



112  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

2 E. J. M.  
FACULTAD DE INGENIERIA

**DIFUSION COMO ELEMENTO DE CONTROL  
DE LA CONTAMINACION MARINA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
LICENCIADO EN INGENIERIA CIVIL**

**P R E S E N T A N**

**ERNESTO S. MENDEZ CUIEL**

**J. ANTONIO MURILLO GUTIERREZ**

**MEXICO, D. F., 1985.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**LA DIFUSION COMO ELEMENTO DE CONTROL  
DE LA CONTAMINACION MARINA**

# INDICE

# INDICE

	Pags.
I.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, . . . . .	1
II.- GENERALIDADES . . . . .	8
2.1.- Alteración de los factores ambientales mari- nos por la contaminación, . . . . .	9
2.2.- Agentes contaminantes y parámetros admisi- bles. . . . .	16
2.3.- Propiedades físicas y químicas del agua de mar . . . . .	32
2.4.- Conceptos fundamentales de la Ingeniería Ma- rina. . . . .	40
III.- EL PROCESO DE DIFUSION EN EL MAR, . . . . .	66
3.1.- Introducción. . . . .	67
3.2.- Modelos y resultados. . . . .	76
3.3.- Metodología de campo, . . . . .	113
3.4.- Técnicas de detección y eliminación por hi- drocarburos, . . . . .	134
3.5.- Proyecto y construcción de un emisario sub- marino. . . . .	139

IV.- EJEMPLO DE APLICACION. . . . .	156
4.1.- Introducción . . . . .	157
4.2.- Metodología de campo . . . . .	158
4.3.- Procesamiento de la información. . . . .	160
4.4.- Resultados . . . . .	163
4.5.- Conclusiones . . . . .	168
V.- CONCLUSIONES . . . . .	185

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

• El desarrollo tanto económico como demográfico que ha sufrido nuestro país, así como la concentración de diversas actividades en zonas próximas a las costas en los últimos años, han ocasionado niveles de contaminación en las aguas marinas territoriales consideradas como inquietantes. Este creciente grado de actividad polucionante que se traduce generalmente en la disminución del rendimiento de actividades marinas tales como la pesca afectando a los ecosistemas dependientes y más aún a la misma salud humana han provocado repentinamente la necesidad de una oportuna restauración, la cual impone el conocimiento científico de los factores ambientales, orientados a desarrollar métodos específicos y efectivos para la prevención, control y solución de las diversas formas de alteración ambiental.

Siendo este problema un fenómeno de reciente auge, la investigación en nuestro país todavía se encuentra en su fase inicial por lo que la relación causa-efecto en la mayoría de los casos no ha sido determinada de manera específica; las incógnitas son numerosas y las respuestas quedan en muchas ocasiones sumidas en apreciaciones relativas. El resultado es de esperarse, al no existir unificación de criterios ni



de técnicas se presenta dentro de este campo una diversidad de índices que fijan los parámetros admisibles, de sustancias y bacterias.

Sin embargo y pese a esa discrepancia todos los estudios coinciden en lo que se refiere a "contaminación marina" definiéndola como la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio acuático, como resultado de la incorporación de sustancias raras. Quedan incluidas, por tanto, todas las formas que varíen las características del agua del mar ya sean de tipo peligroso (concentraciones bacterianas, químicas, radioactivas, petrolíferas, etc) o simplemente molestas y antiestéticas (maderas, papeles, espumas, etc.)

El mecanismo por el que se contamina el agua oceánica es muy diverso; el cuadro 1 muestra una clasificación de fuentes contaminantes en estas aguas y dependiendo de las características de cada zona marítima variarán los efectos y la importancia relativa de cada sustancia extraña al medio.

En cualquier caso, la descarga de estas sustancias al

FUENTES DE

CONTAMINACION

MARINA

		<b>Atmósfera</b>	<b>Biocidas</b> <b>Sustancias radioactivas</b> <b>Productos de combustión</b>
<b>Mar</b>	<b>Utilización del subsuelo marino</b>		<b>Hidrocarburos</b> <b>Gases naturales</b> <b>Minerales</b>
	<b>Barcos</b>	<b>Accidentes</b>	<b>Hidrocarburos</b> <b>Productos químicos</b> <b>Sustancias sólidas</b>
		<b>Operación</b>	<b>Petróleos y lastre</b> <b>Materias fecales</b> <b>Basuras sólidas</b>
		<b>Descargas</b>	<b>Desechos industriales</b> <b>Fangos activos</b> <b>Municiones</b>
<b>Tierra</b>		<b>Vía indirecta (lluvia-viento)</b>	<b>Biocidas</b> <b>Fertilizantes</b>
		<b>Vía directa</b>	<b>Aguas industriales</b> <b>Aguas urbanas</b> <b>Detergentes</b> <b>Sustancias radioactivas</b> <b>Aguas termales</b>

ambiente marino supone un acto contaminante al que hay que combatir para circunscribirlo al menos, dentro de los límites que se hayan considerados como tolerables o admisibles.

Las medidas combativas contra la contaminación pueden adoptar dos modalidades:

- a) Medidas preventivas.
- b) Medidas de eliminación.

Es obvio que las primeras representen el mejor sistema de lucha contra la polución de las aguas marinas evitando que la enfermedad aparezca o que, al menos, presenten proporciones reducidas, convirtiéndose por lo tanto, en controlables. Tales medidas representan ventajas de carácter económico y también ecológico, ya que el daño causado a la naturaleza es mucho menor por un lado y por otro, las erogaciones además de distribuirse por todos los puntos que originan la contaminación marina representarían menores montos por ser más económico su tratamiento desde estos.

Una vez que se ha producido la contaminación en las aguas marinas habrá que tomar las dos medidas anteriores a la vez,

siendo la segunda la más urgente. La estrategia a seguir puede ser de dos tipos. Por una parte puede adoptarse una postura activa encaminada a la eliminación del agente contaminante; actitud que suele tomarse cuando el grado de contaminación, supone un riesgo para los bienes o usos costeros. Por otro lado la postura pasiva se refiere a la eliminación o esparcimiento de la polución mediante factores naturales de depuración.

Sea cual fuere la modalidad adoptada no hay que olvidar que el problema depende de muchos sectores y que su solución no concierne exclusivamente al ámbito portuario o costero sino que es un problema de orden nacional o supranacional. La anterior situación deja entrever la magnitud del problema y por lo tanto de su solución. Hasta ahora para eliminar las impurezas que recoge el agua durante su trayecto natural desde las nubes hasta el mar, sobre y a través de la tierra, el ingeniero, igual que el médico que atiende a un paciente, con frecuencia y por conveniencia, aprovecha el poder curativo de la naturaleza. Si se le da la oportunidad de actuar sola, esta fuerza natural libra al agua polucionante de las impurezas, en la misma forma que la acción coordinada de las defensas naturales del cuerpo lo limpia de las infecciones.

Debido a que esta es la forma en que actúa la naturaleza, el ingeniero debe familiarizarse no sólo con el "síndrome" de la contaminación y con los métodos para su prevención o curación, sino también con las fuerzas de la autopurificación o purificación natural, que por sí solas logran disminuir los síntomas de la contaminación, y he aquí la importancia que tiene el fenómeno físico natural conocido como difusión.

La difusión es en sí un medio natural que colabora junto con otras medidas a combatir la contaminación marina; se define como el mecanismo físico por el cual una sustancia con características bien particulares, se diluye en otra. En el caso de los mares, éste se activa con los movimientos que aquí se producen, como son el oleaje, corrientes, vientos y mareas.

Es aquí donde la Ingeniería Marina se une con sus conocimientos al esfuerzo de Ecólogos, Biólogos Marinos, Ingenieros Sanitarios, etc., para combatir conjuntamente la solución de las aguas oceánicas.

Sin embargo y como se había dicho, el problema depende de muchos sectores, por lo que la solución sea cual fuese,

deberá comprometer a todos ellos, a colaborar activamente; de otra manera se tenderá a soluciones parciales que en nada corregirán el problema de la contaminación marina.

CAPITULO II

GENERALIDADES.

## II. GENERALIDADES.

El conocimiento de los elementos que intervienen en los procesos de contaminación marina, así como el de las fuerzas autodepuradoras naturales del mar y de sus movimientos, son esenciales para la comprensión del fenómeno de la difusión como elemento de control de la contaminación marina. Es objetivo de este Capítulo explicar algunos de los conceptos que intervienen y que son de mayor importancia para la difusión.

### 2.1 FACTORES AMBIENTALES MARINOS QUE ALTERAN LA CONTAMINACION.

Para poder entender la trascendencia de la contaminación en el medio acuático, es importante conocer la forma en que los factores ambientales funcionan y los efectos que sufre el medio, al variar éstos.

Hay que señalar que los especialistas en el tema coinciden en decir, que tal vez los efectos más nocivos y los cambios más negativos para el destino del hombre son los que han tenido lugar en el medio acuático.



### 2.1.1 TEMPERATURA

La temperatura como factor físico ambiental tiene gran importancia, ya que afecta los procesos químicos que se realizan tanto en los tejidos animales como vegetales, así como algunas características físicoquímicas del medio. Por ejemplo, la viscosidad de los líquidos y la solubilidad de los gases en estos, aumenta cuando disminuye la temperatura, mientras que la salinidad, lo hace cuando disminuye. Además, este factor determina el ritmo con que se realizan las funciones metabólicas y reproductivas de los organismos.

En los mares y lagos profundos de la zona templada, se presenta un gradiente térmico vertical que se aprecia claramente cuando se estudia la distribución de la temperatura en una columna de agua, ya que ésta presenta una estratificación característica; a esto se le llama Termoclina. Concepto importante que se utilizará cuando se hable de la difusión.

### 2.1.2 ILUMINACION

La luz como factor ecológico tiene gran relevancia ya que, junto con la temperatura y sustancias nutritivas determina la producción primaria en las diferentes zonas geográficas.

Para entender la importancia de la luz como factor ecológico se debe partir del hecho de que es uno de los elementos que mayor variación presenta en la naturaleza, y que ésta puede ser de tipo geográfico, estacional, diurna y vertical.

Los principales factores que en un momento dado determinan la cantidad de la luz que llega a un lugar determinado en el agua son:

1. Posición de la fuente luminosa
2. Intensidad de movimiento del agua
3. Nublado del cielo
4. Material en suspensión

De estos factores mencionados el que mas relevancia tiene para este caso es el dos y el cuatro, ya que de la mayor o menor cantidad de materia en suspensión en el agua, dependerá la transparencia. Por otro lado la presencia de movimiento en el agua generalmente beneficiará el aumento de intensidad luminosa al trasladar o difundir la materia en suspensión.

### 2.1.3 SALINIDAD

La salinidad del agua de mar, representa la cantidad de sólidos disueltos en un kilogramo de agua, este factor junto con la temperatura y la concentración de oxígeno disuelto en el agua determina la distribución de los organismos en el ambiente marino, sobre todo en la zona litoral.

La concentración salina interviene en el equilibrio osmótico que debe existir entre las paredes de la célula y su medio ambiente. Cada especie prospera en el medio líquido que presenta la presión osmótica a la cual está adaptado. Además, en virtud de que está íntimamente relacionada con la densidad del agua está ligada a los mecanismos de flotación que presentan los organismos

acuáticos, mediante los cuales se mantienen en el nivel indicado.

Para entender la importancia de la salinidad como factor ecológico, es necesario conocer como las variaciones en la salinidad del agua de mar afecta a los organismos acuáticos.

Los organismos acuáticos pueden clasificarse de acuerdo con su capacidad para tolerar cambios en la salinidad, o por su capacidad para mantener sus fluidos internos a cierta concentración. Esta tolerancia a los cambios en la salinidad no implica necesariamente osmorregulación. Muchos organismos no tienen capacidad para mantener su concentración interna de acuerdo con los cambios en el medio ambiente, sino que mas bien se aíslan o son impermeables.

#### 2.1.4 OXIGENO

Constituye uno de los factores químicos ambientales de mayor importancia, todos los organismos aeróbicos requieren de una fuente de oxígeno para realizar normal-

mente sus funciones metabólicas y aunque los anaerobios obtienen su energía mediante procesos de descomposición de la materia orgánica, podemos decir que también estos dependen de la materia producida por organismos aerobios.

El oxígeno se encuentra en solución en las aguas continentales y marinas. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua depende de la cantidad de materia orgánica; disponibilidad y penetración de la luz, temperatura y altitud.

El oxígeno del agua de mar procede del intercambio existente entre las masas del agua y la atmósfera, además de que es producido por organismos autótrofos.

La resistencia a soportar bajas concentraciones de oxígeno está íntimamente relacionada con la temperatura, ya que se ha visto que se necesita un mayor descenso de oxígeno a bajas temperaturas que a altas para que se presenten síntomas de anoxia en los animales.

Cuando se arrojan al agua desechos industriales agrícolas y domésticos constituyen otro tipo de hábitat donde el contenido de oxígeno es un serio factor limitante.

### 2.1.5 BIOXIDO DE CARBONO, CARBONATOS Y PH.

Juegan un papel importante en el metabolismo de los seres vivos. La transformación fotosintética del bióxido de carbono y agua en compuestos orgánicos, junto con la subsecuente reoxidación de estos compuestos y sus derivados, son el mecanismo biológico básico en la utilización de la energía solar. Además el calcio y la concentración de bióxido de carbono desempeñan una actividad importante en la constitución de las partes duras de los organismos.

Los cambios en el bióxido de carbono modifican asimismo el pH y la alcalinidad de la sangre de los seres vivos.

La mayoría de los organismos son más resistentes a las variaciones del pH que el que

se presenta en la naturaleza normalmente, no así cuando se altera el pH por sustancias contaminantes vertidas en el medio acuático.

## 2.2 AGENTES CONTAMINANTES Y PARAMETROS ADMISIBLES

### 2.2.1 ANTECEDENTES

El objetivo general de las normas de calidad para las aguas que sirven primordialmente como receptoras de aguas residuales son, la prevención de molestias al bienestar humano y la conservación de ciertas características ecológicas y estéticas de las masas de aguas naturales. Para ello es necesario fijar los criterios que conduzcan al establecimiento adecuado de tales normas, de acuerdo al uso o destino que se le vaya a asignar, basados en las condiciones mínimas aceptables. A continuación se exponen estas según la Ohio River Valley Water Sanitation Commission (ORSANCO):

1. Estar libre de sustancias atribuibles a vertidos municipales, industrias o de otra procedencia que al sedimentarse formen depósitos de fangos putrescibles o perjudiciales por cualquier motivo.
2. Estar libres de restos flotantes, aceites, espumas y otro tipo de residuos imputables a vertidos municipales, industrias u otros, en cantidades suficientes para que sean estéticamente desagradables o nocivos.
3. Estar exenta de materias imputables a vertidos municipales, industrias o de otra procedencia que produzcan color, olor u otras condiciones en grado tal que originen molestias.
4. Estar exenta de sustancias imputables a vertidos municipales, industrias o de otra procedencia o combinaciones de los mismos que sean tóxicos o perjudiciales para la vida humana, vegetal o acuática.

Con esto, es posible ahora, determinar los parámetros que detecten hasta donde una sustancia o



material contaminante es nocivo; auxiliándose desde luego en el conocimiento profundo de tales sustancias, considerando sus propiedades, sus orígenes, los trastornos ecológicos que pudiera ocasionar, etc.

### 2.2.2 AGENTES CONTAMINANTES DE MAYOR RELEVANCIA.

Existen dos maneras mediante las cuales, los agentes contaminantes se introducen principalmente al ambiente marino; uno de ellos corre a cargo de las actividades petroleras realizadas en costas y mar adentro, y la otra, a través de las aguas residuales que se descargan al mar por rfos y/o alcantarillas.

De acuerdo al impacto contaminante, se han seleccionado 4 grupos considerados como los mas importantes:

- a) Hidrocarburos
- b) Sustancias químicas
- c) Bacterias y microorganismos
- d) Temperatura y salinidad

De los cuales el primero se debe a las actividades petroleras y los tres restantes se introducen mediante -- aguas residuales.

### 2.2.2.a Contaminación por hidrocarburos.

La importancia de estos agentes radica en su uso internacional como fuente energética. Por un lado, merece especial atención debido a que la contaminación producida por este elemento generalmente se origina en el mar, y por el otro, a que su eliminación requiere de métodos distintos.

Las causas más frecuentes que ocasionan la contaminación marina por hidrocarburos se enlistan a continuación:

- 1) A las pérdidas que motivan las descargas del fluido en las instalaciones costeras.
- 2) A las limpiezas de los tanques de almacenamiento de los buques tanque.
- 3) A los accidentes que ocurren en instalaciones o buques petroleros.

Cualitativamente los productos petrolíferos se pueden clasificar como contaminantes, según su contenido en estables o inestables.

Productos estables: Dentro de este grupo se considera a los crudos, fuel oil, diesel, etc. Se distribuyen sobre el agua rápidamente formando una fina capa que

se extiende en una superficie relativamente grande. Los elementos volátiles de estas mezclas se evaporan en un grado de 25 a 30% al cabo de 2 días dejando un residuo más espeso que, favorecido por la agitación del oleaje se emulsiona con el agua hasta formar una capa negra de aspecto repugnante.

Su efecto contaminante se deja sentir tanto en las especies animales como en los vegetales, si bien son estas últimas las más sensibles a su acción.

Productos inestables: Estos productos (gasolina), en gran parte se evaporan rápidamente sin dejar apenas residuos. Su efecto contaminante es por ello muy reducido.

La ORSANCO asegura que el oxígeno para la vida acuática no deberá ser inferior a 5 mg/Lto. durante 16 horas, como mínimo, en períodos de 24 horas ni, en ningún momento, menor de 3 mg/Lto.

Mientras que para la concentración de pH para la misma actividad no podrán ser nunca menores de 5, ni mayores de 9, y los valores promedios diarios (o mediana) se hallarán preferiblemente entre 6.5 y 8.5.

#### 2.2.2.b Contaminación por sustancias químicas.

Se originan de los desechos de las zonas agrícolas e industriales que llegan al mar a través de ríos o alcantarillas. La relación entre el tipo de industria

y la sustancia contaminante, de forma genérica, si puede simplificar en el cuadro 2

Se agrupan en las siguientes clases:

Detergentes

Biocidas

Metales pesados

Las espumas creadas por los detergentes favorecen la concentración de agentes contaminantes además de disminuir la proporción de oxígeno disuelto. El impedimento de la transmisión de la luz, la pérdida de poder autodepurador del mar y el lamentable efecto estético son otras consecuencias adicionales.

Los biocidas nacen de la necesidad de luchar contra ciertas plagas animales que afectan a la agricultura o a la salud humana. Aunque no se puede negar que el uso de los pesticidas principalmente el D.D.T. ha salvado a muchos millones de personas de una muerte inmediata por enfermedad, por hambre, o por ambas cosas, tampoco se puede negar que es una ambivalencia, ya que su uso irracional y desmedido ha ocasionado serios trastornos no sólo en el ambiente marino sino en toda la superficie de la tierra.

Cuadro 2.- Relación entre el tipo de Industria y la sustancia contaminante.

- 1- ACIDOS
- 2- ALCALIS
- 3- RESIDUOS QUIMICOS
- 4- COLOR
- 5- CIANUROS
- 6- OXIDANTES
- 7- LLUVIA TEMPERATURA
- 8- GRASAS
- 9- RESIDUOS QUIMICOS ORGANICOS
- 10- VENENOS
- 11- SODIUMS
- 12- MATERIALES TOXICOS ORGANICOS
- 13- MATERIALES TOXICOS

ACTIVIDAD	Contaminante												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AGRICULTURA							X		X			X	
QUIMICA	X		X				X		X	X		X	
CARBON	X		X								X		
COQUE Y GAS			X		X		X			X			
TINTES			X	X			X		X				
ALIMENTACION	X			X			X	X	X		X	X	
HIERRO	X				X		X					X	
ACABADOS METALICOS		X			X	X	X				X	X	
MINERIA METALICA							X				X	X	
REFINADO DE ACEITES					X		X	X		X			
PAPEL	X		X				X		X		X		
ACERO			X				X	X			X		
CURTIDOS (ganeros)	X						X	X	X		X		
VERTELES	X	X	X			X	X	X	X		X	X	X

Estos efectos se deben a tres propiedades básicas de los biocidas que son:

- a) Venenos universales. Matando no sólo a la plaga a la que se quiere exterminar originalmente, sino a otros organismos como insectos, aves, peces, etc.
- b) Se degradan lentamente. Su descomposición es lenta en la naturaleza, algunos pesticidas tienen una vida media de 10 a 15 años, dando como resultado el tiempo suficiente para producir efectos nocivos, en todos los organismos depredadores de una cadena alimenticia, demostrando mayores concentraciones de pesticidas a aquellos que ocupan los últimos niveles de alimentación dentro de esta cadena.
- c) Son solubles en grasas. El efecto de esta acumulación constante de venenos en el tejido animal puede ir desde un grado imperceptible hasta un grado desastroso. Una manifestación de las primeras etapas de envenenamiento es la incapacidad de metabolizar apropiadamente el calcio.

La IHA (International Health Authority) admite que el organismo humano puede absorber 0.01 mg. de D.O.T. por kg de peso, sin que produzcan alteraciones notables.

Por otro lado la ORSANCO establece sobre la cali-  
dad de corrientes de agua para la vida acuática del verti-  
do de sustancias tóxicas lo siguiente:

"No excederán de una décima parte del límite de la tolerancia de la mediana de 48 Hr. excepto en algunos casos en que se usan concentraciones limitadoras, lo que se hará justificadamente en base a pruebas evidentes y debiéndose aprobar por el servicio regulador correspondiente".

Los metales pesados, son también sustancias fuertemente contaminantes. El mercurio, el plomo, el aluminio, el cadmio, el arsénico el cinc, el hierro, y otros metales junto con sus sales, son elementos fácilmente encontrables en aguas cercanas a zonas portuarias.

El mercurio por ejemplo, afecta al organismo a través del cerebro, sistema nervioso, y además da lugar a alteraciones genéticas.

Mientras que el plomo ataca al sistema nervioso que pueden conducir al deterioro general de las funciones intelectuales, sensoriales, neuromusculares y psicológicos.

Aunque se reconoce el plomo como causante de problemas de salud, no se ha logrado establecer su relación cualitativa, en concentraciones bajas.

Diferentes organismos internacionales han propuesto límites que varían de 0.5 a 0.8 mg/ml, como proporción mínima con la cual difícilmente se produce intoxicación. La Comisión para la Protección de la Salud de la Comunidad Económica Europea (1975) indica que las cantidades superiores a 0.8 mg/ml pueden producir efectos



en el sistema nervioso central de los adultos; y que no se presenten efectos en el sistema nervioso central de los niños, a concentraciones menores de 0.5 mg/ml.

#### 2.2.2.c BACTERIAS Y MICROORGANISMOS.

Es de los contaminantes con las opiniones más controvertidas en la actualidad con respecto a los efectos directos perjudiciales en el hombre debido a la dificultad de establecer claramente la relación causa efecto en términos cualitativos y cuantitativos, dado en algunos casos, por el largo período de incubación que desconecta el contagio con la aparición del mal.

Las bacterias son organismos unicelulares microscópicos que pueden reproducirse, sin la presencia de luz solar, por fisión binaria. Se reproducen básicamente en las partes bajas de los intestinos tanto de hombres como de animales. El porcentaje diario de

materia fecal por persona, se estima en 20 gr. en peso seco de los cuales de 4 a 5 gr. son cuerpos de bacterias, que representa la mitad de la población de las heces cuando estas están frescas. Se estima que el número total de bacterias vivas cuando las heces están frescas es de  $2 \times 10^{12}$  pcd. de esta, el 10% corresponde a un grupo de bacterias coliformes conocido como Escherichia coli (E. coli).

Las enfermedades mas conocidas que este grupo de bacterias puede transmitir, son: la tifoidea, cólera, paratifoidea y disenteria bacilar.

Ya que los organismos en su estado original se encuentran en una forma entérica dentro de los intestinos, otra categoría de estos, como los virus y amibas deberán tomarse en cuenta.

Un virus por ejemplo, es un agente de infección ultramicroscópico que se reproduce en células vivas y que también pueden desarrollarse en un medio acuoso. Crean enfermedades como la poliomelitis y la hepatitis.

Sin embargo, se ha considerado internacionalmente al colifore E. Coli como el organismo indicador

para establecer las normas que enmarquen la contaminación bacteriológica y de organismos patógenos en el agua. Tal elección se debe, sobre todo, a que los coliformes componen principalmente la materia fecal, su número es mucho mayor que el de los virus y porque su presencia en el agua es relativamente más fácil de detectar por los ensayos químicos.

Para servir adecuadamente a sus propósitos los organismos indicadores deben satisfacer las siguientes condiciones:

- 1) Deben ser medidas confiables de la presencia de los organismos contaminantes, tanto en las aguas naturales como tratada y reaccionar respecto al medio acuático natural y a los procesos de tratamiento, incluyendo la desinfección, en una forma y grado substancialmente similares a los de los patógenos pertinentes.
- 2) Deben ser identificados mediante procedimientos analíticos relativamente simples que proporcionen la información deseada en forma rápida y económica.
- 3) Deben encontrarse presentes en un número mucho mayor, si es que van a constituir medidas sensibles de la posible presencia de patógenos.

- 4) Deben presentarse a la evaluación numérica y a una distinción cuantitativa.

Las normas españolas establecen para el vertido de aguas residuales al mar, para zonas recreativas que la concentración de E. coli correspondiente a un periodo de 30 días consecutivos no deberá ser superior a 1000/100 ml en más del 10% de las muestras, ni inferior a 200/100 ml en más del 50%.

Respecto a los parámetros establecidos en zonas de cultivos marinos para la misma especie, no deberán ser superior a 50/100 ml en más del 10% de las muestras, ni a 15% en más del 50%.

Las normas adoptadas por el Estado de Nueva York, en cambio, establecen el límite en zonas de cultivos en 70 gérmenes/100 ml en la medida de cualquier serie de muestras.

Por otro lado la ORSANCO asegura que en zonas recreativas: "el grupo coliforme no excederá en su valor medio mensual de 1000 por 100 ml -- (NMP o FM)\*; ni tampoco excederán de este valor

\* NMP.- Nivel más probable o FM.- Filtro medio

el 20% de las muestras examinadas durante cualquier mes, ni de 2400 ml por 100 ml (NMP o FM) ningún día".

El cuadro 2.a resume los parámetros admisibles para los elementos contaminantes de mayor relevancia.

#### 2.2.2.d CONTAMINACION POR AGUAS CON DIFERENTES PROPIEDADES FISICAS

Se basa principalmente en los cambios de temperatura y salinidad en el agua marina, originados por los procesos que requieren ciertas plantas industriales, específicamente las salinadoras y las termo y nucleoelectricas.

El incremento de temperatura se debe a las útimas, ya que requiere de grandes volúmenes de agua que enfrían los reactores que son fundamentales en estas plantas para la generación de energía, obligando a que su construcción se realice cercana a las concentraciones naturales de agua, como lagos, o a las costas, donde puede satisfacer tales demandas de agua; lo anterior ocasiona que el efluente salga con temperaturas muy elevadas para ser depositados al medio de donde son tomados.

Por otro lado las plantas desalinizadoras alteran las densidades del mar cercanas a las descargas ya que, al igual que las plantas anteriores, requieren

CUADRO 2, A,

RESUMEN DE PARAMETROS ADMISIBLES PARA  
DIFERENTES ELEMENTOS CONTAMINANTES

	ORSANCO	OTRAS
Oxígeno	Nunca menor de 5 mg/lto duran- te 16 hr, como mínimo en 24 - hr; ni en ningún momento me- nor de 3 mg/lto.	
pH	6,5 ≤ mediana ≤ 8,5	
D.D.T.	No mayor de la decima parte - del límite de la tolerancia - de la mediana de 48 hr, excep- to en algunos casos en que se usan concentraciones limitado- ras.	
Plomo		Nunca mayor de 0,8 mg/ml.
E. Coli	a) Para zonas recreativas, no excedera en su valor me- dio mensual de 1000/100 ml ni tampoco excederan de es- te valor el 20% de las --- muestras durante cualquier mes, ni de 2400/100 ml nin- gún día.  b) Para zonas de cultivo	La concentración en 30 - días no debiera ser supe- rior a 1000/100 ml en -- más del 10% de las mues- tras, ni inferior a 200/ 100 ml en más del 50%.  No debiera ser superior a 50/100 ml en más del 10% de las muestras, ni a 15% en más del 50%.
Temperatura	No deberá exceder en ningún - momento de 34°C durante mayo a noviembre ni de 23°C de di- ciembre a abril.	Las diferencias de tempe- ratura contrastantes, en dos zonas cercanas, alte- ran los niveles permisi- bles si el incremento es mayor de 3°C.
Salinidad		Se considera permisible - una conductancia especifi- ca por cm de 150 a 500 -- mos x 10 <sup>6</sup> a 25°C con un máximo de 1000 a 2000 mos x 10 <sup>6</sup> .

de volúmenes de agua, que después del proceso desalinizador, se incrementa en ellas la concentración de sal por unidad de volumen, ocasionando ambas alteraciones los efectos ya citados en este capítulo.

La ORSANCO establece que la temperatura para la vida acuática no deberá exceder en ningún momento de 34°C durante los meses de mayo a noviembre, ni tampoco de 23°C de diciembre a abril.

Por otro lado las diferencias de temperatura contrastantes en dos zonas cercanas, alteran los niveles permisibles si el incremento es mayor de 3°C.

La M.M. Ellis asegura que la salinidad se considera permisible a una conductancia específica por cm de 150 a 500 mhos  $\times 10^6$  a 25°C, con un máximo de 1000 a 2000 mhos  $\times 10^6$ .

## 2.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR

El conocimiento de las propiedades físicas y

químicas del agua de mar es fundamental para comprender los procesos de mezclado y difusión de sustancias extrañas en el océano.

El 96.5% del contenido del océano es agua, el 3.5% restante lo constituyen materiales disueltos en la forma de moléculas o iones. Aparte de estas sales se hallan pequeñas cantidades de sustancias cobitales, además de materiales en suspensión.

### 2.3.1 SALINIDAD

La salinidad es una de las propiedades más importantes del agua de mar; las aguas oceánicas oscilan entre los 35<sup>o</sup>/oo y 38<sup>o</sup>/oo (Partes por mil). Las anteriores salinidades significan que hay 35g a 38g de sales presentes en un kilogramo de agua de mar.

El cuadro No. ( 3 ) muestra las principales sales que contiene el agua de mar a 35<sup>o</sup>/oo y 20°C:



## CUADRO 3..

PRINCIPALES SALES QUE CONTIENE EL AGUA DE MAR A  
35<sup>o</sup>/oo Y 20°C

Cloruro de sodio	NaCl	20.014 kg/m <sup>3</sup>
Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	3.812 kg/m <sup>3</sup>
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub>	1.752 kg/m <sup>3</sup>
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub>	1.283 kg/m <sup>3</sup>
Sulfato de potasio	k <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.816 kg/m <sup>3</sup>
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	0.122 kg/m <sup>3</sup>
Bromuro de potasio	kBr	0.101 kg/m <sup>3</sup>
Sulfato de estroncio	SrSO <sub>4</sub>	0.028 kg/m <sup>3</sup>
Acido bórico	H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>	0.028 kg/m <sup>3</sup>

La salinidad varía en forma natural debido a los efectos de la evaporación y de las mareas que producen desplazamientos verticales de masas de agua. Las grandes variaciones en salinidad se encuentran en las desembocaduras de los ríos, en las zonas cercanas a los bancos de hielo, con grandes variaciones estacionales.

### 2.3.2 DENSIDAD

La densidad es una función de la salinidad, de la temperatura, y de la presión. Se define como la masa por unidad de volumen. En oceanografía se utiliza principalmente la gravedad específica que es una relación entre dos densidades y, por lo tanto, no tiene unidades (adimensional). Generalmente, se utiliza la densidad del agua destilada cuando está a 4°C como igual a la unidad de tal manera que la gravedad específica de una sustancia es  $\rho/\rho_0$  y tiene el mismo valor número que la densidad de la misma sustancia, pero sin unidades.

En la superficie del mar, la densidad promedio es de 1.025 g/cm<sup>3</sup>. De acuerdo con la profundidad del mar varían los valores de la densidad. Los estudios teóricos

consideran esta variación, en capas o estratos conociéndose a estos como densidad estratificada.

### 2.3.3 TEMPERATURA

La temperatura del agua de los océanos varía tanto en su superficie como en los estratos submarinos.

Para explicar algunos procesos de mezclado de los líquidos se utiliza el concepto de termoclina, que entenderemos como la curva señalada por la temperatura y la profundidad, en la cual la temperatura desciende rápidamente cuando la profundidad aumenta. Hay que tener en cuenta que existen tres tipos de termoclinas en el océano: la permanente, que es poco profunda; la temporal que es desarrollada sobre todo en primavera y la diaria que se desarrolla en la mañana y desaparece en la noche.

Generalmente en algunos problemas de Ingeniería Marítima, se requiere solamente de conocimientos de condiciones porcentuales a los rangos de ciertas condiciones de temperatura-salinidad-densidad. Diferentes instituciones de algunos países u organizaciones mundia-

les han hecho estudios oceanográficos obteniendo mapas y cuadros sinópticos de datos del océano, muy útiles para la Ingeniería así como para la navegación marítima.

#### 2.3.4 COMPOSICION QUIMICA

Si excluimos el material sólido orgánico o inorgánico que el mar tiene en suspensión, tendremos agua de mar como una solución acuosa conteniendo una gran variedad de sólidos y gases disueltos.

La determinación química de la concentración de estas sustancias disueltas es difícil, por las siguientes razones:

- a) Algunas de las sustancias disueltas tales como cloro y sodio, se encuentran presentes en muy alta concentración, mientras otras, como algunos metales están en muy pequeñas cantidades.
- b) Dos de los constituyentes mayores son el sodio, y el potasio que son difíciles de determinar con precisión.

c) Es virtualmente imposible separar sustancias relacionadas tales como fosfatos y arseniatos, calcio, estroncio y cloruros, bromuros y yoduros.

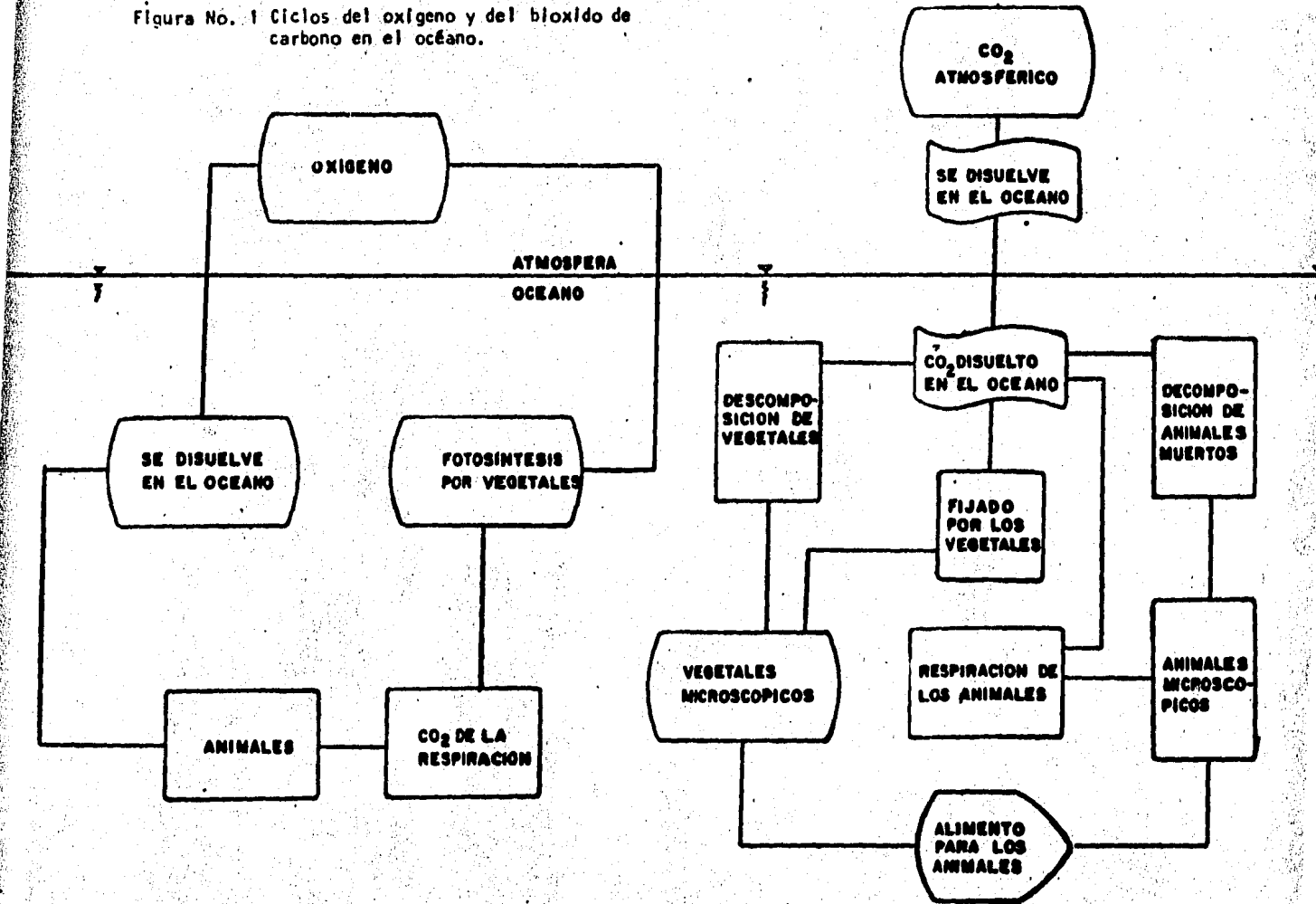
### 2.3.5 GASES DISUELTOS

Todos los gases atmosféricos se encuentran disueltos en el agua de mar, además del nitrógeno y oxígeno. El dióxido de carbono es muy abundante en el mar, principalmente como carbonato y bicarbonato. Los gases como el amonio, argón, helio y neón se han encontrado en el agua; el hidrógeno está presente en cantidades pequeñas. En ausencia de oxígeno disuelto puede haber sulfuro de hidrógeno y otros gases como el metano como resultado de la putrefacción.

Dada la importancia del oxígeno en los procesos biológicos es el que más ampliamente se estudia. El carácter general de su distribución en las capas profundas es de gran ayuda en el estudio de los procesos de mezcla.

En la figura No. 1 se muestran los ciclos del oxígeno y del dióxido de carbono en el océano.

Figura No. 1 Ciclos del oxígeno y del bioxido de carbono en el océano.



## 2.4 CONCEPTOS FUNDAMENTALES PARA LA INGENIERIA MARITIMA

Los movimientos que se producen en las aguas oceánicas son muy variados. Atendiendo al tipo de movimiento del agua en el mar, se puede clasificar su estudio en:

- Olas
- Corrientes
- Mareas

En todos los casos, los fenómenos requieren de estudios especiales, según su localización y propagación.

A continuación se mencionan algunos aspectos interesantes de cada uno de los fenómenos señalados:

### 2.4.1 OLAS

En general las olas pueden ser producidas por

vientos, por sismos y por movimientos submarinos. Los más comúnmente observados son los producidos por los vientos.

El movimiento que se genera en la superficie del agua puede producirse por viento normal y por viento ciclónico. La intensidad y crecimiento de estas dependen de 3 factores principalmente:

- a) La velocidad de viento
- b) La longitud del fetch en la dirección en que el viento está soplando.
- c) El intervalo de tiempo en que el viento sopla.

La predicción del oleaje ha involucrado diversas teorías, de las que las empíricas, han dado mejores resultados.

Dependiendo de la condición del oleaje (ya sea producido por viento normal o por viento ciclónico) será el tipo de análisis.



Si el régimen de el oleaje es ciclónico se requerirá de cartas sinópticas del tiempo y de ciertas técnicas de predicción, como la determinación del Fetch, la altura y período significativo ( $H_o$ ,  $T_o$ ).

Si el régimen de oleaje es normal, se busca la ley que defina el porcentaje de tiempo en que la altura de ola sobrepase un valor determinado.

Generalmente se presentan olas con alturas y períodos diferentes uno de otros, que hace difícil la idealización que requiere una teoría. La representación del oleaje mediante la altura y período significativo ha resuelto este problema ya que se ha podido mediante estas, aplicar muchas de las teorías sobre el oleaje. Se define a la altura de ola significativa como la altura promedio del 33.33% de olas más altas dentro de un grupo ( $H_o$  o  $H \frac{1}{3}$ ) su determinación se logra mediante varios métodos que se pueden clasificar de la siguiente forma:

- a) Por medición directa.- Se recomienda cuando se cuente con un registro de observaciones del lugar. La fre-

cuencia de ocurrencia, de las olas que son mayores de una cierta altura, se puede determinar muy aproximadamente mediante la forma acumulativa de la distribución de Rayleigh. Para el caso de México, muy rara vez se cuenta con observaciones del lugar.

- b) Por Cartas Estadísticas.- Se recomienda cuando se carece de datos del lugar. Están basadas en observaciones sistemáticas hechas por embarcaciones que pasan por los puntos de Medición. En algunas ocasiones indican el oleaje producido por el viento en la zona de generación, caracterizado por ser caótico o irregular conocido por oleaje local (sea) y al conjunto de olas que viajan fuera de la zona de generación hacia el punto de interés con crestas redondeadas y de poca altura llamadas oleaje distante (Swell).
- c) Métodos Indirectos.- Se utiliza para determinar un rango de alturas y períodos, relacionando las acciones del viento y del oleaje, de los que el método S. M. B. (denominado así por reconocimiento de sus autores: Suerdrup, Munk y Bretschneider) es de los más difundidos para lograrlo. Las ecuaciones desarrolla-

das son las siguientes:

$$\frac{gH}{U^2} = 0.283 \tan H 0.0125 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.42} \quad 2.1$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1.2 \tan H 0.077 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{0.25} \quad 2.2$$

en donde

$g$  = Aceleración de la gravedad (m/seg<sup>2</sup>)

$U$  = Velocidad del viento (m/seg)

$F$  = Longitud del Fetch ( m )

$H$  = Altura de la ola ( m )

$T$  = Período del oleaje ( seg )

La descripción matemática de este fenómeno presenta dificultad debido a sus acusadas características de aleatoriedad e irregularidad, además de desarrollarse en tres dimensiones. Existen no obstante, varias teorías que tratan de analizar matemáticamente el fenómeno.

Igualmente se han hecho varias clasificaciones de los diversos tipos de onda, atendiendo a los distintos parámetros que las caracterizan. Algunas de estas clasificaciones se muestran en el cuadro 4.

#### CUADRO 4 CLASIFICACION DE ONDAS

PARAMETRO CARACTERISTICO	T I P O S
a) Según el movimiento de las partículas	a.1.- Oscilatorias a.2.- Cuasi-oscilatorias a.3.- De traslación
b) Según el periodo de las ondas	b.1.- Olas capilares b.2.- Olas de ultragravedad b.3.- Olas de gravedad ordinaria b.4.- Olas de infragravedad b.5.- Olas de largo periodo b.6.- Mareas ordinarias b.7.- Transmareas
c) Según la amplitud de las ondas	c.1.- De amplitud finita c.2.- De amplitud pequeña
d) Según la acción del agente generador	d.1.- Ondas libres d.2.- Ondas forzadas
e) Según las orbitas de las partículas de agua	e.1.- Ondas progresivas e.2.- Ondas estacionarias
f) Según la forma de la superficie libre	f.1.- Ondas senoidales f.2.- Ondas trocoidales
g) Según los desplazamientos que siguen las partículas	g.1.- De oscilación pura g.2.- De traslación pura
h) Según la situación del oleaje respecto a la zona de generación	h.1.- Oleaje local h.2.- Oleaje distante
i) Según la profundidad	i.1.- Aguas profundas i.2.- Aguas intermedias i.3.- Aguas bajas

De igual forma la presencia del fondo marino origina el fenómeno conocido como Refracción. Se muestra cuando la ola en movimiento cambia su dirección y altura en aguas bajas por su causa.

Su importancia radica en las alteraciones que sufren la energía de propagación y la dirección de las olas para el proceso de Difusión. La energía de propagación es importante porque determinará la velocidad con la que inciden las olas a la costa y en cierta medida, la velocidad con la cual la contaminación se diluye.

La Dirección por otro lado, indicará los lugares a donde se transportará las aguas contaminadas con lo cual se conocerá la trayectoria de estas.

Los métodos de análisis son varios (todos ellos basados en el principio de la ley de Snell) y se pueden clasificar en: Analíticos y Gráficos.

La Difracción es otro fenómeno que se produce en el oleaje y se debe a la transferencia de la energía cuando un obstáculo se interpone en la propagación de las olas.

Su correcta apreciación, establecerá las zonas en donde las fuerzas autodepuradoras ejercerán de manera apropiada su proceso dilutivo, ya que estas dependen entre otros factores, de la circulación del agua en dicha zona.

Su estudio es posible mediante la representación de los siguientes modelos:

- a) Modelos Físicos
- b) Modelos Matemáticos

Por último la Reflexión del oleaje se presenta cuando una ola incide sobre un obstáculo vertical ocasionando un retorno de la energía en la misma dirección pero en sentido contrario.

Determina entre otras cosas, las causas por las cuales las aguas polucionantes recirculan en una área litoral, dilatando el proceso de Difusión.

#### 2.4.2 CORRIENTES

Se denomina así, al movimiento de grandes

volumenes de agua que se presentan en el océano en distintas capas y a diferentes profundidades. La explicación de como se originan tales movimientos, no esta aún bien definida, aunque se les atribuye, principalmente, a las variaciones de temperatura y salinidad que se presentan en las aguas marinas, fundamentandose para ello, en el mecanismo de movimiento que se genera, al crearse zonas de alta y baja presión, en la misma forma de como se verifican las, corrientes de aire en la atmosfera.

La acción del viento sobre la superficie del agua, las sobreelevaciones locales del nivel medio, la influencia de la topografía de la costa, y las mareas, entre otras, también son motivos de formación de corrientes.

Atendiendo entonces, al proceso de generación de corrientes se puede hacer la siguiente clasificación:

- a) Corrientes generales
- b) Corrientes locales inducidas por el viento
- c) Corrientes inducidas por el oleaje
- d) Mareas

Desde el punto de vista del Ingeniero Portuario y Costero, las corrientes más importantes son las que tienen lugar en la zona próxima a la costa, dado que son las que pueden afectar sensiblemente a las obras civiles que aquí se generan. Debido a las múltiples variaciones en tiempo y profundidad que las corrientes presentan, se ha dificultado su medición.

Los parámetros principales que definen las características de una corriente, son la dirección ó rumbo que indica el lugar hacia donde se dirigen y la deriva o velocidad diaria. La velocidad suele indicarse en nudos ó millas por hora, si es grande, ó en metros por segundo, si es pequeña.

Por la importancia que tienen las corrientes en los procesos de difusión, a continuación se mencionan algunos aspectos que amplían el conocimiento sobre los principales tipos de corrientes ya señalados,

- a) Corrientes Generales.- Las corrientes generales tienen su origen en la acción de los vientos permanentes y



en los desplazamientos de masas líquidas a diferentes temperaturas.

El esquema general de presiones medias a nivel del mar (fig. 2) se puede hacer coincidir fácilmente con el esquema de corrientes oceánicas en la superficie (fig. 3).

Hasta hace varios años se pensaba que el esquema general comprendía la mayor parte de las corrientes oceánicas. Sin embargo, se han descubierto corrientes sumergidas a medida que los adelantos técnicos han permitido apreciar con mayor detalle las características de los movimientos del agua.

- b) **Corrientes locales inducidas por el viento.**- El viento que sopla sobre la superficie del mar produce un esfuerzo cortante sobre el agua comunicándole su movimiento. La partícula que, cuando el viento no actúa, describía órbitas elípticas casi cerradas al paso de las olas pasa a tener en su movimiento una resultante neta de traslación causada por el impulso del viento. Existen estudios teóricos que consideran la generación de corrientes por acción de un viento ideal, de velo-

Fig. 2 -Esquema general de presiones

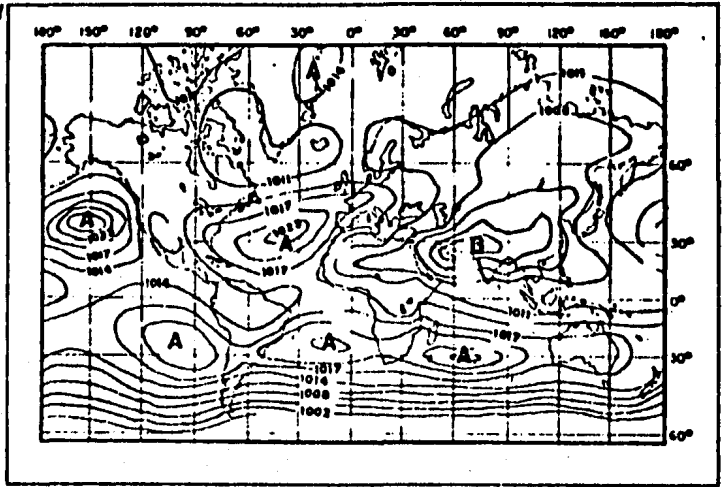
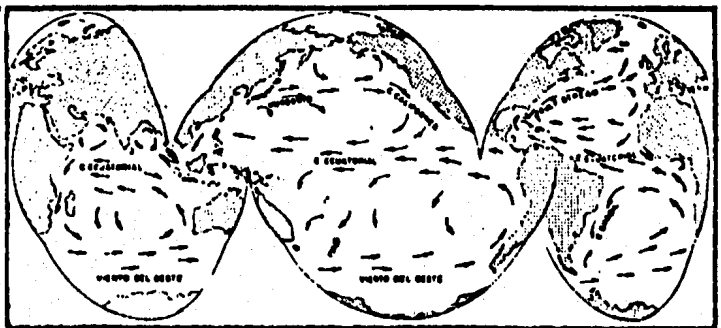


Fig. 3 -Esquema general de corrientes



cidad constante soplando sobre un plano de agua de extensión infinita, sin embargo la aplicación de estas teorías así como los valores derivados de ésta, deben ser tomadas con mucha prudencia por el Ingeniero Costero que busque la resolución de problemas concretos, ya que en el fenómeno de generación de corrientes locales por vientos, son numerosos los parámetros que entran en juego. El conocimiento real de las corrientes en un punto cualquiera requiere en todo caso, de la realización de una campaña de toma directa de datos.

- c) Corrientes inducidas por el oleaje.- Teóricamente se puede deducir la existencia de un transporte de masa líquida al paso de ondas periódicas (oleaje), que corresponde con lo observado en tanques de laboratorio y en la naturaleza: De donde se deducen dos peculiaridades que se producen en todos los casos. La primera es que el movimiento neto cerca del fondo siempre es del mismo sentido que el del avance del oleaje en aguas intermedias, y la segunda es que en aguas poco profundas el movimiento en la superficie

es de sentido contrario al de avance del oleaje. La importancia de estos hechos se manifiesta al proyectar obras como pueden ser los emisarios submarinos y tomas de aguas para el primer caso, y atraques ó fondeos de barcos para el segundo.

Para profundidades decrecientes el fenómeno de rompiente del oleaje y la influencia del fondo modifican sustancialmente las características del transporte de masa líquida y por consiguiente de las corrientes. Se produce entonces un movimiento de retorno de masa líquida tendente a compensar el volumen de la misma que ha sido acumulado contra el obstáculo que forma la costa.

Según lo expuesto, se producen a un lado y otro de la línea de rompiente dos movimientos netos de masa líquida que se dirigen hacia ella. Este hecho es claramente explicativo de la formación de barras de arena en dichas zonas de rompiente (Ver figura 4).

La importancia de las corrientes generadas por el oleaje en la zona de rompientes, para intereses Ingenieriles, merece una atención particular por originar y regular, en su mayor parte, el movimiento de los

sedimentos costeros.

Por la dirección de su movimiento, las corrientes litorales se pueden clasificar en dos tipos:

c.1 Corrientes normales a la costa.-

Están motivadas, por lo general, en la necesidad de evacuación del volumen de agua que ha sido empujado y acumulado contra la costa o playa por acción del viento y del oleaje. Este volumen extraordinario se manifiesta físicamente con una sobreelevación del nivel del mar en la zona de rompientes.

Estas corrientes pueden tomar varias formas, así tenemos las corrientes de resaca manifestandose como fuerzas que empujan los pies de los bañistas hacia mar adentro.

Las corrientes que se alejan casi perpendicularmente a la playa en forma de chorro concentrado y que atraviesan la línea de rompientes expandiéndose luego, (Ver figura 5).

Son fácilmente observables en fotografías aéreas de las playas, distinguiéndose un chorro bien de-

Fig. 4. --Formación de una barra paralela

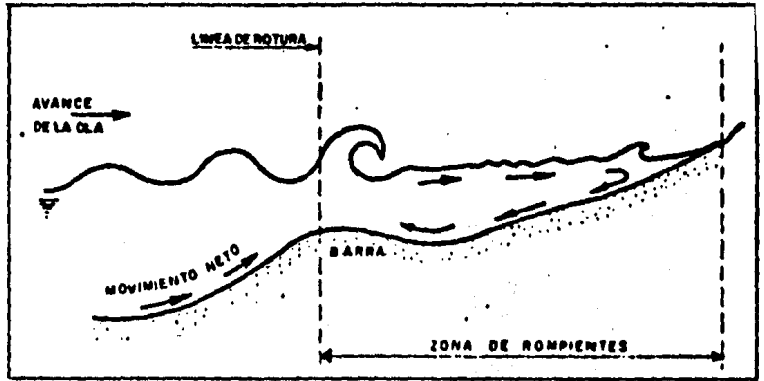
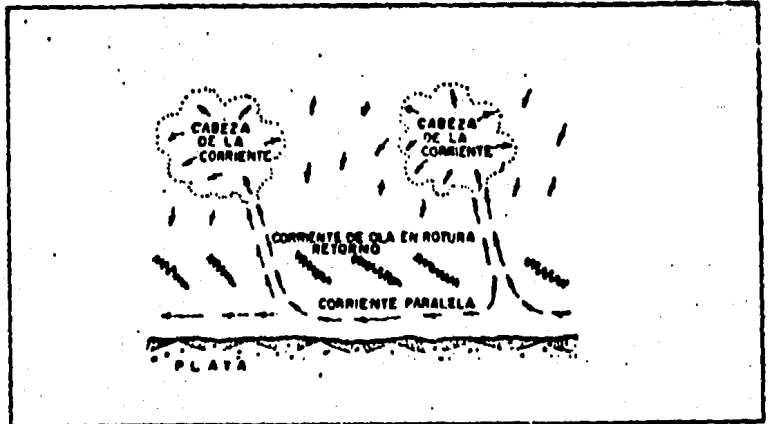


Fig. 5. --Estructura de las rip-currents



finido y el penacho de disipación, dado el diferen  
te tono que le dan las arenas que arrastra en  
suspensión.

c.2. Corrientes paralelas a la costa.

Cuando el oleaje incide oblicuamente a la costa,  
bien por efecto de la configuración del fondo o  
bien por la dirección de avance en profundidades  
indefinidas, se produce la rompiente del mismo  
con un cierto ángulo respecto al de la orilla.  
Se induce por ello una corriente de dirección  
paralela a la costa que desplaza una masa líquida  
a lo largo de ella y canalizada entre la línea de  
rompiente y la orilla.

Esta corriente, reforzada por fuerte remoción del  
sedimento en el instante de la rompiente de la  
ola, es la responsable principal del transporte  
de sedimento a lo largo de la costa.

d) Mareas

La marea, es uno de los fenómenos más regulares desde  
el punto de vista oceanográfico. Depende básicamente,  
de la atracción que ciertos cuerpos celestes ejercen

sobre las masas acuáticas, principalmente el Sol y la Luna, ocasionando variaciones periódicas en el nivel del mar.

Se explican sobre las bases de la ley de Newton en relación a la atracción existente entre las masas de dos cuerpos, que es proporcional a las masas e inversamente proporcional al cuadro de la distancia que los separa.

Además existen otras fuerzas generadoras originadas por el movimiento de la Tierra alrededor de su órbita (fuerza centrífuga); o las que se producen por la rotación de la Tierra alrededor de su eje (fuerza de Coriolis); o la que se debe al movimiento del agua con respecto a sus fronteras (explicadas todas ellas por fuerza de fricción). Las hipótesis de la Teoría Estática de las Mareas desarrolladas por Newton se exponen a continuación:

- a) La parte líquida de la Tierra está uniformemente distribuida, cubriendo todo el globo.
- b) El agua es un líquido ideal, que inmediatamente



toma su posición de equilibrio, bajo la acción de las fuerzas a la que está sujeta.

Como la Tierra hace un giro completo sobre su eje en 24 horas se presenta en este lapso dos mareas, pero debido a que un día lunar equivale a 24 horas y 48 min, cada día la marea aparece más tarde que la anterior provocando que en algunos días del mes se produzca solo una marea conocida como marea diurna.

Cada Luna llena y nueva ocasionan mareas vivas o mareas de Siciplas que se caracterizan por ser de gran amplitud. Por otro lado las mareas muertas aparecen cuando la Luna está en los cuartos creciente o menguante, al contrario que las mareas vivas, su amplitud es pequeña debido a que la posición relativa en estas épocas del Sol y la Luna, contrarrestan la acción atrayente.

Finalmente en los equinoccios las aguas vivas tienden a incrementar su amplitud.

La importancia principal de las mareas en los procesos de difusión radica en la generación de corrientes, producida por las diferencia de niveles en las superficies oceánicas, conduciendo a gradientes hidráulicos que dependerán de la amplitud y duración de la marea, y la morfología general de la zona de estudio.

### 2.4.3 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS LITORALES

#### 2.4.3.1 ANTECEDENTES

El transporte de sedimentos litorales es un aspecto de la Ingeniería de costas de mucha importancia para los fenómenos de Difusión en el mar.

Se origina por la acción del movimiento en el mar (olas, mareas, corrientes) al incidir en las costas; lo anterior, ocasiona una importante turbulencia en las zonas de rompientes levantándose material que se encontraba en reposo (sedimentos) y que son transportados a lo largo de la costa por la misma energía que la levató o por corrientes costeras.

Las corrientes litorales paralelas, que en algunos casos se producen por las descargas de los ríos hacia el mar pero que generalmente se deben al oleaje, es la componente dominante de las corrientes que provoca el transporte de sedimentos a lo largo de la costa,

La importancia de este fenómeno en el proceso de Difusión acuática, radica en la suspensión de las partículas que ahí se presentan ya que debilita las fuerzas autodepuradoras de este proceso al aumentar las sustancias por diluir.

Por otro lado traslada la materia polucionante a otras zonas en donde se desconoce los efectos ecológicos que pudiera ocasionar.

#### 2.4.3.2 CALCULO DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para el cálculo de transportes de sedimentos es necesario determinar los de origen terrígenos y los producidos por el mar,

Los de origen terrígenos son debidos a las corrientes originadas en los continentes como pueden ser los estuarios, los ríos, las descargas de aguas negras o de desechos químicos, etc.

Su cálculo involucra métodos que están basados en la revisión de una sección de la fuente de descarga, que determinará su capacidad de acarreo de sedimentos en suspensión y por arrastre.

El transporte en suspensión está basado en la concentración de las partículas y la velocidad del agua.

Los métodos existentes tienen discrepancias del 100%.

Para el cálculo de transporte por el lecho, los métodos están en función de la rugosidad del lecho, la velocidad del agua, el diámetro del material y de las propiedades del suelo, se cuenta con varios métodos como:

- El de Kalinske: que se apoya en el principio de las fuerzas sobre las partículas cuando fluctúan debido

a la turbulencia,

b) El de Einstein, que define al transporte como la relación del movimiento del material del lecho con el flujo local y expresa las condiciones de equilibrio dinámico de las partículas en movimiento.

Las formas de cuantificar el acarreo de sedimentos producidos por el mar se pueden clasificar en:

- a) Métodos de Campo
- b) Métodos Empíricos

a) Métodos de Campo.- Consisten en mediciones directas, son necesarias para ajustar los valores de las fórmulas empíricas, conocer mejor la forma en como son arrastrados los granos, obtener datos para nuevas fórmulas empíricas, etc.

Los métodos de campo para medir el arrastre litoral más utilizados son:

- 1) Espigones de Prueba

- 2) Dragado de Prueba
- 3) Trampas de Arena
- 4) Muestreo de Trazadores

b) **Métodos Empíricos.** - Consisten en diversas teorías resultado de mediciones en el campo y en el laboratorio. Relacionan la energía del oleaje por unidad de playa con el volumen de arena que se mueve en un intervalo de tiempo, es decir:

$$Q_s = KE^n \quad 2.3$$

en donde

$Q_s$  = Volumen por unidad de tiempo del transporte de sedimentos

$K$  = Coeficiente que depende de  $H/L$

$E$  = Energía específica de la ola

$n$  = Constante

En base a esta relación se deriva la siguiente expresión.

Fórmula de Coastal Engineering Research Center (CERC).- Ha sido obtenida de la recopilación de datos de diferentes modelos y playas tomando promedio del oleaje y de características de sedimento dando como resultado las siguientes expresiones:

$$E_o = \frac{\gamma H_o^2 L_o}{8} : \text{Energía de una ola en aguas profundas}$$

$$E_i = \frac{\gamma H_o^2 k r^2 L}{8} : \text{Energía de olas por día multiplicadas por el coeficiente de refracción.}$$

donde

$\alpha$  = Angulo de incidencia

$kr$  = Coeficiente de refracción

finalmente:

$$E_s = \frac{E_o}{2 \times 10^6} : \text{número de olas por día}$$

quedando

$$Q_s = 125 E_s$$

La hipótesis fundamental del método es que el

transporte  $Q$  es directamente proporcional a la componente paralela a la costa del flujo de la energía en la zona de rompientes.



## **CAPITULO III**

### **EL PROCESO DE DIFUSION EN EL MAR**

### III.- EL PROCESO DE DIFUSION EN EL MAR

#### 3.1 INTRODUCCION

La difusión es en si, un medio de autopurificación natural, que colabora junto con otras medidas, a combatir la contaminación de grandes masas de agua.

Se define como el mecanismo físico por el cual una sustancia con características bien particulares se diluye en otra.

En el caso de los océanos se activa con los movimientos que genera el oleaje, las corrientes, los vientos y las mareas.

Estos elementos oceanográficos no solo son de gran interés al proceso de difusión, sino también a los procesos ecológicos ya que contribuyen a la distribución de los ecosistemas marinos.

El intento fundamental de la disposición de las

aguas residuales, es el de mezclar estas en los grandes volúmenes de agua del ambiente oceánico.

Con el objeto de estudiar los procesos de mezclado que existe en el océano varios investigadores se han enfocado a desarrollar teorías con verificaciones experimentales. Los modelos experimentales han coincidido en descargar un fluido a un recipiente lleno por medio de un tubo (emisor) cuya característica principal es la de contener una serie de orificios extendidos en las paredes al final del tubo (difusor) por donde sale el fluido, en el fondo del recipiente.

Las condiciones experimentales a partir de este momento se han variado debido a las diferentes etapas de difusión que sigue un flujo de aguas residuales al ser descargada por estas tuberías.

Un flujo de aguas sucias, por ejemplo, que se convierte en chorro cuando se expulsa por los orificios del difusor, sufre un mezclado turbulento con el agua circundante provocada por la velocidad con la que sale (momentum).

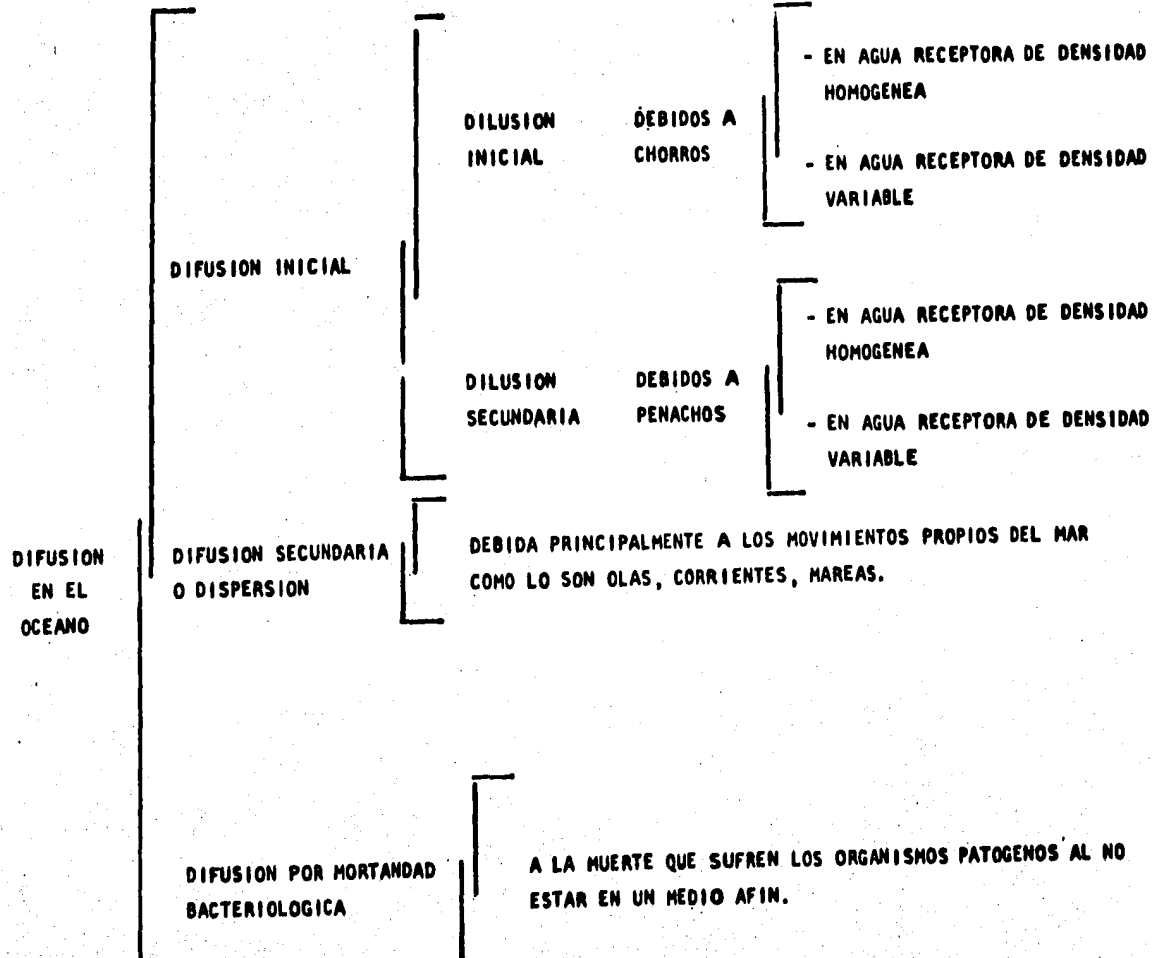
Enseguida sube a la superficie formando un campo de polución o penacho, desplazándose y mezclándose de acuerdo a las corrientes marinas, la densidad estratificada, la temperatura y la profundidad a la que fue descargada.

Si el mar esta lo suficientemente estratificado en el punto de descarga, es posible mantener un campo de polución sumergida, de otra manera, alcanza la superficie donde el mezclado (dispersión) se debera a los factores ambientales que provocan la agitación en el mar, contemplados en el coeficiente de difusión turbulenta. Los estudios y resultados de este caso, se han tomado para cuantificar los efectos que las desembocaduras de ríos y alcantarillas producen al hacerlo directamente a la superficie del mar.

Puesto que se supone que la dilución que provoca un buen difusor es tan grande que la reducción de oxígeno disuelto carece generalmente de importancia, los requisitos relativos al número de bacterias entre otros, es otro de los parámetros que los investigadores han estudiado.

El cuadro número 5 describe con mayor claridad la clasificación de estos estudios y que se detallaran en este capítulo los más importantes.

CUADRO No. 5



La utilización de tubería para el desecho de aguas residuales al mar es un sistema todavía no muy difundido en nuestro país, por lo que quizás exista cierta terminología que sea necesario aclarar para que este tema se pueda entender:

Un múltiple es un tubo, cerrado por un extremo y conectado a una descarga por el otro con orificios de diámetro constante a lo largo de un lado, o de varios lados, que permiten al agua ser descargada.

El diámetro del tubo y de los orificios es tal, que mantiene favorablemente una presión interna uniforme a lo largo de toda la longitud del múltiple, permitiendo una descarga igual por todos los orificios de la línea.

Un difusor es un múltiple alargado o extendido.

El agua desechada que pasa a través de los orificios en los difusores hacia el mar circundante, tiende a elevarse a intervalos fluctuantes. El término penacho es usado para describir la forma que toma éste flujo. Cuando

la velocidad de salida es importante en la determinación del grado de mezclado el término chorro es preferible, en estos casos después de un cierto viaje del agua residual empieza a formarse el penacho.

Entenderemos como efluente a las aportaciones o descargas de aguas continentales al mar ya sea superficialmente o en forma sumergida.

El término disolución, es usado para los efluentes como sigue: Si a 1000 c.c. de agua de mar limpia, se le añaden 10 c.c. de agua residual, entonces la dilución de ese líquido es de 101:1 o simplemente de 101. Las figuras 6, 7 y 8 muestran algunos de estos conceptos.

A manera de conclusión los modelos permiten predecir que concentración de agua residual podría existir en un punto determinado. Estos datos computarizados son muy importantes y son capaces de asegurar que las características más importantes de la calidad del agua y otros objetivos sean conocidos.

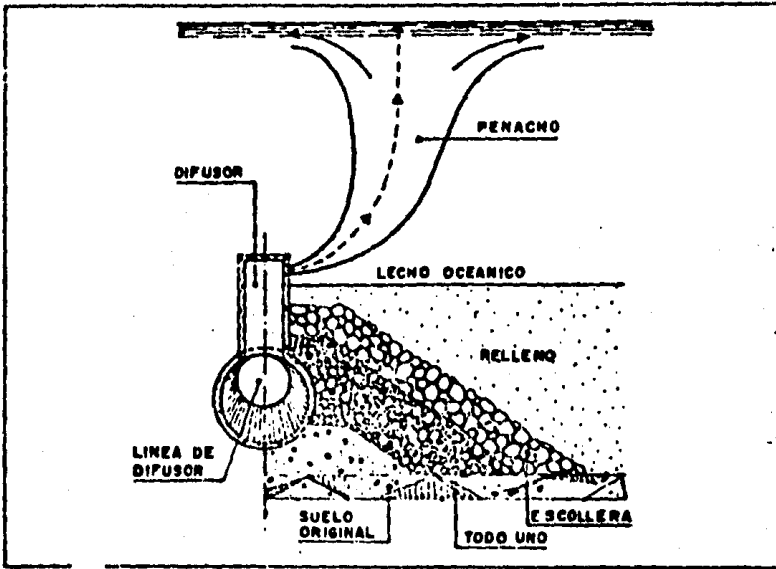


FIG. 6 .- Aspecto de un difusor y el penacho que produce el efluente al salir por un orificio hacia el mar

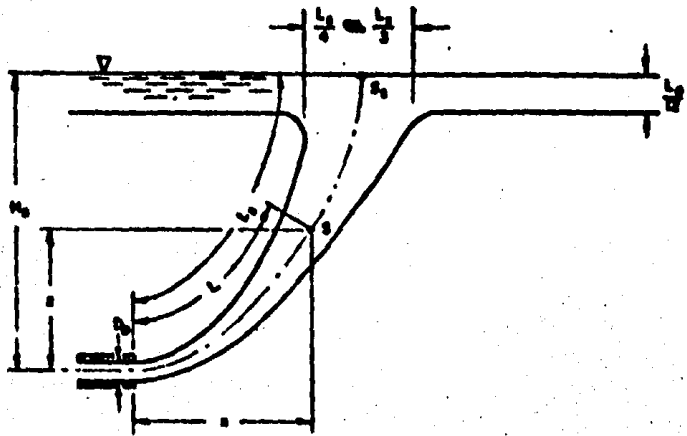


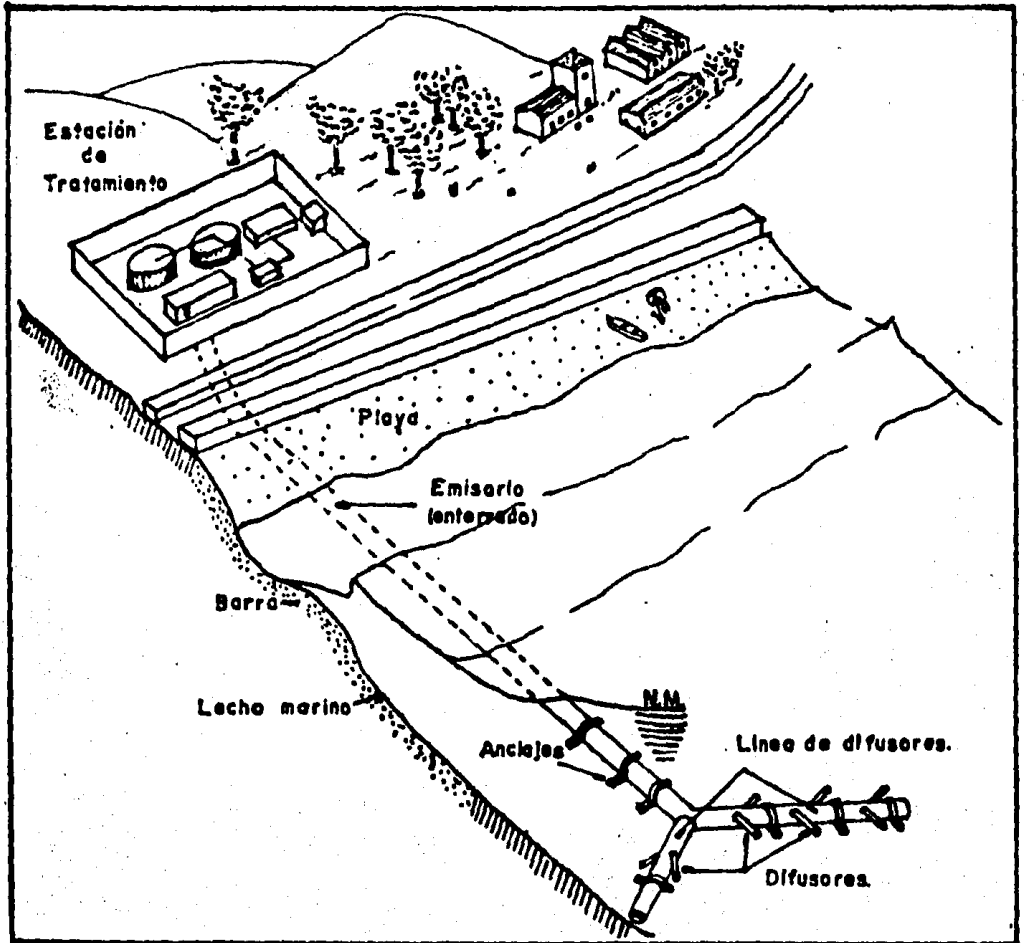
FIG. 7 .- Aspecto de un chorro y penacho evacuado por un orificio de un difusor.



ESQUEMA DE UN

EMISOR

SUBMARINO



Sin embargo no hay que olvidar que el océano nunca ha sido susceptible a cuantificaciones sencillas y que por otro lado las aguas residuales descargadas no se mantienen con concentraciones constantes. Por estas razones principales, existe una variabilidad en los resultados de las diferentes investigaciones llevadas a cabo.

## 3.2 MODELOS Y RESULTADOS

### 3.2.1 ANTECEDENTES HIDRAULICOS

#### 3.2.1.1 Descargas

Un termino constante en la disposición de aguas sucias es:

$$g'_o = \frac{\gamma_a - \gamma_d}{\gamma_d} g \equiv \left( \frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} \right) g \quad 3.1$$

$\gamma_d$  = Peso específico del agua residual

$\rho_d$  = Densidad específica del agua residual

$\gamma_a$  = Peso específico del agua receptora a densidad constante

$\rho_a$  = Densidad específica del agua receptora constante

$g$  = Aceleración de la gravedad

Esta expresión representa la aceleración ascendente que un cuerpo fluctuante podría sufrir, en un fluido sin viscosidad,

El efluente pasa hacia el ambiente marino através de un orificio de diametro " $d_0$ " y área " $a_0$ " de donde

$$a_e = C_c a_0 \quad 3.2$$

en donde

$a_e$  : es el área contracta del orificio

$C_c$  : coef. de contracción ( $0 < C_c \leq 1$ )

Esta ecuación se puede expresar como:

$$d_e = \sqrt{C_c} d_0 \quad 3.3$$

Por lo tanto la descarga a través del orificio queda expresada por:

$$Q_0 = v_e a_e \quad 3.4$$

donde  $v_e$  es la velocidad media del chorro en una vena contracta.

El número densimétrico de Froude esta definido

como

$$F_e = \frac{v_e}{\sqrt{g'_0 d_e}} \quad 3.5$$

que también se puede expresar así

$$F_o = \frac{v_o}{\sqrt{g'_0 d_o}} \quad 3.6$$

donde

$$v_o = q_o / \alpha_o \quad 3.7$$

Definiendo el parámetro

$$\beta'_e = \frac{h/d_e}{F_e^2} \quad 3.8$$

donde  $h$  es la profundidad del agua.

Entonces

$$\beta'_e = \frac{h}{d_e} \frac{g' d_e}{\mu_e} \equiv \frac{g' h}{\mu_e^2} \quad 3.9$$

Considerando una masa  $\Delta m$  de un líquido fluctuante, entonces

$$\beta'_e = \frac{1}{2} \frac{\Delta m g' h}{\frac{1}{2} \Delta m \mu_e} \quad 3.10$$

En donde  $\beta'_e$  representa la razón de la energía potencial y la energía cinética de las masas fluctuantes, y se utiliza para determinar cuando un derrame se considera como un chorro o como un penacho.

Es usual en las disposiciones marinas de aguas residuales usar un parámetro ligeramente diferente de  $\beta'_e$  definido como:

$$\beta_e = \frac{h/d_e}{F_e} \quad 3.11$$

Como para  $\beta_e$  son asociados grandes valores de  $\beta_e$ , en el caso de panachos y pequeños valores para chorros, es conveniente el definir un parámetro similar al de  $\beta_e$  como

$$\beta_0 = \frac{h/d_0}{F_0} \quad 3.12$$

### 3.2.2 DISOLUCION INICIAL DE EFLUENTES EN AGUAS RECEPTORAS DE DENSIDAD HOMOGENEA.

#### 3.2.2.1 INTRODUCCION

Una agua receptora homogénea es aquella, en la cual, existe una variación insignificante en la densidad del medio marino, con respecto a la profundidad y en las cercanías del difusor. Esto implica que las capas mezcladas se extiendan en toda la columna de agua, lo que implica que se trata de difusores que descargan en aguas poco profundas. Es imposible definir a que se le llama aguas poco profundas, aún en los casos de los modernos difusores que descargan en aguas hasta de 27 m de profundidad. Estas consideraciones pueden mostrar marcadas diferencias sobre

todo en las temperaturas y de las densidades de las capas superficiales y de las profundas. Cuando la profundidad y las condiciones temporales se conjuntan para tener una densidad esencialmente constante desde el fondo hasta la superficie los resultados de este inciso podran ser aplicados.

El problema que se resuelve aquí se refiere a las corrientes continuas que fluyen en cualquier ángulo hacia el difusor.

La dilución inicial de los efluentes descargados dentro de aguas receptoras de movimiento continuo y densidad constante se determina por 6 relaciones a saber:

- 1) La unidad de flujo fluctuante, dada por la ecuación

$$b = g'_0 q \quad 3.13$$

donde  $q$  es la descarga por unidad de longitud del difusor y  $g'_0$  ya fue definida.



- 2) Es el número de Froude, considerado como el único parámetro dinámico importante, dado por la ecuación:

$$F = \mu^3/b \quad 3.14$$

donde  $\mu$  es la velocidad de la corriente,

- 3) El ángulo  $\theta$  que se forma entre la corriente y la tubería.
- 4) Porcentaje total para dilución del efluente en dos dimensiones, ya que están involucradas la corriente unitaria y la descarga del efluente.

$$\bar{z} = \mu h/q \quad 3.15$$

- 5) Este parámetro representa la razón de el momentum vertical de la salida del orificio con la corriente del medio ambiente,

6) Y por último la razón  $L_2/h$  donde  $L_2$  es la longitud del difusor.

Se encontro que existen 3 regímenes para el caso de un penacho de longitud infinita y una corriente perpendicular ( $\theta = 90$ ) y que son caracterizados por rangos del número de Froude mostrados en la figura (9).

### 3.2.2.2 DILUSION INICIAL SUPERFICIAL DE UN PENACHO PRODUCIDO POR UN ORIFICIO EN FORMA RANURADA.

Este tipo de difusión se presenta cuando un difusor descarga horizontalmente un efluente de agua residual, a través de orificios en forma ranurada, formandose un flujo en forma de penacho cuando se dirige a la superficie. La figura (10) describe esquemáticamente este proceso.

En las disposiciones marinas de las aguas residuales se pretende que la disolución de los efluentes en la superficie del agua sea mínima ( $S_m$ ).

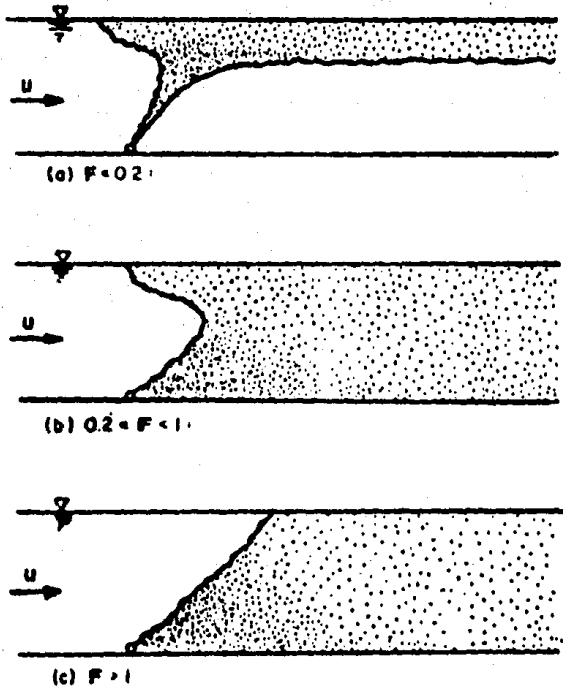
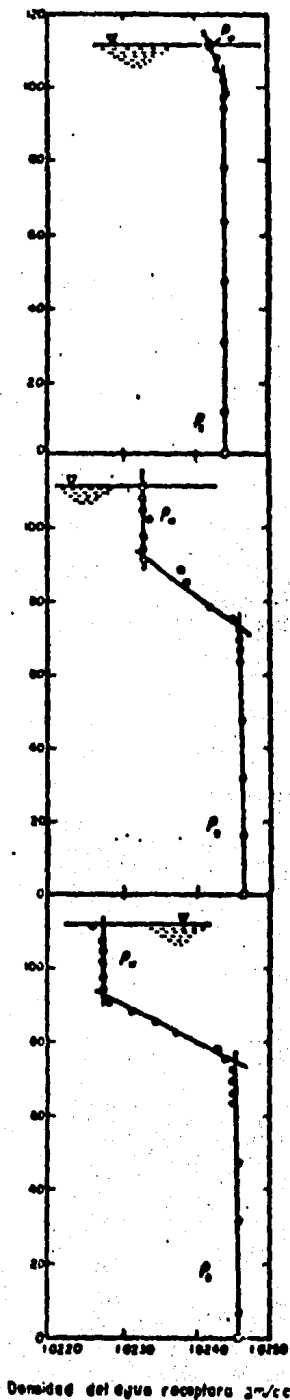
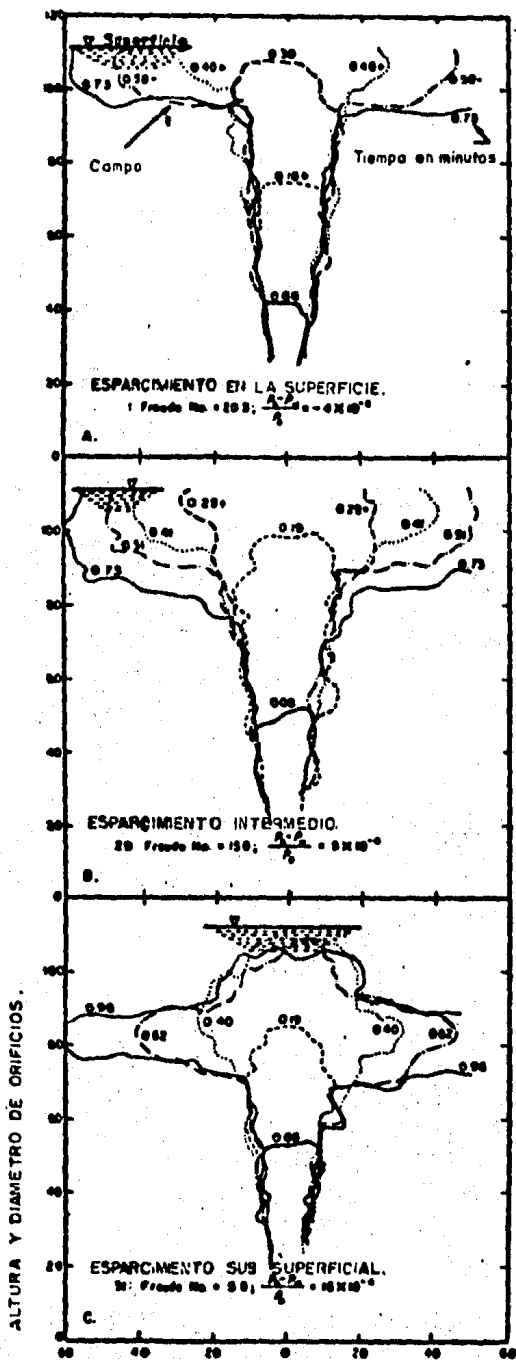


Fig. 9.- Regimen de flujo en dos dimensiones.  
Comportamiento del campo de polución o  
penacho en una corriente perpendicular.



PERFILES DE LOS CAMPOS DE LOS CHORROS DE CORRIENTE EN MINUTOS.

CURVAS DE DENSIDAD-ALTURA DEL FLUIDO RECEPTOR PARA EXAMEN INICIAL.

Fig. 10 PERFILES DE LOS CAMPOS DE CHORROS DE CORRIENTES Y CURVAS DE DENSIDAD-ALTURA.

Para asegurar las condiciones de flujos turbulentos se encontró que

$$\frac{Sm}{\xi} = \frac{Sm \cdot q}{\mu h} \quad 3.16$$

Para esto, se consideraron 3 posiciones diferentes de  $\phi$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $0^\circ$ . Los resultados se muestran en la figura 11 y representa la dependencia de  $\frac{Sm q}{\mu h}$  sobre  $F$  y  $\phi$  más no sobre  $L_2/h$  por lo menos entre  $3.7 \leq L_2/h \leq 30$ .

La solución asintótica para pequeños valores de  $F$  es

$$\frac{Sm q}{\mu h} = \frac{0.27}{F^{1/3}} \quad 3.17$$

de donde

$$Sm = 0.27 \frac{b^{1/3} h}{q} \quad 3.18$$

en donde la velocidad de la corriente desaparece demostrando que la disolución inicial del efluente existe siempre y cuando se tenga una corriente apreciable.

### 3.2.2.3 DILUSION INICIAL DE CHORROS Y PENACHOS PRODUCIDOS POR ORIFICIOS CIRCULARES

En esta sección se comentan las dilusiones iniciales de los efluentes cuando los efectos debidos a momentum son apreciables tanto para aguas estancadas como para aguas en movimiento.

Los resultados de las investigaciones se muestran en la figura (12).

La variable " $\xi$ " es una coordenada vertical positiva con origen en el centro del orificio; el valor máximo para esta variable ocurre en la superficie del agua, en donde  $\xi = h$  si la distancia del orificio al fondo del mar se desprecia.

Hacia el lado izquierdo de la figura (12) la línea de disolución central " $S_c$ " es independiente de  $h/L$ , esta es una región en la cual, las corrientes de chorro individuales se esparcen proximos a los orificios del difusor sin mezclarse.

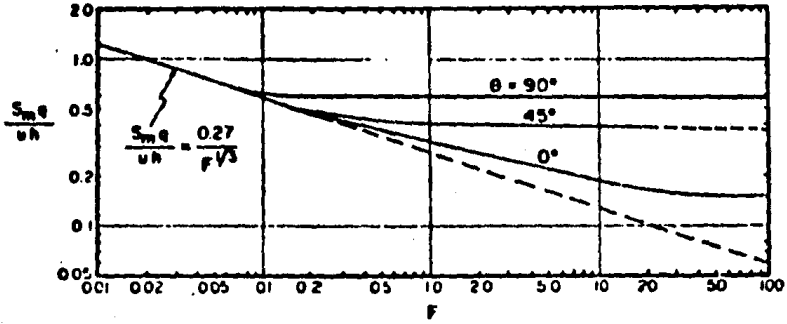


Fig. 11.- Dilusión Superficial mínima de la línea de un penacho en corrientes estáticas.

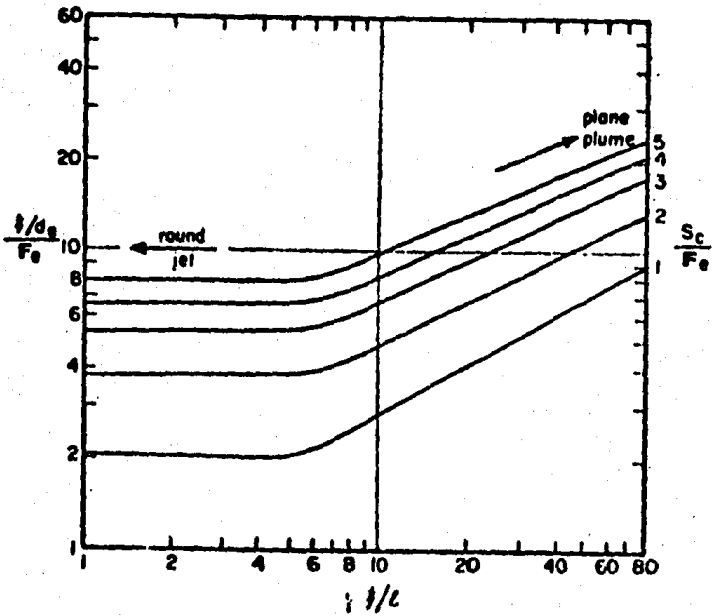


Fig. 12.- Contornos y valores constantes del eje central de la dilusión por emerger, para chorros flotantes producidos por orificios circulares uníformes en agua estancada.

Para  $h/L > 5$ , existe una influencia de flujos de chorro. Hacia el lado derecho la trayectoria del flujo es tan grande que los efectos fluctuantes se han efectuado por encima de la mezcla de los efluentes. Se puede decir que el lado derecho de la figura corresponde a un penacho.

La variación de la disolución central para dos dimensiones de un penacho en aguas estancadas esta dada por:

$$S_c = 0.42 b^{1/3} \xi/q \quad 3.19$$

La disolución mínima de un efluente turbo y cerca de la superficie es

$$S_m = 0.29 b^{1/3} h/q \quad 3.20$$

La disolución de la línea central de un penacho circular ya sea en agua en movimiento o en aguas tranquilas es

$$\frac{S_c}{F_e} = 0.107 \left( \frac{\xi/d_e}{F_e} \right)^{5/3} \quad 3.21$$



Un chorro o penacho producidos por orificios circulares distingue solamente al valor de  $\epsilon/l < 5$  así es que las constantes aplicadas aquí, también para los penachos se aproximan a

$$\frac{\epsilon/d_e}{F_e} \geq 20 \quad 3.22$$

Si las dos constantes mencionadas anteriormente se satisfacen, la ecuación 3.21 se puede usar para explicar el resultado del margen izquierdo de la figura (3.7).<sup>12</sup>

#### 3.2.2.4 DILUSION INICIAL DE EFLUENTES CON DENSIDAD IGUAL A LA DEL AMBIENTE LIQUIDO.

Cuando el efluente y el ambiente líquido son de la misma densidad, el número densimétrico de Froude se vuelve infinito.

La gráfica (13) muestra condiciones estables. Tanto el chorro producido por orificios circulares ( $x/d_o$ ) como los producidos por ranuras ( $x/B_o$ ) se incluyen en esta; " $x$ " es la distancia que recorre el chorro; " $d_o$ " es el

diámetro inicial del chorro producido por orificios y  $B_0$  es el ancho total inicial del chorro producido por ranuras ya que la ranura no es usada para las descargas del efluente,  $B_0$  se obtiene de la siguiente ecuación

$$B_0 = \frac{\pi d_0^2}{4L} \quad 3.23$$

### 3.2.3 DILUSION INICIAL DE EFLUENTES CON AGUA RECEPTORA ESTABLE DE DENSIDAD VARIABLE.

#### 3.2.3.1 INTRODUCCION

En el diseño de los sistemas de descargas de aguas residuales al océano, se buscan por lo menos dos objetivos: Primeramente que exista una adecuada disolución de los efluentes, y en segundo lugar crear una zona de disolución sumergida, para lo que se requiere, que el cuerpo de agua que recibe al efluente posea principalmente densidad estratificada. (ver figuras 14 y 15). La densidad estratificada de acuerdo a experiencias, se presenta a profundidades cercanas ó mayores de 60 mts.

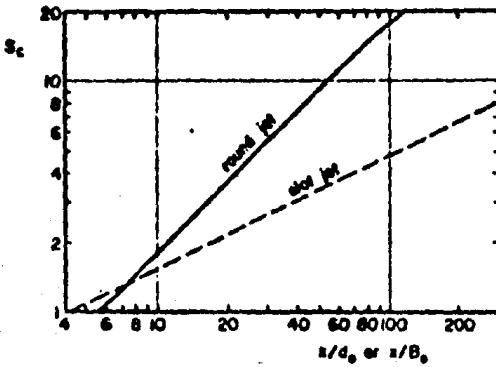


Fig. 13.- Diluciones en las líneas centrales de chorros producidos por orificios circulares (round - jet) y ranurados (slot jet) en agua de la mis ma densidad.

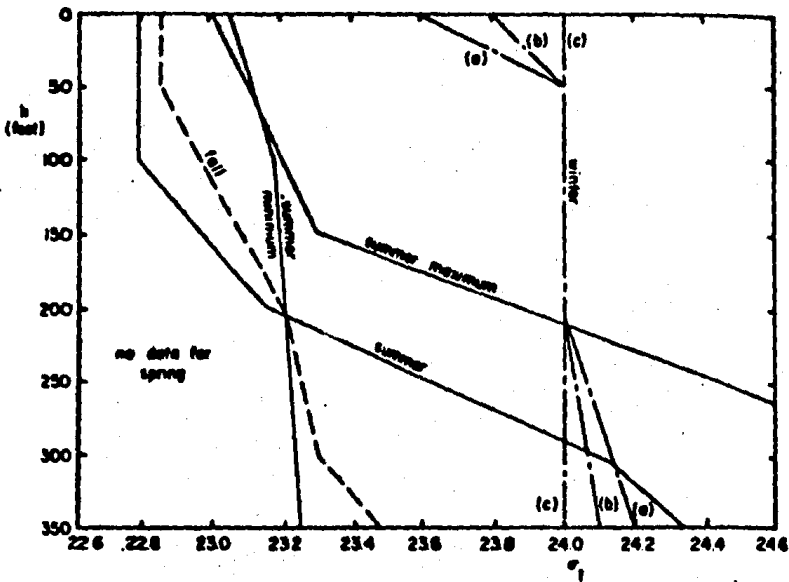


Fig. 14.- Perfiles de densidad obtenidos en la descarga No. 2 en Sand Island, Honolulu, Hawaii.

Debido a que los valores de la densidad pueden variar considerablemente en lapsos muy pequeños es necesario establecer parámetros que normalicen los experimentos y con ello los resultados y es precisamente lo que se vera en este capítulo.

### 3.2.3.2 DIFUSION INICIAL EN UNA DESCARGA HORIZONTAL DE UN CHORRO PRODUCIDO POR UN ORIFICIO CIRCULAR.

Para este caso el parámetro de estratificación es

$$T_0 = \frac{\rho_{\beta} - \rho_d}{d_0 \left( - \frac{d\rho_{\alpha}}{dz} \right)} \quad 3.24$$

En donde:  $5 \times 10^3 \leq T_0 \leq 25 \times 10^3$

$\rho_{\beta}$  : representa la densidad del agua receptora en el nivel del orificio

$\rho_{\alpha}$  : representa la densidad del agua receptora a cualquier profundidad.

Los parámetros de momentum y flujo de volumen son definidos respectivamente como:

$$m_o = 0.426 F_o^2 T_o^{-1}$$

y

$$\mu_o = 2.64 F_o^{1/2} T_o^{-5/8}$$

En donde:  $0.005 \lesssim m_o \lesssim 0.10$

y  $0.01 \qquad \qquad 0.03$

La altura máxima del levantamiento del chorro •  
(  $\xi_{max}$  ) y la relativa disolución en la línea central pa-  
ra la descarga en el nivel (  $St$  ) puede ser calculada  
por:

$$\frac{\xi_{max}}{d_o} = 1.32 St F_o^{1/4} T_o^{3/8} \equiv \delta St \qquad 3.25$$

y

$$St = 1.15 \frac{\mu_t}{\mu_o} \qquad 3.26$$

donde:

$$\delta = 1.32 F_o^{1/4} T_o^{3/8} \qquad 3.27$$

Los valores para  $St$  y  $\mu_t$  se obtienen de las  
figuras 16 y 17.

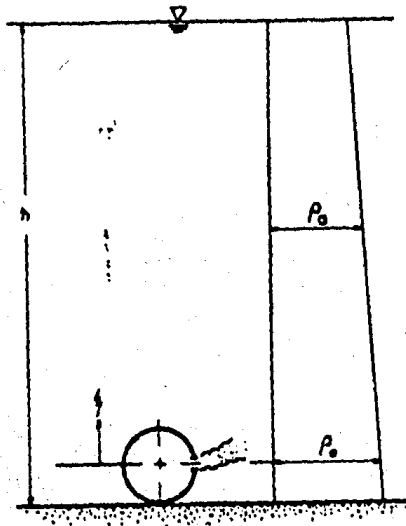


Fig. 15.- Agua receptora con densidad estratificada.

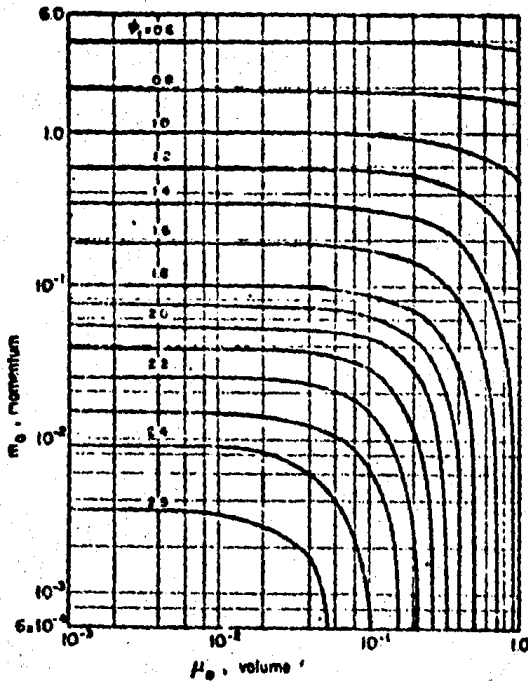


Fig. 16.- Altura final de una corriente de chorro producida por un orificio circular en un medio ambiente con densidad estratificada lineal.

En los límites del penacho cuando  $m_0 \approx 0$   
 y  $\mu_0 \approx 0$  se calcula por

$$S_c = 0.75 F_0^{-1/4} T_0^{3/8} \quad 3.29$$

y

$$\frac{E_{\max}}{\delta_0} = 3.6 F_0^{1/4} T_0^{3/8} \quad 3.30$$

Para casos intermedias entre el chorro y el  
 penacho la figura 18 puede ser útil.

El ancho total del flujo del chorro o penacho  
 en el punto de máximo levantamiento es:

$$2W_t = \delta_0 (0.464 \mu_t / m_0^{1/4}) \quad 3.31$$

$2W_t$  se determina para ver si existe interacción  
 entre chorros.

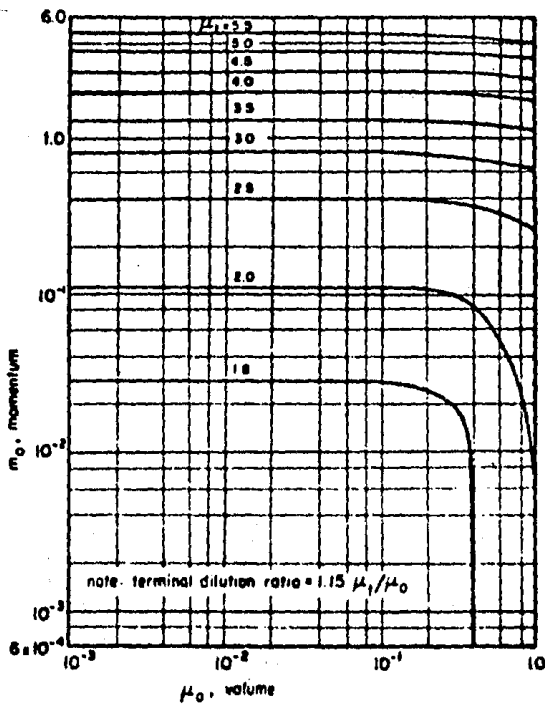


Fig. 17.- Parámetro final del volumen del flujo de una corriente de chorro producida por un orificio circular en un medio ambiente de densidad estratificada lineal.

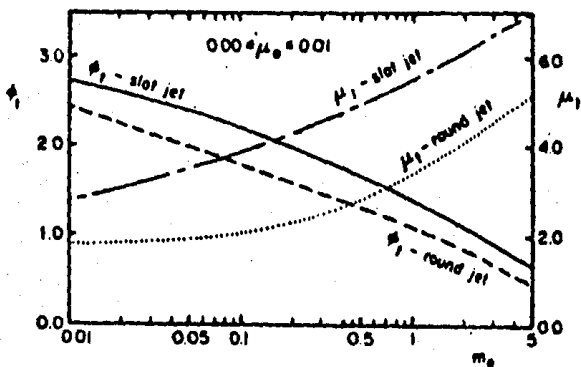


Fig. 18.- Parámetros finales de corrientes de chorro fluctuantes en un medio ambiente de densidad estratificada lineal.



### 3.2.3.3 DIFUSION INICIAL EN UNA DESCARGA HORIZONTAL DE UN CHORRO PRODUCIDO POR RANURAS.

En este caso se supone que el ancho de la ranura  $B_0$  se obtiene de la ecuación 3.23.

Dejando

$$F'_{10} = \frac{U_0}{\sqrt{g' \cdot B_0}} \quad 3.32$$

y

$$T'_{10} = \frac{(\rho_k - \rho_d)}{B_0 \left(-\frac{d\rho_\alpha}{ds}\right)} \quad 3.33$$

También dejamos

$$m_0 = 0.500 (F'_{10})^2 (T'_{10})^{-1} \quad 3.34$$

y

$$U_0 = 1.85 (F'_{10})^{2/3} (T'_{10})^{-1} \quad 3.35$$

Entonces la altura de levantamiento y dilución estan dados por:

$$\frac{\xi_{max}}{\beta_0} = 0.96 \beta_t (F'_{10})^{1/3} (T'_{10})^{1/2} \quad 3.36$$

y

$$St = \sqrt{\frac{\mu_t}{\nu_0}} \quad 3.37$$

Los valores de  $\beta_t$  y  $\mu_t$  se leen en las figuras 19 y 20.

En el caso límite de un penacho ( $m_0 \approx \mu_0 \approx 0$ ) se obtiene

$$\frac{\xi_{max}}{\beta_0} = 2.84 (F'_{10})^{1/3} (T'_{10})^{1/2} \quad 3.38$$

y

$$St = 0.87 (F'_{10})^{-1/3} (T'_{10})^{1/2} \quad 3.39$$

### 3.2.4 PROCESO DE DIFUSION SECUNDARIA EN AGUAS COSTERAS

#### 3.2.4.1 INTRODUCCION

Ya se discutió en los capítulos anteriores que un efluente descargado en forma sumergida, tiende a

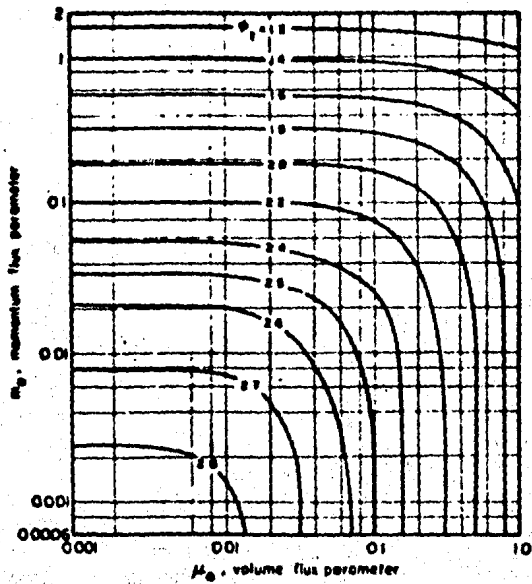


Fig. 19.- Altura final de una corriente de chorro producida por un orificio en forma de ranura, en un medio ambiente de densidad estratificada lineal.

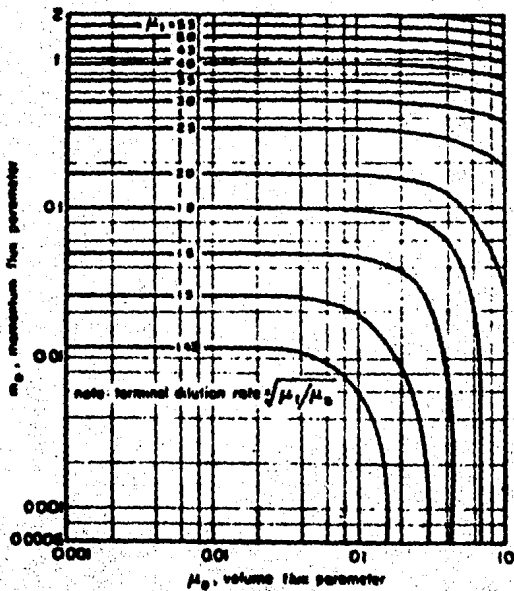


Fig. 20.- Parámetro del volumen del flujo final de una corriente de chorro producida por un orificio en forma de ranura en un medio ambiente de densidad estratificada lineal.

ascender estabilizándose en cualquier nivel. Claramente los cálculos de las disoluciones de aguas residuales no terminan ahí, ya que estas son trasladadas debido a sistemas de corrientes locales y dispersadas por mecanismos de difusión.

Se han realizado modelos para predecir los procesos de difusión secundaria, así mismo para evaluar los índices de mortandad de las sustancias no conservativas.

Este tipo de modelos se adoptan a las condiciones de descargas directas al océano, como son desembocaduras de ríos, desechos petroquímicos, descargas de aguas de enfriamiento en termo y nucleo-eléctricas, etc. actividades comunes en nuestro país. De ahí la importancia de determinar este tipo de dispersión.

#### 3.2.4.2 LEY DE RICHARDSON

Considerese una mancha de una sustancia, siendo transportada por un sistema de grandes corrientes. Es evidente que la mancha es adveccionada.

Este sistema de corrientes pueda ser parte de un gran remolino cuya dimensión es mucho mayor que el de la mancha en proceso. Así es posible generalizar que los remolinos que influyen en la expansión de la mancha en su centro, solo son aquellas que tienen un tamaño menor que el de la mancha.

Como la mancha se expande (crece), es evidente, que los remolinos que inicialmente no ayudaban a la difusión de la mancha posteriormente intervienen en el proceso. Se puede imaginar que las aguas costeras contienen un gran número de remolinos de diferentes escalas.

Así se puede deducir que el coeficiente de difusión "c" en el mar aumenta en proporción directa al tamaño de la mancha.

El tamaño de la mancha de una sustancia puede ser vista fácilmente en unidades de área y de acuerdo a la discusión anterior se puede concluir que el coeficiente de difusión "E" debe aumentar a la velocidad de  $L^2$  (Área de la mancha).

Es importante señalar que las bases del razonamiento anterior no son muy claras y que muchos investigadores la han cuestionado.

La experiencia sugiere que una buena forma de determinar " $\epsilon$ " es relacionarla con la magnitud longitudinal ( $L$ ) de la mancha en  $4/3$ .

Es posible hacer una generalización de las turbulencias y su influencia al desparramar una sustancia, vaciada en el mar, en relación a las concentraciones máximas ( $C_{máx}$ ) y anchos de la mancha ( $L$ ) de dicha sustancia, asociado a un cierto tiempo. La ley de Richardson o ley de los "cuatrotercios" se denota de la siguiente forma:

$$\epsilon = \alpha L^{4/3}$$

3.40

en la cual " $\alpha$ " no es una constante, ya que depende de los movimientos del mar (ya discutidos), diferencias de temperatura y salinidad, presencia o ausencia de límites (líneas costeras) y tamaño de la mancha de prueba. Varios autores se han enfocado en diferentes lugares del mundo, a determinar " $\epsilon$ " que se muestran en el cuadro 6 donde se

CUADRO 6.- VALORES Y CONDICIONES DE OBSERVACION DE DIFUSIVIDAD TURBULENTO HORIZONTAL

LUGAR DE OBSERVACION	REPORTADO POR	CONDICIONES EN EL OCEANO	CAPAS OBSERVADAS	PROFUNDIDAD	TRAZADOR EMPLEADO	DIFUSIVIDAD TURBULENTO HORIZONTAL	
						(cm /seg)	(ft /seg)
N.O. del Océano Atlántico Norte	Neuman - Sverdrup	Con corrientes fuertes	Superficial	-	-	$4 \times 10^8$	$0.0062 \times 10^8$
Corrientes del Atlántico Ecuatorial	Montgomery-Sverdrup	Con corrientes moderadas	0 - 200 m	-	-	$4 \times 10^7$	$0.0062 \times 10^7$
Sur del Océano Atlántico	Sverdrup	Con corrientes debiles	2500-4000	-	-	$4 \times 10^8$	$0.0016 \times 10^8$
Corriente de California	Sverdrup	Con corrientes debiles	200 - 400 m	-	-	$2 \times 10^6$	$0.0031 \times 10^6$
Océano Pacífico	Sverdrup	-	Superficial	-	Tintes	$5 \times 10^2$	$0.0078 \times 10^2$
Océano Pacífico	Sverdrup	-	Superficial	-	Tintes	$5 \times 10^7$	$0.0078 \times 10^7$
Lago Bikini	Munk et.al.	Deriva de 0.1 nudos	Superficial	52	Radioisotopos	$1.5 \times 10^5$	$0.0023 \times 10^5$
Lago Bikini	Munk et.al.	Deriva de 0.3 nudos	50 m	150	Radioisotopos	$0.5 \times 10^5$	$0.0076 \times 10^5$
Lago Bikini	Von Arx	-	Superficial	52	Tintes	$0.7 \times 10^4$	$0.0011 \times 10^4$
Lago Bikini	Von Arx	-	Superficial	52	Tintes	$1.8 \times 10^4$	$0.0027 \times 10^4$
Bahfa de Nueva York	Ketchum	Viento moderado con fuerza de 1 a 3	Superficial	60	Desperdicios	$2.5 \times 10^3$	$0.0039 \times 10^3$
Bahfa de Nueva York	Ketchum	Viento moderado con fuerza de 1 a 3	Superficial	60	de	$1.9 \times 10^3$	$0.0029 \times 10^3$
Bahfa de Nueva York	Ketchum	Viento moderado con fuerza de 1 a 2	Superficial	26	Acero	$6.8 \times 10^3$	$0.0011 \times 10^3$
Océano Atlántico	Bourret y Broida	Velocidad del viento 15 mph	Superficial	15	Papel mimeografo	$2.7 \times 10^2$	$0.0042 \times 10^2$

observa variaciones de  $2.7 \times 10^2$  a  $4 \times 10^8$   $\text{cm}^2/\text{seg}$  representando un intervalo de un millón de veces.

### 3.2.4.3 MODELO DE BROOKS

Entre los modelos de mayor aceptación en la representación de la difusión secundaria cuando se desarrolla en la superficie, destaca el modelo de Brooks.

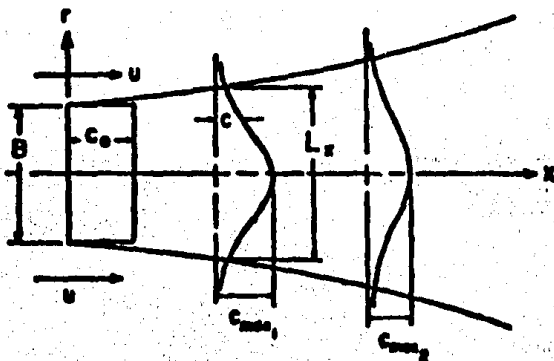
Se enfocó a las siguientes suposiciones para disolver la concentración de contaminantes en cualquier punto hacia aguas abajo de un efluente:

- 1) El mezclado vertical se desprecia. De esta manera considera que la sustancia contaminante permanece en la superficie del agua obligando ha ser un modelo bidimensional.

Esto, además es un razonamiento lógico dado que para este tipo de descargas el coeficiente de difusión en dirección vertical es mucho menor si es tomado en cuenta, las distancias horizontales en contra de las verticales del mar.



- 2) El mezclado en dirección de la corriente es imperceptible. Razonamiento en donde involucra la mayor velocidad de avance que lleva el efluente con la velocidad del proceso de difusión turbulenta cuando los movimientos propios del mar no intervengan.
- 3) El efluente se mueve con el sistema de la corriente, implicando con ello que el efluente tiene la misma densidad que la del agua, para lo cual debieron haberse logrado varias diluciones iniciales.
- 4) El mezclado en dirección lateral puede describirse con el proceso que se siguió para determinar el coeficiente de difusión "c". Depende del ancho nominal del efluente "L<sub>x</sub>", siendo únicamente función de la coordenada "x" más no de la coordenada lateral "r".



La ecuación planteada por Brooks es entonces, la siguiente:

$$c = \alpha Lx^{\eta_0} \quad 3.41$$

en las que considero tres valores:

para  $\eta_0 = 0$  suponiendo constante el coeficiente de difusión

$\eta_0 = 1$  tomando en cuenta los límites que pudiere crear la costa

$\eta_0 = 4/3$  de acuerdo a la ley de "Richardson"

Brooks se enfocó a la concentración a lo largo de la línea central de mancha, en dirección de la corriente. La distribución de "c" para cualquier sección transversal x fue tomada como de campana invertida (distribución normal o Gaussiana), siendo el ancho de la mancha el siguiente:

$$Lx = 2\sqrt{3} \cdot \sigma \quad 3.42$$

en la que  $\sigma$  es la desviación estandar del perfil de la concentración en "x"

El coeficiente de difusión para  $x = 0$  es:

$$c_0 = \alpha B^{n_0} \quad 3.43$$

en la que  $B$  es el ancho inicial.

Los resultados encontrados son los siguientes:

Valor de $n_0$	$Lx/B$	$C_{max}/C_0$
0	$(1 + 2\beta \frac{x}{B})^{1/2}$	$\text{erf} \{3/(4\beta \frac{x}{B})^{1/2}\}$
1	$1 + \frac{x}{B}$	$\text{erf} \{(\frac{3}{2} / (1 + \beta \frac{x}{B})^2 - 1)^{1/2}\}$
4/3	$(1 + \frac{2}{3} \frac{x}{B})^{3/2}$	$\text{erf} \{(\frac{3}{2} / (1 + \frac{2}{3} \beta \frac{x}{B})^3 - 1)^{1/2}\}$

en los cuales

$$\beta = 12 \epsilon_0 / v\theta \quad 3.44$$

siendo  $v$  la velocidad de las corrientes;  $\text{erf}(\ )$  es la función error, definida por la ecuación:

$$\text{erf}(a) = \frac{2}{\pi} \int_0^a e^{-t^2} dt \quad 3.45$$

cuya solución numérica puede encontrarse con series o por incrementos finitos,

#### 3.2.4.4 DIFUSION POR MORTANDAD BACTERIOLOGICA

Se conoce como Difusión por Mortandad Bacteriológica, el proceso físico por medio del cual organismos patógenos provenientes de una descarga de aguas residuales al mar, mueren o desaparecen alcanzando niveles de concentración considerados como tolerables para la salud humana.

Este proceso se presenta por dos fenómenos importantes:

- 1) La difusión propia del océano, activada por los movimientos que ahí se presentan, de los que ya se habló.
- 2) La mortandad propia de estos organismos al introducirse a un medio ambiente que no le es afín, de la que se hablará aquí.

Debido a la diversidad de organismos patógenos que llegan al mar a través de descargas continentales se hace necesario establecer una especie de estos que sirva como indicador de todos ellos. Varias organizaciones en el mundo, dedicadas a la obtención de normas de calidad de agua coinciden en tomar a la bacteria coliforme como el organismo indicador y de lo que se habló en el capítulo 2.

Para determinar los niveles de concentración de esta bacteria, se hace uso del proceso de muerte pura representada por la siguiente ecuación:

$$N = N_0 e^{-kt}$$

3.50

donde

$N$  = Concentración de organismos vivos en cualquier tiempo

$N_0$  = Concentraciones en el tiempo  $t=0$

$k$  = Coeficiente de mortandad

El coeficiente " $k$ " en esta ecuación es por convención en los cálculos de disposiciones de aguas residuales sustituida por " $t_{90}$ " y se define como: "el lapso de tiempo cuando el número de organismos vivos es el 10%; es decir cuando el 90% de los organismos han muerto en una prueba de bioensayo\*", entonces;

$$0.1 = e^{-kt_{90}} \quad 3.51$$

y

$$k = \frac{\ln(10)}{t_{90}} = \frac{2.3}{t_{90}} \quad 3.52$$

sustituyendo y reacomodando los valores de la ecuación 3.51 se obtiene:

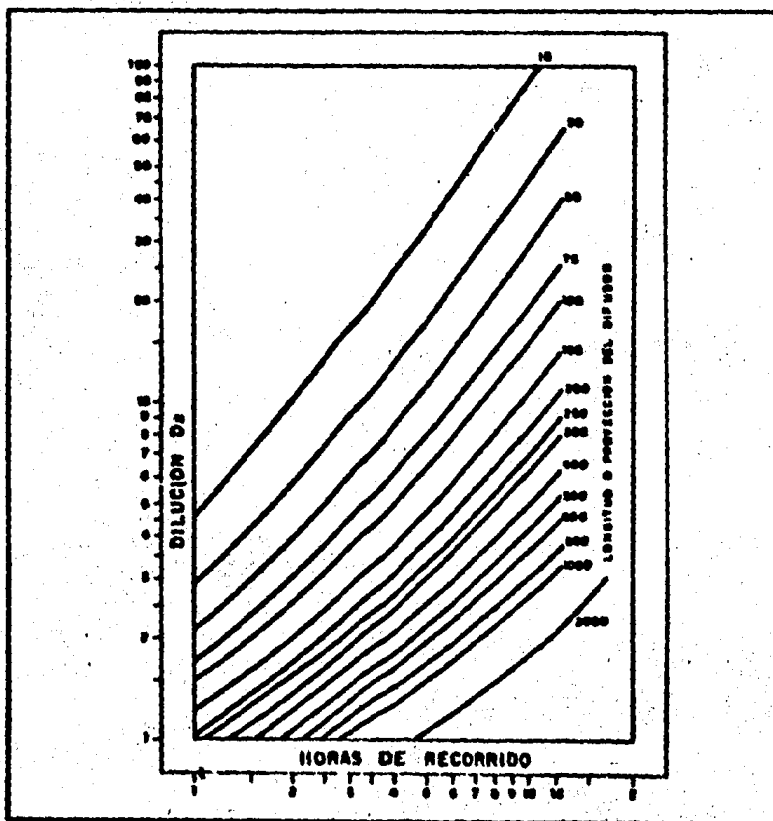
$$N = N_0 (10)^{-\frac{t}{t_{90}}} \quad 3.53$$

\* El procedimiento de la prueba se explicara en siguientes capítulos.

El Ministerio de Obras Públicas a través del Departamento de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, calculo, mediante la fórmula propuesta por Brooks:

$$D_3 = 10^{t/T90}$$

donde:  $t$  es el tiempo de recorrido ( $x/v$ ) en hr  
 el siguiente cuadro:



### 3.3 METODOLOGIA DE CAMPO

#### 3.3.1 INTRODUCCION

La cantidad de parámetros que intervienen en el proceso de difusión, ha hecho que los intentos teóricos para explicar tal fenómeno, conceptualicen el problema, asumiendo hipótesis simplificadoras y coeficientes que cubran de una manera razonable las variaciones de estos parámetros. La manera de que los resultados de los modelos vistos en el capítulo anterior describan con veracidad esos procesos, es, obteniendo los coeficientes y constantes, directamente en el lugar de estudio. De esta manera muchas condiciones propias del lugar, que solo se pueden inferir de una manera cualitativa quedan involucradas en estos valores.

A continuación se describen algunas técnicas, que permiten conocer las características principales del océano en un sitio determinado. Experiencias de muchos investigadores que se han preocupado de estos fenómenos señalan que las condiciones más importantes como son: oleaje, corrientes, vientos, densidad, etc. cambian significa-



tivamente con las diferentes estaciones del año, por lo que es necesario la obtención de datos del lugar de estudio, durante por lo menos un año.

El desarrollo tecnológico de los instrumentos de medición, así como el procesamiento de datos ha facilitado los estudios de campo. Algunos de estos instrumentos se mencionan en este capítulo.

### 3.3.2 OLEAJE

El equipo oceanográfico más utilizado para medir las características principales del oleaje en nuestro país, son los ológrafos marcas Inter-Ocean y los Sea Data.

El Inter-Ocean proporciona únicamente el perfil de la superficie del oleaje al pasar las olas por él. La instalación de este instrumento se puede hacer en la superficie o sumergido hasta 60 mts.

Su funcionamiento se basa en términos generales, en una grabadora de cassette magnético digital que se puede programar para cierto ritmo de grabación, que va de

0.5 seg. a 60 seg. El número de medidas de ola por período de grabación es de 1 a 2048 palabras, con períodos de grabación de 0.25 a 12 horas funcionando con 20 baterías alcalinas. Su forma es cilíndrica de 14 cm de diámetro y 82 cm de longitud. Cuenta con un transductor de presión diferencial en uno de cuyos lados se detecta la columna de agua total, a través de un filtro de paso con una constante de 4 min, que filtra el oleaje. El otro lado del transductor detecta la columna total de agua incluyendo las olas.

La diferencia entre las dos, es por lo tanto, la señal del oleaje, que es independiente de los cambios de la columna de agua debido a mareas, presión barométrica, etc.

Por otro lado el olómetro Sea Data además de las alturas y períodos de oleaje nos proporciona la dirección de éste. Se puede instalar a más de 1000 mts. de profundidad.

Cabe mencionar los olómetros waverider que detectan el movimiento en tres dimensiones (Ver figura 21). Estos instrumentos son muy sofisticados y costosos por lo que no es muy atractiva su utilización.

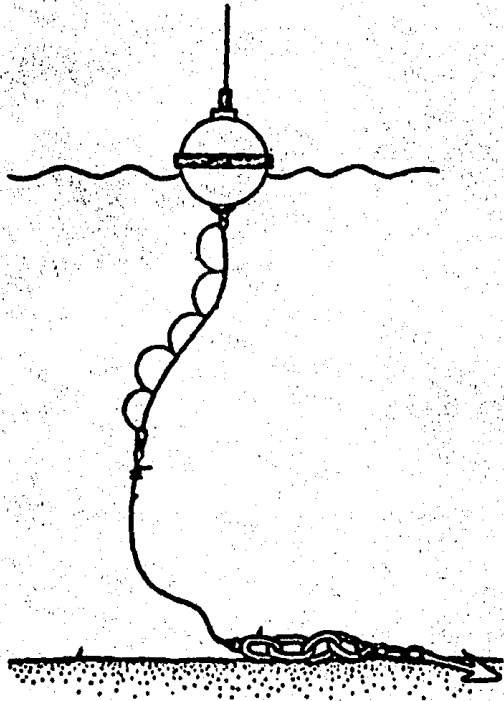


Fig. 21 .- Boya Wavereder

### 3.3.3 MEDICION DE CORRIENTES

Existen cientos de reportes y artículos que se refieren a las corrientes en mares y océanos, sin embargo, la mayoría de estos corresponden a mar abierto.

Es importante tener presente su existencia, ya que puede facilitar el establecimiento de un programa de obtención de datos, al iniciar un estudio de localización de descargas de aguas residuales.

Así tenemos, por ejemplo publicaciones gubernamentales náuticas de los E.U.A. como son: "Tidal Current Tables" y "United States Coastal Pilot 7", etc.

Las condiciones de corrientes son frecuentemente representadas por una Rosa de corrientes, que es el equivalente oceanográfico a la Rosa de los Vientos (Ver figura 22).

Para realizar mediciones de corrientes en el mar, es posible dividir en dos clases principales los métodos de evaluación: El método de trayectoria o Lagrangiano y el

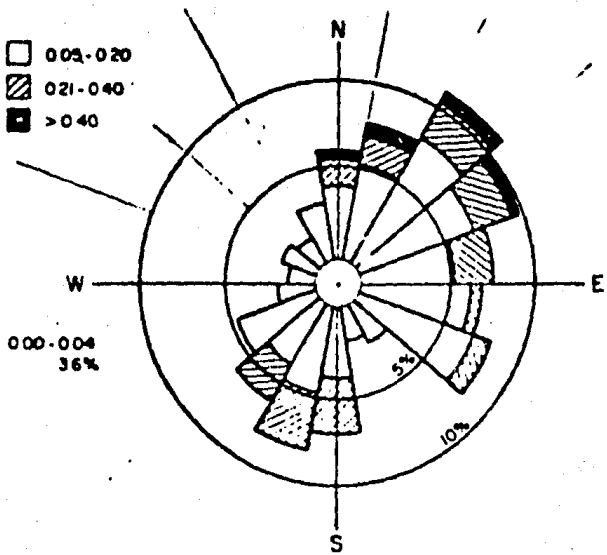


Fig. 22 .- Rosa de corrientes.

método de flujo o Euleriano.

La determinación Lagrangiana de corrientes oceánicas puede dividirse en dos tipos: Uno de ellos utiliza unos dispositivos llamados "flotadores" (Drogues), que se depositan en el mar y se liberan para que las corrientes lo arrastren. De esta manera se localizan periódicamente y se anotan los tiempos entre cada observación.

Los flotadores más comunes son:

- 1) Planos, perpendiculares al plano
- 2) Cruciformes
- 3) Circulares
- 4) De paracaídas

Los más utilizados son los cruciformes y los de paracaídas mostrados en la figura 23.

El otro tipo que es interesante describir, utiliza unos seguidores de corrientes o "Drifter" que igualmente a los anteriores son liberados en un lugar que se conoce, pero en este caso no se relocalizan periódicamente, únicamente, se hace una determinación final, éste método como

es evidente no puede proveer características de las corrientes entre el punto inicial y final de medición. Los Drifter son muy útiles para obtener características generales de corrientes oceánicas, pero no es práctico para conocer corrientes locales o costeras.

El método Euleriano es un detector que es colocado en forma permanente y éste mide la dirección y velocidad de la corriente (Ver figura 2h )

Este tipo de medidores se encuentran anclados mediante cables ó directamente en el fondo marino los más comunes son los que se enuncian a continuación.

Medidores de corrientes con rotores Savomius ó similares.

Son instrumentos que se colocan en la corriente y miden la dirección y velocidad mediante aspas o veletas, que junto con un sistema de baterías e instrumentos registran estas características. Esta obtención se hace comúnmente mediante cintas magnéticas. Se recomiendan visitas periódicas por buzos para hacer limpieza del instrumento

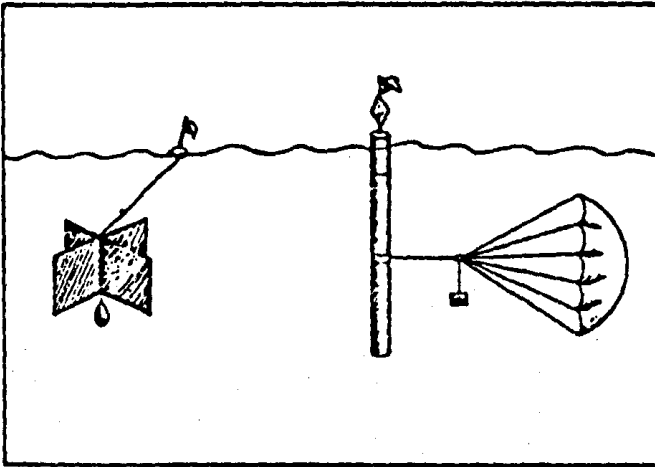


Fig. 23 .- Flotadores de deriva de tipo cruciformes.

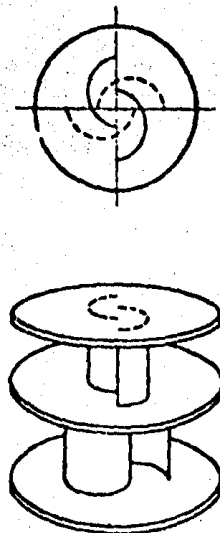


Fig. 24 .- Rotores tipo Euleriano para mediciones de corriente.



ya que estos se ven seriamente afectados por la corrosión y organismos del mar.

### 3.3.4 MEDICION EN CAMPO DE LA DIFUSION

De acuerdo a lo visto en el capítulo 3.2 en donde se estableció que el coeficiente de Difusión "c" es una función del tamaño del fenómeno que se involucra y que depende claramente de las condiciones del océano como lo es: los vientos, mareas, oleaje, corrientes, densidad, etc., es obvia la dificultad que existe para determinar este coeficiente.

Se recomiendan para tales mediciones dos métodos:

- 1) Utilización de flotadores
- 2) Utilización de tintas fluorescentes

#### 3.3.4.1 UTILIZACION DE FLOTADORES

Un método práctico por el cual la difusividad turbulenta secundaria puede ser determinada, es utilizando

flotadores en pares, con una separación inicial " $l_0$ ". Después de un intervalo elegido " $t$ " se determina  $l_1$ . Con estos valores se obtiene  $l_i$  como

$$l_i = \frac{1}{2} (l_{0i} + l_{1i}) \quad 3.60$$

Para un grupo de  $N$  pares se tiene:

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i \quad 3.61$$

que es igual a:

$$\bar{l} = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N (l_{0i} + l_{1i}) \quad 3.62$$

finalmente se puede definir " $\epsilon_T$ " como:

$$\epsilon = \frac{\sum_{i=1}^N (l_{1i} - l_{0i})^2}{2Nt} \quad 3.63$$

La forma más práctica y rápida de establecer la posición de los flotadores es desde el aire, por ejemplo haciendo observaciones desde un helicóptero o desde una avioneta.

Sin embargo si se tienen pocos flotadores y/o su separación no es suficientemente grande se recomienda el uso de técnicas de navegación para su localización.

Otra variante de este método es disponer un arreglo de flotadores en forma de exágono y uno en el centro de éste. De esta manera se tendrán 12 distancias iguales en el exágono con un punto central utilizando 7 • flotadores y se procede a rastrear la dispersión en un radio que se recomiendan en 8 km o 24 horas respectivamente. Utilizando el que ocurra primero.

#### 3.3.4.2 TINTAS FLUORESCENTES

Este método consiste fundamentalmente en marcar una masa de agua de mar con tintas fluorescentes en la localidad en donde se desea conocer el comportamiento de la difusión. Dos objetivos principales se persiguen al utilizar este método: uno de ellos es determinar la trayectoria de la tinta en la masa de agua; el otro, es detectar la difusión producida por los elementos que intervienen en tal proceso.

Básicamente la fluorescencia es una forma de luminiscencia, que en términos generales, es una emisión de luz indirecta imputable a una energía calorífica. Las sustancias fluorescentes emiten radiaciones de luz con irradiaciones desde una fuente externa; la emisión cesa cuando esta se separa.

El método consiste en vaciar una solución líquida directamente al mar, pudiendo ser de manera continua o discreta tomando muestras en determinado tiempo y a diferentes profundidades. La velocidad con la cual la tinta se dispersa es una medición del coeficiente de difusión.

La descarga continua de la tinta aprovecha con mejor aproximación las descargas de aguas negras que lo que se obtiene con los métodos de descargas discreta.

Existen varias técnicas de obtener las muestras pero se pueden dividir fundamentalmente en dos tipos:

- 1) Superficial y
- 2) Subsuperficial

Ambas pueden emplear equipo muy sofisticado que va desde el uso de bombas conectadas a un fluorómetro por medio de mangueras, con el fin de determinar la fluorescencia in situ, la colocación de la boca de la manguera se hace desde un dispositivo en forma de torpedo hasta un orificio diseñado especialmente para este trabajo en los costados de la embarcación.

Un método más sencillo utiliza un simple tubo transparente de plástico o vidrio cerrado en sus extremos por dos tapones de corcho. El funcionamiento del mecanismo consiste en introducir el aparato a la profundidad deseada en la mancha de tinta con los tapones abiertos para obtener la muestra. La cuerda que sostiene el muestreador contiene una plomada que al soltarla se desliza por la cuerda hasta soltar un mecanismo que mantiene abiertos los tapones a base de ligas, cerrando el muestreador y obteniendo la muestra.

Otra recomendación sobre todo para graficar eficazmente la superficie de la tinta y su trayectoria es la de ubicar la posición de la embarcación en cualquier tiempo.

Métodos para la localización de la nube producida por la tinta bajo la superficie son variados, pero la utilización de buzos siguiendo los litorales de la nube con un flotador para que observadores en la superficie la ubiquen es recomendado.

En ambos métodos, la ubicación de las muestras se puede auxiliar por boyas formando cuadrantes y por "sextantes", instrumento que colocado en una embarcación mide los ángulos que forma el barco al moverse en diferentes direcciones.

Instrumentos como el Fluorómetro determinan la concentración fluorescente en el agua donde se derramó un colorante. De este tipo de aparatos el fluorómetro de Filtros es de los recomendados.

Comercialmente en los E.U.A. existe gran diversidad de marcas como ejemplo de algunas de ellas: Rhodamine B, Rhodamine WT, Pontacyl Pink, Fluorescin, etc. Para la elección de la tinta a utilizar es recomendable tener en cuenta las siguientes condiciones:

- 1) Que sea soluble en el agua
- 2) Que garanticen una alta detectibilidad y fácilmente separables de otra sustancia
- 3) Que no sean tóxicas
- 4) Que sean de alta estabilidad en un medio natural
- 5) Que puedan manejarse fácilmente

La manera de representar la información obtenida en el campo por este método es graficado en un mapa de la localidad, la mancha que dejó la tinta en el agua, el tiempo y los puntos en donde se vertió inicialmente la tinta.

De esta manera se puede detectar la dirección y velocidad de las corrientes en el lugar de interés así como el de la difusión.

El objetivo de estas anotaciones es el de proporcionar los datos numéricos que puedan sustituirse en los resultados de los modelos matemáticos. Un aprovechamiento es, el uso de la siguiente relación que involucra el coeficiente de difusión " $D$ " y la variación del perfil de

concentración en dirección perpendicular a la corriente (Brook's) y que se anota a continuación:

$$c = \frac{1}{2} \frac{d\sigma^2}{dt} \quad 3.64$$

Suponiendo que la distribución de la tinta a través de la corriente es de campana invertida o Gaussiana.

Para tal caso,

$W_1$  : ancho en el tiempo  $t_1$

$W_2$  : ancho en el tiempo  $t_2$

$W_0$  : eje de simetría

En general

$$c = \frac{W_1^2 - W_0^2}{Cz (t_1 - t_0)} \quad 3.65$$

Donde "Cz" es una constante que depende de la elección de Z. En realidad

$$Z = \frac{\sqrt{Cz}}{8} \quad 3.66$$



Valores de  $C_z$  usados en la práctica son 24 y 32 correspondientes a  $Z = 3$  y  $Z = 2$  respectivamente.

Si el vertido es discreto se recomienda usar la ecuación 3.63. Por otro lado si el vertimiento es continuo o no se detectan corrientes la ecuación 3.65 de este capítulo se aconseja.

### 3.3.5 MEDICION DE MORTANDAD BACTERIOLOGICA EN EL MAR

En la sección 3.2.3 se habló de el parámetro " $t_{90}$ " como un parámetro para medir la mortandad de organismos. Uno de los métodos sugeridos in situ para determinar este, es el derramar en el mar una mezcla de aguas residuales con una tinta fluorescente. La presencia de tinta ayuda a conocer el proceso de dilución en la prueba. La concentración de organismos bacteriales, por supuesto, refleja la mortandad de las bacterias pero también los efectos de la dilución física. Las lecturas de la tinta servirán para corregir las tasas del tiempo de decaimiento del organismo indicador por dilución.

Se deben obtener varias muestras a dos profundidades básicamente: una de ellas deberá estar en el primer metro de profundidad; la otra aproximadamente a los 3 mts; las muestras deberán obtenerse en intervalos de tiempo de 10, 20, 30, 45, 60, 90, 130, 180 y 240 min. en dirección de la corriente.

La representación de los datos deberá hacerse en una gráfica semilogarítmica en donde el tiempo estará en la escala aritmética. Los datos dispersos se representarán por la recta que se aproxime más a ellos. Entonces, el tiempo en que la concentración bacteriana (ajustada por dilución) es igual al 10% de la concentración inicial se le conocerá como el " $t_{90}$ ".

Como recomendación, se deberán anotar otros datos pertinentes como lo son: temperatura del agua, organismos indicadores, profundidad de las muestras, concentraciones iniciales de organismos y de tinta, etc.

### 3.3.6 LA PRUEBA DE BIENSAYO

Esta diseñada para determinar la toxicidad de

Las aguas negras en los organismos vivos del medio marino. Diferentes concentraciones de aguas contaminadas se colocan en varios tanques separados. Diez organismos de diferentes especies se colocan en cada tanque, observando la mortandad que existe al final de un tiempo especificado. La duración se ha estandarizado en 4 días ya que la mayoría de los tóxicos dejan de causar efectos letales después de este tiempo en los organismos.

Se define el término  $LC_{50}$  como el límite de concentración de tóxico con el cual el 50% de los organismos sobrevivió a los efectos.

Otro término comúnmente utilizado es el  $TL_{50}$  llamado límite de tolerancia media y significa lo mismo que  $LC_{50}$ .

Hay que señalar que esta prueba de toxicidad obtiene resultados muy alejados de los valores reales de concentración de tóxicos letales en una descarga real, pero es muy importante contar con esos valores si se quiere realizar ingenierilmente un estudio de un sistema de disposiciones marinas de aguas negras.

La concentración de toxicidad  $T_c$  es un parámetro utilizado para medir la toxicidad de las aguas y garantizar la vida marina. Se define como:

$$T_c = \frac{\text{Concentración de sustancias o aguas negras}}{96\text{-h LC}_{50} \text{ para las sustancias o aguas negras}}$$

y se expresa en unidades de toxicidad (Tu).

Cuando no es posible definir el 96-h  $TL_{50}$  porque más del 50% de los individuos de la prueba de bioensayo sobreviven al 100% de la descarga, se sugiere en el Plan de Control de la Calidad del agua para las aguas oceánicas de California que

$$T_c = \frac{\text{Log}(100-PS)}{1.70}$$

Donde PS es el porcentaje de sobrevivientes en el 100% de la descarga o gasto.

Es posible definir otros parámetros relacionados con la toxicidad, como la tasa de emisión de toxicidad TER, donde:

$$TER = (Q) (Tc)$$

Donde Q es la descarga de aguas negras en Mgd.  
la concentración tóxica de las aguas receptoras es:

$$(Tc)_r = \frac{Q}{Q + Q_r} Tc$$

Donde  $Q_r$  es la tasa efectiva del flujo diluido  
en el agua receptora pasando la sección de dispersión de  
la alcantarilla.

### 3.4 TECNICAS DE DETECCION Y ELIMINACION DE CONTAMINANTES POR HIDROCARBUROS EN EL MAR.

Como se ha visto la contaminación por hidrocarburos tiene características típicas en cuanto a su generación. Esta se suele producirse de forma súbita (limpieza de tanques, accidentes, etc.) con un foco de emisión puntual y con una forma de propagación superficial.

Los dos grupos de métodos de detección comúnmente utilizados son:

**A. Fotografía en diversas bandas de longitud de onda.**

Los sistemas ópticos y electrónicos de detección de la capa de petróleo operadas desde avión o helicópteros oscilan desde la gama de los ultravioletas a la de los infrarrojos y microondas.

Estos métodos se basan en el distinto poder reflejante de la capa de petróleo y del agua que la rodea, lo que se traduce en una diferencia de color en los films (óptico) o en una diferencia de tensión eléctrica (detector electrónico).

**B. Radar**

La aplicación del radar a la detección de manchas de petróleo se basa en su sensibilidad para registrar las variaciones de la amplitud en la agitación del mar causada por la mancha.

Este procedimiento desarrollado por el Laboratorio de Investigaciones Navales (U.S.A.) ofrece la posibilidad de llevar a cabo tareas de detección en condiciones meteorológicas adversas y cubrir una extensa zona.

Aunque no se pretende entrar con detenimiento a los procedimientos de eliminación de manchas contaminantes de petróleo si es importante hacer una breve descripción de las principales técnicas existentes actualmente.

En el caso particular de las manchas de petróleo se hace hincapié en el seguimiento de la evolución de la mancha creada, correspondiendo a una actitud pasiva ante el problema. Solamente cuando su proximidad a la costa ha revestido peligro, se han puesto en marcha todos los dispositivos de limpieza. Esto corresponde a una actitud activa.

Entre los métodos activos más característicos para el control de estas manchas tenemos:

- a) Limitación de la mancha.- Este procedimiento consiste en frenar la extensión de la mancha dejándola concentrada en una superficie lo más reducida posible.
- b) Confinamiento de la mancha.- Consiste en rodear la mancha de petróleo con unos dispositivos artificiales

que impidan su expansión y permitan su control. Las condiciones meteorológicas, para ello, no han de sobrepasar ciertos límites, ya que, como se puede comprender, la acción de los vientos, el oleaje y las corrientes pueden desbordar las barreras instaladas.

c) Bombeo del petróleo de la mancha.

La succión o extracción del petróleo directamente desde el mar necesita, para conseguir rendimientos aceptables, un dispositivo previo que agrupe la mancha y a la vez aumente su espesor.

d) Recuperación del petróleo por absorción.

En general este procedimiento se basa en la recuperación del petróleo vertido en las aguas aprovechando la propiedad que prestan algunas sustancias y materiales de absorber el petróleo al ser puesto en contacto con el mismo.

El procedimiento puede llevarse a cabo en forma discontinua con adición de esponjas de polivinilos, poliuretanos, tejidos etc. que posteriormente y una vez que están empapados de petróleo son recogidas y distribuidas.



e) **Precipitación de la mancha.**

Consiste en esparcir sobre la mancha partículas finas de materiales con densidad elevada de forma que se recubran de una gruesa capa de petróleo y se precipiten al fondo.

Los materiales comúnmente usados son la arena, ladrillo pulverizado, cenizas volcánicas, etc.

f) **Combustión de la mancha.**

La principal dificultad de poner en práctica este sistema estriba en la rápida evaporación de las fracciones volátiles que contiene el crudo de petróleo y que son, precisamente, las que inician y mantienen la combustión. Además la presencia del agua como agente emulsionante y refrigerante hace más difícil todavía la inflamación.

### 3.5. PROYECTO Y CONSTRUCCION DE UN EMISARIO SUBMARINO

Las actividades requeridas para el proyecto y construcción de un emisario submarino por el cual son descargadas las aguas residuales continentales, son numerosas y requieren de una compleja organización con amplia experiencia en el ramo.

Por un lado el proyecto deberá contemplar los factores más importantes que intervienen en una obra en particular, y que pueden ir desde el establecimiento de tratamientos preliminares del efluente hasta las etapas de planeación necesarias para el tendido de tuberías al mar. Por otro, la construcción del emisor dependerá de la batimetría (topografía del suelo marino) y topografía local, tamaño y tipo de tubos, equipo tanto humano como mecánico y desde luego de las condiciones climáticas y oceanográficas de la zona.

Aunque no es objetivo de este trabajo, el tema tratará de dar una visión general de las peculiaridades esenciales de estas actividades.

### TRATAMIENTOS PREVIOS DEL EFLUENTE

Los tipos de tratamiento previo aplicables a aguas urbanas son los siguientes:

- 1) Tratamiento preliminar: Con él se trata de eliminar las materias gruesas, las partículas pesadas y los aceites y espumas que lleve el efluente.

En general, incluye las siguientes operaciones:

- a) **Rejillas.** - Se fabrican con barras de acero soldadas a un marco que se coloca transversalmente al canal. Las barras están colocadas verticalmente o con una pendiente de 30 a 80° respecto a la horizontal. Es un dispositivo utilizado para retener los sólidos de cierto tamaño que arrastra el agua residual para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra posibles daños y para evitar que se obturen por trapos u objetos de gran tamaño.
- b) **Desarenadores.** - Su misión es separar arenas, término que engloba a las arenas propiamente dichas y a

la grava, cenizas y cualquier otra materia pesada que tenga velocidad de sedimentación o peso específico superiores a los de los sólidos putrescibles del agua residual.

Su objetivo es el de proteger los equipos mecánicos móviles de la abrasión y desgaste anormales; reducir la formación de depósitos pesados en las tuberías, canales y conductos, y la frecuencia de limpieza de los digestores que hay que realizar como resultado de excesivas acumulaciones de arena.

Existen dos tipos generales de desarenadores: de flujo horizontal y aireados. En el primero de ellos, el flujo atraviesa el desarenador en dirección horizontal, controlándose la velocidad del flujo mediante las dimensiones de la instalación o el uso de secciones de control provistas de vertederos especiales situados en el extremo de aguas abajo del tanque. El tipo aireado consiste en un tanque de aireación que se verá posteriormente, con flujo espiral, en el que la velocidad es controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad del aire suministrado al mismo.

- c) **Tanque de aireación.**- Los objetivos que se persiguen al airear el agua residual antes del tratamiento primario son: mejorar su tratabilidad, control de olores, conseguir una distribución uniforme de los sólidos suspendidos y flotantes para su entrada a las unidades de tratamiento; y aumentar las eliminaciones de la DBO.

Los tiempos de detención para este proceso oscilan entre 10 y 45 minutos y la profundidad e los tanques suelen ser de unos 4.5 m de profundidad y las necesidades de aire de 0.6 a 2.4  $\text{m}^3/\text{m}^3$  de agua residual. En algunos casos los tanques desarenadores se utilizan como aireadores prolongando el periodo de detención, pero también se emplean canales para tales fines.

- d) **Camara desgrasadora.**- Consiste en un depósito dispuesto de tal manera que la materia flotante ascienda y permanezca en la superficie del agua residual hasta que se recoja y elimine, mientras que el líquido sale del tanque en forma continua, a través

de una abertura situada en el fondo. Su finalidad es separar de este tipo de aguas las sustancias más ligeras que tienden a flotar. Son rectangulares o circulares y están provistos para un tiempo de detención de 1 a 15 minutos.

## 2) Tratamiento primario:

Consiste, fundamentalmente en una sedimentación que trata de eliminar las partículas finas en suspensión. Los tanques de sedimentación primaria son los dispositivos utilizados para este tratamiento.

Estos tanques pueden proporcionar el grado principal del tratamiento de agua residual o bien pueden utilizarse como un paso preliminar para el tratamiento posterior. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, sirven para la eliminación de sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras y de gran parte de las materias flotantes. Si se emplea como paso previo a un tratamiento, su función es reducir la carga en las unidades del tratamiento que se vaya a realizar.

Los fangos de sedimentación primaria, que esten proyec-

tados y operados eficazmente, deberán eliminar del 50 al 65% de los sólidos suspendidos y del 25 al 40% de la DBOs.

### 3) Tratamiento terciario:

Comprende como último paso disminuir la concentración de organismos patógenos, sustancias nutrientes y algunos metales además de mejorar las propiedades físicas del efluente (olor, color), pero, apesar que mejora la calidad del efluente el costo de operación es elevado por lo que su práctica no se ha difundido.

Los procedimientos utilizados son:

- a) **Carbones activos.**- Es de los procesos avanzados de tratamiento por adsorción y ha tenido gran aplicación para la eliminación de la materia orgánica soluble presente en bajas concentraciones.
- b) **Cloración.**- Es de los materiales químicos más usados en el mundo ya que además de desinfectar se aplica a diferentes tratamientos como el de control de hongos y bacterias productoras de películas biológicas, del  $H_2S$  en las alcantarillas, producción

de sulfato férrico y cloruro férrico.

- c) Reactivos químicos diversos.- Se basa en la precipitación química que originan ciertos elementos de esta índole para la eliminación de compuestos orgánicos y nutrientes (nitrógeno y fósforo) que contiene el agua residual.

#### DISEÑO DE EMISORES SUBMARINOS

El emisario es una tubería que conduce las aguas residuales al difusor donde se descarga al océano. Su tamaño viene determinado por la velocidad, pérdida de carga, consideraciones estructurales y aspectos económicos.

En el diseño de las tuberías se recomiendan velocidades de 0.60 a 0.90 mts/seg a caudal medio, con objeto de evitar excesiva pérdida de carga. Las velocidades inferiores a éstas no supondrán problemas siempre que el residuo haya recibido un pretratamiento preliminar para reducir el contenido de sólidos sedimentables.



La sección del difusor debe estar orientada perpendicularmente a la corriente dominante. En la mayoría de los casos, las corrientes no muestran una dirección dominante, por lo que suelen usarse difusores en forma de Y o de V. De acuerdo a normas españolas la longitud del difusor deberá ser, para tubos mayores de 150 mm de diámetro, inferior al 3% de la longitud del emisario, mientras que el diámetro no deberá ser menor de 7.5 cm.

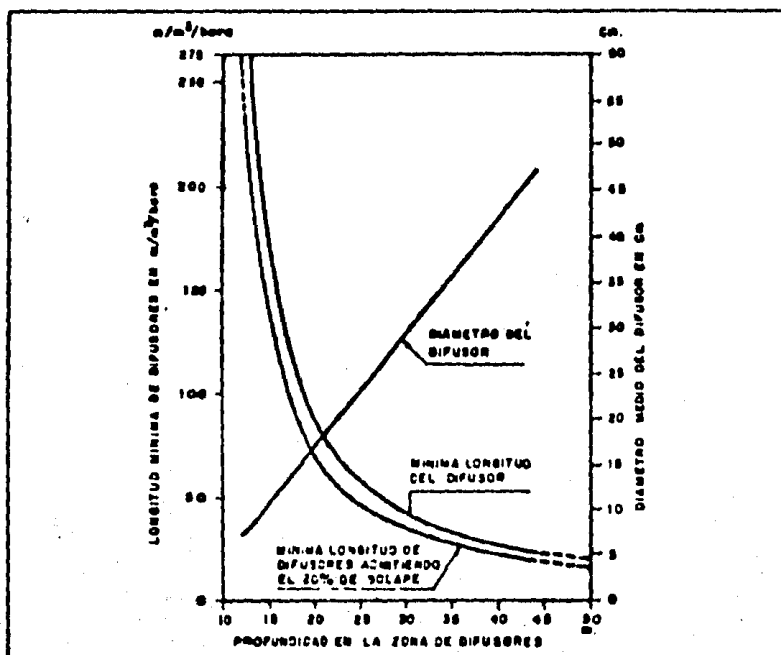
De acuerdo a las mismas normas la distancia mínima entre difusores no deberá exceder de  $L/4$  a  $L/3$  parámetro que se define como el diámetro del penacho representado en la figura 7, entre difusores consecutivos de una misma generatriz. En todo caso se deberá cumplir que las áreas superiores de los penachos contiguos no se solapen nunca.

Deberán considerarse, desde luego, las características principales del efluente, así como sus orígenes; los tratamientos previos efectuados, si es que existieron, las particularidades climáticas y oceanográficas como lo son: vientos, oleaje, corrientes, topografía marina y continental, flora y fauna, y sobretodo a la dilución inicial del

residuo, su dispersión en las aguas circundantes y a su régimen de mortandad bacteriológica.

La elección del material de las líneas de tuberías ya sean metálicos, de concreto armado o de plástico dependen principalmente de tres factores: de la resistencia a la corrosión ocasionada por la velocidad del efluente a las características ambientales del mar; de la resistencia a las sollicitaciones mecánicas, debidas a las fuerzas producidas por los movimientos del mar, a la subpresión o las sollicitaciones requeridas por su colocación en el fondo marino; y por último, a su adaptabilidad al terreno y a la manejabilidad constructiva.

A manera de ejemplo se presenta el cuadro 7 realizada de acuerdo a normas españolas en la que a partir de la profundidad de la zona de difusores puede obtenerse su longitud y su sección tanto en el caso de que no admita solape de los penachos como en el que se admita un 20%.



Cuadro 7.- Longitud y sección de difusores a partir de la profundidad.

### TENDIDO DE EMISORES

Se pueden clasificar los diferentes métodos de tendido de tuberías en dos grupos: instalación de tuberías en aguas dentro de las costas o de poca profundidad, y las que se realizan en aguas más profundas. Cualquier método elegido debió tomar en cuenta factores como la topografía y batimetría local, el tamaño y tipo de tubos, las condiciones del medio ambiente (atmosféricas y oceanográficas) y desde luego a los esfuerzos a que se ve sometida una línea al ser instalada.

Generalmente la instalación de emisores caen dentro del primer grupo, en donde la utilización de un bastidor o el de una barcaza son muy empleados.

El bastidor es una estructura metálica, asentada en el fondo marino y se utiliza en aguas donde las embarcaciones no pueden entrar. Esta constituido por tubos o vigas de acero unidos por pernos para facilitar su recuperación. Sobre el bastidor se coloca una grua viajera montada sobre rieles que realizara no solo la colocación de los tubos sino que se encarga de hincar y de deshincar los pilotes sobre los cuales se apoya. Mientras tanto otra grua simultaneamente protege la estructura mediante placas de fierro hincadas con un martillo vibratorio o simplemente inicia la excavación. La figura 25 muestra esta estructura.

Para profundidades mayores lo mas común es utilizar una barcaza con equipo suficiente para manejar eficazmente las tuberías.

Los métodos como el de "Stinger" efectuan todas las actividades como el de maquilar, soldar, radiografiar,

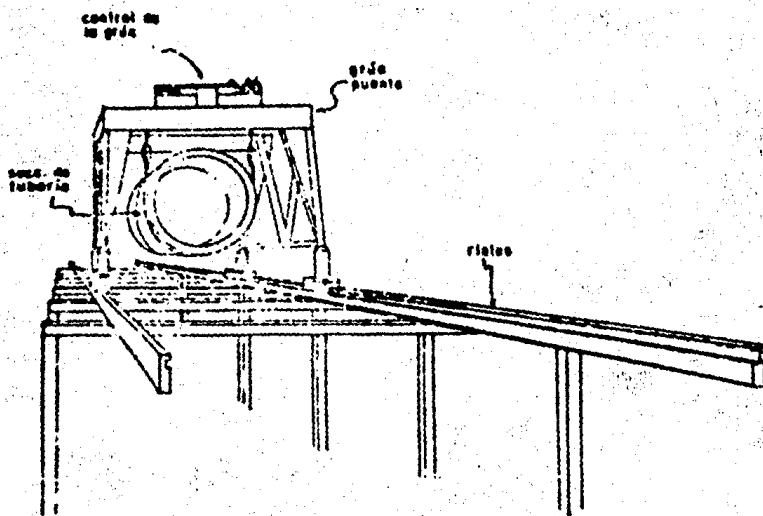
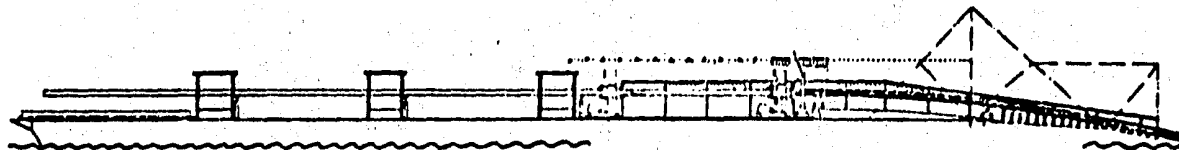
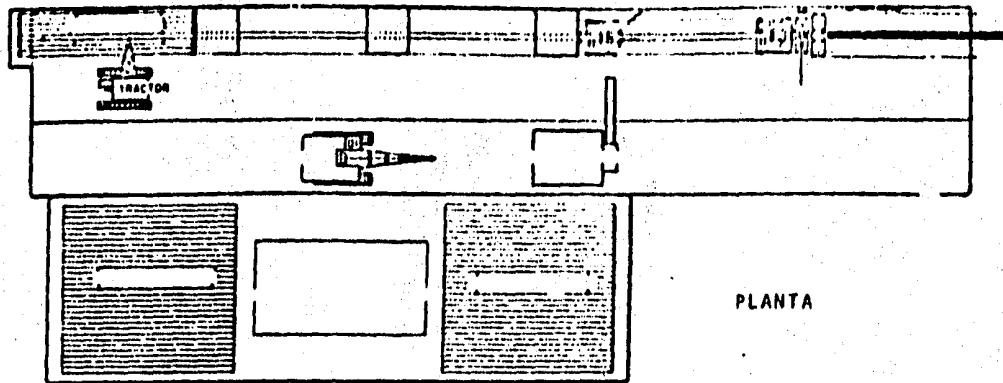


Figura 25.- la estructura Bastidor y su grúa puente para el tendido de tubería dentro de aceite

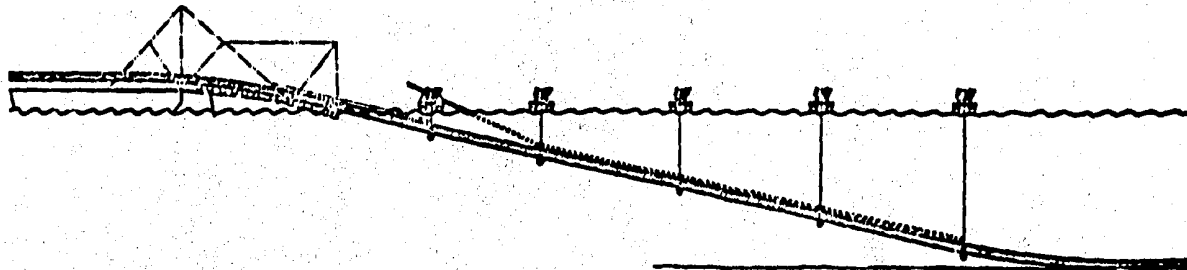
y colocar, en la cubierta. Generalmente tienen capacidad para almacenar de 4 a 7 tubos, los cuales son suministrados periódicamente por otra embarcación. Para lograr este método es necesario que la embarcación cuente con una máquina tensadora y una rampa en la popa. La finalidad del primero es sujetar la línea de tuberías que va siendo lanzada por la rampa después de haberla soldado y radiografiado, mientras que el del segundo es la de ampliar el radio de curvatura de la tubería para evitar los grandes esfuerzos que seguramente la dañarían. La longitud y curvatura de la rampa pueden ser modificadas dependiendo de la profundidad del fondo marino y del radio máximo de curvatura de la tubería. El método se representa en la figura 26.

Otros métodos como el de la grúa flotante, emplean una grúa que coloca desde la barcaza, los tubos en el fondo marino. Este método se recomienda cuando las uniones no van soldadas.

La alineación de las líneas de conducción del efluente se hace con un dispositivo conocido como "el caballo" formado por vigas de acero sobre el que se desplaza



Barra larga y mecanismo visto de lado



Metodo de conducción de tubería usando flotadores

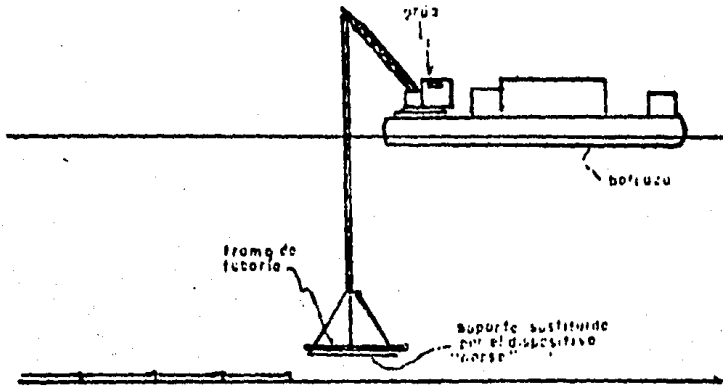


Fig. 27.- Método de instalación de tubería para emisores submarinos

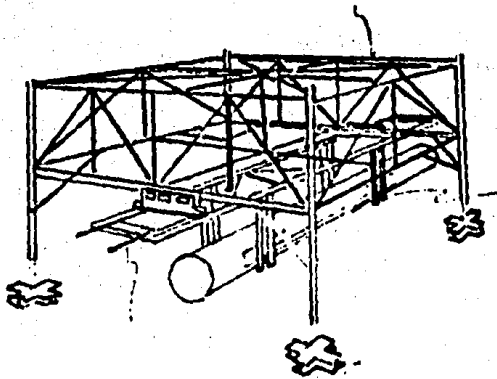


Fig. 28 . Dispositivo de instalación "caballo"



una grua en las cuatro direcciones. Los tubos son colocados y alineados por esta estructura de 12 x 12 mts y es trasladada por la grua flotante descrita anteriormente. El cable es izado hacia la cubierta donde toma otra unidad y se vuelve a sumergir a la nueva posición.

Las figuras Nos. 27 y 28 muestran lo aquí descrito.

De acuerdo a las sollicitaciones dinámicas marinas las tuberías submarinas puede ser enterrada, anclada o simplemente alojada en el lecho marino, las figuras 29, 30 y 31 enseñan diferentes modalidades al respecto.

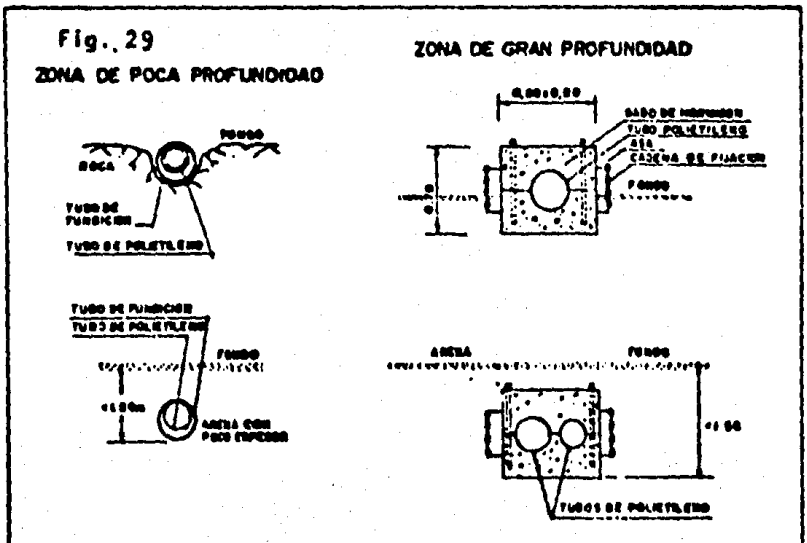


Fig. 30 - Fases de cimentación por pilote enterrado

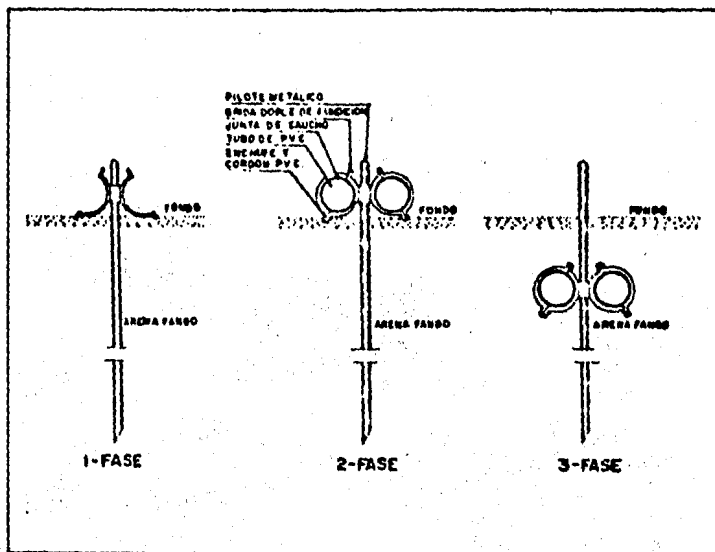
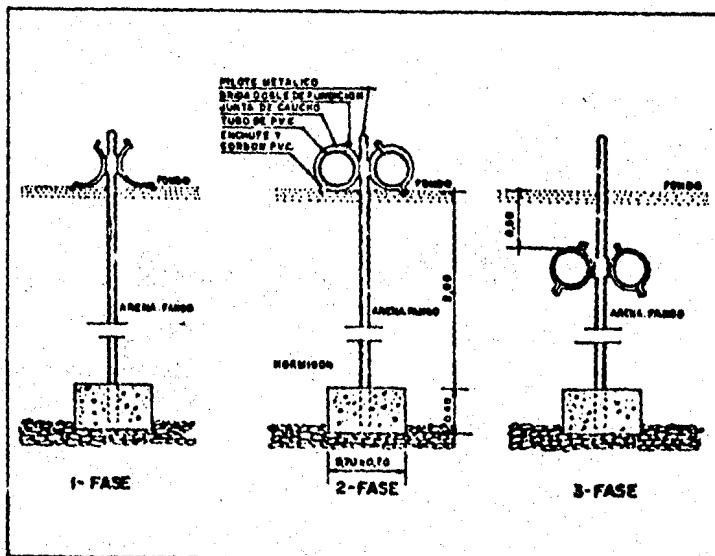


Fig. 31 - Fases de cimentación por pilote y anclaje enterrado



## CAPITULO IV

### EJEMPLO DE APLICACION

## IV.- EJEMPLO DE APLICACION

### 4.1 INTRODUCCION

La Comisión Federal de Electricidad pretende construir en los linderos de la Cd. de Tuxpan, Veracruz una planta termoeléctrica que abastezca de energía eléctrica a ciertas regiones de la República. Su funcionamiento requiere aproximadamente de un flujo de agua de  $60 \text{ m}^3/\text{seg}$  para enfriar las turbinas, el cual se tomara directamente del mar, para después de que haya cumplido con su objetivo ser devuelto de nueva cuenta al océano por una tubería superficial. Tal descarga ocasionara un desequilibrio ecológico en la zona debido a la diferencia de temperatura.

La aplicación de un modelo matemático con el que se pueda conocer la distribución y disipación de temperatura del agua caliente descargada; cuantificando con esto la magnitud del impacto ambiental que se producirá, es posible mediante la determinación de parámetros de difusión térmica, por medio del vaciado en el mar de tinta especial, obteniendo muestras y mediciones de la mancha provocadas por ella.

#### 4.2 METODOLOGIA DE CAMPO

Para la determinación de la Difusión, se recurrió al método de las tintas fluorescentes, explicado en el capítulo 3.3.4, tales como la Rhodamina B, Rhodamina WT, Pontacy L Rosa, etc.

El procedimiento consistía básicamente en las siguientes actividades:

- 1o.- Elaboración de una mezcla de colorante fluorescente con cierta cantidad de cal hidratada en un tambor de 200 Lts de capacidad con agua dulce. De esta manera se conocen el PH inicial debido a la cal, la salinidad inicial de la mezcla debido al agua fresca y la tinta determinara el coeficiente de difusión "C".
- 2o.- La solución preparada será vaciada en el sitio, indicado en este caso, por la Comisión Federal de Electricidad, por medio de un tubo de P.V.C. de 20 cm de  $\phi$  y de 4.00 m de largo, ranurado lo suficiente con el fin de que exista una buena

distribución de la mezcla. La descarga deberá hacerse entre el primer metro de profundidad.

- 30.- Se tomaran muestras de medio litro a dos profundidades, superficial y medio tirante, en suficientes cantidades para determinar las concentraciones. En este caso se utilizó una botella muestreadora descrita en el capítulo 3.3.4.
- 40.- Para la determinación del coeficiente de difusión se puede recurrir a los flotadores de deriva, considerando las separaciones entre ellos. Las mediciones deberán hacerse simultáneas a los muestreos de la mancha.
- 50.- Se obtienen las pruebas de salinidad, PH y concentración.

La tinta fluorescente usada fue una tableta de la compañía Tormulabs, cuyas características principales es la de absorber luz verde y emitir luz roja fluorescente. El punto de máxima absorvencia en un espectometro para esta luz es aproximadamente de 558 m  $\mu$ ., mientras que para el amarillo verde es de 494 m  $\mu$ .. Combinada en 119 galones de

agua dara una concentración de 1 parte por millón.

Dentro de sus ventajas más importantes se pueden citar las siguientes:

- a) Se pueden detectar visualmente y leer median<sub>te</sub> equipo no muy costosos
- b) No son muy costosas y fáciles de cargar (aprox. de \$ 30 a 40 pesos M.N. cada una)
- c) No son tóxicas en los niveles que se emplean
- d) No reaccionan químicamente y en la mayoría de los casos, no interfieren con el sistema
- e) Son estables en algunas condiciones.

#### 4.3

#### PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Conociendo un par de anchos y sus respectivos tiempos de presentación, la determinación de  $\alpha$  resultará, dependiendo del valor de  $n_0$  que se elija, de las siguientes ecuaciones, derivadas de los modelos de Brooks:

$$\alpha_0 = \frac{L_2^2 - L_1^2}{24 (t_2 - t_1)} \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$$

$$\alpha_1 = \frac{L_2 - L_1}{12 (t_2 - t_1)} \quad \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

$$\alpha_{4/3} = \frac{L_2^{2/3} - L_1^{2/3}}{8 (t_2 - t_1)} \quad \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$$

considerando que para el presente estudio, resulta más conveniente el tercero, el cual se aplica a mar abierto.

Una vez determinado el valor de  $\alpha$ , se determina el valor del ancho inicial de la prueba, equivalente al de un gasto constante con la siguiente expresión:

$$B_{3/4} = \frac{8 (t_2 - t_1)^{3/4}}{(A+1)^{1/3} - 1}$$

en donde

$$A = \frac{3}{2 \operatorname{erf}^{-1} 1/D}$$

$\operatorname{erf}^{-1} \{a\}$  = ordenada de la función error cuyo valor es  $a$ .

$D = C_0/C_{\max}$  = partes de agua/partes de colorante.



Conocidos  $\alpha$  y  $B$ , el valor del coeficiente de difusión resulta de las siguientes ecuaciones:

$$e_0 = B^{4/3}$$

$$e = L^{4/3}$$

Con los valores anteriores, podrán determinarse finalmente los modelos matemáticos que proporcionen el área de afectación para un cierto gradiente de temperatura.

Por otra parte, un valor más confiable de  $\alpha$  y de  $e$ , resultan de los datos de concentraciones de la solución con respecto al tiempo.

Para determinar las diluciones ( $C_0/C$ ) se tiene\*

$$D = \frac{1}{\operatorname{erf}\left\{\left[\frac{3}{2} / \left[\left(1 + \frac{2}{3} B \frac{x}{B}\right)^3 - 1\right]\right]^{1/2}\right\}}$$

$$D = \frac{1}{\operatorname{erf}\left\{\left[\frac{3}{2} / \left[\left(1 + \frac{2}{3} CT(t_2 - t_1)\right)^3 - 1\right]\right]^{1/2}\right\}}$$

\*Marine Outfall Systems, R.A. Grace, Prentice-Hall, Inc., 1978.

donde

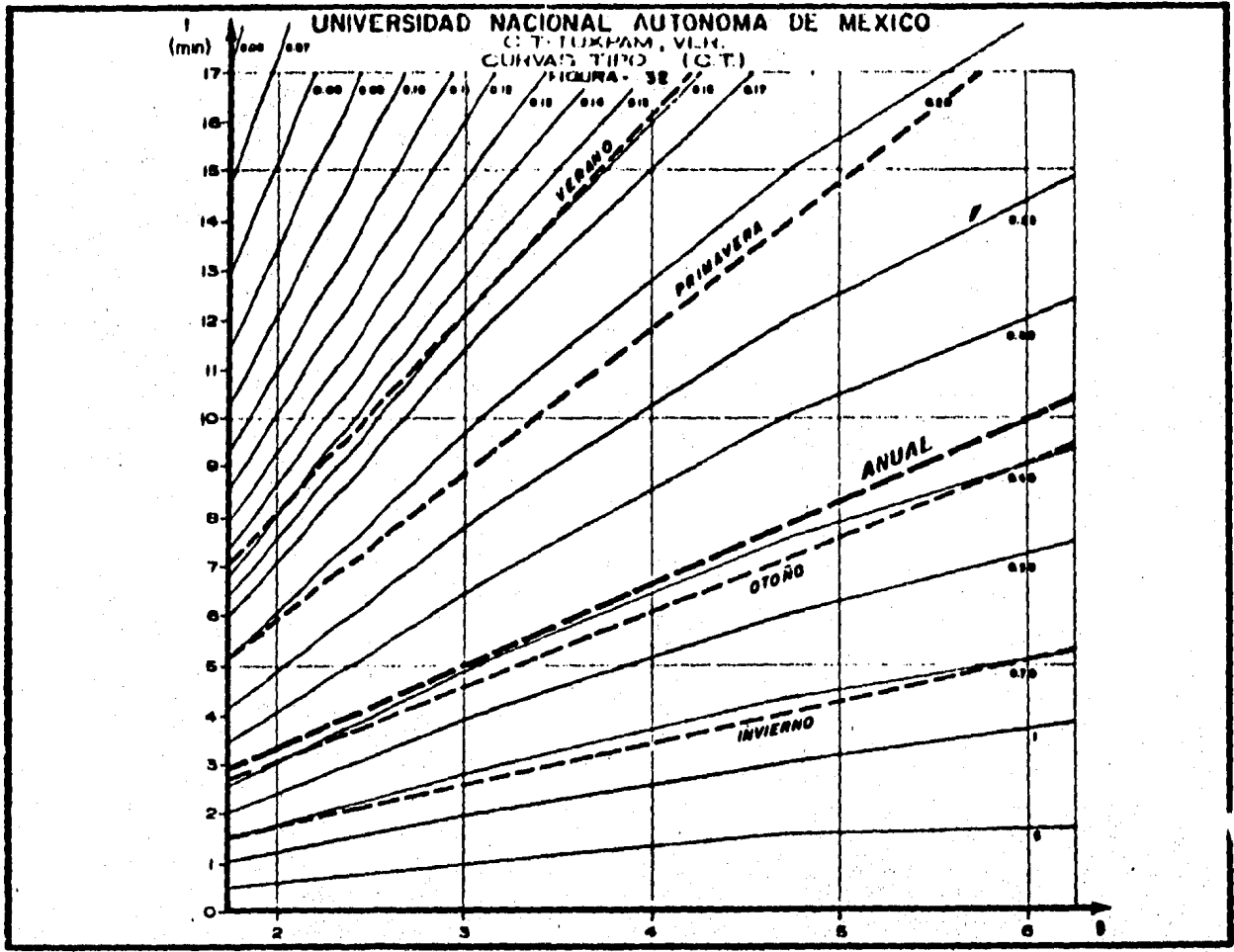
$$CT = 8 \alpha B^{-2/3}$$

Se elaboraron curvas tipo de dilución contra incrementos de tiempo, para diferentes valores de CT, las cuales se muestran en la figura (32) con las cuales es posible encontrar el valor de B correspondiente a la dilución media resultante de las muestras, graficando diluciones medias contra tiempo y obteniendo los valores de CT correspondientes a cada muestreo.

#### 4.4 RESULTADOS

Para un adecuado muestreo y determinación de las concentraciones del agua inyectada en el mar, se preparó una solución de 100 lts de agua dulce a la que se le añadieron 30 pastillas de 55 gr de colorante fluorescente marca Formulabs, similar a la Rhodamina. Adicionalmente, se le disolvió a la solución 5 kg de cal.

Con lo anterior sería posible determinar las concentraciones de las muestras, midiendo estos cuatro



parámetros: salinidad, potencial hidrógeno (pH), contenido de colorante,

Las diferencias aproximadas entre la solución y el agua de mar para los factores anteriores, así como la resolución de los aparatos para medición con que se contó, son las siguientes:

CONCEPTO	SOLUCION	AGUA DE MAR	PRECISION DEL APARATO	RESOLUCION TOTAL
Salinidad	5.0	32.0	$10^{-1}$	270
pH	13.6	8.2	$10^{-2}$	540
Colorante	16.5	0.0	$10^{-3}$	16,500

Por lo anterior se tomaron como parámetros confiables los derivados de la medición de las concentraciones a partir del colorante, las cuales se efectuaron con un Espectrofotómetro marca Hitachi, mod. 100-40, midiendo la absorbancia a 545 milimicras, usando agua de mar del sitio como blanco y utilizando filtro cuando así lo requirieran las muestras.

Los valores de  $\alpha$  obtenidos por medio de los flotadores de deriva son los siguientes:

FECHA	ESTACION	( $\text{cm}^{2/3}/\text{seg}$ )
26/Agosto/1982	Verano	0.00141
30/Noviembre/1982	Otoño	0.00364
20/Enero/1983	Invierno	0.00889
17/Abril/1983	Primavera	0.00905
1982-1983	Anual	0.00575

Los valores anteriores caen dentro del rango de valores de  $\alpha$  sugerido por Koh y Brooks ( $0.0015-0.049 \text{ cm}^{2/3}/\text{seg}$ ), pero fueron comprobados y afinados a partir de los resultados obtenidos en los muestreos, ya que los anteriores valores de alfa derivados de los flotadores, al parecer son bajos.

Del análisis de las concentraciones de las muestras, resultan los valores de las diluciones medias y de CT siguientes:

PERIODO	D/MINUTO	D/SEGUNDO	QT
Verano	0.24	0.0040	0.16
Otoño	0.64	0.0107	0.40
Invierno	1.16	0.0193	0.70
Primavera	0.34	0.0056	0.21
Anual	0.60	0.0099	0.37

En ancho de la mancha para un cierto incremento de tiempo, resultará de la siguiente expresión:

$$L = \left[ B^{2/3} + 8\alpha (t_2 - t_1) \right]^{3/2}$$

## 4.5 CONCLUSIONES

En el seguimiento y muestreo de la mancha resultó adecuada la tinta que se usó, así como la cantidad de ésta, ya que permitía su pronta localización y en la mayoría de los casos, se encontraba el punto en el que se creía existía la mayor concentración de colorante, generalmente en el centro de la mancha.

En general, las concentraciones encontradas en la superficie fueron mayores que en el medio tirante, pero debido a las características de la futura descarga de la termoelectrica, ya que el agua caliente se mueve en la superficie, se le dió mayor peso a las muestras superficiales.

Los valores de  $\alpha$  encontrados por medio de flotadores resultan muy bajos, tal vez por las características del flotador, que es muy sensible a las corrientes, pero en menor escala a la difusión. Por otra parte, los valores de  $\alpha$  obtenidos de los muestreos resultan más confiables y en rangos que coinciden con los reportados por varios autores. Dichos valores fueron graficados y se muestran en la

figura 33, en la que se nota el incremento de éstos en las temporadas de menor temperatura y conjuntamente, la disminución en altas temperaturas. Lo anterior posiblemente se deba a las mayores turbulencias en el agua debidas a diferencias de temperaturas entre mar y aire.

En lo que respecta al coeficiente de difusión  $\epsilon$ , los resultados varían mucho con el tiempo y ancho inicial, encontrándose los valores de  $\epsilon$  en magnitud dentro de los reportados por otros autores para anchos iniciales mayores a 6 m en el caso de tiempos cero, y de 0.6 m para tiempos de 60 minutos.

Durante las distintas campañas de difusión se efectuaron estimaciones del ancho que iba tomando la mancha, la cual en general coincide con los resultados del ancho obtenidos en forma teórica. Las relaciones de ancho para cualquier tiempo-ancho inicial ( $L/B$ ) se graficaron en la figura 34, las cuales sufren las variaciones anteriormente citadas para  $\alpha$ , por depender directamente de ésta.

Partiendo de los cuadros 8 a 13 es posible determinar las áreas de afectación de las distintas tempera

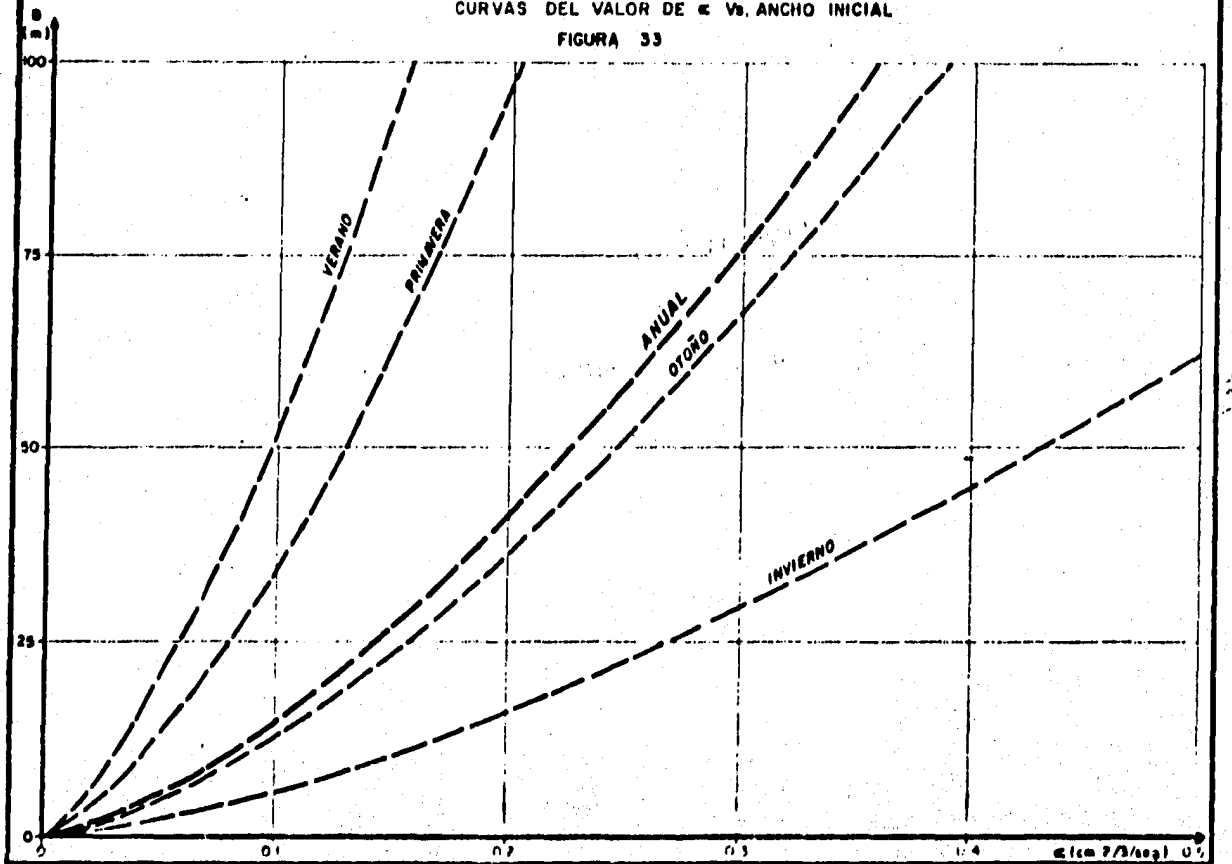


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

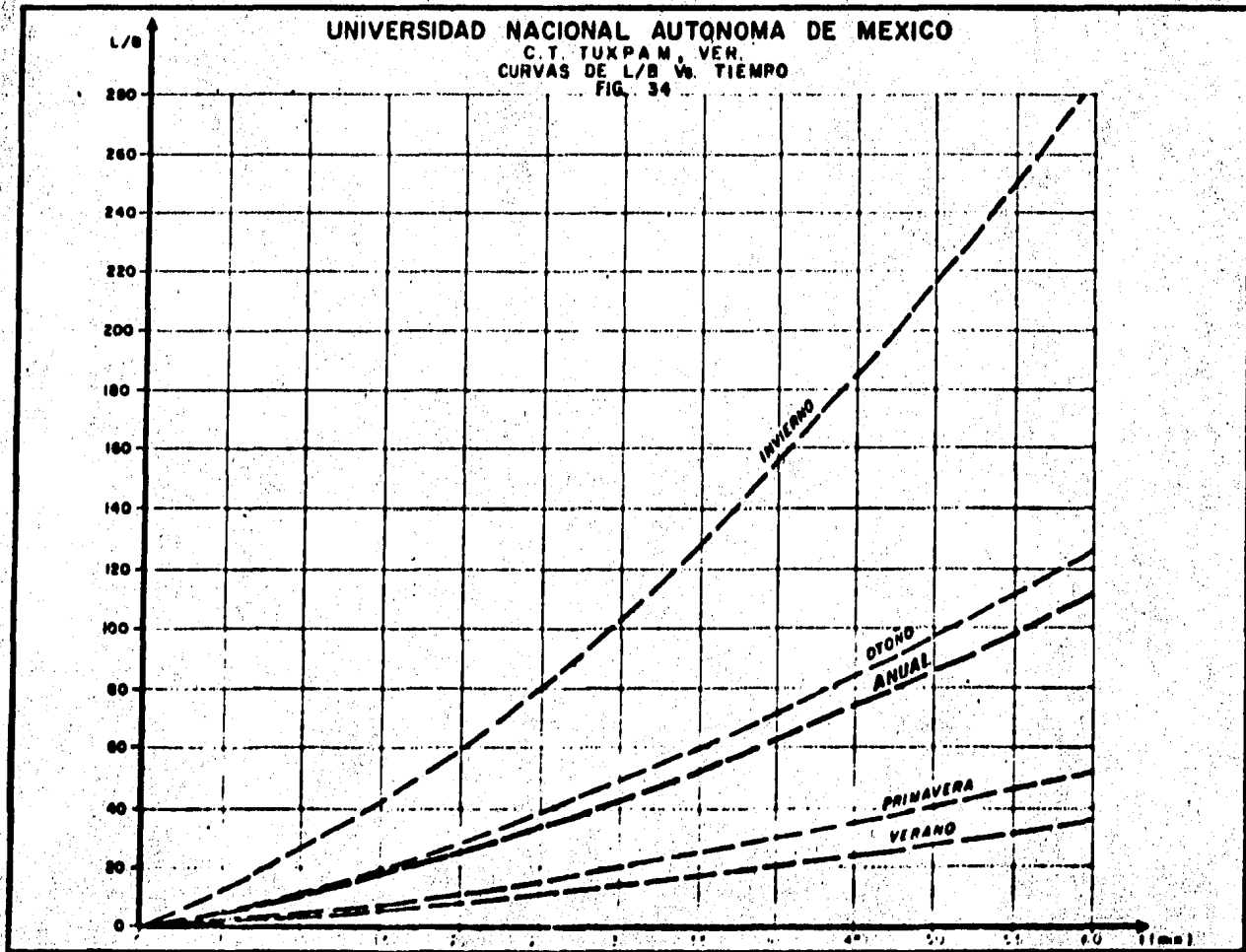
C.T. TUXPAM, VER.

CURVAS DEL VALOR DE  $\alpha$  Vs. ANCHO INICIAL

FIGURA 33



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
C.T. TUXPAM, VER.  
CURVAS DE L/B vs. TIEMPO  
FIG. 34



131

turas, conociendo la temperatura de salida del agua en la descarga, así como el ancho inicial y velocidad del flujo en ésta, y la velocidad y dirección de las corrientes en el mar. Lo anterior, utilizando la siguiente ecuación derivada del modelo de Brooks y la distribución de la concentración segundaria por Grace, de tipo Gaussiana mostrada en la figura 35.

$$t = \frac{\sqrt{3 \operatorname{erf}^{-1} \left\{ \frac{C_{\max}/C_0}{2.25} \right\}^2}}{CT}$$

Si se considera una temperatura inicial ( $C_0$ ) de  $+8^\circ\text{C}$  y ancho inicial de descarga igual a 10 m, las áreas de afectación serían las indicadas en la figura 36 a partir de los cuadros 13a al 20, en función de la velocidad de corriente resultante.

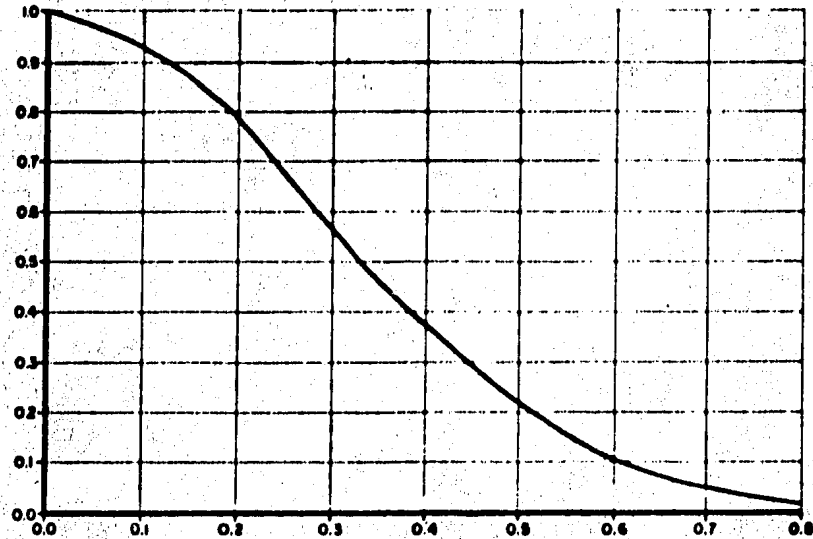
Para obtener un modelo completo de difusión térmica, será necesario tomar en cuenta la difusión inicial que se producirá en el momento de descargarse el agua caliente en el mar, así como la transferencia de calor a la atmósfera, aspectos que dependerán fundamentalmente del

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

C.T. TUXPAM, VER.

DISTRIBUCION GAUSSIANA PARA LA DISTRIBUCION DE  
LA CONCENTRACION EN LA SECCION TRANSVERSAL

FIGURA 58



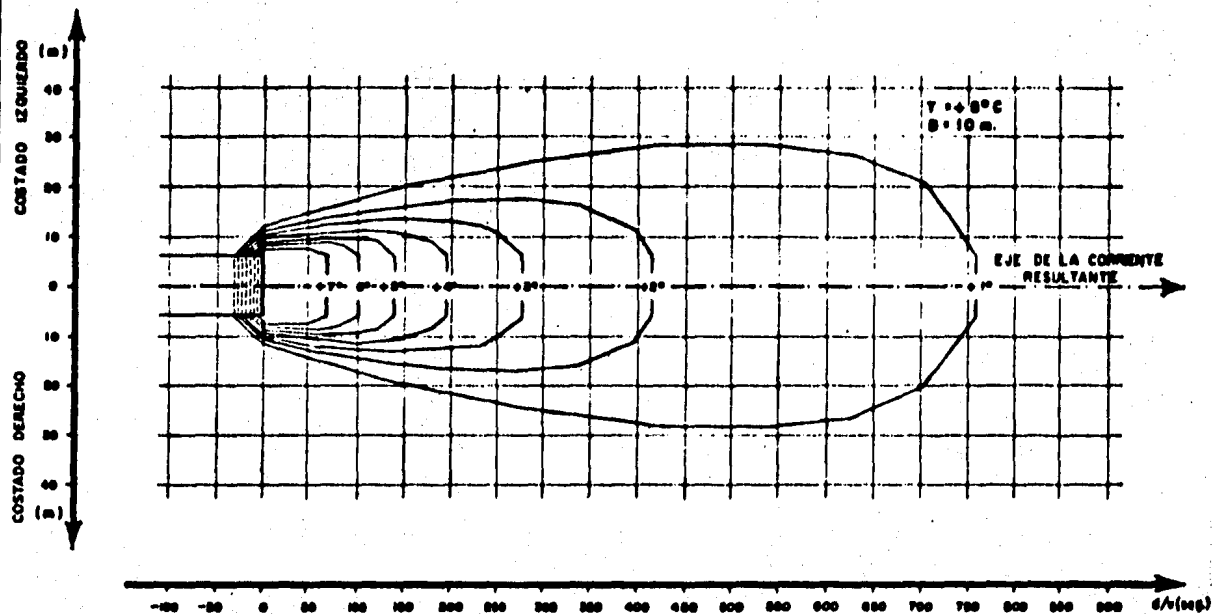
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

C.T. TUXPAM, VER.

AREAS DE AFECTACION DE DIFERENTES INCREMENTOS DE TEMPERATURA

DEBIDAS UNICAMENTE A LA DIFUSION LATERAL PARA PERIODO ANUAL

FIGURA 38



gasto y ancho de la descarga.

En general, la teoría de los modelos de difusión no ha sido comprobada para las características de México, por lo que resultaría muy conveniente verificar la confiabilidad de éstos en centrales con descargas que ya estén funcionando.

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.  
 C. T. TUXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION

ECOD : ANUAL

TEMPO DE DIFUSION : 0 MINUTOS

CUADRO 8

F (M)	ALFA (CM <sup>2</sup> /SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.005690	0.21	0.20
0.40	0.009016	1.23	0.40
0.50	0.011514	2.78	0.50
0.80	0.014212	4.73	0.80
1.00	0.015607	7.71	1.00
2.00	0.021144	30.33	2.00
4.00	0.041847	123.33	4.00
6.00	0.054835	277.50	6.00
8.00	0.066428	493.33	8.00
10.00	0.077032	770.33	10.00
20.00	0.122062	3033.33	20.00
40.00	0.194232	12333.33	40.00
60.00	0.254514	27750.00	60.00
80.00	0.303333	49333.33	80.00
100.00	0.357789	77033.33	100.00

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.  
 C. T. TUXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION

.....  
 IGDO : ANUAL  
 .....  
 XPO DE DIFUSION : MINUTOS  
 .....

CUADRO 9

S (M)	E <sub>FA</sub> (CM <sup>2</sup> /S/SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.007480	0.58	0.32
0.40	0.009018	2.21	0.44
0.60	0.011814	5.21	0.66
0.80	0.014812	9.24	1.28
1.00	0.016607	14.27	1.49
1.20	0.018112	17.37	2.11
1.40	0.041327	22.43	2.73
1.60	0.054807	27.49	3.35
1.80	0.064428	32.54	3.97
2.00	0.077088	44.78	4.59
2.20	0.122812	57.87	5.21
2.40	0.191138	72.92	5.83
2.60	0.254574	87.98	6.45
2.80	0.328112	102.78	7.07
3.00	0.377789	114.77	7.69



FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.  
 C. T. TUXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION.

\*\*\*\*\*  
 PERIODO : ANUAL  
 \*\*\*\*\*  
 TIEMPO DE DIFUSION : 20 MINUTOS  
 \*\*\*\*\*

CUADRO 10

B (M)	ALFA (CM <sup>2</sup> /SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.005430	5.81	2.04
0.40	0.011314	27.34	4.08
0.60	0.016814	61.50	6.11
0.80	0.021912	108.75	8.15
1.00	0.026607	170.21	10.19
2.00	0.054312	681.11	20.38
4.00	0.091947	2724.43	40.74
6.00	0.054312	4123.75	61.14
8.00	0.016814	10897.73	81.52
10.00	0.077093	17027.71	101.89
20.00	0.122342	68110.93	203.79
40.00	0.194238	272443.23	407.57
60.00	0.254524	412997.50	611.35
80.00	0.309393	1089773.34	815.13
100.00	0.357759	1702770.54	1018.94

FACULTAD DE INGENIERIA U. N. A. M.  
 C. T. TUXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION

PERIODO : ANUAL

TIEMPO DE DIFUSION : 20 MINUTOS

CUADRO .11

B (M)	ALFA (CM <sup>2</sup> /SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.005690	21.76	4.87
0.40	0.009016	67.02	9.74
0.60	0.011814	195.80	14.61
0.80	0.014312	348.10	19.48
1.00	0.016607	543.90	24.35
2.00	0.025362	2175.80	48.69
4.00	0.041827	8702.40	97.38
6.00	0.054635	19539.40	146.07
8.00	0.064228	35209.60	194.76
10.00	0.077333	54391.00	243.46
20.00	0.122362	217540.00	486.91
40.00	0.194233	870240.00	973.82
60.00	0.254524	1953940.00	1460.73
80.00	0.303111	3520960.00	1947.64
100.00	0.357789	5439000.00	2434.55

FACULTAD DE INGENIERIA Q. N. S. N.  
 C. T. TUXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION

\*\*\*\*\*  
 PERIODO ANUAL  
 \*\*\*\*\*  
 TIEMPO DE DIFUSION 40 MINUTOS  
 \*\*\*\*\*

CUADRO 12

E (%)	ALFA (CM <sup>2</sup> /SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.00080	76.97	12.56
0.40	0.009016	907.89	25.12
0.60	0.011814	692.75	37.68
0.80	0.014812	1331.54	50.24
1.00	0.016167	1824.31	62.80
2.00	0.024362	7697.23	125.61
4.00	0.041847	30783.93	251.22
6.00	0.054825	34275.10	376.83
8.00	0.061426	128173.73	502.44
10.00	0.077083	171417.82	628.04
20.00	0.121362	769723.14	1256.08
40.00	0.184133	307839.37	2512.15
60.00	0.254524	342751.10	3768.23
80.00	0.311313	1.281737E+09	5024.30
100.00	0.357729	1.924362E+09	6280.38

FACULTAD DE INGENIERIA J. N. A. M.  
 C. T. TLXPAM, VER.  
 CARACTERISTICAS DE DIFUSION

PERIODO : ANUAL  
 TIEMPO DE DIFUSION : 60 MINUTOS

CUADRO 13

L (M)	ALFA (CM <sup>2</sup> /SEG)	E (CM <sup>2</sup> /SEG)	L (M)
0.20	0.007190	165.96	22.85
0.50	0.013016	269.93	44.70
0.80	0.018844	399.62	67.05
0.90	0.014212	2459.12	99.40
1.00	0.016607	4143.93	111.75
2.00	0.023332	16595.73	223.49
4.00	0.041347	66392.93	446.98
6.00	0.059365	149341.60	670.48
8.00	0.084425	265031.70	893.97
10.00	0.077119	414391.31	1117.46
20.00	0.121362	1659573.34	2234.92
40.00	0.194233	6639293.37	4469.84
60.00	0.254524	1.459341E+05	6704.76
80.00	0.303333	2.650317E+05	8939.68
100.00	0.357739	4.143913E+05	11174.60

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 C. T. TUXPAM VER.  
 TIEMPOS DE PRESENTACION Y LONGITUDES  
 DE DIFERENCIAS DE TEMPERATURA  
 A PARTIR DE LA CORRIENTE RESULTANTE

CUADRO 13

CO = 8

CT = 0.87

B = 10.00 M

C <sub>MAX</sub>	C <sub>MAX</sub> /C <sub>O</sub>	ERF-1(C <sub>MAX</sub> /C <sub>O</sub> )	T (MIN)	L (M)
8	1.000	-----	0.00	10.00
7	0.875	1.083	1.16	17.00
6	0.750	0.822	1.70	20.79
5	0.625	0.628	2.39	25.87
4	0.500	0.477	3.29	33.02
3	0.375	0.346	4.61	44.51
2	0.250	0.225	6.94	67.39
1	0.125	0.111	12.66	135.52

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 C. T. TUXPAM VER.  
 POSICION DE LOS DIFERENTES INCREMENTOS DE  
 TEMPERATURA CON RESPECTO AL EJE DE LA  
 CORRIENTE RESULTANTE

CUADRO 14

C<sub>MAX</sub> = 8

L = 10.00 M

C	C/C <sub>MAX</sub>	R/L	R (M)
8	1.000	0.00	0.00
7	0.875	0.14	1.43
6	0.750	0.21	2.10
5	0.625	0.27	2.70
4	0.500	0.33	3.30
3	0.375	0.40	4.00
2	0.250	0.47	4.70
1	0.125	0.59	5.90

CUADRO 15

C<sub>MAX</sub> = 7

L = 17.09 M

C	C/C <sub>MAX</sub>	R/L	R (M)
7	1.000	0.00	0.00
6	0.857	0.16	2.73
5	0.714	0.23	3.93
4	0.571	0.29	4.95
3	0.429	0.37	6.32
2	0.286	0.45	7.69
1	0.143	0.56	9.57

CUADRO 16

C<sub>MAX</sub> = 6

L = 10.00 M

C	C/C <sub>MAX</sub>	R/L	R (M)
6	1.000	0.00	0.00
5	0.833	0.17	3.53
4	0.667	0.25	5.20
3	0.500	0.33	6.86
2	0.333	0.42	8.73
1	0.167	0.54	11.28

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 C. T. TUXPAM VER.  
 POSICION DE LOS DIFERENTES INCREMENTOS DE  
 TEMPERATURA CON RESPECTO AL EJE DE LA  
 CORRIENTE RESULTANTE

\*\*\*\*\*  
 CUADRO 17

CHAX = 5

L = 25.87 M

C	C/CHAX	R/L	R (M)
5	1.000	0.00	0.00
4	0.800	0.19	4.91
3	0.600	0.28	7.24
2	0.400	0.38	9.89
1	0.200	0.51	13.19

\*\*\*\*\*  
 CUADRO 18

CHAX = 4

L = 33.02 M

C	C/CHAX	R/L	R (M)
4	1.000	0.00	0.00
3	0.750	0.21	6.93
2	0.500	0.33	10.90
1	0.250	0.47	15.52

\*\*\*\*\*  
 CUADRO 19

CHAX = 3

L = 44.51 M

C	C/CHAX	R/L	R (M)
3	1.000	0.00	0.00
2	0.667	0.25	11.13
1	0.333	0.42	18.69

\*\*\*\*\*  
 CUADRO 20

CHAX = 2

L = 67.39 M

C	C/CHAX	R/L	R (M)
2	1.000	0.00	0.00
1	0.500	0.33	22.24

\*\*\*\*\*

CAPITULO V

CONCLUSIONES



## V. CONCLUSIONES

Se ha tratado de describir en este trabajo el proceso de la difusión enfocado al control de la contaminación de los océanos. México cuenta con una basta extensión litoral aún no explotada en su totalidad, sin embargo las diferentes actividades socio-económicas en las costas nacionales han ocasionado grados de contaminación considerados como alarmantes. El proceso de difusión conjuntamente con otras medidas podrían ayudar a combatir esta polución, para tal fin es necesario, la participación de todos los sectores involucrados para la solución del problema.

La corroboración de los modelos matemáticos aquí expuestos, conociendo las características que encierran nuestros mares así como las de las descargas de aguas continentales, son fundamentales para encontrar métodos de evaluación más precisos y que permitan soluciones prácticas menos costosas.

A este respecto cabe señalar que el problema de contaminación térmica, visto en el capítulo cuatro, se

basa en un modelo desarrollado para estudiar una contaminación por aguas residuales y no por temperatura, por lo que se recomienda, que una vez en funcionamiento, en la planta termoelectrica se realicen estudios de la difusión por temperatura en la zona de descarga, para poder conocer como se verifica el proceso realmente y así evaluar y calibrar los resultados teóricos a que se llegaron.

Los métodos de campo utilizados para la obtención de los parámetros de difusión marina, empleando tintas fluorescentes y flotadores de deriva resulto ser práctico.

Desgraciadamente en nuestro país, no se han realizado estudios suficientes de los procesos de difusión, y por lo tanto carecemos de elementos para poder comparar los parámetros obtenidos en los estudios de campo, y de esta forma saber que tan bien funcionan estas técnicas utilizadas.

Respecto al diseño y a los procesos constructivos se deberan considerar, las características principales del efluente, sus orígenes, los tratamientos previos efectuados si es que existen, las particularidades

climáticas y oceanográficas y sobre todo, la dilución inicial del residuo, su dispersión en las aguas circundantes y su régimen de mortandad bacteriológica.

Creemos que la utilización de difusores marinos para descargar las aguas residuales contaminantes en el mar, es de las medidas que deben aprovecharse en el país si es que realmente quiere combatirse la contaminación.

Otras medidas preventivas aconsejables, para el caso de aguas residuales, son los tratamientos preliminares; para las aguas con altas temperaturas se sugiere un lago de aereación antes de la descarga directa al mar, y para la contaminación por hidrocarburos, ajustarse lo más posible a las normas constructivas de las instalaciones para evitar accidentes y contar con el equipo adecuado para ejecutar las maniobras de carga y descarga de estos productos.

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- WIEGEL, R.L. 1964. Oceano Graphical Engineering. Prentice Hall of Canada, LTD., Canada. p.p. 532.
- 2.- GRACE, R.A. 1978. Marine Outfall Systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. p.p. 600.
- 3.- DEL MORAL, C.R. ET AL. 1980 Planificación y Explotación de Puertos. Ingeniería Oceanográfica y de Costas. M.O.P.U., España. 1. 483.
- 4.- METCALF - EDDY. 1977. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Editorial Labor, S.A. p.p. 837.
- 5.- FAIR, M.G. et al. 1971. Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Editorial Limusa, p.p. 764.
- 6.- SEVILLA, M.L. 1977. Introducción a la Ecología Marina. Consejo Editorial del Instituto Politécnico Nacional, p.p. 220.

- 7.- TURK, et al. 1973. Ecología - Contaminación - Medio Ambiente. Editorial Latinoamericana. p.p. 227.
- 8.- CHAVEZ, S. G. 1975. Elementos de Oceanografía. Editorial CECSA. p.p. 256.
- 9.- SELECCIONES DE SCIENTIFIC AMERICAN, 1975. Oceanografía. Editorial H. Blume Ediciones p. 29-118.
- 10.- SOTELO, A.G. 1977. Hidráulica General. Editorial Limusa Vol. 1. 551
- 11.- BENJAMIN, J.R. 1970. Probabilidad y Estadística en Ingeniería Civil. Editorial Mc Graw Hill. p.p. 219 - 261.
- 12.- MURRAY, R.S. 1976. Probabilidad y Estadística. Editorial Mc Graw Hill serie Schaum. p.p. 108 - 154.
- 13.- JABER, M.R. 1982. Tesis: Mecánica del Oleaje y la Marea. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. p.p. 242.
- 14.- MURILLO, B.G. 1982. Tesis: Prácticas para Definir las Características del Oleaje. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. p.p. 237.

- 15.- LECONA, R.J. 1983. Tesis: Estudio de Rehabilitación de la Bahía de Guasmas, Son. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. p.p. 23-87.
- 16.- MORALES, S.D. 1983. Tesis: Diseño y Construcción de Líneas Submarinas. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. p.p. 82 - 115.
- 17.- AGUILAR, L.A. 1983, Tesis: Determinación del Transporte Litoral por Medio del Uso de Trazadores Fluorescentes. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. p. 115.
- 18.- CIENCIA Y DESARROLLO. Sept. - Oct. 1983. Publicación Mensual: La Contaminación por Plomo en Coahuila de Zaragoza. Publicación del Consejo Nacional de Ciencia y Desarrollo. p. 80 - 87.