\frac{V - |V|}{2} (C_{i,j+1}^n - C_{i,j}^n) + \frac{V + |V|}{2} (C_{i,j}^n - C_{i,j-1}^n) \right] + \\
 & + \frac{\Delta t D_x}{\Delta x^2} (C_{i+1,j}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n) + \frac{\Delta t D_y}{\Delta y^2} (C_{i,j+1}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i,j-1}^n)
 \end{aligned} \tag{ec.3.34}$$

Los esquemas anteriormente descritos se refieren a la parte advectiva de la ecuación (3.32), mientras que la parte dispersiva siempre se resuelve con un esquema centrado dada las consideraciones fundamentales del modelo.

3.3.3 Estudio de la dilución inicial.

La dilución es el resultado del proceso de mezcla de un efluente con el medio receptor. La dilución puede ser originada por la cantidad de movimiento que tiene el efluente al ser descargado en el medio receptor, por la diferencia de densidad entre el efluente y el propio medio, o, finalmente, como consecuencia de la dispersión del efluente al ser transportado por corrientes.

Cuando la mezcla del efluente con las aguas receptoras está dominada ya sea por la cantidad del movimiento, o bien por la diferencia de densidad, el proceso de dilución se denomina dilución inicial, mientras que la dilución debida al transporte del efluente por las corrientes se denomina dilución secundaria.

Desde el punto de vista de las fuerzas motrices, el efluente vertido en el medio receptor se puede denominar "chorro" o "pluma". En el primero de los casos el efluente se moviliza debido a su propia cantidad de movimiento, en el segundo el transporte se debe a la diferencia de densidad entre el efluente y el agua circundante.

Mientras que la dilución inicial en chorros depende únicamente de la cantidad de movimiento del efluente, la dilución inicial en plumas está altamente influenciada por las características ambientales.

En el caso de emisores submarinos, el chorro "desaparece" a poca distancia después de la descarga y el efluente se comporta principalmente como pluma. Esta es la principal razón por la cual gran parte de la investigación sobre dilución inicial se centran sobre dilución inicial en plumas.

La dilución inicial en plumas depende de los parámetros ambientales (corrientes, densidad) y de la forma en que el efluente se introduce en el medio. Esto último se puede hacer simplemente descargando el efluente directamente por la tubería que le transporta hasta el punto de vertido, o a través de unos dispositivos de descarga, más o menos complicados, llamados difusores.

El fin último es conseguir diluciones iniciales óptimas de acuerdo con los objetivos de calidad perseguidos.

En el estudio de la dilución inicial es importante definir la profundidad del punto de vertido, la elección de una u otra forma de vertido viene a indicar el modo en que se considera la dilución inicial del efluente en el medio marino.

En el inciso "a" de la *Figura 3.2* se define el modo de vertido considerando que se produce desde el fondo marino a través de un emisario, en el inciso "b" de la *Figura 3.2* se considera la muestra completa e instantánea del volumen de vertido en cada intervalo de tiempo con el agua del área del medio marino en que produce el vertido, en el inciso "c" de la *Figura 3.2* el vertido se diluye en la parte superior de la columna de agua hasta una altura de diseño predefinida por el diseñador.

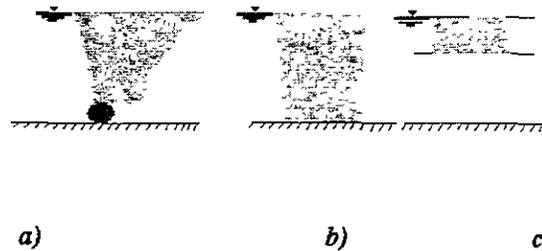


Figura 3.2 Condiciones de mezcla inicial entre el efluente y el agua de mar "Confederación Hidrográfica del Norte. Oviedo, Diciembre de 1995. AQUAMAP Manual del Usuario."

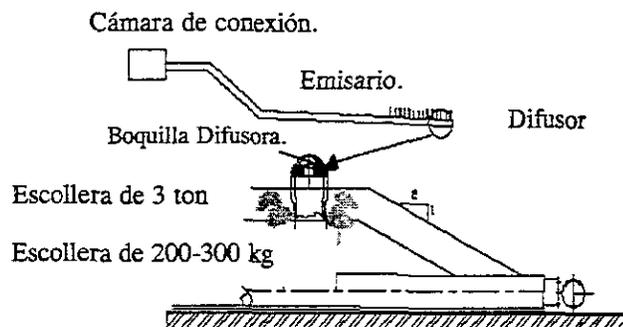


Figura 3.2 Perfil longitudinal de un emisario y detalle del tramo difusor. "Confederación Hidrográfica del Norte. Oviedo, Diciembre de 1995. AQUAMAP Manual del Usuario."

3.3.4 Formulación general.

En términos generales, la dinámica de chorros y plumas puede ser definida por el flujo de masa, el flujo de cantidad de movimiento y por el flujo de flotabilidad.

$$\rho\mu = \int_A \rho\omega dA \quad (\text{ec.3.30})$$

donde:

ρ es la densidad del efluente.

A es le área transversal del chorro o de la pluma.

ω la velocidad media en la dirección del eje del chorro o la pluma.

El flujo de cantidad de movimiento (m) se define como:

$$\rho m = \int_A \rho\omega^2 dA \quad (\text{ec.3.31})$$

Finalmente, el flujo de flotabilidad (β) es:

$$\rho\beta = \int_A g\Delta\rho\omega dA \quad (\text{ec.3.32})$$

donde:

g es la aceleración de la gravedad.

$\Delta\rho$ la diferencia de densidad entre el efluente y el medio receptor.

Sin embargo, el estudio analítico de la dilución no ha podido dar, hasta la fecha, muchas soluciones útiles para la práctica. Esto ha hecho necesario recurrir a la vía empírica, con ensayos en laboratorios o "in situ" para poder dar las soluciones que demanda la práctica.

La experiencia indica que la dilución inicial media D_1 queda definida en función de los siguientes parámetros:

$$D_1 = f(q, b, m, s, u, N, \theta). \quad (\text{ec.3.33})$$

donde:

$q = \frac{Q}{L}$, Es el caudal por unidad de longitud del difusor; Q el gasto del vertido y L la longitud del difusor.

$b = g_0^1 q$ es la flotabilidad; $g_0^1 = g(\rho_a - \rho_0) / \rho_a$; g - aceleración de la gravedad ρ_a - la densidad del medio marino en el punto de vertido; ρ_0 , la densidad del efluente.

$m = u_j q$, - es la cantidad de movimiento; u_j - la velocidad en la boquillas, L es la distancia entre las boquillas.

u , es la velocidad de la corriente en la zona.

$N = \left(-\frac{g}{\rho_a} \frac{dp}{dz} \right)^{-\frac{1}{2}}$, Es la frecuencia de flotabilidad; z ; coordenada vertical.

θ , es el ángulo formado entre la dirección de la corriente y el eje del difusor.

Con base en los parámetros presentados en la relación (ec.3.33) se puede definir tres escalas longitudinales:

$$l_q = \frac{q^2}{m} \quad (\text{ec.3.34})$$

$$l_b = \frac{q^{\frac{1}{3}}}{N} \quad (\text{ec.3.35})$$

$$l_m = \frac{m}{b^{\frac{2}{3}}} \quad (\text{ec.3.36})$$

Siendo éstas las medidas de los flujos de volumen, flotabilidad y cantidad de movimiento, respectivamente.

Introduciendo las escalas (ec.3.34), (ec.3.35) y (ec.3.36) en la relación (ec.3.33), resulta:

$$D_i = f\left(\frac{l_q}{l_b}, \frac{l_m}{l_b}, \frac{S}{l_b}, \frac{U^3}{b}, \theta\right) \quad (\text{ec.3.35})$$

Para los casos que se presentan en la práctica $\frac{l_q}{l_b}$ es mucho menor que uno y puede ser despreciado. Si se

denomina $\frac{u^3}{b}$ como F , se obtiene la siguiente ecuación general para la dilución inicial:

$$D_i = f\left(\frac{l_m}{l_b}, \frac{S}{l_b}, F, \theta\right) \quad (\text{ec.3.36})$$

En las últimas tres décadas, han sido elaborados una gran cantidad de métodos para calcular la dilución inicial para distintas condiciones y valor de los parámetros que intervienen en el fenómeno.

El análisis de la problemática aconseja que el método aplicado para el estudio de la dilución inicial contemple los siguientes factores o condiciones:

- Difusor vertiendo a través de múltiples boquillas.
- Ángulo de descarga entre las boquillas y el eje vertical arbitrario, o en su defecto 90 grados.
- Perfil de densidad arbitrario o lineal.
- Existencia de corrientes en la masa fluida receptora.
- Ángulo entre el difusor y la corriente arbitrario.
- Espesor de la pluma.

Los primeros cinco puntos son imprescindibles para un cálculo fiable de la dilución inicial, mientras que el último es necesario para la conexión correcta con el campo lejano.

Conclusiones.

El OD y la DBO, son parámetros importantes y de motivo de estudio, pues son considerados como indicadores de calidad de los sistemas ecológicos en general.

Es más importante contar con un buen modelo Hidrodinámico, que con un modelo demasiado complejo de dispersión, dado que en este estudio es más importante la dilución inicial, que la advección.

4 ORDENAMIENTO DEL LITORAL

4.1 INTRODUCCIÓN

México cuenta aproximadamente con 11500 km. de longitud de litoral, del cual el 72% se encuentra en el pacífico y el resto en el Golfo y el Caribe, esto nos da una idea del potencial de México en recursos litorales, además cuenta con uno de los Sistemas Lagunares más importante en el mundo, de ahí la importancia que significa establecer un Ordenamiento Litoral que sirva para proteger y conservar zonas costeras.

Las Lagunas costeras, que son un polo de atracción, por lo tanto es necesario realizar un ordenamiento que las proteja, tal es el caso de la Laguna de Bojorquez dentro del Sistema Lagunar Nichupté. Esta Laguna esta sometida a grandes descargas de aguas residuales y escurrimientos superficiales derivados de la temporada de lluvia que disminuye la calidad del agua de la Laguna, además de otras condiciones tales como; baja renovación de oxígeno debido al poco intercambio de masas de agua, las bajas velocidades de viento, etc., estos factores someten a la Laguna de Bojorquez a una degradación estética y Ambiental.

4.2 ZONIFICACIÓN DE USOS

Se entiende por zona Litoral, el área comprendida entre la línea de costa y la zona de rompiente. El Litoral es la parte final de los Sistemas de Saneamiento, además en el Litoral se llevan acabo innumerables actividades, que pueden variar dependiendo del clima, economía, cultura, etc.

Los espacios, se pueden clasificar en cuatro tipos que servirán de guía para la definición de los usos particulares de cada área considerada:

El objetivo de esta clasificación es definir la calidad de agua requeridas para el desarrollo de las actividades que se realicen en esa área del Litoral además de conservar y proteger la flora y fauna típica de la zona. A continuación se describen los diferentes tipos de usos de las aguas Litorales.

4.2.1 Recreativos

Se incluyen las actividades realizadas en el litoral que utilicen de forma directa o indirecta a las masas de agua consideradas, dentro de estas actividades podemos encontrar, el buceo, el windsurf, pesca deportiva, vela, etc.



Figura 4.1 El Marlin es una de las especies más gustadas en la pesca deportiva "Instituto Nacional de Ecología México."

4.2.2 Pesca y cultivos marinos

En estas actividades se incluyen las actividades relacionadas con la extracción comercial de recursos pelágicos y bentónicos renovables (pesca y marisqueo), mantenimiento, reproducción y cría de especies marinas en instalaciones artificiales que utilicen espacio litoral como zona de abastecimiento de agua.

En acuicultura, el Golfo de California tiene la mayor participación en el cultivo de camarón, ya que más del 90% se realiza en sus costas. Esta producción representó durante 1995 más de 14,000 toneladas del crustáceo.



Figura 4.2 Cultivo de Camarón en el Golfo de California “www.semarnap.gob.mx”.

4.2.3 Conservación de espacios litorales

Este uso genérico se refiere al mantenimiento de los valores estéticos, ecológicos, culturales, educativos o científicos propios de los espacios litorales.

Este uso afecta a toda la gama de ecosistemas acuáticos englobados, cuyo límite con el medio continental vendrá impuesto por el área de influencia de la marea, y por lo tanto, implicará la existencia de zonas cuyas características hidrodinámicas, biológicas, ecológicas, etc., sean diferentes.



Figura 4.3 Biodiversidad Arrecife típico, Cancún Quintanarro, México “www.semarnap.gob.mx”.

4.2.4 Industriales

Estos abarcan las actividades usuales en el Litoral, todas aquellas que tengan que ver con el tráfico portuario definido como las operaciones de entrada, salida, atraque, desatraque, estancia y reparación de buques en puertos y las de transferencia de estos entre tierra y otros medios de transporte de mercancías de cualquier tipo, de pesca, de pasajeros o tripulantes, así como el almacenamiento temporal de dichas mercancías en el espacio portuario, siempre que se realicen dentro de los espacios acuáticos que estén dotados en el medio terrestre con las instalaciones necesarias para su desarrollo.



Figura 4.4 "ICAVE" Terminal de contenedores puerto de Veracruz, México, Puerto de Veracruz.

4.2.5 Ordenamiento ecológico

La planeación del uso de los recursos naturales a través del ordenamiento ecológico se basa en la determinación del potencial de los terrenos, en función de un posible uso agrícola, ganadero, industrial, forestal, urbano, de servicio etc. El uso potencial, tal como se considera en la planeación, consiste en determinar, bajo el punto de vista humano, la capacidad de usar el territorio y sus ecosistemas sin riesgo de degradación. Bajo este punto de vista, el interés por reglamentar el uso del suelo es de varios años atrás como se puede observar en los antecedentes históricos de la planeación en México.

Para realizar el ordenamiento ecológico se debe contar con un marco conceptual basado en la teoría de sistemas complejos, el cual pueda ser incorporado al desarrollo metodológico establecido, ya que el ordenamiento ecológico involucra aspectos como el medio físico-biótico y abiótico, la actividad productiva, el desarrollo tecnológico, las relaciones y la organización social, la política económica, etc., y tales situaciones se caracterizan por la confluencia de múltiples procesos cuyas interrelaciones constituyen la estructura de un sistema como es el caso del territorio nacional.

En México el INE (Instituto Nacional de Ecología), es la institución a cargo del ordenamiento ecológico, que lo define como: el instrumento de planeación que regula el emplazamiento de las actividades productivas; para su elaboración se considera, la naturaleza y características de los ecosistemas en el territorio nacional, la distribución de la población y las actividades económicas predominantes; el deterioro de los ecosistemas por efecto de las actividades económicas o fenómenos naturales y las expectativas de desarrollo sectoriales y regionales.

La formulación del Ordenamiento Ecológico del Territorio es un proceso de planeación participativa que incorpora a grupos y organizaciones sociales y empresariales, instituciones académicas y de investigación, a la administración pública y al público en general.

El Ordenamiento Ecológico coadyuva a promover el desarrollo sustentable a partir de la definición de los usos del suelo y criterios ecológicos para el aprovechamiento del territorio nacional sentando las bases para la restauración y recuperación de la base natural del desarrollo económico y social del país y es uno de los lineamientos estratégicos de la política ambiental.

En México el Ordenamiento Litoral se lleva a cabo tomando en cuenta los puntos antes mencionados, sin embargo son pocas las regiones que cuentan con un ordenamiento ecológico establecido y supervisado, las zonas que cuentan con un ordenamiento ecológico son por lo regular zonas cuya actividad económica social, cultural muy importante en el ámbito nacional.

El Ordenamiento Ecológico General del Territorio es de carácter nacional y su objetivo es definir los grandes lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la localización de actividades productivas y asentamientos humanos.

Las disposiciones del Ordenamiento Ecológico General son obligatorias para la administración pública federal y concurrente para estados y municipios, lo cual permitirá la administración integrada del territorio. Se pueden identificar tres tipos de ordenamiento para el territorio nacional, estos son:

1. Ordenamiento Ecológico Regional
2. Ordenamiento Local
3. Ordenamiento Marino

Ordenamiento Ecológico Regional.- Cubre dos o más municipios con características homogéneas en cuanto a sus recursos naturales, población y actividades económicas. Define lineamientos ecológicos para el establecimiento de las actividades productivas y los asentamientos humanos.

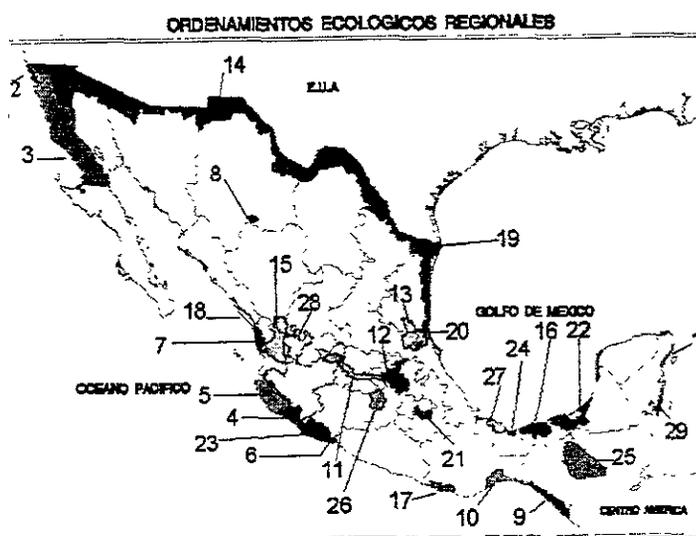


Figura 4.5. Ordenamientos ecológicos regionales en México. " www.ine.gob.mx ".

No	Ordenamientos Ecológicos Decretados
1	Corredor Cancún-Tulum, Q. Roo.
2	Corredor Tijuana Ensenada, B.C.
3	Estatad de Baja California.
4	Estatad de Colima.
5	Costa de Jalisco
6	Lázaro Cárdenas, Mich.

No	Ordenamientos Ecológicos Terminados Técnicamente
7	Costa de Nayarit.
8	Hidalgo del Parral, Chih.
9	Costa de Chiapas.
10	Istmo (Salina Cruz), Oax.
11	Corredor Industrial del Bajío.
12	Presa Hidroeléctrica de Zimapán.
13	Pujal-Coy.
14	Frontera Norte.
15	Aguamilpa, Nay.
16	Región Centro Noreste de Tabasco.
17	Región Costera de Oaxaca.
18	Región Costa Sur de Sinaloa.
19	Región Costera de Tamaulipas.
20	Desembocadura del Río Pánuco.
21	Centro-Poniente de Puebla.
22	Costa de Campeche.
23	Costa de Michoacán.
24	Cuenca Baja Del Río Coatzacoalcos, Ver.

No	Ordenamientos Ecológicos en Proceso
25	Selva Lacandona, Chis.
26	Mariposa Monarca.
27	Ordenamiento Ecológico de los Tuxtlas, Ver.
28	Ordenamiento Ecológico Estatal de Jalisco.
29	Ordenamiento Ecológico Costa Maya, Q. Roo
30	Ordenamiento Ecológico de la Región Costa Centro-Norte de Sinaloa

Ordenamiento Local.- Es de carácter municipal y regula, fuera de los centros de población, los usos del suelo con el propósito de proteger el ambiente y preservar, restaurar y aprovechar, de manera sustentable, los recursos naturales respectivos.

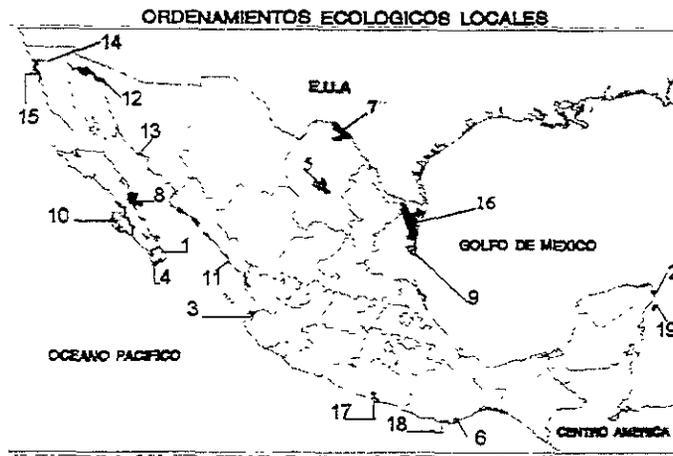


Figura 4.6 Ordenamientos ecológicos locales en México ” www.ine.gob.mx.”.

No	Ordenamientos Ecológicos Decretados
1	Municipio de Los Cabos, B. C. S
2	Sistema Lagunar de Nichupté, Q. Roo
2	Bahía Banderas, Nay.
4	Corredor de Los Cabos, B. C. S
5	Cuatrociénegas, Coah.

No	Ordenamientos Ecológicos Terminados Técnicamente
6	Bahías de Huatulco, Oax.
7	Presa la Amistad, Coah.
8	Corredor Loreto-Nopoló-Puerto Escondido, B. C. S.
	Pesca, Tamps.
10	Puerto San Carlos, B. C. S.
11	Estero El Sábalo, Sin
12	Puerto Peñasco, Son.
13	Bahía de San Francisco, Son.
14	Ensenada, B. C.
15	Bufadora-Estero de Punta Banda, B. C.
16	San Fernando, Tamps.
17	Acapulco-Punta Diamante-Tres Palos Gro.
18	Región Costera de Santa María Tonameca, Oax.

No	Ordenamientos Ecológicos en Proceso
19	Ordenamiento Ecológico de Isla Cozumel, Q. Roo.

Ordenamiento Marino.- Define los lineamientos, estrategias y demás previsiones para la regulación de las actividades productivas y obras o actividades que puedan afectar los ecosistemas respectivos y la zona federal adyacente.

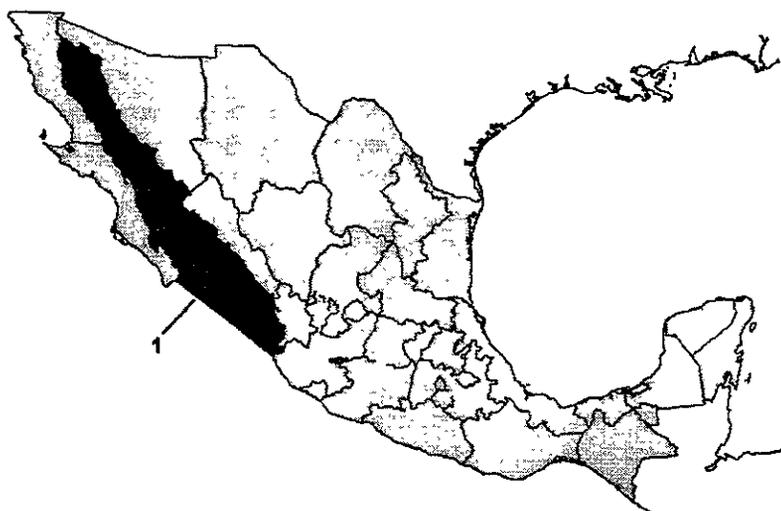


Figura 4.7 Ordenamiento Marino del Mar de Cortés “ www.ine.gob.mx ”.

No.	Nombre del Ordenamiento
1	Ordenamiento Ecológico del Mar de Cortés

Como se puede observar, el ordenamiento y la designación de usos del Litoral queda sujeta a una serie de irregularidades al no estar bien definido, salvo el caso del Mar de Cortés. Es por ello que las diferentes actividades que se llevan a cabo en el Litoral queda a disposición de las autoridades locales y en muchas de las ocasiones no se cuenta con el personal capacitado para poder llevar a cabo esta labor.

4.3 ZONIFICACIÓN

Una vez definido los usos a los cuales se destinarán las regiones es importante hacer una zonificación de estas áreas, de esta forma el Ordenamiento Ecológico del Territorio se ofrece como un instrumento estratégico para un desarrollo regional sustentable, ofreciendo espacios de concurrencia intergubernamental y con el sector privado, universidades y organizaciones sociales, para planear y regular los usos del suelo y el aprovechamiento de ecosistemas y recursos naturales.

El Ordenamiento ecológico del Territorio establece un contexto ecológico y regional para la planeación del desarrollo urbano, y genera reglas claras de ocupación y uso del territorio que reducen la incertidumbre en la toma de decisiones públicas y privadas, favoreciendo un marco institucional para la sustentabilidad del desarrollo de las zonas delimitadas.

Por ello se hace necesario delimitar estas zonas en función de las actividades realizadas a demás de otros factores de tipo social, comercial, etc. encaminados a la conservación ecológica del lugar delimitado.

Entre las actividades realizadas en las aguas cercanas al litoral se encuentran algunas de gran importancia debido a su contribución económica, tales como; pesca comercial, deportiva, la acuicultura, a demás del turismo en las costas y puertos.

Por ello es de gran importancia realizar la zonificación de las actividades a realizar ya que se establecen las bases para la conservación de los recursos marinos y ecológicos de zona, la estética, la calidad de agua requerida para la conservación entre otros parámetros.

La pesca deportiva detonó el desarrollo de hoteles, marinas y embarcaciones en varios sitios del Golfo de California en México, esta zona se destaca por su pesca de especies como el marlín, pez vela, el dorado, las cabrillas, sierra y pargos.

Las Áreas Naturales Protegidas pueden desempeñar un papel importante como promotoras de la pesca deportiva responsable. Dentro de la zonificación también pueden establecerse zonas protegidas, debido a su importancia ecológica y al gran impacto que significaría perder estas zonas, a continuación en la *Figura 4.8* se muestra un mapa con las zonas protegidas en el Mar de Cortés en México.

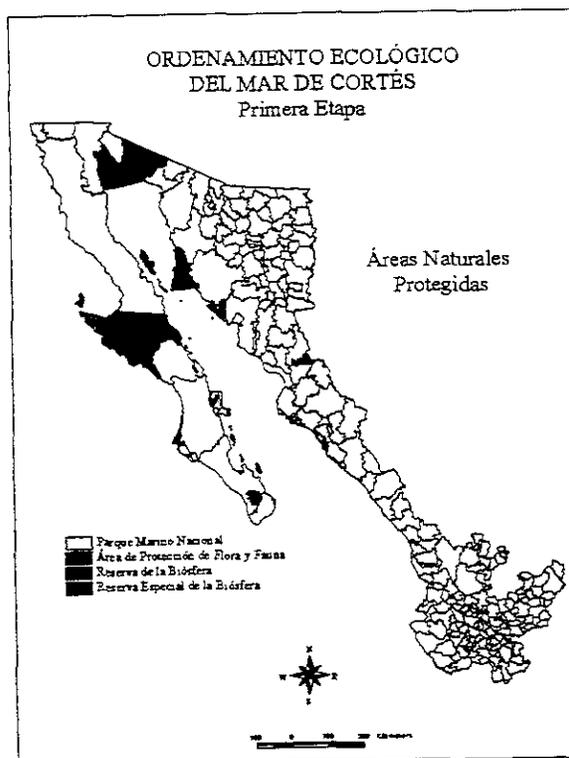


Figura 4.8 Ordenamiento ecológico del Mar de Cortés México. “www.ine.gob.mx”.

El turismo es una de las industrias más importantes dentro de nuestro país en generación de divisas, en la planeación y desarrollo de estos centros turísticos es necesario contar con un plan general de desarrollo.

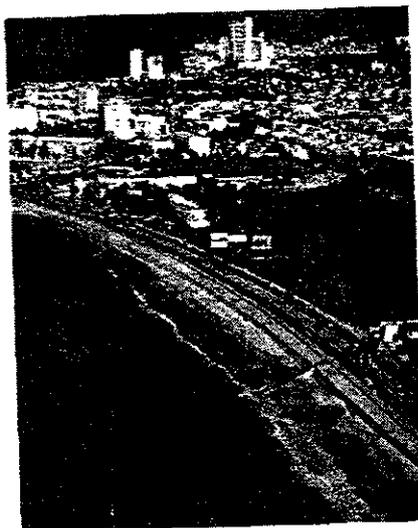


Figura 4.9 desarrollo turístico nacional "www.ine.gob.mx".

Es importante destacar que para el desarrollo de las actividades antes mencionadas es necesario delimitar zonas de desarrollo, dentro del marco establecido en la definición de usos.

4.4 ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS DE CALIDAD

Una vez definido el uso de los espacios litorales, así como las actividades que se van a desarrollar dentro de sus aguas es necesario determinar los parámetros de calidad que cumplan ampliamente con los objetivos planteados para la actividad a desarrollar, puede pasar que mientras un requerimiento de calidad sea ampliamente satisfactorio para una actividad como la de un puerto comercial, es insuficiente para la conservación de un arrecife o en una granja de cría de camarón.

En nuestro país la secretaría de medio ambiente, recursos naturales y pesca es el organismo encargado de dictar las normas para el cuidado y conservación de los niveles de contaminación de las aguas nacionales, la norma NOM-001-ECOL-1996, establece dichos límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluvial.

La vigilancia del cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Una vez definidos los usos se establecen los objetivos de calidad asociados a cada una de las zonas, delimitadas en la zonificación, en la Tabla 1 se especifican algunos de los posibles objetivos para cada tipo de uso genérico.

USO DEL LITORAL	OBJETIVO DE CALIDAD
Recreativo	El mantenimiento de una calidad del medio ambiente que evite el deterioro estético del ambiente y proteja la salud de los usuarios.
Pesca y Cultivos	Una calidad del medio que permita el desarrollo de los recursos marinos naturales, cultivados con la calidad requerida para su consumo.
Conservación de espacios Litorales	Una calidad del medio tal que proteja la flora y fauna típica.
Industriales	Una calidad del medio marino que evite el problema para el desarrollo normal de las actividades y proteja a esas zonas de un deterioro estético.

Tabla 1. Objetivos de calidad asociados a determinados usos del litoral. "Metodología de estudio de los Saneamientos Litorales Edición Base, Oviedo, Diciembre de 1995".

En la Tabla 2 y 3 se muestran los límites máximos permisibles para contaminantes básicos, metales pesados y cianuros que se encuentran en la legislación Mexicana referente a ríos, embalses naturales y artificiales así como aguas costeras.

Como se puede observar en la Tabla 2 y 3, si bien ya se establecen límites máximos de contaminantes, aun la norma es muy general por lo tanto se deja un espacio en el cual no se definen zonas específicas que pueden ser muy vulnerables a los vertidos de sustancias contaminantes.

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES		
	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 2

FRECUENCIA DE MUESTREO			
HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Tabla 3

Por otro lado, dentro de la legislación actual en materia de vertidos de contaminantes a cuerpos de agua, tenemos otro aspecto importante, dado que muchos de los municipios y no municipios no cuentan en la actualidad con la infraestructura suficiente para poder cumplir con los límites establecidos, teniendo en cuenta esto las autoridades establecen plazos para poder cubrir con estos requisitos, en este tiempo deberán realizar las obras necesarias para poder cubrir los límites de vertidos contaminantes. En la Tabla 4 y 5 se establecen las fechas de cumplimiento, rangos de población y cargas contaminantes.

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Tabla 4

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO T/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

Tabla 5

TABLA 2

PARAMETROS		LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
		RÍOS			EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						AGUAS COSTERAS			SUELO								
		Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales Naturales (B)		
P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A	N.A	1	2
Sólidos Suspendedos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60	75	125	40	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60	75	150	30	60
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25	40	60	15	25
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10	20	30	5	10

(1) Instantáneo (2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable. (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos. Au. = Ausente

TABLA 3

Parámetros (*)	EFECTOS VIGILADOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																			
	Ríos				Embalses Naturales y Artificiales				Aguas Costeras				Suelo							
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales Naturales (B)	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario P.M. = Promedio Mensual N.A. = No es aplicable
 (A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 4 y 5 de esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de esta Norma en el Diario Oficial de la Federación.

Para poder evaluar si se están cumpliendo los criterios de calidad en los diferentes municipios y no municipios, se requiere un elemento que compruebe el funcionamiento correcto de todos los componentes planteados, este es el Plan de Vigilancia y Control Ambiental, que se trató en el capítulo cinco de esta tesis.

4 CONCLUSIONES

El ordenamiento del Litoral es un instrumento necesario, en la Metodología del Sistema Integral de los Sistemas de Saneamiento.

Con el ordenamiento Litoral, es posible dar una instrumentación a las actividades que pueden realizarse, tomando en cuenta aspectos de tipo, ambiental, social, económico etc., sin que atente contra la calidad y conservación ecosistema.

5 DISEÑO DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO LITORAL

5.1 INTRODUCCIÓN

Cuando se va a llevar a cabo una obra civil de cualquier tipo surge prevención, cuando no rechazo, del público hacia la misma. Esto con motivo de anteponer las posibles molestias a los beneficios que la obra traiga, esto es como consecuencia lógica de la realización masiva, a lo largo de muchos años, de obras que no tenían como parámetro de diseño la conservación y el respeto al medio ambiente.

Bajo esta necesidad llega la Evaluación de Impacto Ambiental, que sirve como instrumento de regulación entre el desarrollo de una infraestructura, que potencie el desarrollo sostenible y el respeto al Medio Ambiente; por lo que está no debe entenderse, como algo impuesto y que solo obstaculiza la ejecución de proyectos, sino, para hacerlos compatible con los habitantes y el medio ambiente.

Podemos definir a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), como un instrumento en la toma de decisiones cuyo principio básico es la participación pública. Entonces, la EIA aporta el punto de vista ambiental al conjunto de factores que deben tenerse en cuenta por quien toma la decisión y que condiciona su discrecionalidad desde puntos de vista técnicos, económicos, sociales, financieros, etc.

5.2 DISEÑO AMBIENTAL DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO

5.2.1 Recopilación y generación de datos

La recopilación de información se hace con la finalidad de disponer de una base de datos que satisfaga las necesidades del diseño del SSL, estos datos comprenden registros de precipitación, datos sociológicos, meteorológicos, hidrológicos, oceanográficos, físicos, biológicos etc. En la mayoría de los casos no se disponen de todos los datos requeridos o estos no cuentan con la calidad lo suficientemente buena, por lo cual se hace necesario de generar la información, en ocasiones por medio de campañas de campo, muestreos, consulta de acervos de Instituciones, o Gobiernos por mencionar algunas.

5.2.2 Batimetría

Es uno de los datos de partida en el estudio de saneamiento litoral la batimetría contiene la configuración del fondo marino, describiendo los lados de igual profundidad en esta región así como el contorno de las zonas que son necesarias en el estudio, la batimetría debe irse dando tan cerrada como lo disponga el proyecto, esta situación da pie a un nuevo problema que es el costo de la información puesto que este tipo de trabajos puede ser un costo significativo al costo total del estudio, sin embargo si es necesario el detalle en la batimetría este costo está más que justificado.

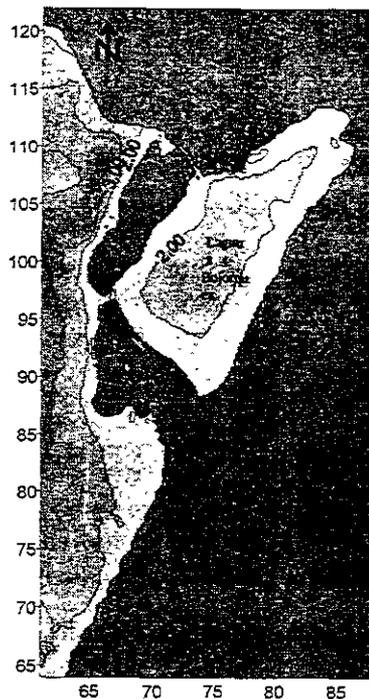


Figura 5.1. Batimetría del Sistema Lagunar Nichupté. Instituto de Ingeniería U.N.A.M. "Estudio Hidrodinámico y de Calidad de Agua de la Laguna de Nichupté. Influencia de un canal artificial".

5.2.3 Vientos

El viento es otro factor importante en el estudio de los sistemas de saneamiento litoral, pues puede significar un mayor grado de mezcla, o en el cambio de dirección de las masas de agua de la zona de estudio, solo por mencionar algunos otros factores. Como la Tierra no está fija ni tiene una superficie uniforme y regular, cada una de sus partes o regiones recibe distinta cantidad de calor solar, principalmente a causa de la distribución de las tierras y de los mares, además de las corrientes verticales por convección, se producen movimientos horizontales de aire por la superficie terrestre o paralela a ella. Estos flujos horizontales de aire, debidos a las desigualdades de temperatura, se denominan vientos. Ocasionalmente, cuando el desplazamiento horizontal apenas es perceptible, hasta el punto de que los instrumentos convencionales no registran movimientos de aire, se dice que éste está en calma. El movimiento del aire es el resultado de la acción de varias fuerzas, en especial las fuerzas de presión y fricción. El movimiento de rotación de la Tierra y la configuración orográfica de la misma determinan vientos generales, periódicos y locales. El aire circula siempre empujando de un centro o zona de alta presión a un centro o zona de presión más baja, a fin de anular la diferencia existente entre ambas.

El impulso del viento depende de las variaciones de presión, pues cuanto más pronunciadas son éstas mayor es el impulso y fuerza del viento. Una vez que el viento empieza a soplar, entran en juego varios factores, entre ellos la fuerza producida por la rotación del planeta, llamada fuerza de Coriolis, y la fricción de la corriente con los accidentes orográficos.

El viento no sopla con regularidad, sino a ráfagas, a pulsaciones. También varía constantemente de dirección. Sólo para corrientes muy débiles del orden de los cuatro metros por segundo, fluye el aire con estructura laminar. En cuanto rebasa ese límite, variable con la geometría del terreno, ya aparece el fenómeno de turbulencia, muy predominante a poca altura sobre el suelo.

5.2.3.1 La circulación general

Como las regiones ecuatoriales reciben más calor solar que las polares, eso determina, en general, el desplazamiento de aire entre las latitudes altas y bajas. En el ecuador, el aire caliente asciende y disminuye la presión cerca del suelo, al paso que aumenta por encima de éste. El resultado pues, es que cerca de la superficie terrestre la presión atmosférica o barométrica es mayor en los polos que en el ecuador, mientras que en las capas de aire más elevadas la situación es inversa. Con el fin de equilibrar esas diferentes presiones, el aire ecuatorial pasa hacia los polos en las regiones altas (vientos contraalisos), mientras que el polar se desplaza hacia el ecuador cerca de la superficie terrestre (vientos alisos).

Pero esta descripción general también tiene complicaciones y particularidades, pues el aire ecuatorial calentado que asciende y se desvía hacia los polos, se enfría gradualmente a medida que avanza y desciende a tierra a una latitud aproximada de 30° Norte y Sur. Parte de esa corriente retorna hacia la región de baja presión constante en el ecuador, mientras que el resto sigue su camino hacia el polo, pero a nivel del suelo. Finalmente, ese aire enfriado, que llega hasta los límites del polo, se encuentra con otro más denso, que se separa del polo hasta una latitud de 60°, y se eleva sobre el mismo. Este proceso nos indica que, además de la región de baja presión existente en el ecuador y las de elevada presión de los polos, hay círculos de presión intermedia: uno, de alta presión, alrededor de la latitud 30°, determinado por el aire descendente; y otro, de baja presión alrededor de la latitud de 60°.

5.2.4 La fuerza de Coriolis

Si no fuese por el movimiento de rotación de la Tierra, los vientos superficiales producidos por la circulación general, soplarían hacia el Norte o hacia el Sur. Pero no ocurre así debido a que las distintas partes del globo giran a diferentes velocidades. Como la circunferencia ecuatorial es de 40.076 km, un punto situado sobre la misma recorrerá esa distancia en 24 horas, o sea, que completará una revolución, lo que da una velocidad de más de 1.60 km/hr. Pero como el diámetro se va reduciendo con la latitud, hasta no existir en los polos, la distancia que debe de recorrer un punto para completar una revolución en 24 horas disminuye hacia los polos, por lo que la superficie terrestre se desplaza más lentamente.

El efecto de rotación de nuestro planeta, que gira sobre su eje de Oeste a Este, se llama fuerza de Coriolis, y hace que los vientos se desvíen o desplacen hacia su derecha en el hemisferio Norte, y hacia su izquierda en el hemisferio Sur.

La fuerza de Coriolis desempeña un papel primordial en la determinación de la dirección del movimiento del aire en las grandes masas en rotación de la atmósfera, por lo que rige la circulación de los ciclones, anticiclones y huracanes tropicales. La magnitud de esta fuerza es cero en el ecuador

y alcanza su máximo valor en los polos, donde su magnitud es igual al doble producto de la velocidad del viento por la velocidad angular de la Tierra.

Los vientos ejercen también gran influencia en el clima de México. Durante la estación húmeda de marzo a septiembre, los vientos soplan de ESE. a ENE. en el Golfo de México, interrumpidos a veces en junio, julio y agosto por vientos del N. En la estación seca a mediados de septiembre a mediados de marzo, reinan los nortes, flojos en septiembre y octubre, fuertes y continuos en diciembre, enero y febrero.

En el Golfo de México se sabe que se van a experimentar los vientos del NW y del NNW, frecuentes de noviembre a febrero, por un gran aumento de la humedad, y sobre todo por el barómetro que, después de haber bajado bastante, comienza a subir poco antes del mal tiempo.

Este dura dos o tres días y por lo general con mucha lluvia y un tiempo muy sombrío; va precedido casi siempre por una nube negra que se posa al NW a la mañana y tarde algo elevada sobre el horizonte a veces dos o tres días antes de declararse el mal tiempo.

Elementos que caracterizan al viento

Los elementos que caracterizan al viento son tres:

- a) Dirección en la que sopla
- b) Intensidad o velocidad con que sopla
- c) Frecuencia o número de veces que se presenta con determinadas características durante un lapso cualquiera, utilizándose normalmente la hora, el día, mes, estación o año.

5.2.5 El oleaje

Rara vez se puede encontrar un cuerpo de agua abierto a la atmósfera que no tenga oleaje sobre su superficie, este oleaje puede ser importante en la decisión de la ubicación de descargas de aguas residuales. Esas olas son una manifestación de las fuerzas que actúan en el fluido tendiendo a deformarla contra la acción de la gravedad y la tensión superficial, las cuales actúan de forma conjunta para mantener un nivel de la superficie del fluido. Por tanto el oleaje requiere una fuerza de algún tipo, tal como sería la causada por el viento o el impacto causado por la caída de una piedra sobre el agua, para crearlo. Una vez que estas son generadas, las fuerzas gravitatorias y la tensión superficial permiten su propagación, de la misma manera que la tensión sobre una cuerda permite que esta vibre.

La importancia del oleaje no debe ser subestimada. Todo lo que está cerca o en cuerpo de agua esta sujeto a la acción del oleaje. En la costa, este puede ser el origen del movimiento de arena a lo largo de la playa, causado por la erosión o daño a estructuras durante una tormenta. En el agua, las plataformas petrolíferas deben ser capaces de soportar severos huracanes sin ser destruidas, y además, todas las embarcaciones están sujetas a la acción del oleaje.

El oleaje real que se produce en el área de generación es un fenómeno extraordinariamente complejo. En este oleaje no existe repetibilidad ni en el espacio ni en el tiempo. Dada la gran altura de una ola en un punto determinado no es posible predecir la altura en ese punto de la siguiente ola. Lo complejo del fenómeno, su irregularidad y variabilidad, no puede ser representado por el modelo

sencillo de una onda y solo es razonable abordarlo por métodos estadísticos, considerando el oleaje como un fenómeno aleatorio

Se llama área de generación aquella región donde existe transferencia de energía del viento hacia la superficie del mar. Allí el fenómeno es completamente aleatorio. El oleaje se propaga en diferentes direcciones aunque la dirección dominante es la dirección del viento. Conforme envejece el proceso y se propaga, las olas generadas se superponen a las olas locales y al acercarse a la plataforma costera las ondas sufren un proceso de refracción, soldado y filtrado cuyo efecto combinado hace de la superficie caótica algo más simple, produciéndose fenómenos que presenta cierta periodicidad.

El primer intento contemporáneo de predicción de las características de las ondas aleatorias se debe a los trabajos realizados por Svedrup y Munk durante la Segunda Guerra Mundial, como parte de la preparación del desembarco aliado en las costas de Normandía, el día D. Estos trabajos, parte del secreto militar fueron puestos a disposición al público hasta 1947. Un notable adelanto respecto a ellos fue el trabajo de Bretschneider (1952-1957).

Los trabajos de Newman (1953) y Pierson (1954) introducen el concepto de presentación espectral de las ondas oceánicas en el dominio de la frecuencia. A estos siguieron estudios de análisis estocástico de las ondas oceánicas, Pierce(1957).

En los estudios de Rice (1944-1945) se desarrollaron las relaciones analíticas entre energía espectral y probabilidad de amplitud de onda en un proceso gaussiano aleatorio, aplicado al campo de las comunicaciones. Este trabajo pionero permitió a través del análisis espectral hacer una evaluación de los diferentes parámetros (promedio y altura característica de la onda) características de un estado de mar.

En las últimas décadas el número de trabajos, sobre todo de aplicación ha aumentado enormemente, sin embargo, pocos son los que tratan modelos estadísticos y estocásticos, aparte de los de Pierson (1955), Borgman (1972) y Battjes (1977).

5.2.5.1 Tipos de oleaje

Las características de las olas dependen de factores muy variados, como el viento, que estén dentro del fetch o que no estén dentro del área de generación. Dentro de la enorme variabilidad de estados conviene caracterizar dos tipos extremos. Las palabras inglesas SEA y SWELL han sido aceptadas para su denominación.

El oleaje SEA

Este tipo de oleaje se produce en la zona de generación en alta mar. Allí se aprecian muy pocas veces crestas de cierta longitud y no existen periodos definidos. Se caracteriza por la irregularidad, por la superficie líquida caótica, multitud de direcciones de avance que no producen crestas ni senos definidos, carentes de periodicidad.

En el estado SEA se presentan claramente dos características:

- Asimetría
- Apuntalamiento (gran peralte)

Con viento fuerte pueden formarse verdaderas montañas de agua en cualquier punto, las cuales a su vez soportan miles de protuberancias menores. En este tipo de oleaje no pueden medirse períodos ni longitudes de onda. Las alturas de las olas son impredecibles. Dada una ola de una altura determinada la siguiente puede ser mucho más pequeña o mucho mayor.

El oleaje SWELL

Cuando la ola envejece y abandona el área de generación se presentan tres fenómenos en las olas:

- Pierden energía pues la onda viaja a expensas de su propia energía. (Decay).
- Sufre una doble dispersión:

Dispersión angular pues la ola se dispersa en todas direcciones.

Dispersión radial pues como la velocidad es función directa del período, en una dada dirección las ondas más largas viajan más rápido. Se produce pues un filtrado de olas.

- A estos fenómenos anteriores hay que adicionar el fenómeno de soldadura. Las ondas de períodos cercanos se sueldan en largas crestas de onda lo que hace que la superficie caótica del SEA se vaya simplificando. Al envejecer la onda y sobre todo al abandonar el área de generación van tendiendo a un oleaje de tipo SWELL.

Esto se va acentuando sobre la plataforma costera, en profundidades reducidas donde a los fenómenos anteriormente citados se agrega la refracción que hace que las ondas tiendan a progresar en forma paralela a las batimétricas.

El oleaje que se acerca a la costa es, pues, más regular, se forman frentes de cresta largas, hasta varios centenares de metros y el período y la longitud entre olas sucesivas difiere poco. Surge una periodicidad, las direcciones no son tan dispersas sino que existen direcciones predominantes, En fin se puede decir que el fenómeno presenta cierto orden.

5.2.6 Mareas

Las mareas son producidas principalmente por la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol, existen dos tipos de mareas que son las astronómicas y las mareas de tormenta en este trabajo solo se exponen las primeras, estas mareas pueden llegar a representar un cambio importante en el volumen de agua contenida en una zona tal sea el caso de una laguna costera afectando directamente en el estudio de sistemas de saneamiento litoral pues pueden ayudar o desmejorar las condiciones en la calidad de agua de la zona de estudio.

Las mareas astronómicas son una combinación de las fuerzas gravitatorias y centrífugas de los sistemas Tierra-Luna y Tierra-Sol, las fuerzas productoras de mareas resultan de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol, son similares en su acción y sus expresiones matemáticas, por ejemplo la fuerza productora de mareas de la Luna es aquella porción de su atracción gravitacional que hace efectiva el cambiar el nivel del agua en la superficie terrestre. La intensidad con la que un cuerpo pesado atrae a una partícula de materia en la Tierra, varía directamente proporcional a su

masa e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Es interesante hacer notar que, aunque la atracción del Sol sobre la Tierra es cerca de 200 veces mayor que la de la Luna, su fuerza productora de mareas es menor que la mitad de la de Luna.

Las mareas astronómicas pueden ser de los siguientes tipos:

1. Diurna. Una pleamar y una bajamar por ciclo, en un período de 24 hrs 50 min. (valor promedio)
2. Semidiurna. Dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos con período de 12 hrs 25 min. cada uno (valor promedio), las amplitudes de ambas son sensiblemente semejantes.
3. Mixta. Dos pleamares y dos bajamares durante dos ciclos sucesivos, con período de 12 hrs 25 min. cada uno (valor promedio), las amplitudes de ambas presentan diferencias notorias desigualdad horaria.

Explicar por qué en un cierto lugar de la Tierra se presentan uno de los tres tipos es difícil. Por ejemplo, las mareas en el Golfo de México son del tipo diurno o mixto diurno (amplitud media del orden de 0.45 m), mientras que en pacífico mexicano se encuentran mareas mixtas semidiurnas (amplitud media de 1.10 m a 1.60 m) y en la zona del Golfo de California, aunque también son del tipo mixto semidiurno, sus amplitudes son mayores (superior a 5.00 m).

La amplitud de la marea varia día con día. La marea viva ocurre cuando la Luna Nueva y Luna Llena, y el Sol están en el mismo lado de la Tierra. Cuando la posición de la Luna esta en primer y tercer cuarto, la amplitud de la marea es más pequeña y se presenta la marea muerta.

5.2.6.1 Tratamiento armónico de datos de marea

El análisis armónico de mareas está basado en la suposición de que el alza y la baja de la marea, en cualquier localidad, puede ser expresada matemáticamente por la suma de una serie de términos armónicos teniendo cierta relación con consideraciones astronómicas. La ecuación general para la altura (h) de la marea en cualquier tiempo (t) puede ser escrita como una serie de la siguiente forma:

$$h = H_0 + H_1 \cos(at + k_1) + H_2 \cos(bt + k_2) + H_3 \cos(ct + k_3) \quad (\text{ec.5.1})$$

donde H_0 es la altura del nivel medio del agua sobre datos utilizados. Los demás términos se explican a continuación:

Cada término de coseno en la ecuación (1) es conocido como COMPONENTE DE MAREA. Los coeficientes H_1 , H_2 , H_3 , etc. son las AMPLITUDES DE LAS COMPONENTES de mareas y se derivan de los datos de observación de marea de cada localidad. La expresión en paréntesis es un ángulo que varia uniformemente y su valor en cualquier tiempo es llamado la FASE. Cualquier componente tiene su valor máximo positivo cuando la fase del ángulo es cero y su valor máximo negativo cuando la fase es 180° , y el término se vuelve cero cuando la fase es 90° o 270° . El coeficiente de t representa la relación de cambio en la fase y es llamada la VELOCIDAD de la componente y es usualmente expresada en grados por hora. El tiempo requerido por una componente

para pasar a través de un ciclo completo se conoce como PERÍODO y se puede obtener dividiendo 360° entre su velocidad.

Los períodos y velocidades correspondientes de las componentes son derivados de datos astronómicos y son independientes de la localidad de la estación de marea.

Las amplitudes y fases de mareas se calculan con las siguientes expresiones:

$$H = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (\text{ec.5.2})$$

donde:

$$A = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos vt dt \quad (\text{ec.5.3})$$

$$B = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin vt dt \quad (\text{ec.5.4})$$

$x(t)$ - Registro de medición de la marea del puerto en cuestión

v - Velocidad del constituyente

La fase del constituyente se calcula con:

$$\xi = -\tan^{-1} \frac{B}{A} \quad (\text{ec.5.5})$$

Otros factores que son importantes en el estudio de sistema de saneamiento litoral son los del tipo físico-químico como lo es la cantidad de Oxígeno Disuelto, la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el consumo de oxígeno por sedimento, la generación de oxígeno por Fotosíntesis, etc.

5.3 PROCESO DE APOORTE DE OXÍGENO

5.3.1 Reaereación Atmosférica

La experiencia indica que el cambio en la concentración de Oxígeno disuelto se describe adecuadamente considerado que la variación en su concentración es proporcional al déficit del mismo, es decir, a la diferencia entre la concentración de saturación de dicho gas C_s y su concentración actual, este parámetro es muy importante pues puede tomarse como un indicador del índice de calidad de sistema ecológico.

$$\frac{d(OD)}{dt} = K_1(C_s - OD) \quad (\text{ec.5.6})$$

El coeficiente K_1 en la ecuación anterior, expresa la rapidez con la cual la concentración de saturación del oxígeno disuelto se recupera y depende principalmente de dos factores:

- El estado turbulento del sistema acuático(proporcional a la velocidad media, U).
- La mezcla ejercida por el viento a la velocidad media del viento, W .

Una de las expresiones más aceptadas para obtener el valor de K_1 es la siguiente:

$$K_1 [\text{dia}^{-1}] = 13 \left[\frac{U^{0.5}}{H^{1.5}} + \frac{W}{H} \right] \quad (\text{ec.5.7})$$

donde H es la profundidad.

La concentración de saturación de Oxígeno disuelto C_s se deriva de la Ley de Henry quien establece que a, temperatura constante, el peso de cualquier gas disuelto en un volumen dado de líquido es proporcional a la presión que e gas experimenta por parte del líquido.

$$C_s = \frac{1}{H_e} P \quad (\text{ec.5.8})$$

donde H_e es la constante de Henry (mm Hg/(mg/L)) y P la presión del gas (en este caso el oxígeno(mmHg)). Una de las expresiones más aceptadas para estimar el valor de C_s es la siguiente:

$$C_s = 14.652 - 0.08441S + T(0.0026S - 0.41022 + T(0.007991 - 0.000374S - 0.000077774T)) \quad (\text{ec.5.9})$$

5.3.2 Fotosíntesis

La presencia de organismos fotosintéticos en sistemas acuáticos tiene un efecto muy importante sobre el aporte de oxígeno disuelto en los mismos. Esta importancia radica en la capacidad de sintetizar materia orgánica y oxígeno de los organismos a partir de sustancias inorgánicas, utilizando la energía luminosa, a través del proceso conocido con el nombre de fotosíntesis.



Como la concentración de saturación del oxígeno disuelto se encuentra definida por la salinidad y la temperatura, el aporte de oxígeno vía fotosíntesis puede dar lugar a la presencia de concentraciones de oxígeno disuelto de sobresaturación, siendo comunes aquéllas que superan entre 50 y 100% la concentración de saturación. Valores típicos de máxima producción fotosintética oscilan entre 3 y 10 gO_2 / m^2 .

5.3.3 Procesos de pérdida de oxígeno

5.3.3.1 Oxidación de Materia Orgánica Carbonosa.

El consumo de oxígeno por degradación biológica del complejo material orgánico contenido en las aguas residuales, se mide en conjunto a través de la demanda bioquímica de Oxígeno (DBOC). Así, esta demanda representa el oxígeno consumido que equivale a la cantidad de material carbonoso que es oxidado (asimilado por el medio). La oxidación de la materia orgánica Carbonosa suele considerarse como un proceso cinético de primer orden.

$$\frac{d(DBOC)}{dt} = K_2 DBOC \quad (\text{ec.5.11})$$

donde K_2 es la tasa de oxidación.

La solución de la ecuación anterior se obtiene fácilmente como:

$$DBOC = DBOC_o(1 - e^{-5K_2}) \quad (\text{ec.5.12})$$

La expresión anterior es ampliamente utilizada dado que, por lo general, un elevado porcentaje de la materia orgánica introducida a sistemas acuáticos se oxida en un período aproximado de cinco días, siendo establecidas las normas de protección ambiental en función de la DBO₅.

5.3.3.2 Demanda de Oxígeno por Sedimento.

El vertido en el medio acuático de aguas residuales con componentes orgánicos sedimentables, puede provocar el depósito de estos en el fondo, formando bancos de sedimentos de espesor variable según las cantidades vertidas y las condiciones hidrodinámicas locales. En las capas superficiales de dichos bancos se lleva a cabo descomposición aeróbica consumiendo el oxígeno disuelto de las aguas con las que tienen contacto, sin embargo en las capas más profundas de estos bancos de sedimentos se origina orgánico tiene lugar la descomposición anaeróbica cuyos productos pueden ser CO₂, CH₄, H₂S, ocasionando en caso de ser muy alto el número de gases producidos en la descomposición llega a provocar problemas estéticos ya que levanta restos del fondo hasta la superficie del agua.

Los sedimentos de origen orgánico en los fondos se pueden producir también por la acumulación de restos de organismos acuáticos o detritos transportados por la escorrentía superficial y los ríos. Este fenómeno es especialmente intenso cuando se produce la sedimentación de fitoplacton en zonas eutróficas. De esta manera según las condiciones locales, los fondos marinos pueden tener zonas con espesores importantes en materia orgánica sedimentada, en sitios donde las velocidades del agua son casi nulas y donde se presentan descargas de aguas residuales, con el consiguiente incremento de demanda de oxígeno por sedimento, mientras en otras zonas de buena renovación y sin vertidos, los sedimentos de origen orgánico pueden estar ausentes, valores típicos de demanda de oxígeno por sedimentos son los siguientes: Fangos de origen urbano(recientes); 2.0-10.0, fango de origen urbano(viejos); 1.0-2.01; fangos estuarinos, 1.0-20.; arenas:0.2-1.0; suelos mineralizados: 0.05-0.10.

En general se considera que la demanda de oxígeno por sedimento se mantiene constante e independiente de la concentración de oxígeno disuelto del agua cuando ésta es superior a 2-5mg/l. Pero algunos autores indican que esta demanda depende de la concentración de oxígeno disuelto circundante, sobre todo, cuando su concentración es baja.

5.3.3.3 Respiración.

Conjuntamente con la fotosíntesis se produce la respiración, a diferencia de la fotosíntesis en la que la cantidad de oxígeno producido es proporcional a la cantidad luminosa, el consumo de oxígeno por respiración presenta un valor aproximadamente constante a lo largo de todo el día y la noche. De esta manera y considerando estos dos procesos, la concentración mínima de oxígeno se produce de madrugada, mientras que la máxima, como ha dicho se presenta al medio día. Valores máximos de consumo por respiración oscilan entre 1 a 7 GO_2/m^2 .

Los parámetros antes citados son solo una parte de los que se requieren en el estudio de la concentración de oxígeno disuelto, o de la demanda bioquímica de oxígeno, que es uno de los puntos importantes en la recopilación de datos para este estudio, también es importante conocer factores de tipo económico, social, político y cultural pues este tipo de datos nos da un marco de referencia en el cual podremos enmarcar los diferentes escenarios que se generarán con motivo del análisis de soluciones viables a los diferentes problemas y características que debe satisfacer la solución en el aspecto social y cultural se puede tener un punto de apoyo importante pues al estar consiente la sociedad y autoridades de realizar este tipo de diseños habrá un mayor apoyo, por otro lado los aspectos políticos formarían parte de los recursos económicos con los cuales podría contar el proyecto además de otro tipo de apoyos dado es el caso del marco legal con el cual se buscaría encaminar a la conservación y buena operación del sistema de saneamiento litoral.

5.4 ESTUDIOS DE LA RED DE COLECTORES

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempos antiguos, la captación de aguas residuales no aparece hasta principios del siglo XIX, mientras que el tratamiento sistemático de las aguas residuales data de finales del siglo pasado y principio del presente. El desarrollo de la teoría del germen a cargo de Koch y Pasteur en la segunda mitad del siglo XIX marcó el inicio de una nueva era en el campo del saneamiento. Hasta ese momento se había profundizado poco en la relación entre contaminación y enfermedades y no se había aplicado al tratamiento de aguas residuales la bacteriología, disciplina entonces en sus inicios.

La determinación del gasto de aguas residuales a manejar de una determinada población es fundamental a la hora de proyectar las instalaciones para su recolección, tratamiento, evacuación y vertido a su destino final. De cara a la obtención de un diseño adecuado a las necesidades y a la minimización y distribución de los costos entre los diferentes municipios o estados agrupados para tratar conjuntamente sus aguas residuales, es preciso conocer datos fiables sobre los gastos que se requieren tratar. En aquellos casos en que los datos sobre los gastos de aguas residuales sean escasos o inexistentes, es preciso estimarlos partiendo de otras fuentes de información que guarden estrecha relación con los mismos, como puede ser el caso de los datos sobre consumo de agua, las actividades económicas de la población, el número de habitantes, etc.

Conforme se incrementa la demanda de drenaje en diferentes puntos de la población, este servicio tiene que irse adecuando para mantener la calidad y eficiencia que un servicio de tanta importancia debe tener, sin embargo esto no sucede en la mayoría de las ocasiones, ya que a veces la demanda supera las expectativas de diseño, y este debe irse modificando o tratándose de ajustar a las demandas actuales, por ello es necesario realizar un estudio de los sistemas de alcantarillado para

conocer los gastos y concentración de contaminantes que son transportados a través del sistema de alcantarillado.

Dentro de la metodología de estudio de los sistemas de saneamiento de aguas litorales es muy importante el partir con diseño del sistema de alcantarillado por que es el punto de partida para otros elementos del sistema de saneamiento litoral como lo son las plantas de tratamiento, que entre los parámetros de diseño se encuentra el gasto y concentración de contaminantes en las aguas residuales, que teniéndose un diseño y control regular del sistema de alcantarillado pueden obtenerse datos bastante veraces.

Dado a la complejidad que representa tratar de simular el comportamiento de un sistema de alcantarillado el Ingeniero a implementado el uso de modelos matemáticos que sean capaces de dar una aproximación de los parámetros que se requieren conocer o controlar, en este estudio deben emplearse modelos que en sus esquemas contemplen al menos las siguientes características:

- Ser capaz de tratar series largas de episodios lluviosos de forma automatizada.
- Ser capaz de introducir una distribución espacial de lluvia.
- Poder estimar la variación de la profundidad en los colectores.
- Disponer de entradas y salidas de datos de fácil y rápida interpretación.
- Poder evaluar los parámetros de las estructuras de alivio.

Es importante conocer la composición y cargas de contaminantes del agua residual vertidas a los cuerpos de agua en tiempos de secas y lluvias, para conocer la variación y dar parámetros que serán de valor en las plantas de tratamiento del Sistema de Saneamiento.

Al responsable de la descarga de aguas residuales que antes de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana (NOM-ECOL-001) se le hayan fijado condiciones particulares de descarga, podrá optar por cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, previo aviso a la Comisión Nacional del Agua.

5.4.1 Estudios de la composición de las aguas residuales

La composición de los gastos de aguas residuales de una comunidad depende del tipo de sistema de alcantarillado que se emplee y puede incluir los siguientes componentes:

1. Agua residual domestica. Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales publicas y similares.
2. Agua residual industrial. Agua residual en la cual predominan vertidos industriales.
3. Infiltración y aportaciones incontroladas. Agua que entra tanto de manera directa como indirecta a la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema atreves de juntas defectuosas, fracturas y grietas o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimentación, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro.
4. Aguas pluviales. Aguas resultantes de la escorrentía superficial.

En nuestro país no se cuenta con sistemas de alcantarillado que cuenten con un sistema que separe las aguas residuales de los diferentes tipos entes mencionados y los provenientes de la escorrentía

superficial, esto es principalmente al alto costo que significaría hacer un sistema paralelo que se encargue de recoger el agua de lluvia, por lo que los sistemas de alcantarillado en la actualidad sean para cualquier tipo.

En nuestro país los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la Norma NOM-ECOL-001 Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5.4 El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5.5. El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígenos (DBO_5) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

Las fechas de cumplimiento establecidas en las Tablas 5.4 y 5.5 de la Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación.

Los responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipal, cuya concentración de contaminantes en cualquiera de los parámetros básicos, metales pesados y cianuros, que rebasen los límites máximos permisibles señalados en las Tablas 5.2 y 5.3, multiplicados por cinco, para cuerpos receptores tipo B (ríos, uso público urbano), quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad del agua de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en un plazo no mayor de 180 días naturales, a partir de la publicación de la Norma antes mencionada en el Diario Oficial de la Federación.

Los demás responsables de las descargas de aguas residuales municipales y no municipales, que rebasen los límites máximos permisibles de esta norma, quedan obligados a presentar un programa de las acciones u obras a realizar para el control de la calidad de sus descargas a la Comisión Nacional del Agua, en las fechas establecidas en las Tablas 5.6 y 5.7. Lo anterior, sin perjuicio del pago de derechos a que se refiere la Ley Federal de Derechos y a las multas y sanciones que establecen las leyes y reglamentos en la materia.

T A B L A 5.4

DESCARGAS MUNICIPALES	
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

T A B L A 5.5

DESCARGAS NO MUNICIPALES		
FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	CARGA CONTAMINANTE	
	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ T/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)
1 de enero de 2000	Mayor de 3.0	mayor de 3.0
1 de enero de 2005	De 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1 de enero de 2010	Menor de 1.2	menor de 1.2

T A B L A 5.6

DESCARGAS MUNICIPALES	
RANGO DE POBLACIÓN	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
Mayor de 50,000 habitantes	30 de junio de 1997
de 20,001 a 50,000 habitantes	31 de diciembre de 1998
De 2,501 a 20,000 habitantes	31 de diciembre de 1999

T A B L A 5.7

CARGA CONTAMINANTE DE LAS DESCARGAS NO MUNICIPALES	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO₅ Y/O SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FECHA LÍMITE PARA PRESENTAR PROGRAMA DE ACCIONES
Mayor de 3.0	30 de junio de 1997
de 1.2 a 3.0	31 de diciembre de 1998
Menor de 1.2	31 de diciembre de 1999

El responsable de la descarga queda obligado a realizar el monitoreo de las descargas de aguas residuales para determinar el promedio diario y mensual. La periodicidad de análisis y reportes se indican en la Tabla 5.8 para descargas de tipo municipal y en la Tabla 5.9 para descargas no municipales. En situaciones que justifiquen un mayor control, como protección de fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, emergencias hidroecológicas o procesos productivos fuera de control, la Comisión Nacional del Agua podrá modificar la periodicidad de análisis y reportes. Los registros del monitoreo deberán mantenerse para su consulta por un período de tres años posteriores a su realización.

T A B L A 5.8

RANGO DE POBLACIÓN	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 50,000 habitantes	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 20,001 a 50,000 habitantes	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
de 2,501 a 20,000 habitantes	SEMESTRAL	ANUAL

T A B L A 5.9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO ₅ t/d (toneladas/día)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES t/d (toneladas/día)	FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANÁLISIS	FRECUENCIA DE REPORTE
mayor de 3.0	Mayor de 3.0	MENSUAL	TRIMESTRAL
de 1.2 a 3.0	De 1.2 a 3.0	TRIMESTRAL	SEMESTRAL
menor de 1.2	Menor de 1.2	SEMESTRAL	ANUAL

El responsable de la descarga estará exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en la presente Norma Oficial Mexicana, cuando demuestre que, por las características del proceso productivo o el uso que le dé al agua, no genera o concentran los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la Comisión Nacional del Agua, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el usuario. En caso de falsedad el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales aplicables.

En el caso de que el agua de abastecimiento registre alguna concentración promedio mensual de los parámetros referidos en los puntos 5.1, 5.2 y 5.3 de la presente Norma Oficial Mexicana, la suma de esta concentración al límite máximo permisible promedio mensual, es el valor que el responsable de la

descarga está obligado a cumplir, siempre y cuando lo notifique por escrito a la Comisión Nacional del Agua.

Cuando se presenten aguas pluviales en los sistemas de drenaje y alcantarillado combinado, el responsable de la descarga tiene la obligación de operar su planta de tratamiento y cumplir con los límites máximos permisibles de esta Norma Oficial Mexicana, o en su caso con sus condiciones particulares de descarga, y podrá a través de una obra de desvío derivar el caudal excedente. El responsable de la descarga tiene la obligación de reportar a la Comisión Nacional del Agua el caudal derivado.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implementar un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la Comisión Nacional del Agua se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga.

5.4.2 Plantas de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales recogidas en comunidades y municipios deben ser conducidas, en última instancia, a cuerpos de agua receptores a al mismo terreno. La compleja pregunta acerca de que contaminantes contenidos en el agua residual y a que nivel deben ser eliminados de cara a la protección del entorno, requiere una respuesta específica en cada caso concreto. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso y aplicar tantos los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniería, respetando la legislación y las normas reguladoras de la calidad de agua existente.

En el diseño de plantas de tratamiento de agua residual, las primera fases de proyecto son críticas en el proceso de diseño final, empezando desde la redacción del anteproyecto e incluyendo las fases de diseño conceptual y preliminar. Durante estas fases se determinan los caudales de proyecto y los factores de carga, se lleva a cabo la selección de procesos, se desarrollan los elementos de la planta. Una vez finalizado el diseño preliminar, el proyecto queda totalmente definido y ya se puede pasar a elaborar los planos constructivos y las especificaciones técnicas.

La capacidad de una planta de tratamiento debe de calcularse para el caudal medio diario correspondiente al año de proyecto. No obstante, por razones prácticas las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser proyectadas teniendo en cuenta que debe hacerse frente a condiciones de trabajo que vienen dictadas por los gastos, las características de las aguas a tratar y la combinación de ambos (carga contaminante). También deben considerarse las condiciones extremas entre las que se incluyen las situaciones de gasto y carga contaminante para los diferentes procesos. Las condiciones extremas del gasto desde el punto de vista hidráulico son importantes para dimensionar correctamente las instalaciones de proceso y las interconexiones entre ellos. Las condiciones extremas de carga son importantes para determinar el dimensionamiento de las unidades de proceso y sus sistemas auxiliares de modo que la planta de tratamiento pueda cumplir de manera fiable los objetivos de tratamiento planteados.

El diseño y operación de las plantas de tratamiento son en función del tipo de agua que deben tratar, por ello es importante primero conocer las disposiciones de las autoridades competentes con respecto a la calidad y composición de las aguas residuales que son captadas en el sistema de alcantarillado,

en nuestro país estas disposiciones se encuentran descritas por la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, a continuación se marcan los aspectos más importantes en esta norma.

5.5 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN DEL NOM-001

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

5.5.1 Definiciones

Aguas pluviales: Aquéllas que provienen de las lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y el granizo.

Aguas residuales: Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas residuales de proceso: Las resultantes de la producción de un bien comercializable.

Aguas residuales domésticas: Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Autoridad competente: Los Gobiernos de los Estados, del Distrito Federal, y de los Municipios, por sí o a través de sus organismos públicos que administren el agua.

Contaminantes: Son aquellos parámetros o compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Descarga: Acción de verter aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Instantáneo: Es el valor que resulta del análisis de laboratorio a una muestra de agua residual tomada de manera aleatoria o al azar en la descarga.

Límite máximo permisible: Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Muestra compuesta: La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la especificación 5.10 de esta Norma Oficial Mexicana.

Muestra simple: La que se tome en el punto de descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las

actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, el volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.

Parámetro: Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química y biológica del agua.

Promedio diario (P.D): Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta, tomada en un día representativo del proceso generador de la descarga.

Promedio mensual (P.M.): Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función del caudal de los valores que resulten del análisis de laboratorio practicados al menos a dos muestras compuestas, tomadas en días representativos de la descarga en un período de un mes.

Punto de descarga: Es el sitio seleccionado para la toma de muestras, en el que se garantiza que fluye la totalidad de las aguas residuales de la descarga.

Sistema de alcantarillado urbano o municipal:

Es el conjunto de obras y acciones que permiten la prestación de un servicio público de alcantarillado, incluyendo el saneamiento, entendiéndose como tal la conducción, tratamiento, alejamiento y descarga de las aguas residuales.

5.5.2 Especificaciones

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 5.10 Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Los límites máximos permisibles establecidos en la columna instantánea, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan. El rango permisible de pH (potencial hidrógeno) en las descargas de aguas residuales es de 10 (diez) y 5.5 (cinco punto cinco) unidades, determinado para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar fuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples. El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C. (cuarenta Grados Celsius), medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores, siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo. La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-006, referida en el punto 2 de esta Norma Oficial Mexicana. Los límites máximos permisibles para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 4 de la Norma Oficial Mexicana

NOM-001-ECOL-1996 referida en el punto 2 de esta norma, o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

Tabla 5.10

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y Aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no dé cumplimiento a lo establecido en el punto 5.6, podrá optar por remover la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal, para lo cual deberá de:

- Presentar a la autoridad competente un estudio de viabilidad que asegure que no se generará un perjuicio al sistema de alcantarillado urbano o municipal.
- Sufragar los costos de inversión, cuando así se requiera, así como los de operación y mantenimiento que le correspondan de acuerdo con su caudal y carga contaminante de conformidad con los ordenamientos jurídicos locales aplicables.

No se deben descargar o depositar en los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, materiales o residuos considerados peligrosos, conforme a la regulación vigente en la materia. La autoridad competente podrá fijar condiciones particulares de descarga a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado, de manera individual o colectiva, que establezcan lo siguiente:

- Nuevos límites máximos permisibles de descarga de contaminantes.
- Límites máximos permisibles para parámetros adicionales no contemplados en esta Norma.

Dicha acción deberá estar justificada por medio de un estudio técnicamente sustentado presentado por la autoridad competente o por los responsables de la descarga. Los valores de los parámetros en las

descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal a que se refiere esta norma, se obtendrán de análisis de muestras compuestas, que resulten de la mezcla de las muestras simples, tomadas éstas en volúmenes proporcionales al caudal medido en el sitio y en el momento del muestreo, de acuerdo con la Tabla 5.12.

Tabla 5.12
FRECUENCIA DE MUESTREO

HORAS POR DÍA QUE OPERA EL PROCESO GENERADOR DE LA DESCARGA	NÚMERO DE MUESTRAS SIMPLES	INTERVALO MÁXIMO ENTRE TOMA DE MUESTRAS SIMPLES (HORAS)	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Menor que 4	Mínimo 2	-	-
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18 y hasta 24	6	3	4

Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples debe ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma y se determina mediante la siguiente ecuación:

$$VMS_i = VMC \times \frac{Q_i}{Q_t}$$

Donde:

VMS_i = volumen de cada una de las muestras simples "i", litros.

VMC = volumen de la muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, litros.

Q_i = caudal medido en la descarga en el momento de tomar la muestra simple, litros por segundo.

Q_t = ΣQ_i hasta Q_n , litros por segundo

En el caso de que en el período de operación del proceso o realización de la actividad generadora de la descarga, ésta no se presente en forma continua, el responsable de dicha descarga deberá presentar a consideración de la autoridad competente la información en la que se describa su régimen de operación y el programa de muestreo para la medición de los contaminantes.

Los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal deben cumplir los límites máximos permisibles establecidos en esta Norma, en las fechas establecidas en la Tabla 5.13. De esta manera, el cumplimiento es gradual y progresivo, conforme al rango de población, tomando como referencia el XI Censo General de Población y Vivienda, 1990.

Tabla 5.13

FECHA DE CUMPLIMIENTO A PARTIR DE:	RANGO DE POBLACIÓN
1° de enero de 1999	Mayor de 50,000 habitantes
1° de enero de 2004	De 20,001 a 50,000 habitantes
1° de enero de 2009	De 2,501 a 20,000 habitantes

Las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 5.13 de esta Norma, para el o los responsables de descargas individuales o colectivas, pueden ser modificadas por la autoridad competente, cuando:

- a) El sistema de alcantarillado urbano o municipal cuente con una o varias plantas de tratamiento en operación y la o las descargas causen efectos nocivos a la misma, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en un plazo no mayor de 180 (ciento ochenta) días a partir de la fecha de publicación de esta norma, un programa de acciones en el cual se establezca en tiempo y forma el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana
- b) La autoridad competente, previa a la publicación de esta norma, haya suscrito formalmente compromisos financieros y contractuales para construir y operar la o las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales
- c) La Comisión Nacional del Agua oficialmente establezca emergencias hidroecológicas o prioridades en materia de saneamiento, y en consecuencia se modifique la fecha de cumplimiento establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, referida en el punto 2 de esta norma, para su descarga correspondiente.
- d) Exista previo a la publicación de esta norma, reglamentación estatal o municipal que establezca fechas de cumplimiento para los responsables de las descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Cuando la autoridad competente determine modificar las fechas de cumplimiento, deberá notificarlo a los responsables de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, conforme a los procedimientos legales locales correspondientes.

Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 5.1. Asimismo, deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestras.

El responsable de la descarga podrá quedar exento de realizar el análisis de alguno o varios de los parámetros que se señalan en esta Norma, cuando demuestre a la autoridad competente que, por las características del proceso productivo, actividades que desarrolla o el uso que le dé al agua, no genera o concentran los contaminantes a exentar, manifestándolo ante la autoridad competente, por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad competente podrá verificar la veracidad de lo manifestado por el responsable. En caso de falsedad, el responsable quedará sujeto a lo dispuesto en los ordenamientos legales locales aplicables.

El responsable de la descarga, en los términos que lo establezca la legislación local, queda obligado a informar a la autoridad competente, de cualquier cambio en sus procesos productivos o actividades, cuando con ello modifique la calidad o el volumen del agua residual que le fueron autorizados en el permiso de descarga correspondiente.

El responsable de la descarga de aguas residuales que, como consecuencia de implantar o haber implantado un programa de uso eficiente y/o reciclaje del agua en sus procesos productivos, concentre los contaminantes en su descarga, y en consecuencia rebase los límites máximos permisibles establecidos en la presente Norma, deberá solicitar ante la autoridad competente se analice su caso particular, a fin de que ésta le fije condiciones particulares de descarga

Una vez realizado todos los cálculos, debe resumirse en una tabla los criterios de diseño clave. Debido a que la mayoría de las plantas de tratamiento están pensadas para su funcionamiento durante largos períodos de tiempo (hasta 20 años), los criterios de proyecto deben establecerse, tanto para el momento de puesta en marcha de las instalaciones, como para el final de la vida útil. Estos últimos estarán influidos por la prognosis de población futura y por los análisis de costo y efectividad para varios periodos de vida útil.

Tabla 5.14

Instalación	Vida útil, años
Redes de alcantarillado	20-40
Estaciones de bombeo	
Estructuras	20-40
Equipos de bombeo	10-25
Plantas de Tratamiento	
Estructuras	20-40
Equipos	10-20
Conducciones hidráulicas	20-40

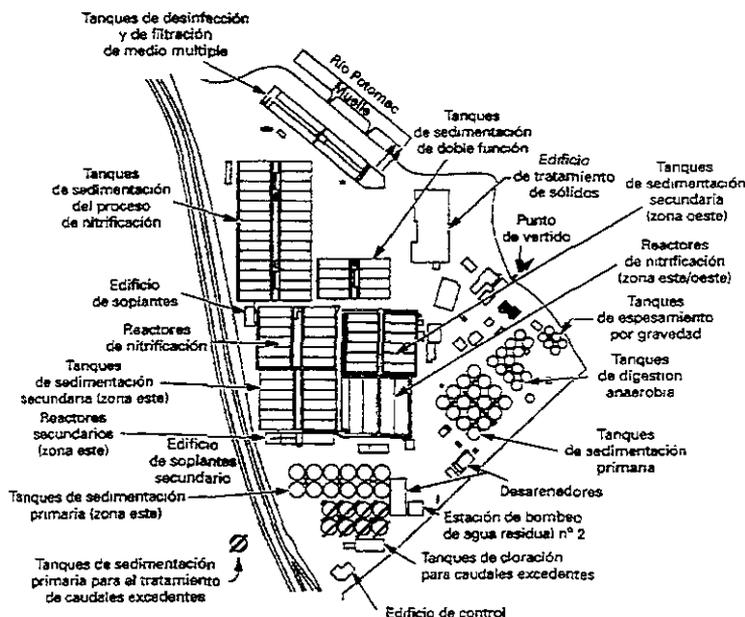


Figura 5.2 Esquema de una planta de tratamiento.

5.6 ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL EN EL LITORAL

Es inminente que el desarrollo de la sociedad y el avance de la industria a llevado a aumentar el *impacto ecológico* de las regiones donde se llevan acabo estas actividades, pero en los últimos años este impacto se ha llevado a lugares muy lejanos de donde se llevo acabo este desarrollo, en el caso de la generación de aguas residuales este fenómeno es más evidente.

Los principales problemas en la contaminación de los cuerpos de agua han sido la cantidad e intensidad con que se han ido presentando los vertidos, aunado a la falta de conciencia y el abuso de muchas industrias que vierten sustancias con concentraciones de contaminantes muy por encima de las normas ecológicas establecidas, este es otro problema ya que a la falta de una normalización y supervisión del cumplimiento de estas reglas, genera graves anomalías en la disposición de contaminantes, por otro lado el diseño de los sistemas de saneamiento de las ciudades y centros industriales solo obedecía a criterios hidráulicos, es decir la cantidad de gasto a desalojar y el punto donde dónde se iba a llevar las descargas, esto debe ir cambiando

En esta fase de la metodología se intensifica el uso de los modelos matemáticos, principalmente en la generación de escenarios con las condiciones de operación de los elementos que componen el sistema de saneamiento, en este caso haremos mención principalmente de los modelos utilizados en la simulación hidrodinámica de los cuerpos de agua y de los modelos que evalúan la de la concentración y dispersión de contaminantes vertidos en dichos cuerpos, esto es con el objetivo de generar escenarios en los cuales se contemplen las condiciones en las que se encuentra la operación de los elementos del sistema de saneamiento, es importante saber a ciencia cierta cual es el alcance y las limitaciones de dichos modelos así como las hipótesis con las que fue desarrollado el modelo matemático, procurando con ello poder tener un mejor criterio de los resultados arrojados del análisis y aplicación del modelo matemático a utilizar.

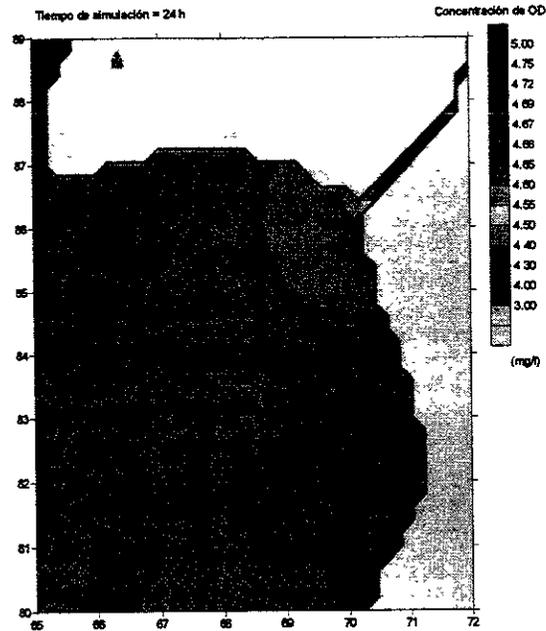


Figura 5.3 Simulación de la evolución de Oxígeno Disuelto. . Instituto de Ingeniería U.N.A.M. “Estudio Hidrodinámico y de Calidad de Agua de la Laguna de Nichupté. Influencia de un canal artificial”.

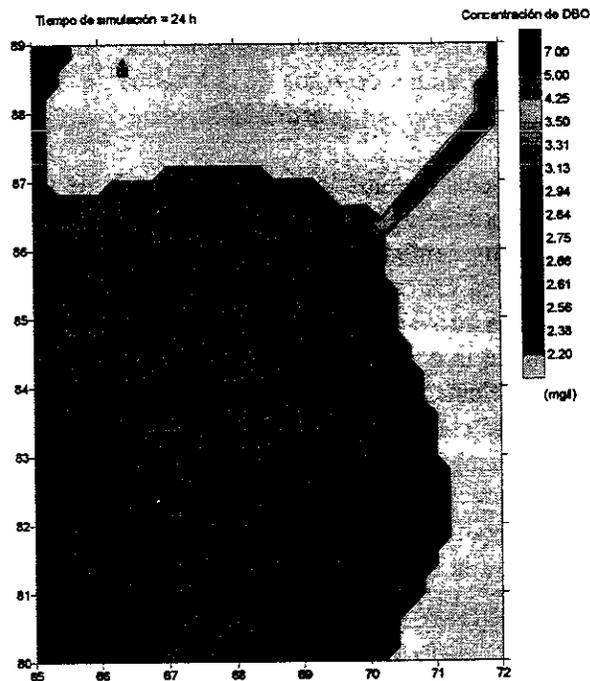


Figura 5.4 Simulación de la evolución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. . Instituto de Ingeniería U.N.A.M. “Estudio Hidrodinámico y de Calidad de Agua de la Laguna de Nichupté. Influencia de un canal artificial”.

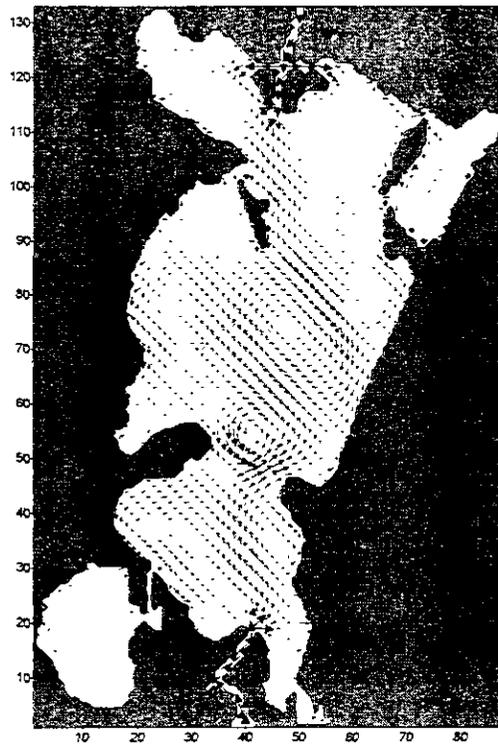


Figura 5.5 Simulación del comportamiento Hidrodinámico. Instituto de Ingeniería U.N.A.M.
“Estudio Hidrodinámico y de Calidad de Agua de la Laguna de Nichupté. Influencia de un canal artificial”.

La implementación de los modelos matemáticos en la búsqueda de soluciones para la evaluación del impacto ambiental a los cuerpos de aguas sometidos a descargas de aguas residuales, surge de la necesidad de obtener resultados confiables dentro de un margen de error aceptable, acortando el tiempo de análisis y disminuyera los costos del anteproyecto, pero la razón más importante es la de poder evaluar el impacto al que se verán sometidos los cuerpos de agua al ser objetos de vertidos de aguas residuales y así partir de la capacidad de asimilación de los cuerpos de agua como principal parámetro de diseño de los elementos del sistema de saneamiento litoral, en la medida que se establezcan objetivos de calidad claros y se pueda normar todos los diseños y procedimientos de los elementos del sistema de saneamiento, además de hacer cumplir dichas disposiciones, por parte de las autoridades componentes y lograr crear conciencia entre los diseñadores de este tipo de infraestructura y los que generan los diferentes tipos de agua residuales, podremos encaminar los diseños de saneamiento litoral a la conservación y desarrollo de nuestro cuerpos de agua y aun más de nuestro ambiente.

Dentro de los modelos de mayor utilidad figuran los modelos hidrodinámicos bidimensionales, de desaparición bacteriana, de concentración del oxígeno disuelto en la columna de agua; solo por mencionar algunos en la aplicación de los modelos utilizados para el diseño debe tomarse en cuenta por una lado la validación del modelo para las características presentes en la zona de estudio y la calibración de estos con datos obtenidos de la zona de estudio, cabe señalar que un error de entre el 10% y 20% es bastante aceptable en este tipo de simulaciones.

El esquema de los modelos numéricos tanto de calidad de agua como hidrodinámicos son tratados en los Capítulos 1 y 2, los modelos matemáticos son una herramienta importante de la que puede disponer el diseñador, pero es importante disponer de una base de datos confiable, y oportuna.

5.7 ESTUDIOS Y DETERMINACIÓN DE ALTERNATIVAS

5.7.1 Scoping

El concepto de Scoping se ha adoptado por varios países (E.E.U.U, Canadá, Holanda, etc.) como un medio para determinar los aspectos importantes a tratar durante la E.I.A. Teniendo siempre presente que el objetivo fundamental de la E.I.A. es el proporcionar información apropiada para que pueda tomarse decisiones con todo el conocimiento posible.

El Scoping es un proceso interactivo e iterativo entre los habitantes interesados, los órganos de la Administración o Gobierno y los promotores, para determinar los temas importantes y las alternativas que deberían examinarse en la E.I.A. En su sentido amplio incluye la participación pública a lo largo de todo el proceso de E.I.A., empezando con reuniones públicas, en cuanto que el promotor decida que la información disponible sobre la actividad propuesta es lo suficientemente completa.

Para el Scoping el promotor tiene que preparar un documento con la exposición clara de los objetivos y la necesidad de la acción, descripción del proyecto, alternativas provisionales, impactos ambientales posibles así como medidas correctivas, de manera que los habitantes y el gobierno comprendan la acción que se propone y puedan participar de forma eficaz. El contenido de este documento es similar al de la Memoria-resumen que redacta el promotor para iniciar el procedimiento reglado de E.I.A. ya que en la fase de consultas de dicho procedimiento no es otra cosa que una forma de Scoping. Entre los beneficios del Scoping se pueden citar los siguientes:

- Reduce el tiempo de proceso general, ya que asegura que los estudios de impacto se centren en los temas importantes evitando la posibilidad de reelaboración de procedimientos y análisis.
- Se enfocan los análisis sobre alternativas y medidas correctoras realistas.
- Se evita la posibilidad de litigios, ya que aunque pueden surgir conflictos, si los habitantes comprenden el objeto y la necesidad de la actividad propuesta y tiene evidencias de que se han considerado todas las alternativas razonables, probablemente estará satisfecho con la decisión final.

5.7.2 Toma de decisiones

La E.I.A. está diseñada para ayudar a la planificación de la Administración y a la toma de decisión y no para justificar las decisiones que ya se han tomado.

Desde el punto de vista ambiental, la decisión tomada por una Administración de adoptar una alternativa en particular se debe basar en el proceso de E.I.A. La determinación de la naturaleza, duración, magnitud y severidad de un impacto es un ejercicio científico. La tarea del equipo del E.I.A. es identificar, analizar opciones y relaciones y resumir los potenciales impactos significativos para el responsable de tomar la decisión.

Las decisiones no se toman sólo sobre la base de las previsibles consecuencias ambientales. La toma de decisión requiere el compromiso entre muchos elementos (técnicos, ambientales, económicos, financieros, sociales, políticos, etc.). Así pues la documentación ambiental es sólo uno de los requisitos que intervienen en la decisión de autorizar un proyecto, plan o programa propuesto.

5.7.3 Los análisis post-decisión.

Sin seguimiento y actividades post-decisión, con objeto de verificar la implantación de las medidas correctoras propuestas y su efectividad real y la exactitud de la evaluación de impactos, se perdería parte de la utilidad del proceso de E.I.A. como herramienta para el desarrollo sostenible. Las disposiciones para la implantación obligatoria de actividades de seguimiento y auditoría son vitales.

Una vez identificado la intensidad duración y efectos ambientales consecuencia de las obras, hay que realizar una planeación económica de los recursos, con los que se va a disponer ya que de anteproyecto se dedica una parte porcentual del capital del proyecto, sin embargo al considerar no sólo los beneficios económicos que podemos obtener si no también los de carácter social podemos hacer uso de recursos gubernamentales al ser estas obras de importancia para el desarrollo y conservación del medio ambiente, además de que eleva la calidad de vida de la población.

Conclusiones

El Programa de control y conservación ambiental, es la parte final de la metodología, pues con este plan se puede cerciorar del cumplimiento de los objetivos de calidad planteados en la zonificación de usos.

Se pueden identificar las anomalías en el funcionamiento del sistema en general, para poder hacer las modificaciones correspondientes.

**6 PROGRAMA DE CONTROL
Y CONSERVACIÓN AMBIENTAL.**

6.1 INTRODUCCIÓN.

El reconocimiento de los riesgos potenciales y de los cambios que "a priori" se podría llegar a manifestar en el medio litoral como consecuencia de los vertidos del Sistema de Saneamiento Litoral, no lleva implícita ni la consideración de su incompatibilidad con los usos de dicho medio ni un posible incumplimiento de los objetivos de calidad exigibles en las diferentes zonas delimitadas, por el contrario, representa la declaración de todos aquellos aspectos medioambientales sobre los que debe incidir el programa de Vigilancia.

La normalización ambiental es uno de los instrumentos fundamentales para la instrumentación de la política ambiental, en tanto complementa el marco jurídico existente y permite su correcta aplicación. La actividad central de la normalización consiste en elaborar las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). El sistema de NOM puede complementarse, con un conjunto de normas de referencia, así como con un mecanismo de difusión de buenas prácticas de ingeniería.

El planteamiento de las NOM para la protección ambiental ha evolucionado en los últimos años. De un enfoque centrado en el control de procesos específicos se ha ido avanzando hacia otro que promueve las acciones de prevención y que es más eficiente al ampliar sus alcances y reducir al mínimo el costo que conlleva su cumplimiento.

6.2 PROGRAMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL.

El diseño técnico de los Programas de Vigilancia y Seguimiento está relacionado con el proceso de decisión sobre: ¿Que medir?, ¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Donde?, hay que hacer las mediciones y cómo analizar, interpretar, sintetizar y presentar los datos obtenidos.

En la bibliografía especializada se han planteado esquemas de trabajo que facilitan la estandarización de todos los aspectos que se deben considerar en el diseño de los Programas de Vigilancia.

Del análisis y la conjugación de las distintas alternativas surge una metodología genérica del diseño *Figura 6.1* que se fundamenta básicamente en el modelo desarrollado por la National Academic of Sciences (NRC, 1990).

La finalidad de esta síntesis metodológica es proporcionar, una guía para: Formular objetivos y partida que ayuden al control y conservación de los recursos naturales, que ayuden a diseñar programas de muestreo eficientes.

Uno de los aspectos más importantes en la aplicación de esta metodología es su capacidad para poner en evidencia los principales problemas en el diseño de la vigilancia de una determinada actuación, al tiempo que proporciona posibles mecanismos para su mejora continua. De ahí que, dependiendo de los objetivos del Programa de vigilancia, pudiere variar la relevancia de los diferentes elementos que integran el esquema de la metodología.

Estos objetivos deben ser claros, e ir encaminados a la comprobación del buen funcionamiento de todos los componentes del Sistema de Saneamiento, verificando que se cumplan las predicciones efectuadas en el diseño del sistema de saneamiento. Identificar y cuantificar los cambios producidos

en el medio receptor, Adoptar medidas para corregir de manera oportuna, los diferentes elementos del sistema de saneamiento para cumplir ampliamente con los objetivos de calidad planteados en cada un de las zonas establecidas, y proteger a las zonas que así lo demanden. En nuestro país la Secretaría de Agricultura Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), es la encargada de formular los objetivos de calidad. El desarrollo de la legislación y el cumplimiento de la normatividad ambientales se inscriben dentro de uno de los principales objetivos del Programa Nacional de Desarrollo 1995-2000.

De acuerdo con el esquema metodológico de la *Figura 6.1*, éste representa el primer paso en el desarrollo de cualquier Programa de Vigilancia y uno de los aspectos que condicionan en mayor medida su desarrollo posterior. Su finalidad es doble, ya que proporciona, al gestor, la información, sobre las limitaciones del seguimiento, al técnico, la base de datos para plantear las hipótesis de partida.

El objetivo de la Vigilancia es producir un tipo de informe que permita tomar las decisiones adecuadas para: Proteger al medio ambiente y sus recursos, además de asegurar que la salud humana no se vea amenazada y evitar la interferencia entre los distintos usos del medio, la aplicación de este objetivo genérico a una actuación concreta, como es el caso del diseño de un Sistema de Saneamiento, pasa por la realización de un análisis detallado que ponga en evidencia la posible problemática ambiental derivada de la puesta en marcha de la actividad proyectada.

Uno de los elementos básicos de gestión de la calidad adaptada en este estudio es el establecimiento de objetivos de calidad por cada uno de los usos reconocidos en el entorno del estudio. Por lo tanto dichos objetivos genéricos representan un punto obligado en este análisis y posteriormente, para el enunciado de los objetivos de vigilancia.

Por otra parte, el propio dimensionamiento ambiental del sistema diseñado constituye un primer paso en el proceso analítico, representativo de la situación prevista en el caso del funcionamiento normal de todas las infraestructuras.

No obstante la previsión inicial de impactos debe contemplar también otras situaciones, por extremas que se consideren, con el fin de reducir al máximo la posibilidad de aparición durante el seguimiento de efectos no adelantados.

Los objetivos deben integrar las preocupaciones de la población y las previsiones recogidas en el marco legal en vigor, a través del conocimiento científico aplicable, identificando y centrando globalmente las cuestiones más relevantes que haya que resolver. Este enfoque científico asegura, por una parte, que se tengan en cuenta las limitaciones conceptuales y técnicas existentes para la consecución de los objetivos y, por otra, que se realice una selección adecuada de éstos.

El objetivo global de la vigilancia es producir un tipo de información que permita tomar las decisiones adecuadas para cuidar el medio ambiente y sus recursos asegurar que la salud humana no se vea amenazada.

El avance más significativo del Programa de Normalización Mexicano durante 1997 se dio en materia de aguas residuales en el sector hidráulico, al sustituirse las 43 normas existentes que regulaban el control de descargas individuales en función del tipo de procesos, por sólo dos normas,

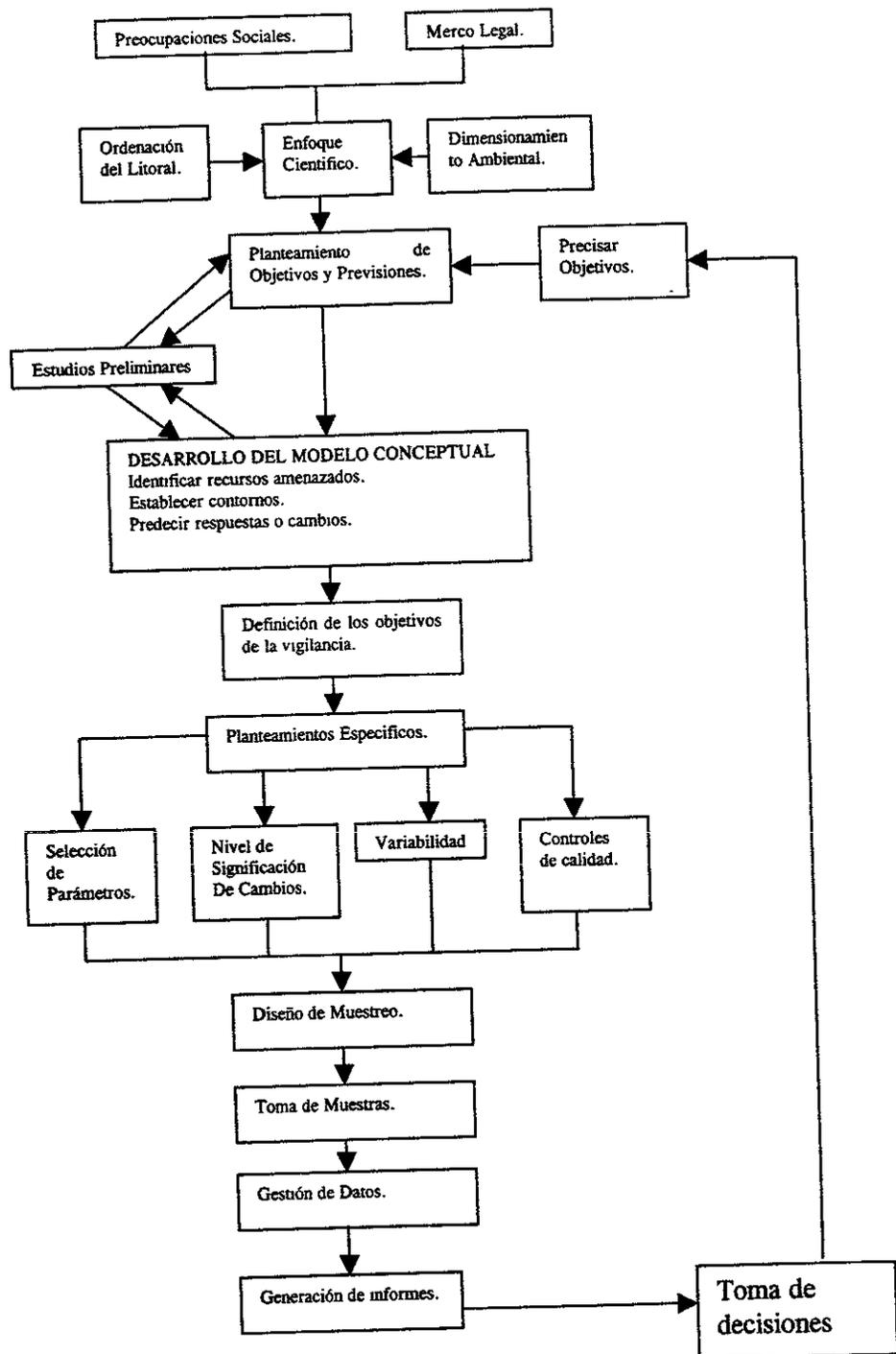


Figura 6.1. Esquema metodológico aplicable al desarrollo del Plan de Vigilancia y Control Ambiental. "Metodología de estudio de los Saneamientos Litorales Edición Base, Oviedo, Diciembre de 1995".

cuyo propósito es mantener y mejorar la calidad de los cuerpos receptores. En este sentido, se expidió la NOM-001-ECOL-1997, que regula las descargas en aguas y bienes nacionales, y se elaboraron dos normas complementarias que regulan tanto las descargas a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal como las condiciones requeridas para que las aguas residuales tratadas puedan utilizarse en diversos servicios públicos. También se han realizado avances significativos en otros ámbitos de la gestión ambiental, como es el caso de los residuos peligrosos. Está por publicarse el proyecto de NOM que revisa los criterios que definen a un residuo como peligroso.

Las directrices para el programa de normalización ambiental contemplado por la Secretaría de Marina Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), para 1998 se orientan a la atención de cuatro tipos de actividad:

Consolidación del marco normativo.

Desarrollo de nuevas normas.

Institucionalización del proceso de creación de normas mexicanas.

Evaluación del sistema de normas.

Consolidación del marco normativo: Con esto busca la SEMARNAP concretar una serie de normas con objetivos semejantes que se complementen de tal forma que cumplan con los objetivos que se plantean, todos estos objetivos están enfocados a la protección y conservación del medio ambiente en general.

Desarrollo de nuevas normas: Esto es con el objeto de mejorar las normas técnicas existentes, además de simplificar los procedimientos al reunir en menos normas todas aquellas que tienen que ver con un mismo tema.

Institucionalización del proceso de creación de normas mexicanas: Esto es lograr que organismos como el Instituto Nacional de Ecología (INE), y la SEMARNAP sean los encargados de llevar a cabo todas las normas técnicas, pero poniéndolas a discusión abierta con otros especialistas, ya sean del sector privado o de orden gubernamental, la mayoría de estas normas no son completamente compatibles con normas internacionales, pues los estándares de calidad internacional pueden rebasar por mucho los que pueden cumplirse en México.

Evaluación del Sistema de Normas: Como se señala en el punto anterior, al final se busca llegar a estándares de calidad internacionales, pero dada las necesidades y recursos del país no se puede dado que ni siquiera se cuenta con la infraestructura para poder llegar, sin embargo se están estableciendo los lineamientos para obligar a los municipios y regiones para poder empezar reglamentar y poder empezar a ejecutar la planeación de los planes de desarrollo.

Fortalecer el marco normativo en materia de aguas residuales en lo que concierne a los residuos que produce su tratamiento, mediante la elaboración de la normatividad aplicable al manejo de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Revisar y actualizar las normas existentes en materia de atmósfera, con base en los resultados alcanzados y las condiciones requeridas, para asegurar un avance sustancial en el mejoramiento de la calidad del aire, principalmente en las zonas urbanas e industriales. Asimismo, revisar la normatividad correspondiente a la calidad de los combustibles fósiles para promover su mejoramiento.

Consolidar las regulaciones para el manejo de residuos peligrosos. En este caso, la normatividad es un poderoso instrumento mediante el cual se promoverá la utilización de prácticas de reducción de residuos en fuente, así como las de rehuso y reciclaje de materiales. La elaboración de las normas que regulen la gestión de residuos es una línea prioritaria en materia de normalización ambiental. Modificar la norma que establece las especies de flora y fauna en riesgo, con el propósito de cubrir aquellos vacíos en la normatividad existente e incorporar conceptos que facilitarán su manejo y preservación. Continuar con la fase de consulta pública de las normas que establecen criterios para la evaluación del impacto ambiental.

Elaborar 34 Normas Oficiales Mexicanas, de las cuales un número importante se encuentra ya en etapas avanzadas del proceso de discusión en los subcomités y Grupos de Trabajo del Comité Consultivo Nacional de Normalización. Los temas programados, agrupados por tipo de norma, se presentan en la *Figura 6.2* Elaborar 43 proyectos de normas mexicanas (indicativas, no obligatorias), que se presentan en la *Figura 6.3* Institucionalización del proceso de creación de normas mexicanas Institucionalizar el proceso de creación de normas mexicanas, así como un mecanismo de difusión de buenas prácticas de ingeniería. Las normas mexicanas constituyen un complemento de la reglamentación obligatoria y contribuyen a darle certidumbre a los procesos voluntarios que inciden de manera significativa en el ambiente, pero que la autoridad no está en condiciones de vigilar. Para este fin se buscará reactivar el Comité Técnico de Normalización Nacional para la Protección del Ambiente, corresponsabilizando a todos los sectores sociales interesados en la formulación, aplicación y evaluación de estos instrumentos.

6.2.1 Evaluación del sistema de normas

Establecer un ejercicio permanente de revisión y evaluación para ir adecuando los instrumentos normativos en función de los avances logrados en el mejoramiento de la calidad ambiental.

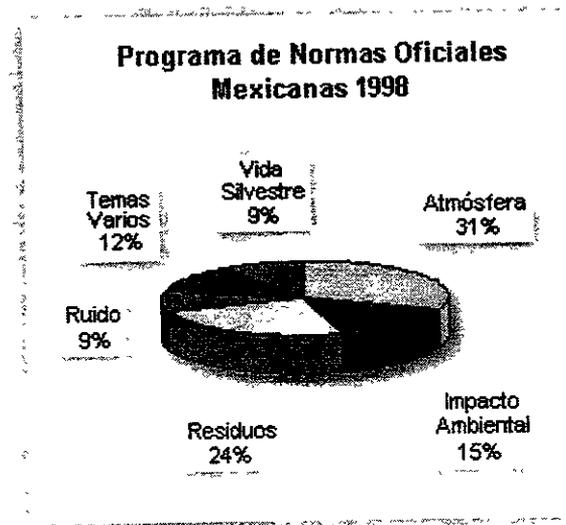


Figura 6.2. Programa de normas oficiales mexicanas SEMARNAP (1998).

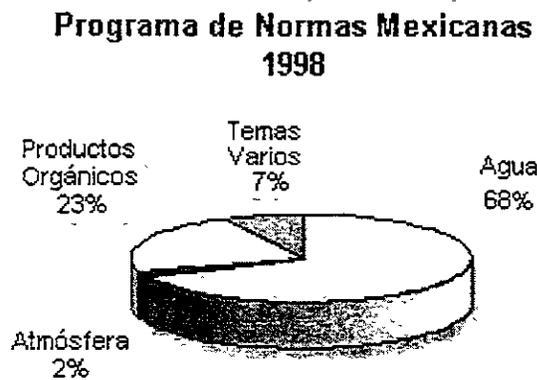


Figura 6.3. Programa de normas oficiales mexicanas. Semarnap programa 98.

6.3 INSPECCIÓN Y VIGILANCIA DE LOS RECURSOS NATURALES

La inspección y vigilancia del cumplimiento de la normatividad aplicable al aprovechamiento de los recursos naturales es un componente significativo de la tarea de conservación de la riqueza natural del país, cada vez más amenazada por diversos factores, entre ellos su aprovechamiento inadecuado. Lo último pone de manifiesto la necesidad de reforzar las tareas orientadas a garantizar un aprovechamiento sustentable de nuestros recursos naturales.

Desde diciembre de 1994, corresponde a la Profepa la responsabilidad de estimular y vigilar el cumplimiento de la normatividad aplicable al aprovechamiento de los recursos naturales, incluyendo las autorizaciones y permisos expedidos para su adecuado aprovechamiento.

La magnitud de esta tarea se entiende si se toma en cuenta que, anualmente, se expiden aproximadamente 4 500 autorizaciones de aprovechamiento forestal, 41 300 autorizaciones para diversos tipos de aprovechamiento de flora y fauna silvestres, 900 autorizaciones de impacto ambiental que se vinculan con recursos naturales, permisos y autorizaciones de pesca 74 500 embarcaciones registradas, 1 100 autorizaciones en el marco del Cites y 1 200 autorizaciones para operaciones de comercio exterior de ejemplares, productos y subproductos provenientes de diversos recursos naturales.

A esta tarea se suma la inspección y vigilancia del Ordenamiento Ecológico, del impacto ambiental y de la normatividad aplicable al uso y aprovechamiento de la Zofemat, así como la atención de emergencias y contingencias en los recursos naturales.

Entre los principales logros alcanzados en el campo de la inspección y vigilancia del aprovechamiento de los recursos naturales destacan los siguientes:

En promedio, se llevaron a cabo más de 3 300 inspecciones y más de 4 000 operativos anuales en materia de inspección y vigilancia de los recursos pesqueros y marinos. En materia de aseguramiento de productos pesqueros, se pasó de 689.5 t en 1995 a 1012.9 en 1997 y de aseguramiento de equipos y artes de pesca se pasó, en el mismo periodo, de 2 722 a 10 537 unidades. Asimismo, en el periodo

1996-1997 se certificó la instalación de dispositivos excluidores de tortuga en las redes de 3 675 embarcaciones camaroneras.

En 1997, en coordinación con el INE y con las delegaciones estatales de la Semarnap, inició el programa de Inspección y Vigilancia en 11 Áreas Naturales Protegidas prioritarias. Con esto se cubrió cerca de 55% del total de las áreas naturales del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas del país (Sinap).

Durante el periodo 1995-1997, se incrementaron en cerca de 146% las actividades de inspección y vigilancia para verificar el adecuado aprovechamiento de la flora y fauna silvestres, mientras que el aseguramiento de especímenes aumentó en más de 73% y el de productos y subproductos en más de 10 veces. Al mismo tiempo, se llevó a cabo una serie de Operativos en contra del tráfico ilícito de flora y fauna silvestre en diferentes puntos del país.

A partir de 1995 se ha realizado una serie de operativos para verificar el cumplimiento del Ordenamiento Ecológico, así como de visitas de inspección, para verificar el cumplimiento de lo establecido en las resoluciones de impacto ambiental por parte de una amplia gama de proyectos.

Se detectó, hasta 1997, un total de 576 proyectos sin autorización y 487 proyectos que no cumplían con lo establecido en las autorizaciones correspondientes. Cabe señalar que en la totalidad de los casos en que se detectó alguna irregularidad, se procedió a la consiguiente regularización de los proyectos y a la aplicación de las medidas correctivas y sanciones correspondientes.

En cuanto al uso de la Zona Federal Marítimo Terrestre (Zofemat), a lo largo de los últimos tres años se realizaron 815 visitas de inspección y verificación y 206 operativos, de los cuales derivó, entre otras acciones, la instauración de 268 procedimientos administrativos. Asimismo, con la finalidad de apoyar la capacidad de gestión de las autoridades locales, durante este periodo se ha brindado asesoría técnica y jurídica en la materia a los 17 estados costeros del país.

Finalmente, en lo relacionado con emergencias y contingencias vinculadas con recursos naturales, en el mismo periodo se incrementó la atención a estos eventos, pasando de siete contingencias de 38 que se presentaron en 1995 a la atención de 31 contingencias de 46 en 1997.

En 1998 los esfuerzos se orientarán a reducir al mínimo el daño ambiental generado por el incumplimiento de la normatividad, mediante el reforzamiento de la capacidad de la Profepa para realizar las actividades de inspección y vigilancia, así como de la ampliación de la participación en dichas tareas de los demás órdenes de gobierno y de la sociedad civil. Para tal efecto, la Profepa llevará a cabo las siguientes acciones:

Establecimiento y puesta en operación del Servicio Nacional de Inspección y Vigilancia de los Recursos Naturales.

El establecimiento y operación de este servicio se basará en el impulso al proceso de descentralización de la inspección y vigilancia hacia los gobiernos locales. Con ese propósito se gestionarán, ante dichos gobiernos, los recursos humanos, materiales y económicos que permitan, sumados a los de la Profepa, incrementar las acciones de inspección y vigilancia. Asimismo, se gestionará la asignación de los recursos que hagan factible la dotación del personal integrante del servicio, el equipo necesario para desempeñar sus atribuciones y la infraestructura indispensable para

el desarrollo de las actividades, en particular el establecimiento de residencias de las delegaciones de este organismo en los estados.

Se incrementará, de manera importante, el número de visitas de inspección y de operativos de vigilancia del cumplimiento de la normatividad aplicable al aprovechamiento de los recursos pesqueros y marinos, de los recursos forestales y de la flora y fauna silvestre, así como el desahogo de los procedimientos derivados de dichas acciones. De igual modo, con el fin de realizar estas tareas de manera eficiente en las ANP, se pretende mejorar los mecanismos de coordinación y participación con el INE y con los organismos estatales dedicados a estas actividades. Además, se incrementará el número de operativos regionales de vigilancia a los ordenamientos ecológicos vigentes, la emisión de los dictámenes técnicos y de las recomendaciones correspondientes y las respectivas acciones de seguimiento.

En materia de impacto ambiental se llevarán a cabo las acciones de verificación de cumplimiento de lo establecido en las resoluciones, por parte de los diferentes proyectos, al mismo tiempo que se incrementará la verificación del uso y aprovechamiento de la Zofemat.

6.3.1 Participación de la comunidad y de otros órdenes de gobierno.

Otro grupo de actividades que será objeto de especial atención dentro del programa de trabajo, es la realización de las gestiones necesarias para instalar comités y subcomités de inspección y vigilancia de los recursos pesqueros y marinos, de los recursos forestales, de flora y fauna silvestres y de la Zofemat en diferentes entidades y zonas costeras del país.

6.3.2 Programa de atención a contingencias en los recursos naturales

Se creará el Sistema Nacional de atención a Contingencias y se integrará la red de laboratorios a nivel nacional, a fin de dar respuesta a los análisis que demanda la prevención y atención de una determinada contingencia. Asimismo, se pretende atender de manera puntual y oportuna por lo menos a 70% de las contingencias y emergencias en el territorio nacional.

Un elemento fundamental en la prevención y control de la contaminación es la normatividad ambiental, dado que de su idoneidad depende en buena medida que el medio ambiente mantenga sus cualidades para permitir el sustento de la vida. De allí la importancia que reviste el cumplimiento de dicha normatividad. Sin embargo, no es suficiente que el cumplimiento señalado sea exigible jurídicamente; es necesario, además, que sea factible desde un punto de vista técnico y económico.

El desarrollo industrial de México ha llevado consigo la generación de emisiones contaminantes y de residuos peligrosos que han producido impactos negativos al ambiente. Esta problemática se ha agudizado en las zonas metropolitanas, en las que se concentra una elevada cantidad de fuentes de contaminación industrial y de residuos peligrosos. Es precisamente en estas zonas donde existe la necesidad de llevar a cabo, de manera permanente, tareas de inspección y vigilancia que promuevan el cumplimiento de la normatividad ambiental.

Dentro de los esfuerzos por elevar los niveles de cumplimiento de la normatividad por parte de las industrias, pueden mencionarse el Programa de Verificación Industrial, el Programa de Verificación

de Motores Nuevos en Planta, el Programa de Atención de Contingencias y el Programa de Laboratorios Regionales de Control.

En el marco del Programa de Verificación Industrial, se han llevado a cabo más de 38 mil 200 visitas de inspección en el trienio 1995-1997, lo que representa un incremento de 18% con respecto del trienio precedente. Ello ha contribuido a mejorar los niveles de cumplimiento de la normatividad ambiental por parte de las industrias de jurisdicción federal, como lo muestra el hecho de que, en el periodo 1995-1997, el porcentaje de clausuras se haya reducido de 4.2% del total de las visitas a menos de 2% de las mismas y que las empresas con irregularidades leves pasaran de 76.1% a 78 por ciento.

En lo referente a la verificación del cumplimiento de la normatividad ambiental por parte de las fuentes de contaminación industrial de jurisdicción federal, el Programa de Trabajo 1998 de la Profepa se orientará a lo siguiente:

Atención a la disposición clandestina y derrame de materiales y residuos peligrosos

Se brindará atención inmediata a las denuncias y eventos registrados relacionados con la disposición clandestina y/o derrames accidentales de materiales peligrosos. Asimismo, una vez atendida la emergencia, se dará seguimiento a la ejecución de las resoluciones emitidas al respecto.

Atención de emergencias y contingencias ambientales vinculadas con el manejo de materiales o residuos peligrosos y de sustancias químicas en general. Este programa será operado principalmente mediante el funcionamiento del Centro de Orientación para la Atención de Emergencias Ambientales (COATEA), cuyo objetivo fundamental es brindar, de manera expedita y confiable, la información, orientación y asesoría técnica necesaria para la atención de contingencias y emergencias asociadas con el manejo de materiales o residuos peligrosos y sustancias químicas en general.

6.3.3 Sistema de Índices de Cumplimiento de la Normatividad Ambiental (SICNA)

A partir de enero de 1998 dará inicio la aplicación del Sistema de Índices de Cumplimiento de la Normatividad Ambiental (SICNA), que se determinará por una serie de indicadores referidos a los niveles de cumplimiento de las diferentes disposiciones normativas por parte de las empresas visitadas a través del programa de visitas de inspección.

6.3.4 Instrumentos de Planeación y Control

Las políticas públicas para la gestión del ambiente y de los recursos naturales de la Semarnap cuenta con un conjunto de instrumentos de planeación y control en el marco legislativo vigente. En primer lugar figuran los sistemas de información, que permiten integrar los datos disponibles y ofrecer sustento a la toma de decisiones en proyectos que puedan afectar de forma negativa al medio ambiente. Dichos sistemas también están diseñados para la difusión de la información y la progresiva consolidación de una conciencia pública cada vez mejor informada, sin embargo a pesar de los esfuerzos de la secretaría es evidente que en muchas partes del País se encuentran problemas ambientales muy difíciles de combatir debido a los medios de producción y la tecnología tan

deficiente con que se llevan acabo los procesos de producción, aunado a la ausencia durante mucho tiempo de Planes de Desarrollo en Municipios y localidades. En lo que respecta a la planeación, protección y conservación de los recursos Litorales ya se empiezan a tomar medidas debido a los grandes deterioros que en algunas zonas litorales del país se presentan, a pesar de estos problemas las normas incluyen parámetros muy generales con los cuales sólo se cumplen niveles mínimos de calidad para algunas zonas, además el ordenamiento Litoral es escaso y sólo se ha establecido a la fecha el de El Mar de Cortés, es por ello que aun no se regule de manera significativa los espacios Litorales.

Entre las tareas de la Semarnap figura en forma destacada la de ordenar el territorio nacional con base en sus características ecológicas, para determinar así las modalidades adecuadas de uso del suelo. Esta tarea exige una estrecha vinculación intersectorial y proporciona un marco de referencia para la intervención de múltiples actores. La Evaluación del Impacto Ambiental se articula con el Ordenamiento Ecológico para determinar la aceptabilidad social de proyectos específicos que puedan alterar de manera sustantiva el medio ambiente.

Finalmente, a través de la administración de la Zona Federal Marítimo-Terrestre, la Semarnap incide en la dinámica ambiental de las regiones costeras, en donde se acumulan presiones antrópicas que con frecuencia comprometen su estabilidad o merman la riqueza de sus recursos.

6.3.5 Sistemas de Información Servicios de Información

Los sistemas de información constituyen una herramienta básica para lograr la eficacia de las políticas y acciones de la Secretaría. La sistematización de la información permite identificar los datos pertinentes, darles coherencia y organizarlos de tal forma que se facilite la comunicación, el análisis, la toma de decisiones y la difusión. Para que la información sea de calidad es necesario que sea veraz, precisa, oportuna, comparable y accesible.

En los niveles centrales, la Semarnap ha desarrollado directrices para normar la producción, el procesamiento y la difusión de la información, en un proceso de integración y convergencia. El marco para el desarrollo de sistemas es el diseño general, conceptual e integral del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN). Por su parte, cada subsector de la dependencia tiene la responsabilidad de generar y procesar la información que se requiere en su ámbito de competencia, estructurándola en forma consistente con el sistema general.

6.3.6 Difusión e Información

En mayo de 1997 se presentó el sitio Internet de Semarnap, el cual ofrece información sobre la situación ambiental y de los recursos naturales, así como políticas, programas y acciones de la Secretaría. Este sitio permite una relación directa entre los usuarios y los responsables de las distintas unidades administrativas de la Semarnap y sus órganos desconcentrados. Actualmente el sitio registra más de treinta mil visitas mensuales.

El diseño debe ser encaminado a la toma de decisiones, de cuales deben ser los objetivos de calidad los parámetros que servirán para medir y posteriormente evaluar el funcionamiento integral del sistema de saneamiento, es decir la interacción de cada una de las partes, y establecer las medidas

correctivas para cumplir los objetivos de calidad, todo ello dentro de un marco legal, para establecer criterios de calidad y rangos permisibles en las descargas a los medios receptores, podemos enunciar dentro de la legislación mexicana las siguientes normas de carácter ecológico; NOM-002-ECOL-1996, NOM-001-ECOL-1996, NOM-031-ECOL-1993. Toda esta legislación debe de estar sujeta a cambios, que puedan satisfacer con los criterios de calidad establecidos.

6.3.7 Observancia de la norma ambiental NOM-ECOL-1999

La vigilancia del cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, por conducto de la Comisión Nacional del Agua, y a la Secretaría de Marina en el ámbito de sus respectivas atribuciones, cuyo personal realizará los trabajos de inspección y vigilancia que sean necesarios. Las violaciones a la misma se sancionarán en los términos de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Conclusiones

El establecimiento de normas ambientales, es una herramienta con la cual se hace cumplir los objetivos de calidad planteados.

Dadas las necesidades y limitaciones de México, la ejecución de las normas se establece por medio de plazos en los cuales se establece los tiempos de ejecución, dependiendo de las características de cada municipio o zona de México.

7 CASO DE APLICACIÓN

7.1 INTRODUCCIÓN.

Cancún, polo de desarrollo turístico y cabecera municipal de Benito Juárez Cancún es un exitoso proyecto emprendido en los años setenta por el Gobierno Federal y hoy día es el destino turístico más importante de la República Mexicana. Cancún tiene una capacidad hotelera instalada de 20,600 cuartos de hotel, recibe 2'200,000 turistas al año, de los cuales el 84% son extranjeros y capta el 22% de los ingresos nacionales por concepto de turismo receptivo, lo cual representa una aportación a la balanza turística del país de 1,500 millones de dólares anuales.

Si bien es cierto que Cancún ha generado un desarrollo regional, ampliando el acceso de la población del área a un mayor número de servicios, la alta rentabilidad del turismo ha inhibido el desarrollo de otras actividades económicas que no se han expandido, hacia la agricultura y la industria, como planteaba el plan original. Lo que sí ha sucedido es que el patrón de distribución geográfica que caracteriza a nuestro país: Concentración en las grandes ciudades y dispersión en los poblados rurales, se ha polarizado todavía más y a 25 años de su fundación, la población actual de Cancún es de 315,000 habitantes, con una tasa de crecimiento del 11% anual, rebasando así las expectativas de crecimiento poblacional planteadas en el Plan Maestro de FONATUR, en un 65%.

Los índices de ocupación hotelera en este centro turístico llegan al 100% en los puntos más altos de la temporada turística y se mantienen en niveles bastante aceptables el resto del año. Esto ha permitido alcanzar un porcentaje anual de ocupación promedio del 76%, lo que repercute en una intensa actividad turística y de servicios que ha permitido la generación de 97,000 puestos de trabajo para una población económicamente activa del 58%, cifra récord en el ámbito nacional.

Cancún concentra hoy el 45% de la población total del Estado de Quintana Roo y genera el 75% del Producto Interno Bruto estatal. Por otra parte, el motor de crecimiento es la construcción de cuartos hoteleros: cada cuarto trae consigo la creación de empleos directos e indirectos, que han llegado a repercutir en las épocas de mayor construcción en 15 habitantes más por cuarto construido. Este panorama ha superado todas las expectativas del Plan Maestro de FONATUR, elaborado en 1970 con un horizonte de 25 años. Sin embargo, no está exento de repercusiones y problemas que se manifiestan tanto en Cancún, creada como ciudad de apoyo a la zona hotelera, como en los poblados rurales que la circundan y que resienten los efectos del irresistible imán laboral que representa este centro vacacional.

El proyecto Cancún, como polo multiplicador del desarrollo regional, tuvo como objetivos: la captación de divisas, la creación de empleos en la Península de Yucatán, donde la producción henequenera se encuentra en franca decadencia, y el estímulo de nuevas actividades económicas que respondieran a las necesidades de abastecimiento local, creadas por el centro turístico.

7.2 PROBLEMÁTICA ESTRUCTURAL DE CANCÚN

El esquema mismo del Plan Maestro planteó un destino exitoso de expansión permanente. La oferta de empleo y las posibilidades de mejorar los niveles de bienestar, impulsaron a mexicanos provenientes de todos los rincones del país, y en especial de la Península de Yucatán, a emigrar hacia Cancún.

Esta enorme corriente migratoria y la ausencia de condiciones para dar cabida a los nuevos pobladores, generaron problemas estructurales que son cíclicos y responden a un mismo patrón: la

oferta de empleo genera migración; los recién llegados demandan vivienda, infraestructura y servicios a una velocidad mucho mayor de la que el gobierno es capaz de afrontar. Esto propicia asentamientos irregulares en las tierras ejidales que rodean el centro de población y finalmente los colonos se organizan y agrupan para demandar la regularización de la tenencia de la tierra y la introducción de servicios públicos. Los rezagos sociales que este panorama plantea, se acumulan irremediamente día con día ensanchando la enorme brecha que separa la pobreza de los sectores marginados y carentes de servicios, de la imagen física de abundancia del complejo turístico.

Durante muchos años, el círculo vicioso originado por las invasiones y asentamientos humanos irregulares condujo a demandas continuas de regularización y dotación de servicios públicos, convirtiéndose en una costumbre el ciclo invasión - regularización - dotación de servicios.

El proceso se repitió una y otra vez hasta el año de 1994, cuando el Ing. Mario Villanueva, Gobernador Constitucional del Estado, logró la expropiación de 2005 hectáreas al norte de la ciudad y de 707 hectáreas al sur de Cancún con el propósito de dirigir y ordenar el crecimiento de la mancha urbana.

Gracias a ello, se hizo posible la reubicación y concentración de la población irregularmente asentada al norte de la ciudad en un polígono de 660 hectáreas denominado "La Franja" donde viven hoy 50,000 habitantes y que está siendo paulatinamente dotada de vialidades e infraestructura.

La ausencia de drenaje en La Franja, la falta de conexiones en las redes recientemente instaladas, el desgaste de la infraestructura en la zona urbana más antigua de Cancún, así como los deficientes procesos de tratamiento de aguas negras y disposición de lodos, afectan y contaminan los mantos freáticos y repercuten en los índices de contaminación del Sistema Lagunar Nichupté, donde desembocan las corrientes subterráneas de Cancún. En esta zona, el cuidado del entorno ecológico no sólo deriva en mayor bienestar y calidad de vida, sino que está directamente relacionado con la principal actividad económica: el turismo.

Cancún se convirtió rápidamente en la ciudad de mayor crecimiento en todo el país. En este contexto, la planeación urbana fue rápidamente rebasada y en vez de ser prospectiva, se volvió correctiva. Nuestra historia muestra un proceso permanente de regularización y han sido excepcionales los casos de reubicación de pobladores en zonas donde resulte viable y menos costosa la introducción de infraestructura y servicios.

Al analizar los problemas estructurales de Cancún: la migración, el crecimiento explosivo de la mancha urbana y la degradación de los ecosistemas, es importante observar que la incidencia de los procesos de planeación en la solución de esta problemática ha ido creciendo día a día. En 1970, cuando el Gobierno Federal creó el centro turístico de Cancún, Quintana Roo tenía la categoría de Territorio Federal. Por ello, la primera etapa de planeación y gestión administrativa se concentró en autoridades federales, fundamentalmente FONATUR, que desempeñó los papeles de promotor, fraccionador, constructor y prestador de servicios públicos. Cuatro años más tarde Quintana Roo se convirtió en Estado federado y a partir de 1976, existe una legislación estatal para la planeación y el desarrollo urbano; se integraron los órganos de consulta y planeación previstos en el ámbito nacional y se adoptaron las estructuras legales y administrativas del Sistema Nacional de Planeación.

Durante la década de los 70, las decisiones que afectaban a Cancún se tomaban en las esferas políticas, financieras y de planeación centralizada en la capital de la República. En el centro se decidían las obras de infraestructura; la puesta en marcha de mecanismos como los SWAPS

(intercambio de deuda por inversión) que aceleraron la construcción de la segunda etapa de Cancún y la política turística de atracción de turismo masivo a través de paquetes, para recuperar la ocupación hotelera después del huracán Gilberto en 1988.

Sin embargo, desde la puesta en marcha de la reforma municipal de 1983, los municipios han fortalecido su capacidad de respuesta: adquirieron la posibilidad de fortalecer sus haciendas a través de la recaudación directa del impuesto predial; se aceptó el cobro de derechos por prestación de servicios públicos y se otorgó a los municipios la facultad de ordenar su crecimiento urbano y reglamentar su vida comunitaria.

Desde entonces, la comunidad, los Cabildos y las administraciones públicas municipales han aumentado su injerencia en la toma de decisiones. Los planes se elaboran ya en el mismo lugar donde se manifiesta la problemática y donde pueden también surgir las oportunidades de solución.

7.3 DEMANDAS COMUNITARIAS PERMANENTES

La comunidad de Benito Juárez, sin importar si reside en la cabecera municipal o en los poblados rurales, tiene demandas permanentes: altos índices de seguridad pública, servicios urbanos de calidad, crecimiento urbano ordenado, medio ambiente cuidado, lotes con servicios para poder construir su vivienda y equipamiento suficiente en materia de educación, salud, deporte, cultura y recreación.

Los obstáculos para satisfacer estas demandas tienen su origen en el enorme rezago urbano y ambiental generado por los problemas estructurales y en las limitaciones presupuestales del Municipio para atenderlo oportunamente.

El propósito de este capítulo, es ejemplificar la metodología para el Diseño de Sistemas de Saneamiento Litoral, para ello se escogió una zona con un auge muy importante en todos los aspectos, esta zona es Cancún y en particular el Sistema Lagunar Nichupté que es una zona con la cual las diferentes autoridades estatales y municipales han tomado conciencia de la importancia de este lugar. Como se ha mencionado, Cancún a tenido un crecimiento que ha rebasado las expectativas de desarrollo pronosticadas, por ello se ha visto rebasado el Estado y el municipio en muchas demandas de tipo social y de servicio, tal es el caso de la vivienda.

7.4 ZONIFICACIÓN DE USOS.

La zonificación de usos del Sistema Lagunar Nichupté (SLN), tiene como objetivo la protección, conservación y restauración del medio ambiente de la zona, mediante el establecimiento de un marco legal en el cual involucra el gobierno municipal y federal además de los habitantes de la zona, ya que es importante que por medio de la colaboración de especialistas en cuestiones ambientales y la sociedad en general, logren encontrar la forma de conciliar las actividades realizadas y el desarrollo económico y social de dicha zona, sin dejar a un lado las cuestiones ecológicas, en el caso de Cancún, la conservación del medio ambiente es mucho muy importante dado que el turismo el parte fundamental en la economía y desarrollo de Cancún, por ello la preocupación de la conservación del medio, no solo de la zona Turística de Cancún sino de todo la zona en general.

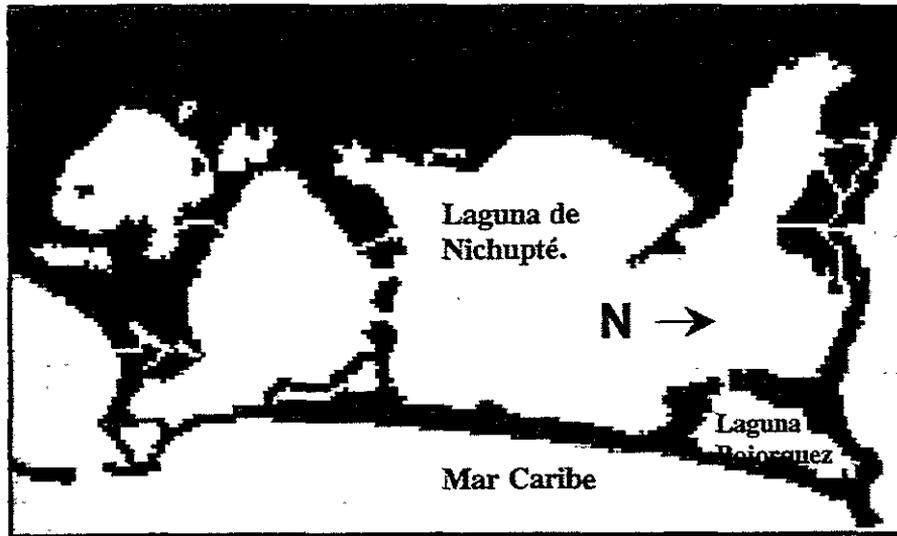


Figura 6.1 Sistema Lagunar Nichupté. "SEMARNAP 99".

En esta parte de la metodología se busca establecer la definición de usos de las diferentes zonas, en la cual se tiene interés ya sea por importancia turística (en el caso particular de estudio), o por su importancia dentro del entorno ecológico, tomando en cuenta la fragilidad y susceptibilidad de algunas zonas a ser alteradas por contaminantes, deforestación o asentamientos humanos, por ello se busca establecer actividades bien definidas que cumplan con los criterios de calidad buscados y lleven a las zonas a poder controlar el deterioro que pueda presentarse. A continuación se presentan las definiciones de usos que se aplico a la zona del SLN.

De forma general podemos identificar 4 tipos de uso de espacios litorales, estos son:

1. Recreativos

Dentro de estos se incluyen todas las actividades en el entorno litoral que implique la utilización directa o indirecta de las aguas del litoral.

2. Pesca y cultivos marinos

Se incluyen todas las actividades que se relacionen con; la extracción comercial de recursos pelágicos y bentónicos renovables (pesca comercial y marisqueo).

3. Conservación de espacios litorales

Con este uso hace referencia a los valores estéticos (transparencia, color, riqueza florística, etc.), ecológicos, culturales, educativos, o científicos propios de los espacios litorales.

7.4.1 Industriales

Estos abarcan las actividades más usuales en el litoral, todas aquellas que tengan que ver con el tráfico portuario, definido como actividades de entrada, salida, atraque, desatraque, estancia y reparación de buques en puertos y la transferencia entre éstos y tierra u otros medios de transporte, de mercancías de cualquier tipo, de pesca, almacenamiento temporal de dichas mercancías en el espacio portuario, siempre que se realice dentro de espacios acuáticos que estén dotados en el medio terrestre con las instalaciones necesarias para su desarrollo.

En el caso del SLN se tiene que hacer extensivo, la definición de usos de los espacios litorales a zonas tierra adentro, ya que son parte importante en el entorno ecológico de la región. La zonificación del SLN busca la protección y conservación ecológica de la zona, a continuación se enlistan la zonificación usada en el SLN.

Conservación: Esta zona es apta para la conservación de vida silvestre actividades turísticas y ecológicas.

Aprovechamiento: Apta para el turismo y desarrollo urbano.

Restauración: Zona apta para actividades de restauración ecológica.

Estos es la zonificación de usos que se realizo en el SLN, en ellos se puede observar la preocupación de las autoridades y de la población en general por conservar la ecología de la región. Una vez realizada la zonificación de usos, que consiste en delimitar las áreas con la definición de usos previamente establecida. A continuación se muestra en la Figura 6.2 la zonificación hecha en el SLN.

7.4.2 Ordenamiento ecológico.

Como se menciona en el capítulo 3 de esta tesis, el Sistema Lagunar Nichupté cuenta con un Ordenamiento Ecológico establecido, que se muestra en la Figura 3.5.

A continuación se muestran las características del Ordenamiento ecológico de Sistema Lagunar Nichupté.

Estados involucrados: Quintana Roo.

Municipios involucrados: Benito Juárez.

Superficie involucrada: aproximadamente 211 km².

Importancia de la zona: Principal centro turístico a escala nacional.

Ecosistemas relevantes: Sistema Lagunar, Manglares, Popales, Tulares, Selva Baja Subcaducifolia, Playas Arenosas.

Área Nacional Protegida de la región: Parque marino Arrecifes de Punta Cancún y Punta Nizuc.

Poblaciones Importantes: Cancún, Alfredo V. Bonfil.

Problemática: Eutroficación y contaminación del agua del Sistema Lagunar Nichupté por descargas de aguas servidas. Incidencia negativa en fauna y flora bentónicas por el tránsito de vehículos acuáticos automotores. Tala de mangle. Violación a los reglamentos de zonificación y densidades de construcción. Asentamientos humanos irregulares. Déficit de la red de drenaje y alcantarillado. Ubicación y uso inadecuados de rellenos sanitarios. Deterioro de los arrecifes coralinos. Extracción excesiva de bancos de préstamo de materiales

Potencial de desarrollo: Ecoturismo, Conservación y comercialización de flora y fauna silvestres.

Sectores involucrados: Turístico. Comunicaciones y Transportes.

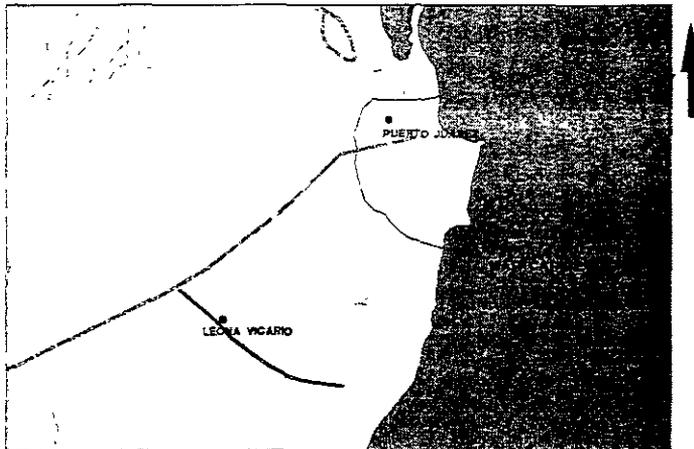


Figura 6.2. Mapa del Sistema Lagunar Nichupté.

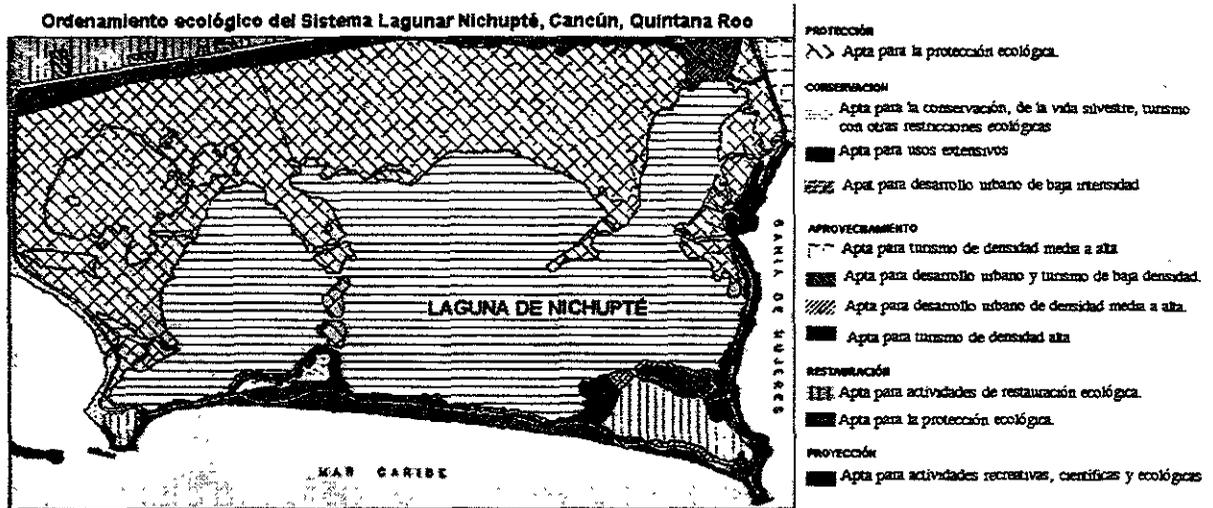


Figura 6.3. Ordenamiento ecológico Sistema Lagunar Nichupté. " SEMARNAP 99".

7.5 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE CALIDAD DE LAS AGUAS LITORALES.

Una vez establecidos los usos se establecen los objetivos de calidad asociados a cada una de las zonas, o subzonas de éstas, delimitadas en la zonificación. En la tabla 3.1 se especifican algunos de los posibles objetivos para cada uso de tipo genérico. En el caso de aplicación se realizó un estudio hidrodinámico y de calidad de agua con modelos matemáticos para determinar el impacto que se produciría al abrir un canal artificial que conectará la laguna de Nichupté con la laguna de Bojorquez.

7.6 APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDRODINÁMICOS Y DE CALIDAD DE AGUA.

Se utilizarán el modelo matemático H2D dado que las velocidades verticales del flujo en las zonas cercanas al Litoral son muy pequeñas, en esta condición es apropiado aplicar en el estudio hidrodinámico del SLN un modelo de este tipo. Existen numerosos modelos matemáticos para simular la dispersión de contaminantes, pero no debe perderse de vista el hecho de que en general, la variación de la concentración de los contaminantes depende, en la mayor parte de los casos, más de la advección que de la dispersión, por lo que es más importante disponer de modelos hidrodinámicos adecuados que de modelos de dispersión muy sofisticados. A continuación se presentan los que son más importantes para el Modelo.

7.7 DATOS ESPECÍFICOS PARA EL MODELO DE OXÍGENO DISUELTUO

El modelo utilizado se conoce como MODIS, el cual requiere de información de concentraciones de DBOC Y OD al inicio de la simulación además de los siguientes datos:

- Salinidad (%)
- Temperatura(°C)
- Máxima producción de oxígeno disuelto a mediodía por fotosíntesis(gO_2/m^2)
- Respiración (gO_2/m^2)
- DOS(gO_2/m^2)
- Velocidad del viento (m/s)
- Tasa de oxidación de DBOC
- Fecha y hora del inicio de la simulación

Estos son los datos más importantes al inicio del estudio del oxígeno disuelto, es necesario aclarar que el número y precisión de cada dato está en función de las condiciones particulares de cada caso y del modelo utilizado.

7.8 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO DE OXÍGENO DISUELTO.

Para calibrar los modelos a las condiciones locales de la zona en estudio, se realiza una serie de corridas del modelo con diferentes parámetros y se comparan los resultados con los datos medidos en campo, con esto es posible ajustar las variables del modelo, hasta alcanzar un error aceptable en la simulación. En este tipo de modelos un error entre 10% y 20% es aceptable para los fines buscados.

La validación del modelo es muy importante puesto que con ella se demuestra que las hipótesis con que parte el modelo son aplicables a las condiciones del problema, justificando todas y cada una de las hipótesis, no sólo en el inicio del estudio sino también final con los datos medidos en campo.

Los parámetros objeto de calibración en el modelo de oxígeno disuelto son:

- La producción de OD por fotosíntesis
- La tasa de respiración
- La demanda de oxígeno por sedimento
- La tasa de oxidación por DBOC

Debe mencionarse, que el modelo de calidad de agua ha sido calibrado con varios casos que se presentan en la "Metodología de Estudio de los Sistemas de Saneamiento Litoral ", Oviedo, 1995.

7.9 ESPECIFICACIONES DEL PROBLEMA.

El propósito del ejemplo es analizar desde el punto de vista hidrodinámico y de calidad de agua, las posibles consecuencias de la apertura de un canal interior en el SLN. La localización de dicho canal de 10m de ancho y 2m de profundidad, tiene lugar en el costado oriente de Nichupté, al sur de Bojorquez, en la proximidad de uno de los canales que interconecta a ambas lagunas.

7.9.1 Descripción de escenarios y condiciones de frontera

Se simularon dos escenarios diferentes, el primero correspondiente a la situación actual en el cual el SLN no está influenciado por el canal artificial y el escenario futuro del proyecto, en el que se interconecta dicho canal y se permite su interacción con el SLN. El propósito principal se centra en establecer una comparación de calidad de agua lo más fidedigna posible. Para ambos casos se

emplearon exactamente los mismos parámetros de simulación, tanto en lo que concierne a las condiciones hidrodinámicas como en los parámetros fisicoquímicos necesarios para ejecutar el modelo de calidad de agua, es decir, la única diferencia entre ambos casos es la presencia del canal del ejemplo en cuestión.

7.9.2 Condiciones de frontera hidrodinámicas.

Con respecto a la parte hidrodinámica, se emplearon las siguientes condiciones de viento y mareas promedio reportadas en el Word Wave Atlas, 1995, Oceanor:

- Onda reflejante
- Amplitud de onda promedio de 0.15m
- Período de 12h
- Desfase de 270°

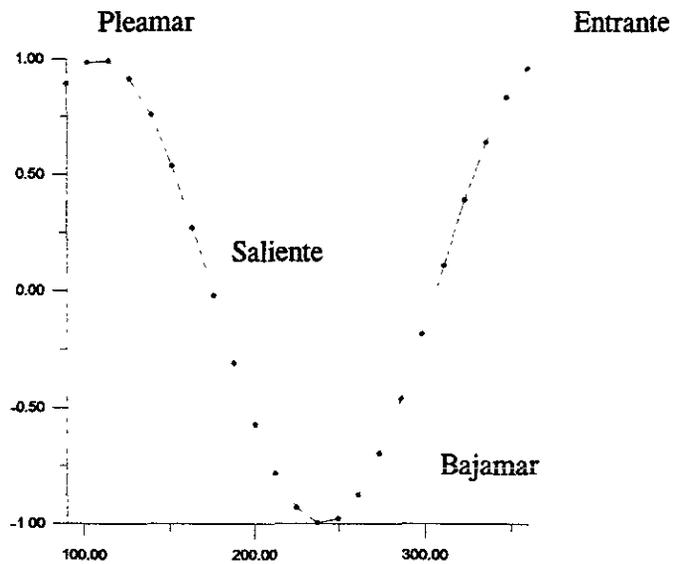


Figura 6.4 Condiciones de marea consideradas en el ejemplo.

La condición de viento utilizada en el ejemplo fue la velocidad promedio anual de 40 km/h con una dirección de 108° respecto al norte geográfico.

La batimetría del SLN, fue proporcionada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y se muestra en la Figura 6.5.

7.9.3 Condiciones de frontera para el modelo de calidad de agua.

Para la evaluación de los contornos de oxígeno disuelto, se utilizó el modelo MODIS, los parámetros iniciales para el modelo de calidad de agua fueron tomados del informe "Hidrodinámica de la Laguna de Nichupté, Cancún, Q. Roo, México", elaborado por el IMTA en 1993 y son los siguientes:

Para oxígeno disuelto (OD) y Demanda de Oxígeno (DBO), se adoptaron los valores de 3.4 mg/l y 14.2 mg/l respectivamente para la Laguna de Bojórquez y de 4.7 mg/l y 2.44 mg/l para la Laguna

de Nichupté. El valor promedio de salinidad es de 23.8 ppm y el de temperatura ambiente promedio 28°C.



Figura 6.5. Batimetría del Sistema Lagunar Nichupté “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

7.10 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL.

Debido a que la zona de estudio del ejemplo representa solo una pequeña parte del SLN, se realizó en dos etapas. La primera en la cual se simuló de manera global todo el SLN y la segunda que solo considera la zona tomada para el ejemplo. Para esta última se emplearon como condiciones hidrodinámicas de frontera, las generadas durante la simulación de todo el sistema. El dominio de cálculo del SLN completo se representó con un total de 11704 nodos, con un total de 133 nodos en la dirección norte-sur y de 88 nodos en la dirección este-oeste (es decir se utilizó una malla de 133*88), con espaciamiento de 100 metros en cada una de las direcciones, tal como se muestra en la *Figura 6.6.*

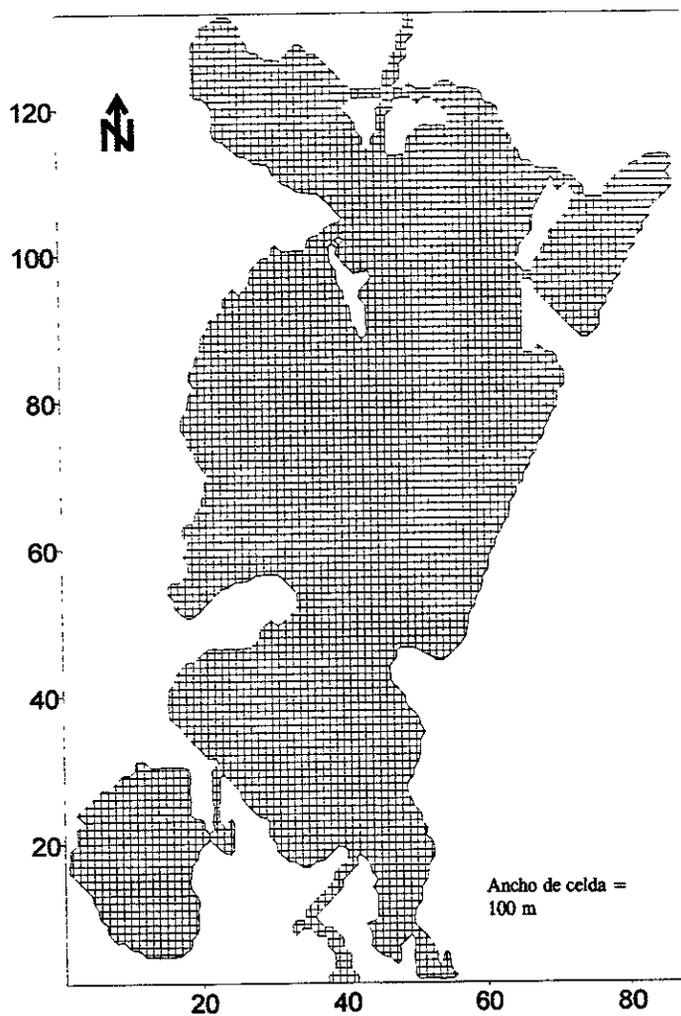


Figura 6.6 Discretización de la malla utilizada del SLN, utilizado en ejemplo. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

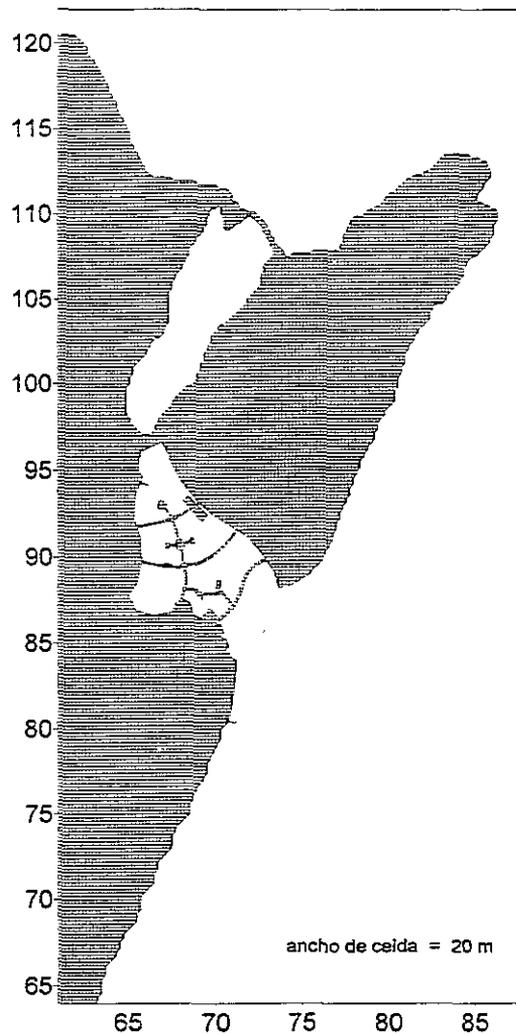


Figura 6.7 Discretización de la malla de detalle utilizada del SLN, utilizado en ejemplo. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

El paso de tiempo empleado fue de 10 segundos, requiriéndose aproximadamente 132 horas de simulación para lograr condiciones estables de flujo.

Para la zona de estudio en detalle se emplearon un total de 25970 nodos, con un total de 191 nodos en dirección norte-sur y de 136 nodos dirección este-oeste, con un espaciamiento regular promedio de 20m. Es importante destacar las pequeñas proporciones del canal respecto al SLN, y su localización, difícilmente lograr modificar las condiciones del SLN.

7.11 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizadas las simulaciones con los diferentes parámetros, se realiza el análisis de los mismos con el fin de poder obtener las condiciones que gobiernan la zona de estudio, además de poder evaluar si los resultados obtenidos son congruentes con el Sistema real, ya que puede darse el

caso que para algunas condiciones dadas las limitaciones del modelo puedan arrojar resultados con errores numéricos que lleven al estudio a conclusiones falsas.

7.11.1 Resultados Hidrodinámicos.

A continuación se describen los resultados obtenidos después del tiempo de estabilización de flujo (132 horas), *Figuras* (6.7), (6.8), (6.9) y (6.10) muestran los patrones de flujo característicos dentro del SLN, teniendo como fondo la batimetría del sitio para fácil referencia de aquellas zonas que sufren cambios de velocidad evidentes por la morfología del sistema.

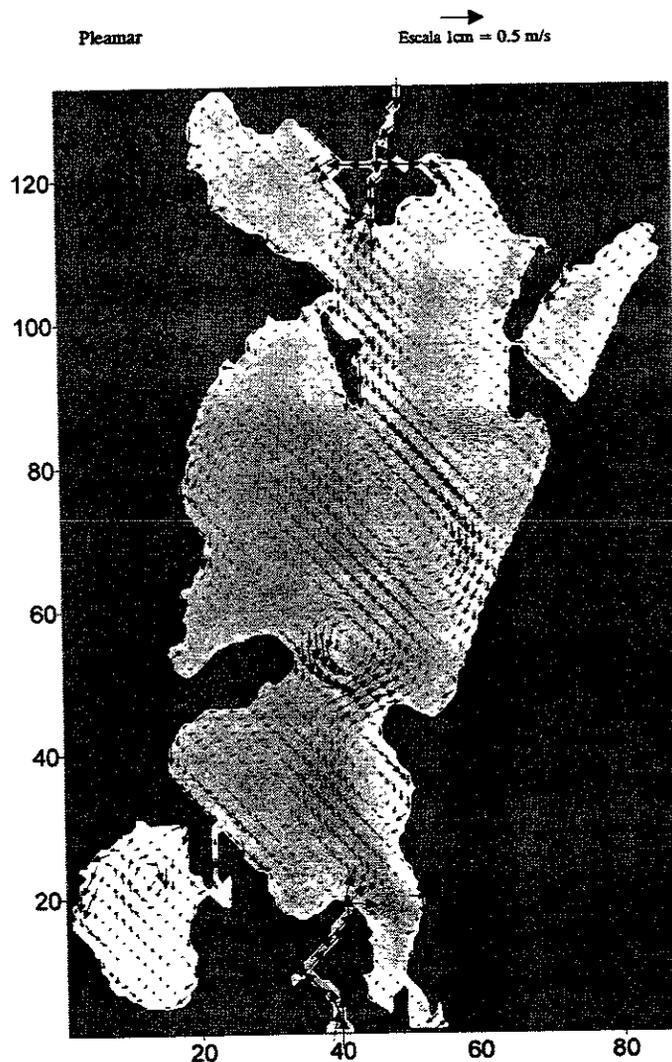


Figura 6.8. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Pleamar "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

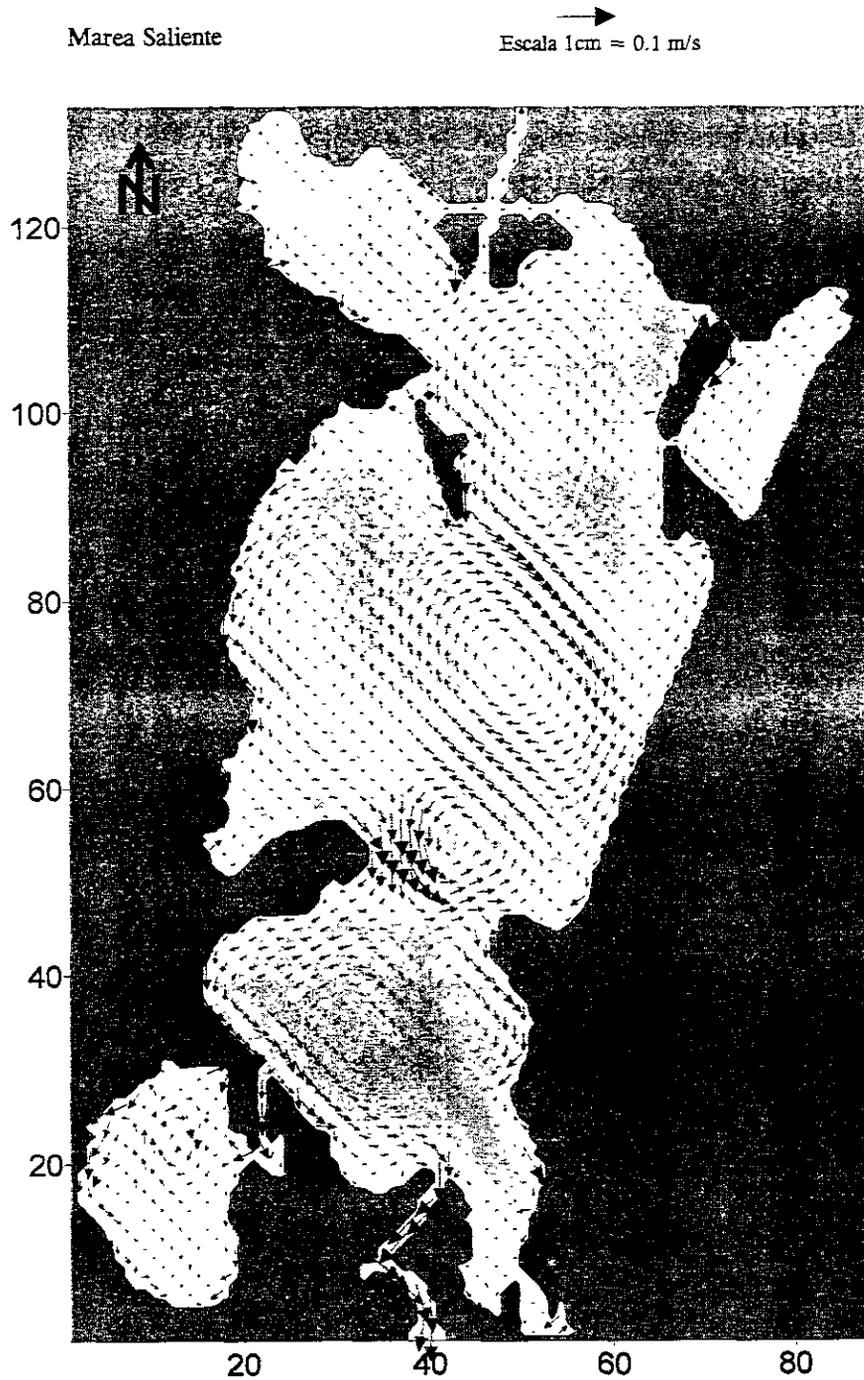


Figura 6.9. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Saliente. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

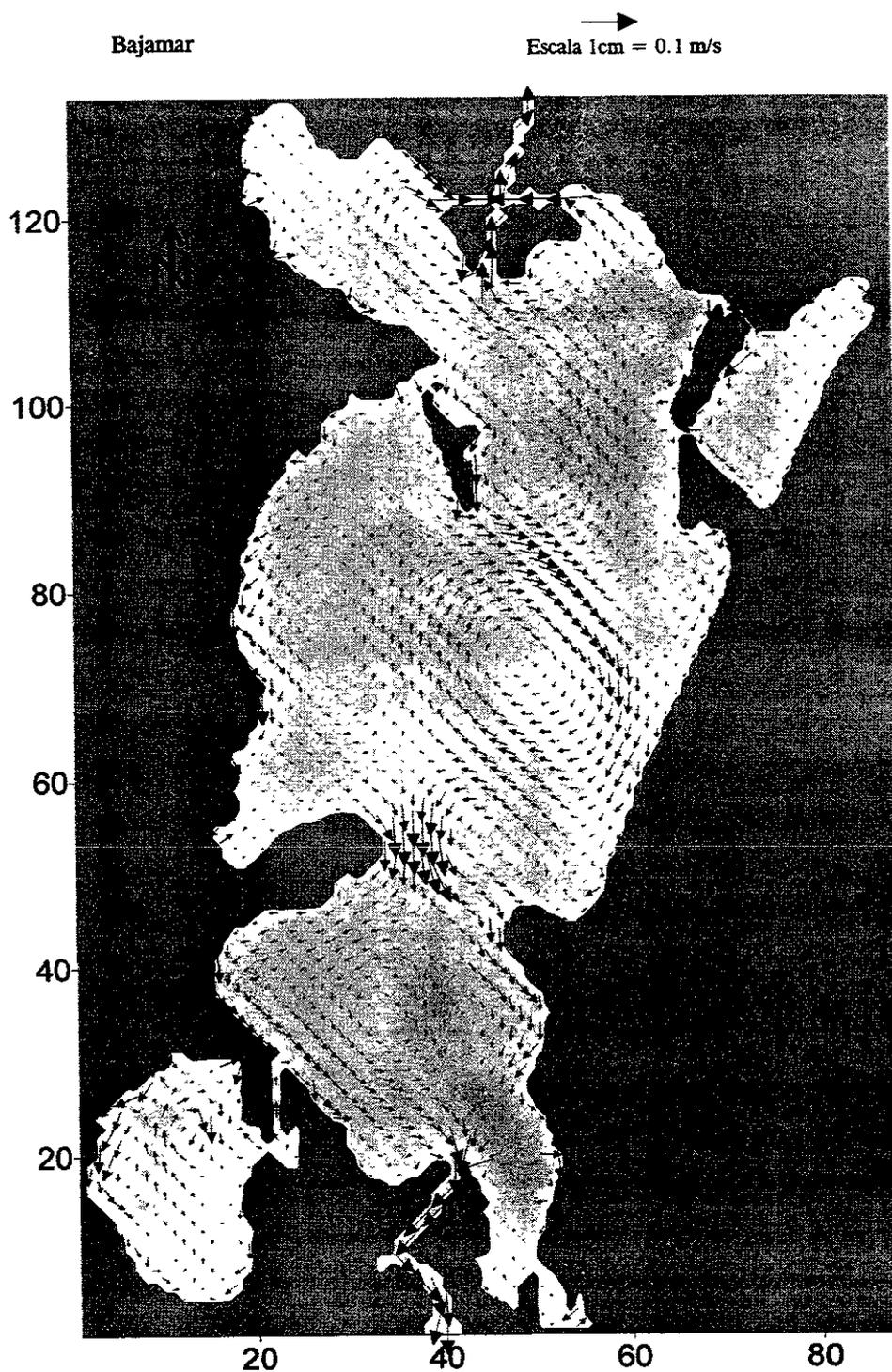


Figura 6.10. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Bajamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

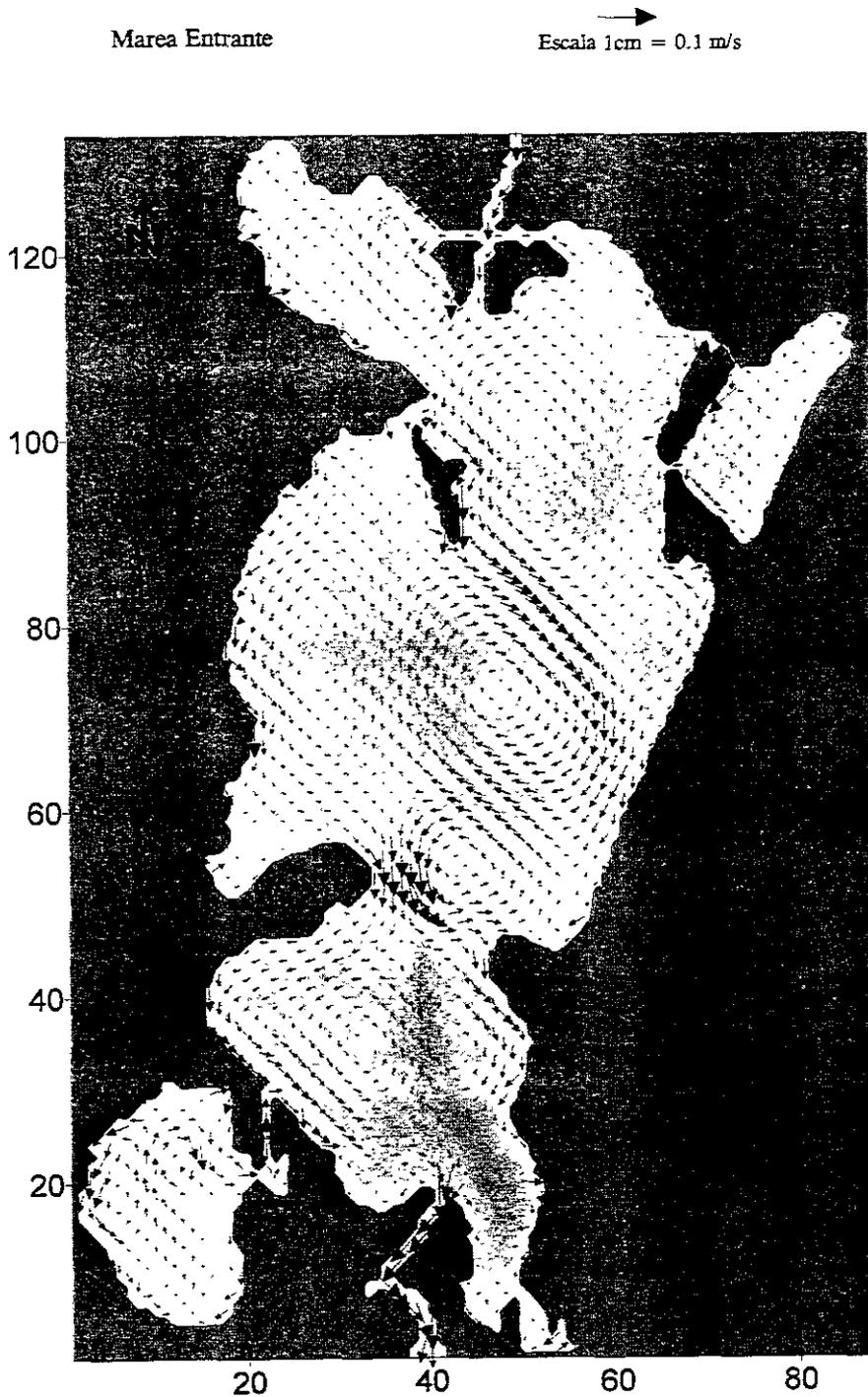


Figura 6.11. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de Entrante. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

En la Figura 6.8 se muestra claramente que para las condiciones de pleamar existe un claro aporte de agua al sistema por ambas bocas e igualmente se aprecia que también existe aporte de agua hacia la

Laguna de Bojórquez por ambos lados. La distribución de velocidad en la parte central del SLN es muy similar a lo largo de todo el ciclo de marea, con velocidades típicas de 5 cm/s.

En condiciones de marea saliente, Figura 6.9 se aprecia que a pesar del vaciado del SLN por ambos canales (Cancún y Nizuc), la Laguna de Bojórquez sigue teniendo un aporte por la parte norte y un vaciado por la parte sur, estas condiciones son muy similares en condiciones de bajamar (Figura 6.10) con la excepción de que la zona norte de Bojórquez ya experimenta el refluo de salida.

Por último en la Figura 11 el periodo de marea entrante y refleja el desfase de la marea, existiendo entrada de agua hacia la laguna de Bojórquez a través del Canal Cancún y aún por el canal Nizuc.

Las figuras anteriores tipifican el comportamiento hidrodinámico del SLN, para las condiciones más críticas de simulación.

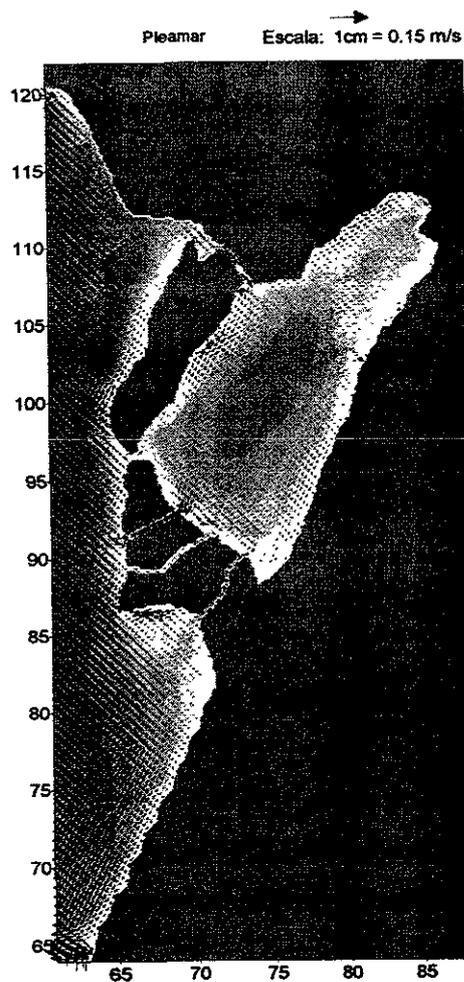


Figura 6.12 Patrón hidrodinámico obtenido en condición de pleamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

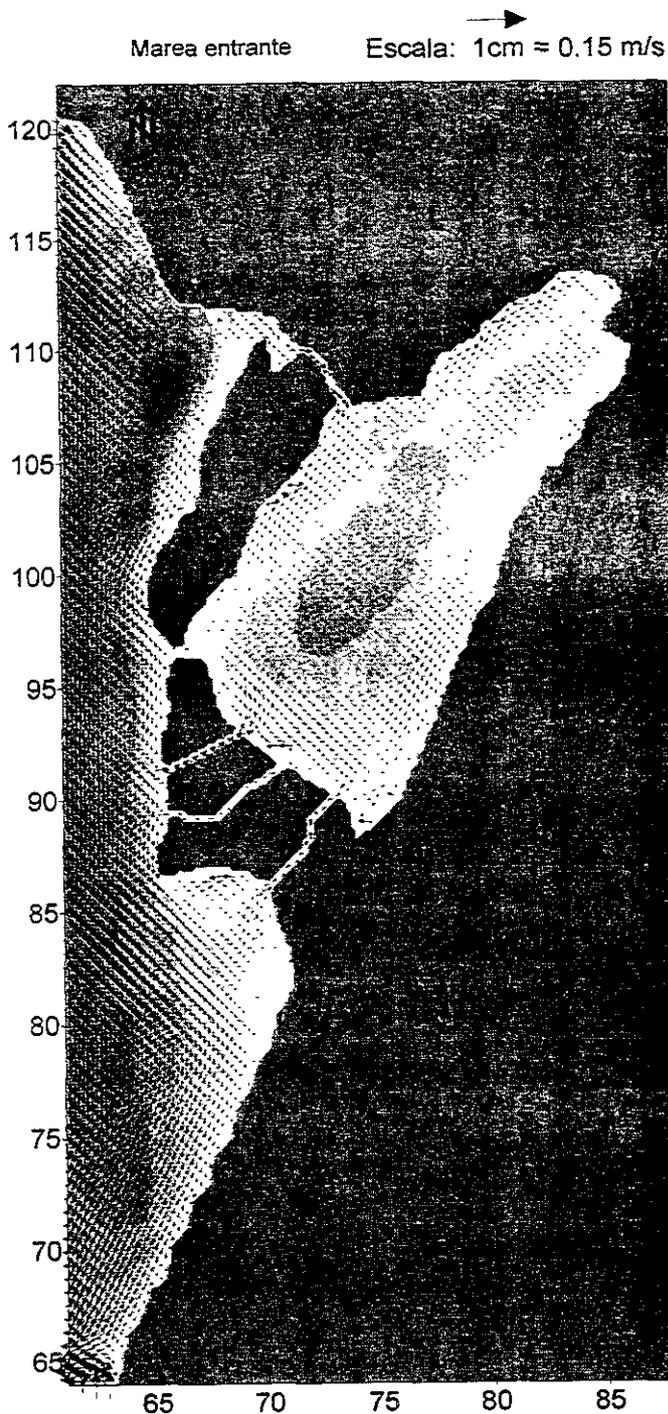


Figura 6.13. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de entrante, de la malla de aproximación. "Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial" Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

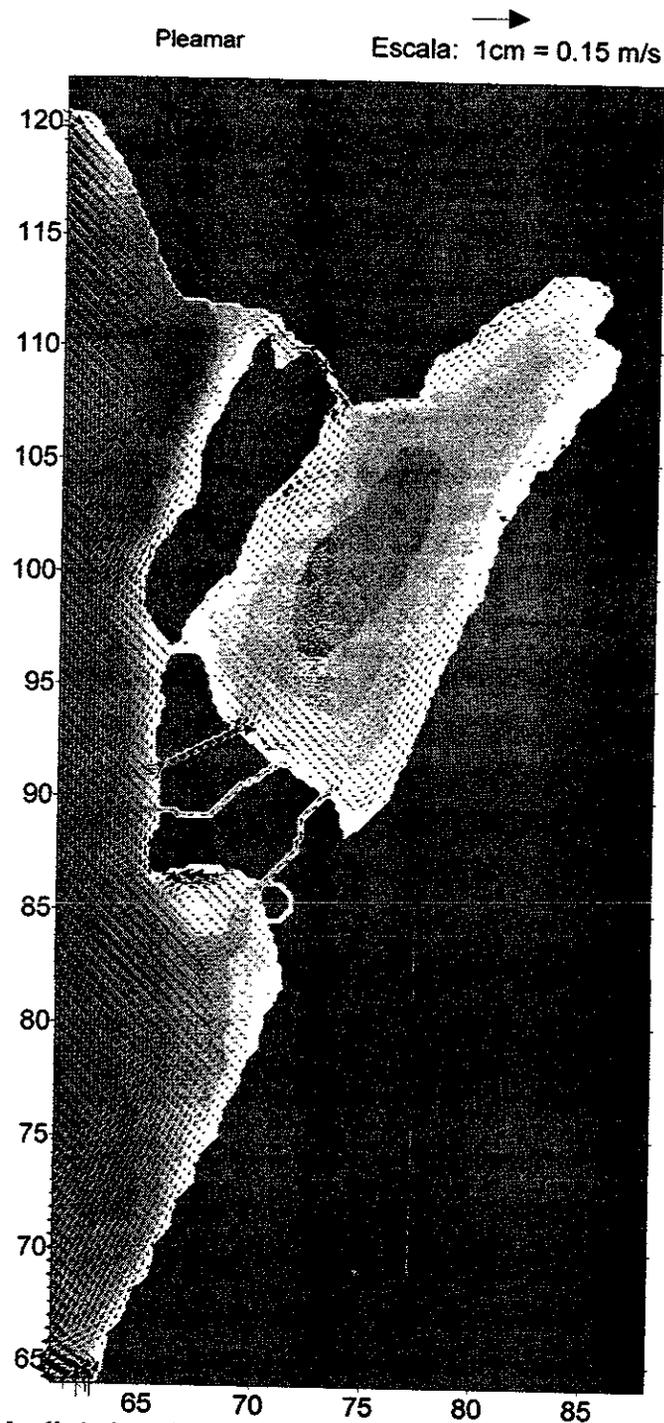


Figura 6.14. Patrón hidrodinámico obtenido en condición de entrante de la malla de aproximación, con el canal adicional. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

Del análisis de las condiciones hidrodinámicas arriba discutidas arriba discutidas, se pueden inferir tres conclusiones importantes:

- Las condiciones globales del flujo tanto en Nichupté como en la Laguna de Bojórquez, presentan direcciones predominantes de flujo norte-sur. La magnitud de las velocidades en el Sistema Lagunar Nichupté son mayores que las encontradas en la Laguna de Bojórquez, donde los valores fluctúan alrededor de 3cm/s.
- La dirección de flujo en los canales de interconexión, entre Bojórquez y Nichupté se invierte dependiendo del estado de marea, trayendo consigo también una inversión de flujo en el canal artificial, en donde las velocidades promedio son muy bajas y del orden de 1 a 2 cm.
- Se puede observar que desde el punto de vista hidrodinámico, la presencia del nuevo canal artificial no induce variaciones apreciables, ni siquiera en la proximidad del canal.

7.11.2 Calidad del agua.

A continuación se presenta la evolución de los contornos de OD para los estados de marea más importantes, así como los de DBO cada una de las figuras indican en el extremo derecho una escala de colores no uniforme que representa los valores de OD Y DBO en mg/l. Las condiciones iniciales se tomaron en condiciones de bajamar, de esta manera, el tiempo de simulación que aparece en la esquina superior izquierda de cada una de las figuras, se debe interpretar como sigue: 6 horas, marea entrante; 12 horas pleamar; 18 horas, marea saliente; 24 horas, bajamar. En todos los casos, las figuras muestran los contornos que cubren la zona a partir de la región sur de Bojórquez, incluyendo en su caso, el canal futuro.

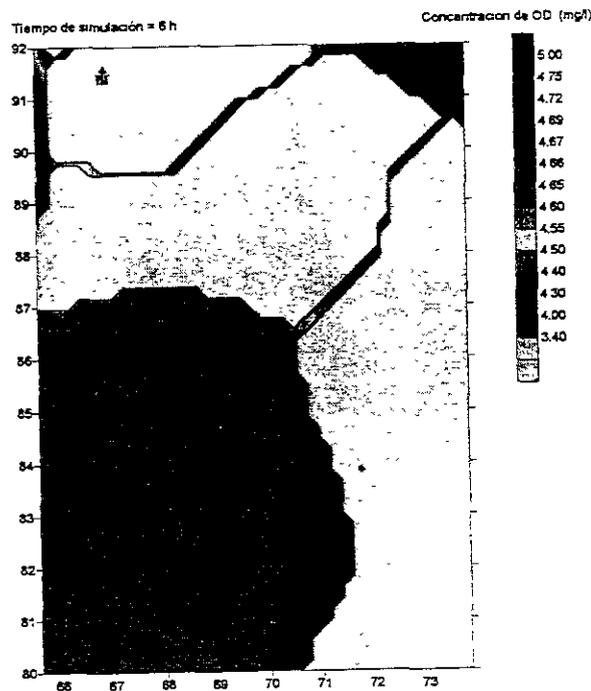


Figura 6.15. Contornos de OD situación actual para condición de entrante. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

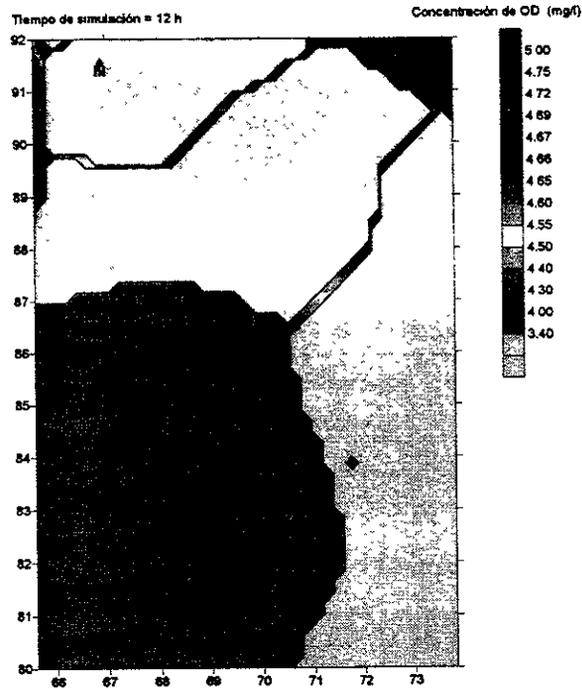


Figura 6.16. Contornos de OD situación actual para condición de pleamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

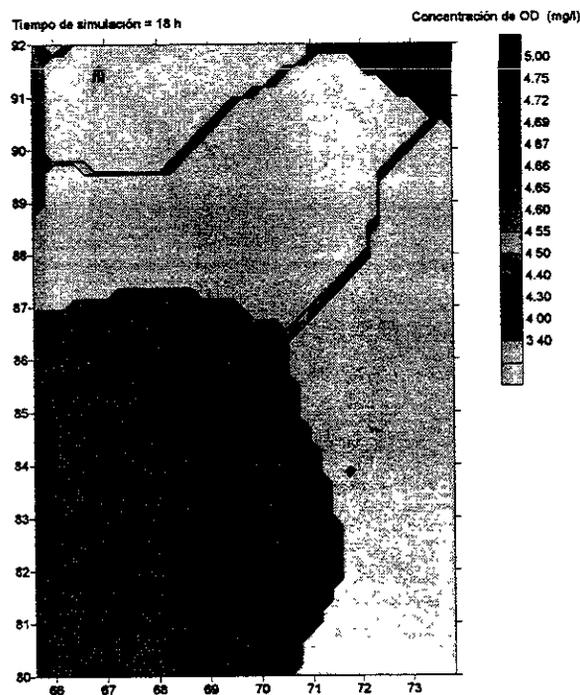


Figura 6.17. Contornos de OD situación actual para condición de saliente. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

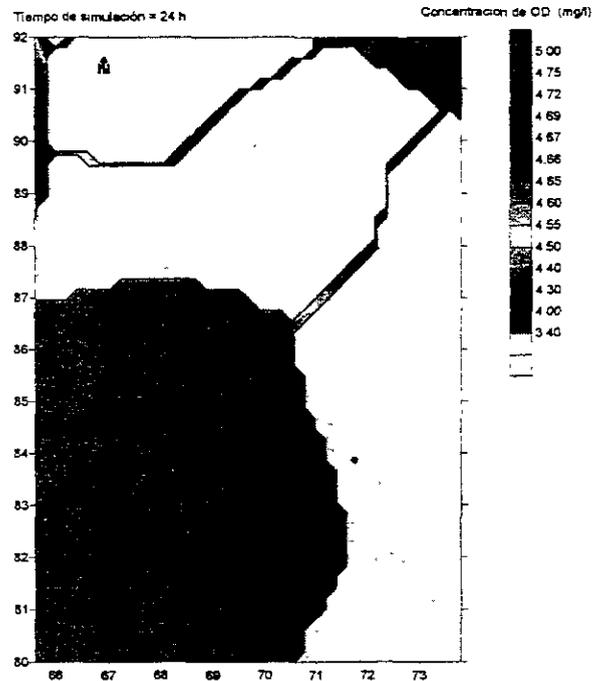


Figura 6.18. Contornos de OD situación actual para condición de Bajamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

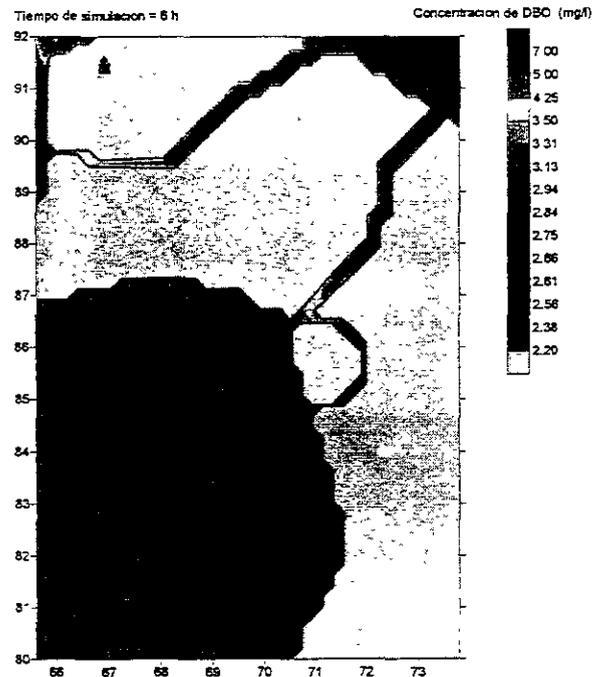


Figura 6.19. Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de Entrante. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

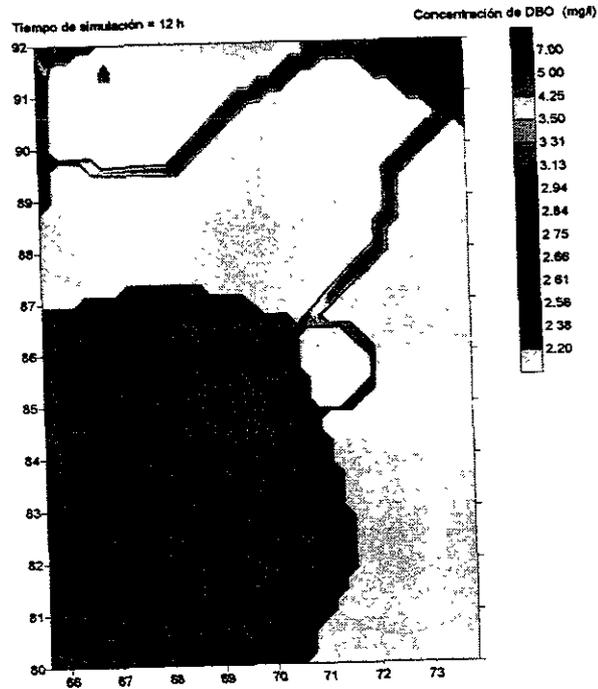


Figura 6.20. Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de pleamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

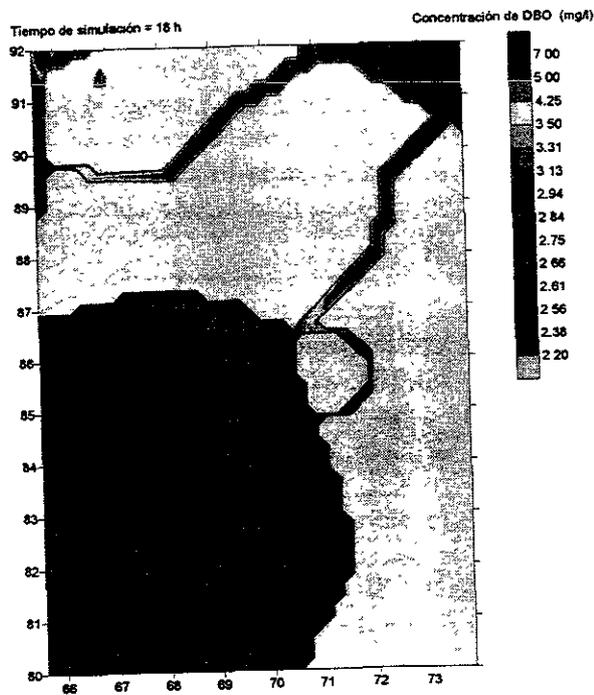


Figura 6.21. Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de Saliente. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

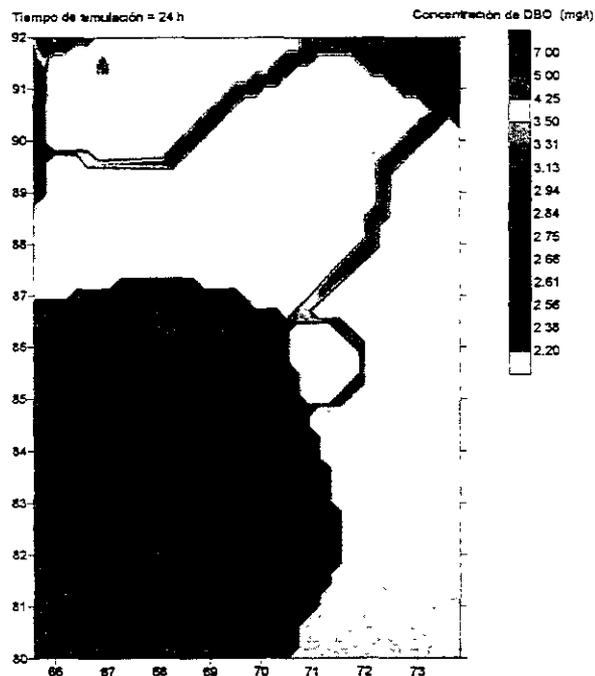


Figura 6.22. Contornos de DBO con el canal de proyecto para condición de Bajamar. “Estudio hidrodinámico y de calidad de agua de Nichupté. Influencia de un canal artificial” Instituto de Ingeniería Octubre de 1998.

En la *Figura 6.15*, correspondiente a condiciones de marea entrante, se nota de manera muy importante el gradiente descendiente de OD que se establece de norte a sur, alcanzándose valores cercanos a los 3.8 mg/l en la parte superior del canal que ingresa a Bojórquez debido, esencialmente al aporte de agua de Nichupté que posee una mayor concentración de oxígeno disuelto. El efecto que esto tiene sobre el canal artificial se aprecia en la *Figura 6.15*, ya que el agua que ingresa a este canal proviene básicamente de Nichupté, lo cual da lugar a concentraciones superiores a 4.5 mg/l en todo el canal.

Para condiciones de marea saliente las tendencias vuelven a invertirse, es decir el aporte de agua de Bojórquez a Nichupté provoca la concentración de OD empieza a disminuir tanto en la zona de Nichupté aledaña a los canales de conexión, como en el canal artificial, tal como se ve en las *Figuras 6.19 y 6.20*. Por último, al llegar a las condiciones de bajamar, el efecto de concentra al fin del periodo de aporte de Bojórquez a Nichupté, como se ilustra en las *Figuras 6.21 y 6.22*.

Esta serie de figuras muestra claramente que las variaciones locales de concentraciones de oxígeno disuelto son mínimas y que aun cuando están gobernadas por el efecto global de todos los fenómenos involucrados que fueron descritos en el modelo matemático, para este ejemplo predominan los efectos advectivos, notándose a lo largo del estudio, que la presencia del canal no afecta la calidad del agua del SLN.

7.12 CONCLUSIONES

Para este ejemplo, como se menciona en los capítulos anteriores, fue necesario crear dos escenarios, uno con la situación actual del SLN y otro que contemplaba el canal artificial, con el fin de poder evaluar los efectos de la presencia de este nuevo elemento en el sistema. A la luz de los resultados se puede decir que los resultados obtenidos después al modelar los dos escenarios descritos, se concluye de manera clara que la presencia del canal artificial que se pretende conectar al SLN, no afecta al mismo ni desde el punto de vista hidrodinámico ni desde el punto de vista de calidad de agua.

Dado que uno de los principales problemas que se presenta son las bajas velocidades en el canal artificial, se podría pensar en un sistema de bombeo en las zonas con menores concentraciones de OD.

1
2
3
4

5
6
7

8
9
10

CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones Generales.

En el *capítulo 1* se presento, conceptos básicos generales, para iniciar el estudio de los sistemas de saneamiento litoral, del cual se concluye lo siguiente:

1. Se dan los parámetros generales y una visión general de la importancia de cada uno de ellos, con el objeto de sensibilizar al diseñador de la importancia de cada uno de ellos.
2. Se presentan las bases y el problema general de sistemas de saneamiento Litoral.

En el *capítulo 2* se presento, las bases y principios de los modelos hidrodinámicos y de calidad de agua, del cual se concluye lo siguiente:

1. Es más importante contar con un modelo hidrodinámico adecuado que contar con un modelo de dispersión muy complejo.
2. Es importante realizar la validación y calibración de los modelos matemático, antes de realizar conclusiones concretas y líneas de trabajo.
3. Es importante distinguir los efectos de los diferentes parámetros y de las relaciones que existen entre ellos, para poder evaluar con mayor eficiencia sus efectos, aun en condiciones desfavorables.
4. Los modelos matemáticos son una herramienta muy importante a lo largo del diseño de saneamiento, pues son capaces de simular escenarios con condiciones de operación controlados.

En el *Capítulo 3* se presentaron, los aspecto más importantes relacionados con la problemática de la calidad de agua, del cual se concluyo:

1. La DBO y el DOS, son dos parámetros importantes pues son considerados como indicadores de la calidad existente en el medio ambiente de la zona.
2. La condiciones de frontera de los modelos de calidad de agua son importantes, pues son los datos con los cuales parte la evolución, de OD Y DBO del cuerpo de agua.

En el *Capítulo 4* se realiza la fase de ordenamiento Litoral y zonificación de usos, del cual se concluye lo siguiente:

1. Dada la importancia de la zona Litoral, es importante contar con un instrumento capaz de asignar usos a estas zonas, dependiendo de aspectos culturales, sociales, económicos, etc.
2. Respetar el nivel de calidad de agua necesaria, para el buen desarrollo y conservación de las zonas litorales y de todos los cuerpos de agua, es importante para frenar la tendencia de deterioro de muchos escenarios naturales.

En el *Capítulo 5* se presento, el programa de control y conservación ambiental, del cual se concluye lo siguiente:

1. Es importante realizar un Programa de Control y Conservación Ambiental, pues el mecanismo con el cual se verifica el cumplimiento de los objetivos de calidad, establecidos en la zonificación de uso de los espacios Litorales.
2. El Programa debe estar debidamente reglamentado y acorde a las necesidades y posibilidades de las zona a la que se esta regulando.
3. De nada sirve establecer niveles de calidad muy altos que sean ideales para las zonas en estudio, si no existen los medios y la conciencia ecológica por parte de los organismos y personas involucradas.

En el *Capítulo 6* se presento, las normas existentes en la legislación Mexicana, del cual se concluye lo siguiente:

1. Si bien existe un compromiso de las autoridades por conformar, un esquema jurídico en el ámbito ambiental, muchas de las veces la falta de conciencia aunado a una mala planeación y escasees de recursos a dificultado este proceso.
2. Las normas se han simplificado de tal forma, que se han conformado en menos normas y con puntos más específicos, que dejan a un lado las ambigüedades a la hora de ejecutar las normas.
3. Se dan plazos para el cumplimiento de la calidad de efluente necesaria, con lo cual los municipios se ven en la necesidad de construir la infraestructura necesaria.

En el *Capítulo 7* se presento, el caso de aplicación, del cual se concluye lo siguiente:

1. Se ejemplifica la utilización de la metodología de diseño de sistemas de saneamiento litoral, para una región de mucha importancia en la actualidad para nuestro país.
2. Se nota la variación de la importancia de los parámetros, en función de las características reinantes de la zona de estudio.
3. Se hace énfasis en la interpretación de los resultados obtenidos, a partir de los modelos numericos utilizados.
4. Este tipo de estudio es capaz de realizar una evaluación de impacto ambiental, pues esta forma parte de la Metodología en general.

Bibliografía

Bibliografía.

1. Fischer, H.B.; list, F.J; KOH, R.C.Y; Imberger, J; Brooks, N.H; (1979); *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic press, inc. California (EE.UU).
2. Streeter/Wylie (1979), *Mecánica de los fluidos*, sexta edición.
3. Sánchez Bibriesca (197*), *Mecánica de Fluidos*. Instituto de Ingeniería U.N.A.M.
4. Huber, W.C. Dickinson, R.E; (1988); "Storm water management model. Version 4. User's Manual". Environmental protection agency. Athens (EE.UU).
5. Koutitas, C.G; (1988) "Mathematical models in coastal engineering". Pentech press limited. Londres.
6. Collign, j;(1991). "Ecologie et biologie marines. Introduction à l'halieutique". Masson. París (Francia).
7. Ambrose, R.B; Wool, T.A; Martin, J.L; Connolly, J.P; Schanz, R.W (1991); "Wasp5.x, a hydrodynamic and water quality Model-Model theory. User's manual and programmer's guide". Environmental protection agency. Athens. Georgia (EE.UU).
8. IMTA (1993) "Hidrodinámica de la Laguna de Nichupté, Cancún, Q. Roo México", Jiutepec, Morelos México.
9. Metcalf and Eddy (1995), *Ingeniería de aguas residuales Tratamiento, vertido y reutilización*. v1-2.
10. Baumgartner, D.J; Frick, W.E.; P.J. W;(1994); "Dilution models newport. Oregon (EE.UU).
11. Metodología de estudio de saneamientos litorales, edición base. Confederación Hidrográfica del norte. Oviedo, Diciembre de 1995.
12. USEPA(1997) *Quality Criteria for water*. Office of water and hazardous materials. United States Environmental protection agency. Washigton, D.C. 20460.
13. Borja (1997). *La evaluación de impacto ambiental en el medio marino*. IV Jornadas Españolas de ingeniería de puertos y costas. Cádiz, España.
14. Instituto de Ingeniería U.N.A.M. (Octubre 1998) *Estudio hidrodinámico y de calidad del agua Laguna de Nichupté*. Influencia de un canal artificial.
15. Uribe (1999). *Caracterización del clima marítimo mexicano*. Facultad de ingeniería, UNAM.
16. www.ine.gob.mx.
17. www.semarnap.gob.mx.