

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO DESARROLLO COSTERO  
1985.

1. M. EN I. AGUSTIN CORICHI FLORES  
Subdirector de Infraestructura  
Pesquera  
Departamento de Pesca  
Consultores en Ingeniería Fluviomarítima, S.A.  
PETEN NO. 543  
MEXICO, D.F. 575 25 11 y 575 73 38
2. ING. DANIEL CERVANTES CASTRO  
CONSULTORES EN INGENIERIA FLUVIOMARITIMA, S.A.  
PETEN NO. 543  
COL. NARVARTE  
MEXICO, D.F.  
575 25 11
3. ING. PEDRO GARCIA CAMACHO  
Jefe del Departamento de Estudios Económicos Y  
Financieros  
SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA  
RIO ELBA NO. 20-3° Piso  
COL. CUAUHEMOC  
MEXICO, D.F.  
286 95 70
4. ING. HECTOR LOPEZ GUTIERREZ  
DIRECTOR GENERAL DE SISTEMAS PORTUARIOS  
COMISION NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS  
S. C. T.  
BAJA CALIFORNIA NO. 255-A 8° PISO  
COL. HIPODROMO CONDESA  
MEXICO 06170, D.F.  
574 58 83
5. ING. ANTONIO MORENO GOMEZ  
SUBDIRECTOR DE ESTUDIOS EN COMISION  
NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS  
S.C .T.  
BAJA CALIFORNIA NO. 255 A .8° PISO  
MEXICO , D.F.  
584 35 38
6. ING. LUIS SALINAS QUINARD  
ASESOR DE INGENIERIA MARITIMA  
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
RIO MISSISSIPPI NO. 71-10° PISO  
MEXICO, D.F.  
525 78 80 Ext.3143
7. ING. EDUARDO SAUCEDO DUEÑAS  
DIRECTOR GENERAL  
CONSULTORIA TECNICA, S.C.  
SAN BORJA NO. 526-11  
COL. DEL VALLE  
MEXICO, D.F.  
559 92 88

DESARROLLO COSTERO

PRIMERA SEMANA. APROVECHAMIENTO LITORAL

Lunes 25 de Noviembre

" El Concepto de Aprovechamiento Litoral. Problemática y Soluciones".

Expositores: Ing. Héctor López Gutiérrez.  
Ing. Daniel Cervantes Castro  
Ing. Agustín Corichi Flores

Martes 26 de Noviembre

" El Entorno Físico "

. Información básica sobre oleaje. Formación, propagación y efectos.

Expositores: Ing. Luis Salinas Quinard  
Ing. Eduardo Saucedo Dueñas

Miércoles 27 de Noviembre

" Sistemas Playeros "

. Sistemas playeros y obras costeras.

Expositores: Ing. Agustín Corichi Flores  
Ing. Daniel Cervantes Castro

Jueves 23 de Noviembre

" Sistemas Estuarinos "

. Obras Costeras.  
. Estuarios, desembocaduras y accesos costeros.

Expositores: Ing. Héctor López Gutiérrez  
Ing. Antonio Moreno Gómez

Viernes 29 de Noviembre

" Contaminación Costera "

. Descargas costeras municipales e industriales  
. Descargas térmicas y procesos de mezclado

Expositores: Ing. Pedro García Camacho.

SEGUNDA SEMANA. APLICACION A PROBLEMAS REALES

Lunes 2 de Diciembre

" Obras Playeras de Protección "

. Carretera Champotón - Ciudad del Carmen  
. Puerto de Yukalpetén.

Expositores: Ing. Héctor López Gutiérrez  
Ing. Agustín Corichi Flores

Martes 3 de Diciembre.

" Estuarios y Desembocaduras "

. Desembocadura del río Pánuco.  
. Desembocadura del río Balsas.

Expositores: Ing. Héctor López Gutiérrez  
Ing. Daniel Cervantes Castro

Miércoles 4 de Diciembre

" Accesos Costeros "

. Laguna Madre  
. Laguna de Agua Brava

Expositores: Ing. Héctor López Gutiérrez  
Ing. Daniel Cervantes Castro

Jueves 5 de Diciembre

" Emisores y Obras de Toma Marina"

- . Emisores de aguas negras de Acapulco y Mazatlán.

Expositor:      Ing. Pedro García Camacho.

- . Obra de toma de Manzanillo.

Expositor:      Ing. Luis Salinas Quinard.

Viernes 6 de Diciembre

Mesa redonda entre expositores y participantes.

Ceremonia de clausura.

# EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

CURSO: "DESARROLLO COSTERO"

FECHA: DEL 25 DE NOVIEMBRE AL 6 DE DICIEMBRE DE 1985

DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIOVISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES, (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION)	PUNTUALIDAD	PROMEDIO	
					C O N F E R E N C I S T A
1	ING. HECTOR LOPEZ GUTIERREZ				
2	ING. DANIEL CERVANTES CASTRO				
3	ING. AGUSTIN CORICHI FLORES				
4	ING. LUIS SALINAS QUINARD				
5	ING. EDUARDO SAUCEDO DUEÑAS				
6	ING. ANTONIO MORENO GOMEZ				
7	ING. PEDRO GARCIA CAMACHO				
EVALUACION TOTAL					

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

CURSO: "DESARROLLO COSTERO"

FECHA: DEL 25 DE NOVIEMBRE AL 6 DE DICIEMBRE DE 1985

T E M A		ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA	PROMEDIO
1	EL CONCEPTO DE APROVECHAMIENTO LITORAL. PROBLEMATICA Y SOLUCIONES					
2	EL ENTORNO FISICO					
3	SISTEMAS PLAYEROS					
4	SISTEMAS ESTUARINOS					
5	CONTAMINACION COSTERA					
6	OBRAS PLAYERAS DE PROTECCION					
7	ESTUARIOS Y DESEMBOCADURAS					
8	ACCESOS COSTEROS					
9	EMISORES Y OBRAS DE TOMA MARINA					
10	MESA REDONDA					

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10

EVALUACION TOTAL

## EVALUACION DEL CURSO

C O N C E P T O		
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL CURSO	
4.	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DEL CURSO	
5.	CONTINUIDAD EN LOS TEMAS DEL CURSO	
6.	CALIDAD DE LAS NOTAS DEL CURSO	
7.	GRADO DE MOTIVACION LOGRADO EN EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION: 1 A 10



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

D E S A R R O L L O C O S T E R O

EL ENTORNO FISICO

NOVIEMBRE, 1985.

temperatura del agua. Por ejemplo, al enfriarse la superficie del agua se incrementará su densidad a tal punto -- que las masas de agua descenderán causando un mezclado -- vertical. Por otra parte, al calentarse el agua disminuirá su densidad impidiendo el movimiento vertical; en el primer ejemplo decrece la estabilidad vertical y en el segundo se incrementa. Tales cambios en temperatura y densidad ocurren en un rango menor o mayor, provocando desde mezclado locales hasta la ocurrencia de corrientes de importancia.

Debido a que la densidad también depende de la salinidad, la pérdida de calor latente, relacionada con la -- evaporación del agua, incrementa la densidad de la superficie del agua como un resultado de dos procesos; enfriamiento asociado a un cambio en fase (líquido a vapor) e -- incremento en la salinidad ya que se evapora el agua. La condensación en la superficie presenta el efecto opuesto, decreciendo la densidad debido a un incremento en la temperatura y disminución de la salinidad.

La precipitación en el mar también produce variaciones en la densidad de la capa superficial del agua debido a los cambios en temperatura y salinidad.

### Energía Cinética.

Los intercambios de energía cinética, asociada con -- un movimiento relativo entre el mar y el aire son probablemente los aspectos más importantes para los fines de este curso. La -- transferencia de energía cinética es la que provoca la -- ocurrencia de oleaje, corrientes, tormentas y mezclado -- vertical. Ello es el resultado de la fricción que se pro



duce entre el aire y la superficie libre del agua.

Vientos.

Veamos los efectos del viento sobre los océanos. Al requerir determinar esos efectos es necesario, en primer lugar, conocer como es el viento sobre las zonas oceánicas.

Mediante observaciones y mediciones sistemáticas, -- que se efectúan en estaciones meteorológicas terrestres y sobre embarcaciones, se logra conocer las características del viento en un sitio en particular, pero debido a que existen relativamente pocas estaciones sobre la tierra es necesario recurrir a estimaciones de la velocidad y dirección del viento por medio de las cartas sinópticas del -- tiempo; éstas describen las condiciones del clima en una amplia área y en un cierto momento. Las observaciones -- sistemáticas se realizan en todo el mundo a las 00, 06, - 12 y 18 GMT, las cuales se transmiten por código a cen--- tros regionales quienes lo transmiten a centros de procesamiento de la información. Los datos se transfieren a -- un mapa de la zona respectiva, de acuerdo con estándares numéricos y simbólicos que presentan los diferentes parámetros meteorológicos de la zona. Dichos símbolos y cantidades se colocan siempre en la misma posición relativa con respecto al círculo de la estación, excepto en lo correspondiente a velocidad del viento (ddff), movimiento -- real del buque ( $D_s V_s$ ), y dirección de los vientos distantes (swells) los cuales se dibujan de acuerdo con la direc--- ción reportada.

Una vez que se dibujan los datos, el meteorólogo ---

diagnostica la situación atmosférica y delinea las líneas de presión y la localización de los frentes.

Las líneas de presión se indican por medio de isobaras que son líneas que unen los puntos que tienen la misma presión. Las curvas isobáricas delimitan centros de alta y baja presión (H y L respectivamente).

Generalmente las líneas de isobaras se representan con intervalos de cuatro milibares (mb), por ejemplo 996 mb, 1000 mb, 1004 mb, etc. Estos intervalos pueden ser diferentes dependiendo de la escala del mapa utilizado. Las líneas de igual presión muestran, además de la localización de los centros de alta y baja presión, la intensidad del viento se infiere por el espaciamiento entre isobaras. Un ejemplo de las cartas sinópticas se muestra en la figura 1.

Existen unas enormes áreas semipermanentes de presión alta que se localizan sobre los océanos y aproximadamente entre los 30 y 35 grados de latitud, las cuales giran lentamente día con día y se trasladan con el paso del sol durante el transcurso de un año, moviéndose hacia el norte durante el verano del hemisferio norte y hacia el sur durante el invierno del hemisferio norte. La posición en latitud señalada representa la localización media durante su migración anual. La intensidad de esas altas presiones subtropicales varían muy poco día con día, sin embargo anualmente presentan su máxima intensidad en el verano y mínima en el invierno.

Fuera de esos casi permanentes centros de alta presión, los patrones de presión se caracterizan por ser migratorios, los cuales se ubican en latitudes medias y al-

tas. Una excepción son los huracanes que son centros de baja presión muy intensos localizados en áreas oceánicas-tropicales. Los huracanes presentan curvas isobáricas casi circulares y se trasladan entre el perímetro de las áreas de alta presión subtropicales y semipermanentes.

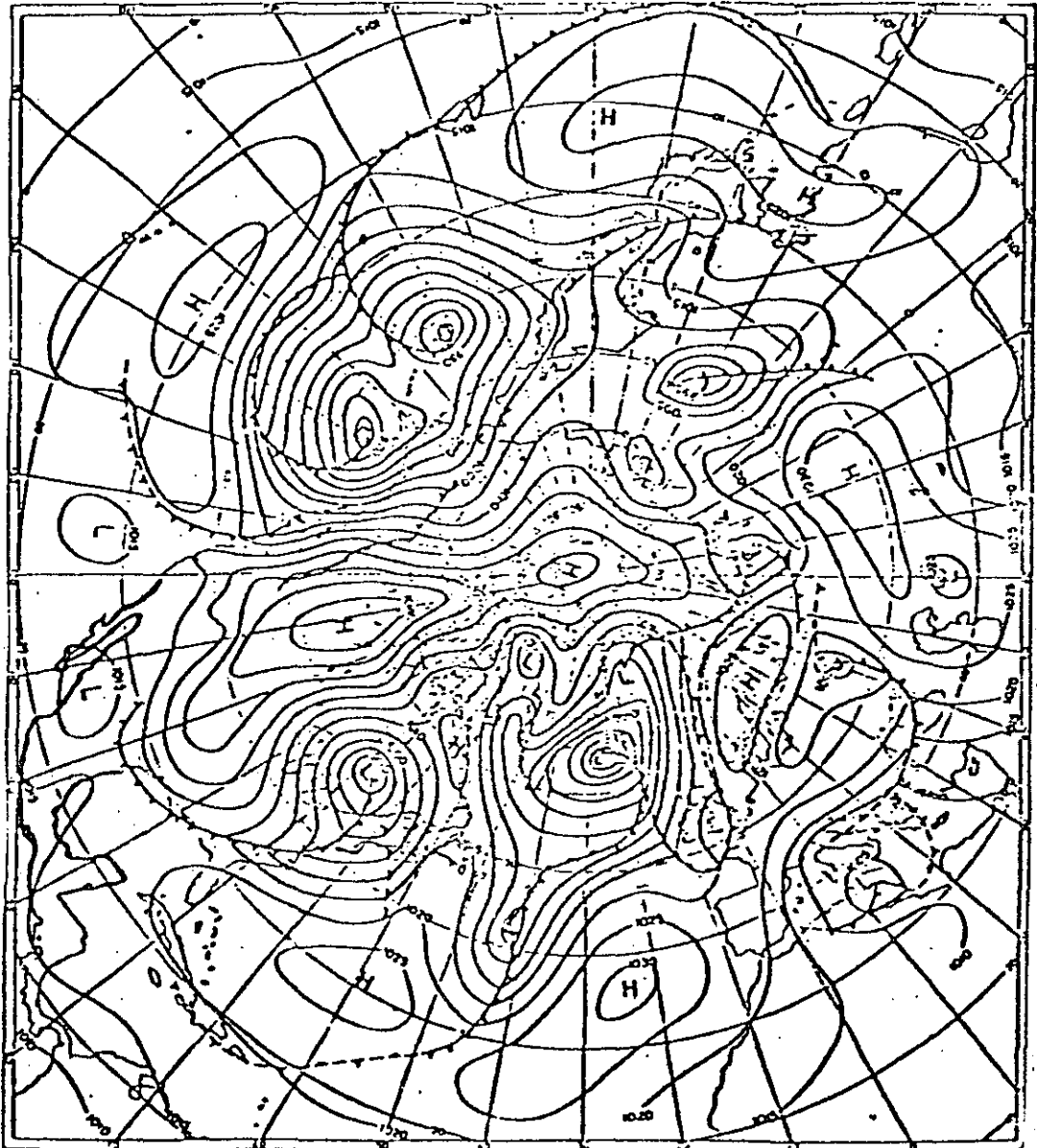


Figura 1.- Presión sobre el nivel del mar (basado en series diarias de cartas sinópticas del tiempo en el Hemisferio Norte) a las 12 GMT el 1º de marzo de 1950 (unidades de presión en milibares y los --- frentes están representados en la simbología estándar.)

Con respecto al movimiento de los centros de alta -- presión, se ha observado que en general los de alta presión son mas largos en extensión horizontal que los de baja presión y ambos generalmente se trasladan diariamente hacia el Este. En el hemisferio norte los centros de alta presión tienden a moverse hacia el sureste y los de baja presión hacia el noreste. Lo contrario sucede en el hemisferio sur. Los centros de alta presión generalmente se disipan al combinarse con las áreas de alta presión -- subtropicales.

Los frentes de presión muestran la localización límite entre grandes masas de aire que tienen diferente densidas, es decir diferente temperatura. Cuando una masa de aire caliente se encuentra con una masa de aire frío, la primera se elevará sobre la segunda, ya que la masa de aire frío es mas densa, ésta buscará colocarse bajo la me--nor densidad forzando a la de aire caliente a elevarse.

Conforme el aire se eleva se expande (debido a que -- disminuye la presión y se enfría. Si el enfriamiento es suficiente, la humedad del aire se condensa para formar -- las nubes provocando posteriormente que llueva o neve.

Un frente en movimiento se clasifica como "caliente" o "frío" dependiendo de la dirección relativa de su movimiento sobre la superficie. Si el frente se desplaza de una localización y el aire frío reemplaza el aire caliente en la superficie y se le denomina frente frío, y por -- otra parte si el aire caliente reemplaza al aire frío se le llama frente caliente. En ambos casos el aire frío se encuentra bajo el aire caliente y el frente señala la --- frontera en la superficie. Finalmente si un frente no se

translada se le denomina estacionario. Obsérvese la relación entre isóbaras y frentes en la figura 1, siendo esto importante ya que al cruzar un frente la dirección de los vientos asociados sufre un cambio.

Realmente la frontera entre las masas de aire es una superficie inclinada, siendo la pendiente mayor cuando existe un frente frío (1:500 a 1:150) y menor en el caso de los frentes caliente o estacionario (1:200 a 1:400). Debido a que los frentes fríos tienen una pendiente pronunciada, las nubes y el "mal tiempo" se presentan en banda angosta (entre 75 y 150 kilómetros) paralela al frente.

Con un frente cálido, las nubes y precipitación se extienden cuando mucho a 1500 kilómetros hacia adelante de su posición en la superficie. En general los frentes fríos se desplazan mas rápido que los frentes calientes.

A menudo, cuando se presenta un frente estacionario se desarrolla una perturbación u onda en la zona fronteriza. En la superficie esto aparece como una onda de baja presión. Un ejemplo se muestra en la figura 2. Conforme se desarrolla un centro de baja presión, con sus asociados vientos con dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj para el hemisferio norte, los frentes se desplazan diferente, como se muestra en la figura 2. Debido a que los frentes fríos se trasladan mas rápido que los frentes calientes, el frente frío alcanza al frente caliente resultando una oclusión.

#### Determinación de la Intensidad del Viento.

Para conocer la intensidad de la acción del viento y-

con ello las condiciones del oleaje que produce es necesario auxiliarse de los reportes de los barcos en la zona de interés a fin de obtener la información directamente, sin embargo, debido a que los reportes de los buques se refieren a zonas muy dispersas y distantes entre sí, nos vemos obligados a estimar la velocidad del viento en la zona de interés. Esto es posible debido a que hay una relación entre el viento y las líneas de presión que es posible inferir de las cartas sinópticas del tiempo.

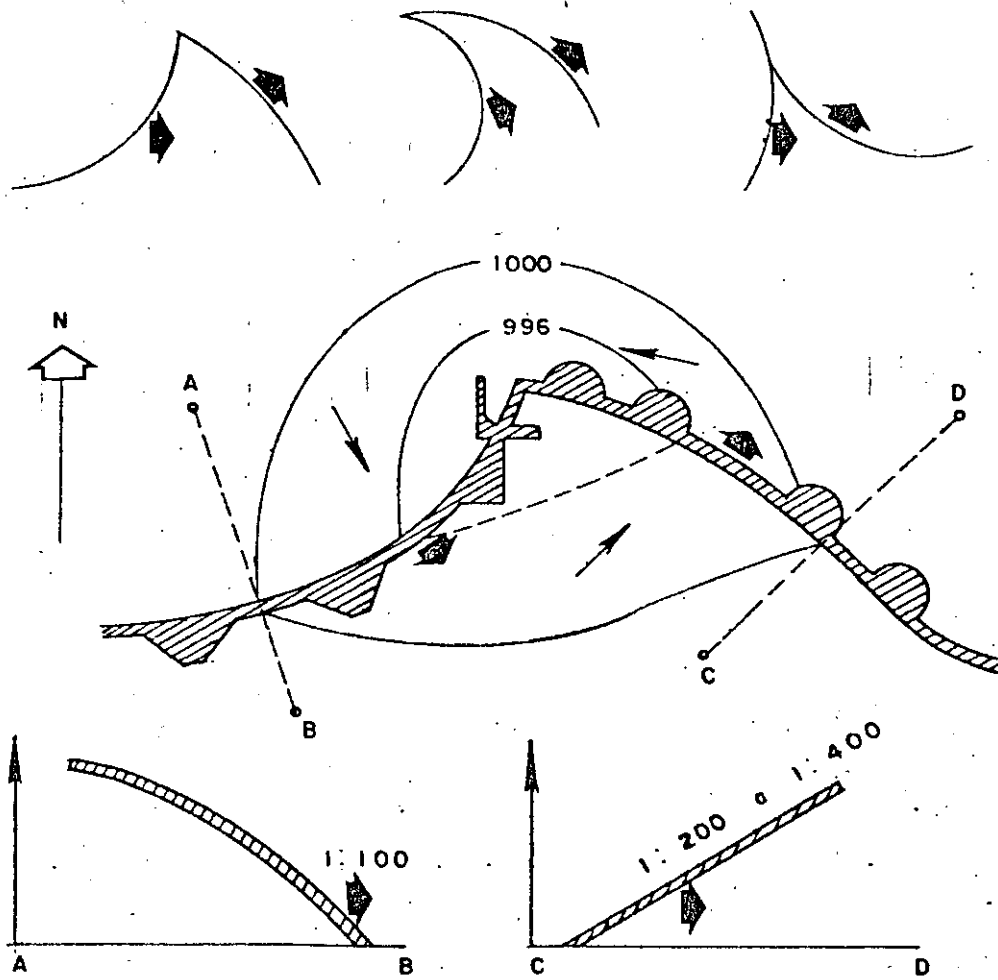


Fig. 2. Frentes de Aire.

Si se dibuja una línea perpendicular y que cruce un conjunto de isóbaras, la presión en los diferentes puntos de esa línea será diferente ya que cada isóbara representa diferente presión. El cambio de presión en una cierta distancia a lo largo de la línea (considerando de mayor a menor presión) se le denomina gradiente de presión y la distancia entre isóbaras se le llama espaciamiento entre isóbaras. Si no existen otras fuerzas, el aire tenderá a trasladarse a lo largo de la línea hacia las presiones menores como resultado de la fuerza de presión, es decir, en la dirección del gradiente. Un mayor gradiente o menor espaciamiento entre isobaras provoca una velocidad de traslado mayor.

Sin embargo, otras fuerzas están actuando y provocan un cambio en el movimiento. Estas fuerzas son la de Coriolis o de Deflexión y la de Fricción.

La fuerza de deflexión es una fuerza ficticia que la notamos porque cuando observamos el movimiento estamos sobre una plataforma móvil, es decir la tierra que gira y esto afecta los movimientos observados de todos los objetos móviles.

Esta fuerza es directamente proporcional a la velocidad del movimiento y a la latitud. Como una consecuencia los objetos del hemisferio norte que están en movimiento se deflecan hacia la derecha, por ello, si se da la espalda al viento que se mueve la menor presión estará a la izquierda y la mayor a la derecha.

En el hemisferio sur sucede lo contrario, la fuerza de deflexión es hacia la izquierda y al estar de espal-

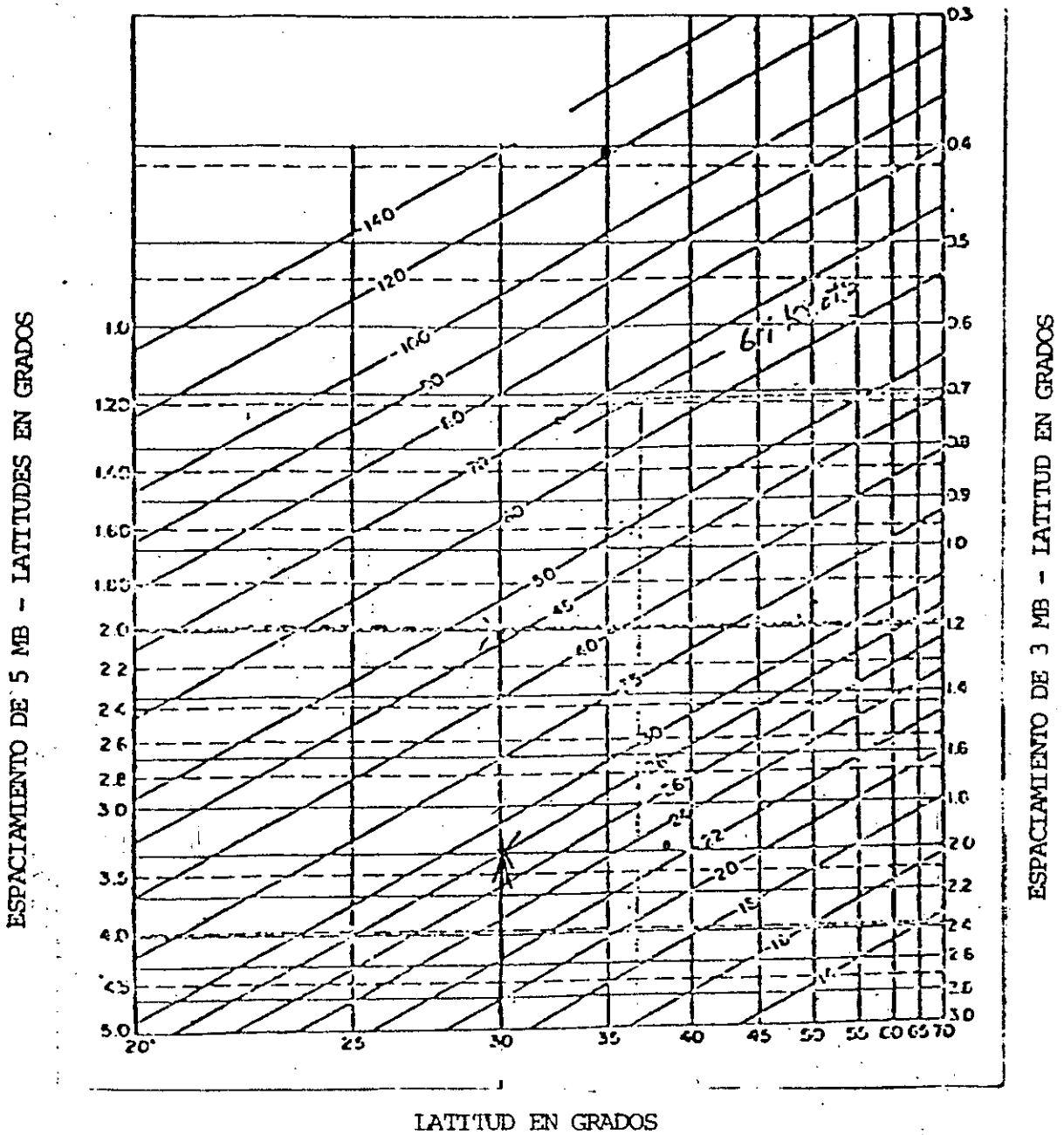
das al viento la mayor presión estará a la izquierda y la menor a la derecha. Este viento idealizado se le denomina Viento Geostrófico. Para conocer su magnitud nos podemos ayudar de la gráfica 1. Nótese que las coordenadas de la gráfica son: en las ordenadas el espaciamiento entre isóbaras se da de 3mb y 5 mb en grados de latitud (1 grado de latitud es igual a 60 millas náuticas) y en las abscisas se da la latitud del sitio de interés. La velocidad del viento geostrófico se da en nudos a través de las líneas inclinadas, Observe que para un cierto espaciamiento entre isóbaras la velocidad del viento decrece con la latitud y para cierta latitud, la velocidad del viento se incrementa con el gradiente de presión. Así, para un sitio con latitud  $30^{\circ}\text{N}$ , que el espaciamiento entre isóbaras de 3 mb sea de 2 grados de latitud o sea 120 millas náuticas, el viento geostrófico resulta de 28 nudos con dirección del viento paralelo a las isóbaras y la presión menor hacia la izquierda.

Las fuerzas de fricción ocurren por el movimiento relativo entre el aire y la superficie de agua o terrestre, provocando una disminución en la velocidad del viento geostrófico. En algunas ocasiones las fuerzas de presión y las fuerzas de deflexión no están en equilibrio apareciendo una fuerza centrípeta que hace que en ambos hemisferios, alrededor de los centros de alta presión sea mayor la fuerza de deflexión y alrededor de los centros de baja presión sea mayor la fuerza de presión. En ausencia de fricción, es decir a grandes alturas, cuando el viento sopla paralelo a las curvas isobáricas, se le denomina viento de gradiente.

El ángulo entre las isóbaras y los vectores del vien



VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO, VG, EN NUDOS



$$V_g = \frac{1}{2 \Omega \rho \sin \phi} \frac{\Delta P}{\Delta n}$$

Para:  $\Delta P = 5 \text{ mb}$  ó  $3 \text{ mb}$   
 $\Delta n = \text{latitud en grados (del lugar)}$   
 $P = 1013.3 \text{ mb}$   
 $T = 10^\circ \text{C}$

$\Omega = 7.29 \times 10^{-5} \text{ rad/seg}$   
 (velocidad de rotación de la tierra)  
 $\rho = 1.2 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$

Gráfica 1 .- Cálculo del Viento Geostrofico.

to se le denomina ángulo de cruce y en general, sobre los océanos este ángulo es de aproximadamente 20 grados, mientras que en las porciones terrestres es de 35 grados debido a que la fricción es mayor. Este ángulo varía con la latitud y la estabilidad del aire. Esta estabilidad atmosférica se puede relacionar con la diferencia de temperatura entre el mar y el aire.

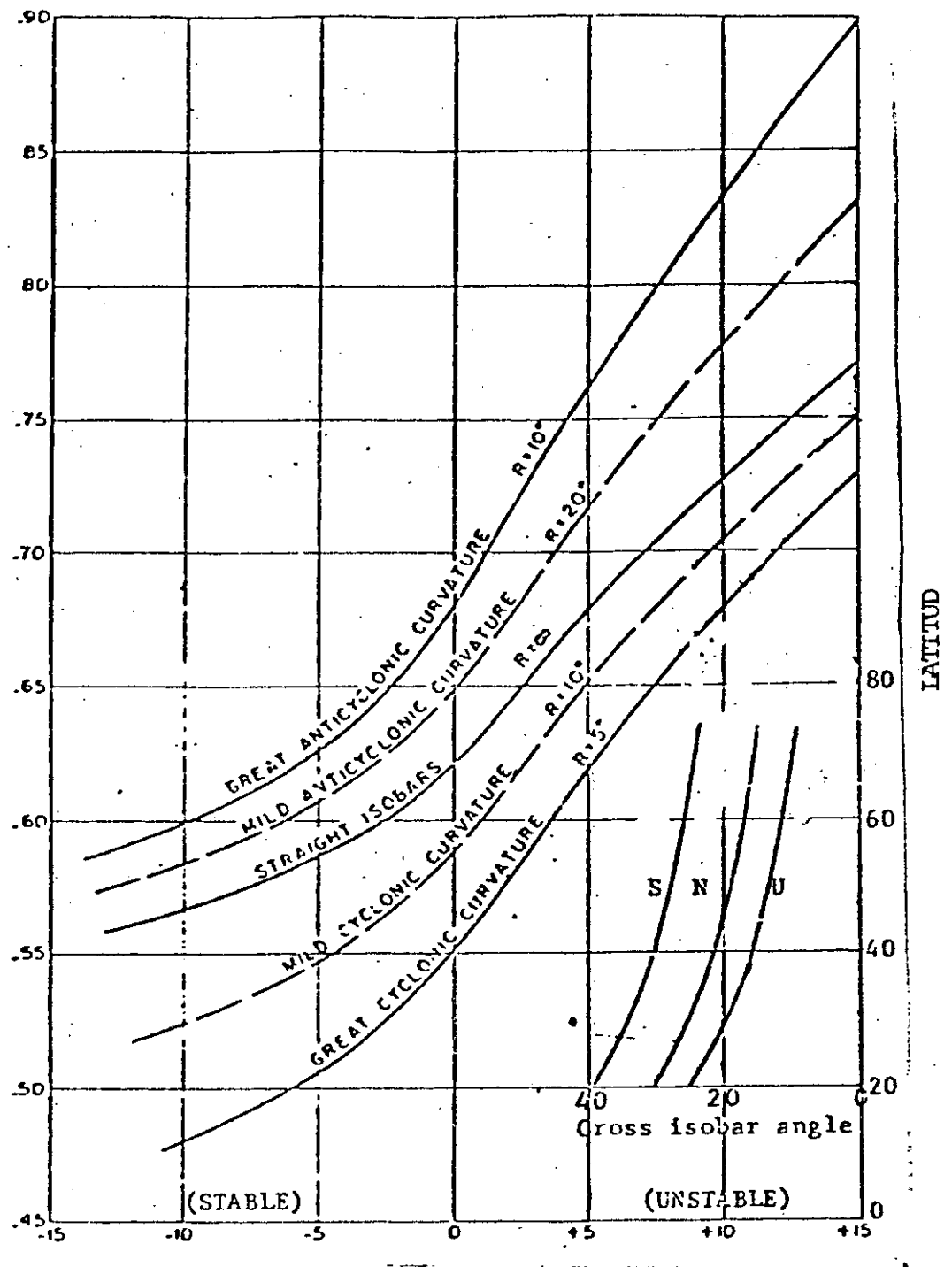
Cuando el agua está mas caliente, transmite calor al aire, causando una inestabilidad que produce una convección y mezclado vertical resultando un ángulo de cruce pequeño.

En la gráfica N° 2 se muestran los resultados empíricos de ángulo de cruce como una función de la latitud y estabilidad. Existe la estabilidad neutral cuando  $T_s - T_a = 0^\circ\text{F}$ ; se dice que es estable el aire (S), cuando tiene una temperatura mayor que el agua y se dice que es inestable (U) si su temperatura es menor que la del agua. En condiciones de vientos fuertes, el ángulo de cruce puede ser mayor a los  $40^\circ$ .

En la misma figura se muestra el factor de corrección para obtener la velocidad del viento superficial a partir del conocimiento de la velocidad del viento geostrofico.

Los términos ciclónico y anticiclónico mencionados en la figura se refieren a las isobaras alrededor de centros de baja o alta presión respectivamente y la curvatura son los valores de los radios (R) de las curvas isobaras en grados de latitud (1 grado de latitud = 60 millas náuticas), este debe medirse directamente en las cartas sinópticas.

RELACION VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL VIENTO/VELOCIDAD DEL VIENTO GEOSTROFICO.



DIFERENCIA DE LA TEMPERATURA MAR-AIRE  $T_s - T_a$   $\delta$  ( $T_w - T_w - T_w - T_t$ ) en °F.

- S = Estable
- N = Neutral
- U = Inestable

Gráfica 2.-  
Relaciones de  $V_{sup} / V_g$ .

Si se desconoce la diferencia de temperatura entre mar y aire, se puede considerar que si la dirección del viento es hacia alguno de los polos el aire tendrá un parámetro estable y si la dirección del viento es hacia el ecuador será inestable. Si no se tiene alguna información, se puede suponer una estabilidad neutral.

Pese a lo subjetivo de algunas de sus partes, el procedimiento descrito proporciona buenos resultados y en algunas ocasiones es mas útil que los reportes meteorológicos.

#### 1.2 CRECIMIENTO Y DECAIMIENTO DE LAS OLAS GENERADAS POR EL VIENTO.

En la superficie de agua sobre la cual el viento está soplando y generando olas se le conoce con el nombre Fetch o área del Fetch. En esta área el crecimiento de las olas se encuentra gobernado por tres factores:

- a) La Velocidad del Viento.
- b) La longitud de Fetch en la dirección en que el viento esta soplando.
- c) El lapso en que el viento esta soplando.

El primero de los factores ha sido analizado en el inciso precedente, quedando ahora por considerar los dos siguientes.

...

### 1.2.1 DETERMINACION DEL FETCH Y EL TIEMPO DE PERMANENCIA.

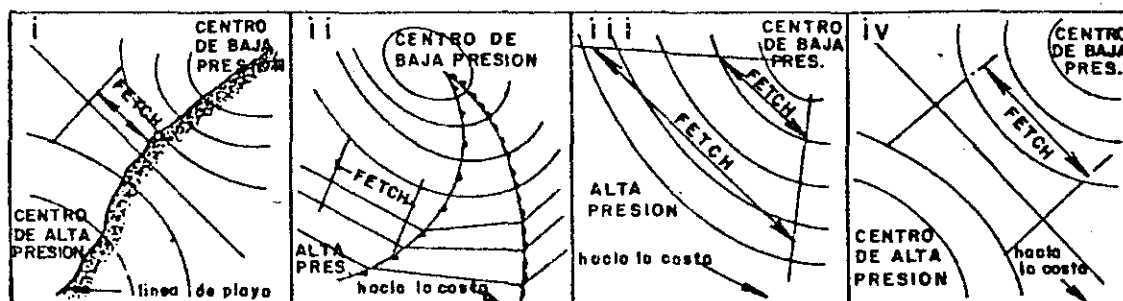
El área del océano donde actúa el viento presenta en la superficie características caóticas, de hecho se presentan las llamadas ondas de cresta corta en las cuales - las partículas se comportan en condiciones tridimensionales de movimiento, a diferencia del oleaje normal en que dicho movimiento se analiza en dos dimensiones.

En la región donde se define al Fetch, la velocidad y dirección del viento deben ser razonablemente constantes, por lo que la velocidad debe variar a lo sumo en  $\pm 5$  nudos (2.5 m/seg) de la media.

Los límites del Fetch quedan delineados por:

- i) La costa en la dirección del viento (barlovento)
- ii) Los frentes meteorológicos.
- iii) La curvatura de las isobaras.
- iv) La separación entre isobaras.

En la figura No. 3 se muestran dichos límites:



Para definir la zona de generación con respecto a un punto en donde se desea conocer el oleaje que se presenta es necesario considerar que el ángulo que forma la dirección del viento con la línea que une la zona de generación y el punto de presión debe ser menor de  $30^\circ$ , en zonas donde las isóbaras son casi rectas, y de  $45^\circ$  en zonas de isóbaras curvas. Por encima de éstos valores los resultados se deterioran extraordinariamente. Por tanto si estamos en el segundo caso, la línea del contorno de la superficie del Fetch se define prácticamente eligiendo aquellos puntos en la línea que forma  $45^\circ$  con la tangente a la isobara que pasa por el punto de interés.

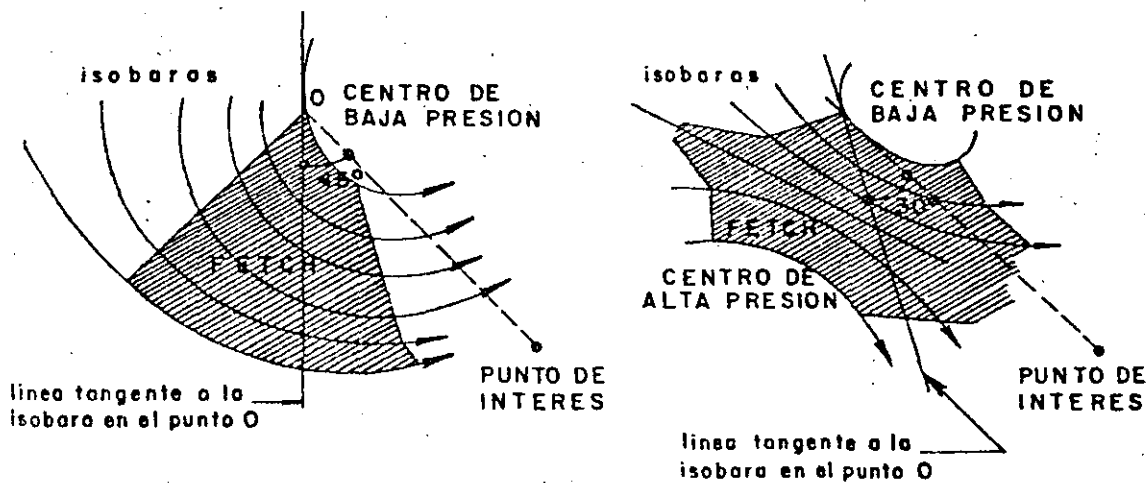


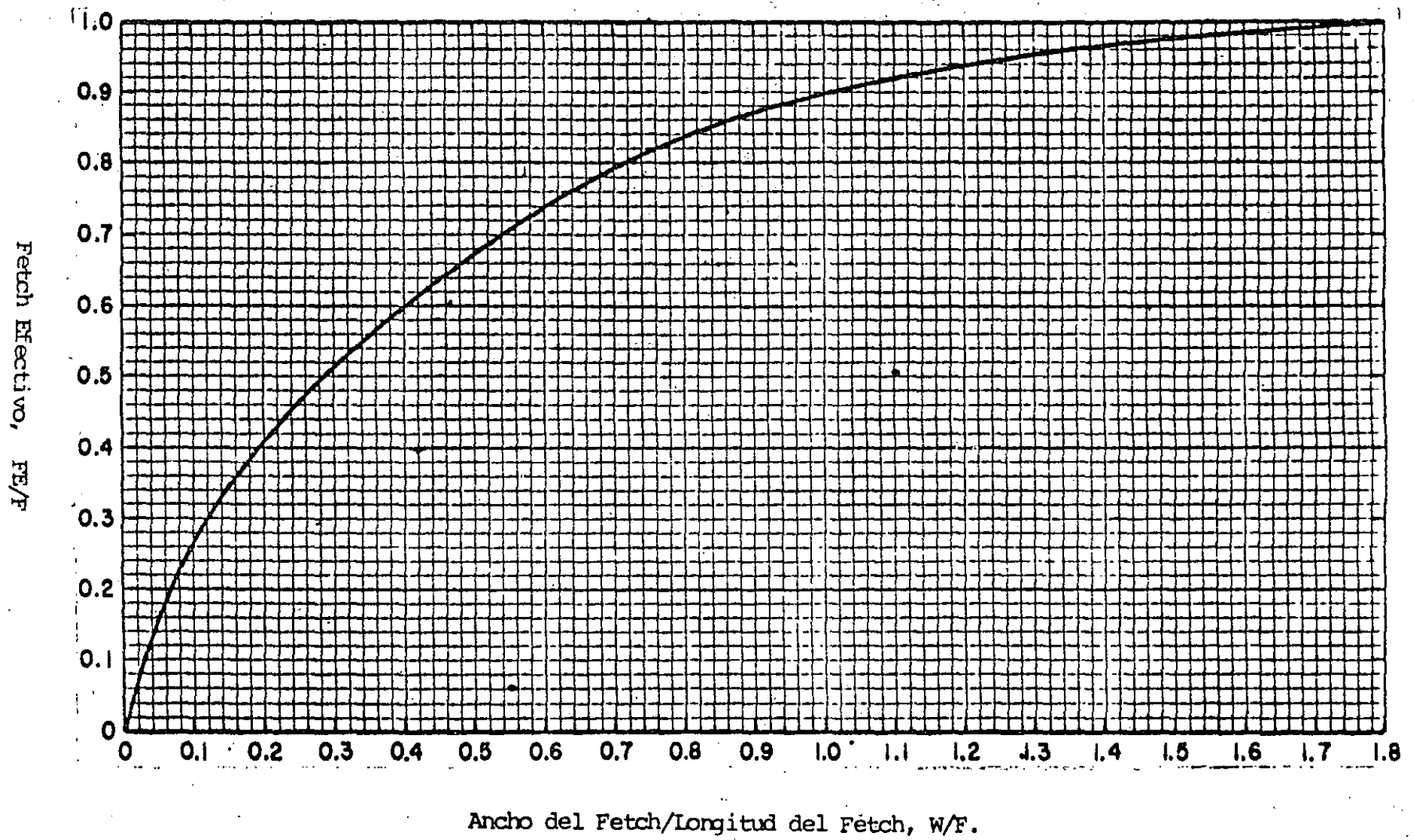
Fig. No. 4.- Delimitación del Fetch.

El efecto del ancho del Fetch en la zona de generación generalmente se desprecia en las áreas sobre los océanos, dado que generalmente son tan anchos como su longitud. En los cuerpos de agua interiores (bahías, ríos, lagos, etc), los Fetchs están limitados por las formas de las fronteras terrestres que rodean los cuerpos de agua. En estos casos, generalmente, los Fetchs son largos comparados con su ancho, provocando que las olas generadas sean significativamente menores a las que se producirán bajo las mismas condiciones en áreas oceánicas.

Saville (1954) propuso un método para determinar el efecto del ancho del Fetch en la generación del oleaje. En la gráfica 3, basada en este método, se indica el Fetch efectivo respecto a un ancho relativamente uniforme de Fetch.

Si la línea de la costa es irregular el método de la gráfica No. 3 es aplicable, siendo necesario aplicar un método mas general. Este método se apoya en el concepto de que en los cuerpos de agua interiores restringen, por su geometría, la longitud del Fetch y al disminuir la relación ancho/longitud del Fetch, se obtiene un Fetch efectivo mas corto. Un procedimiento para determinar la longitud del Fetch efectivo se muestra en la figura No. 6 el cual consiste en la construcción de 15 radios con centro en el punto de interés, separados en intervalos de  $6^\circ$  (limitados por un ángulo de  $45^\circ$  a cada lado de la dirección del viento) y extendiéndolos hasta que intercepten las orillas del cuerpo de agua.

La componente de la longitud de cada radio, en la dirección paralela a la dirección del viento se multiplica



Gráfica 3.- Relación entre el ancho del Fetch y la longitud del Fetch para Fetchs rectangulares.



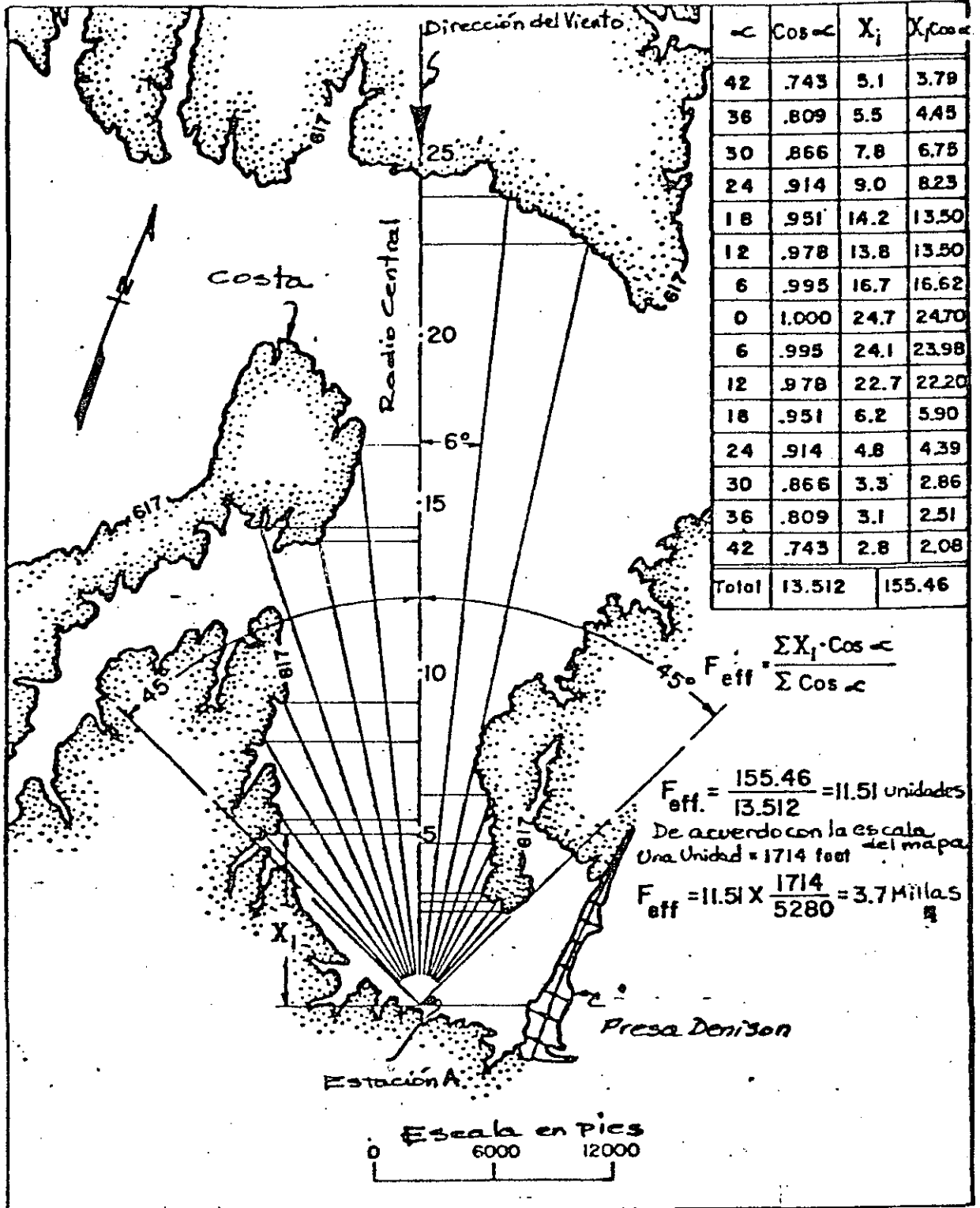


FIG. No. 5

por el coseno del ángulo que se forma entre el radio y la dirección del viento. La longitud del Fetch efectivo será el resultado de la suma de todos los productos anteriores aplicados a cada radio y dividiendo entre la suma de los cosenos de los ángulos. Cabe señalar que no es requisito que el intervalo entre los radios sea de  $6^\circ$ , pudiendo adoptarse otro espaciamiento.

### 1.2.2 METODO SMB PARA PREDICCIÓN DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.

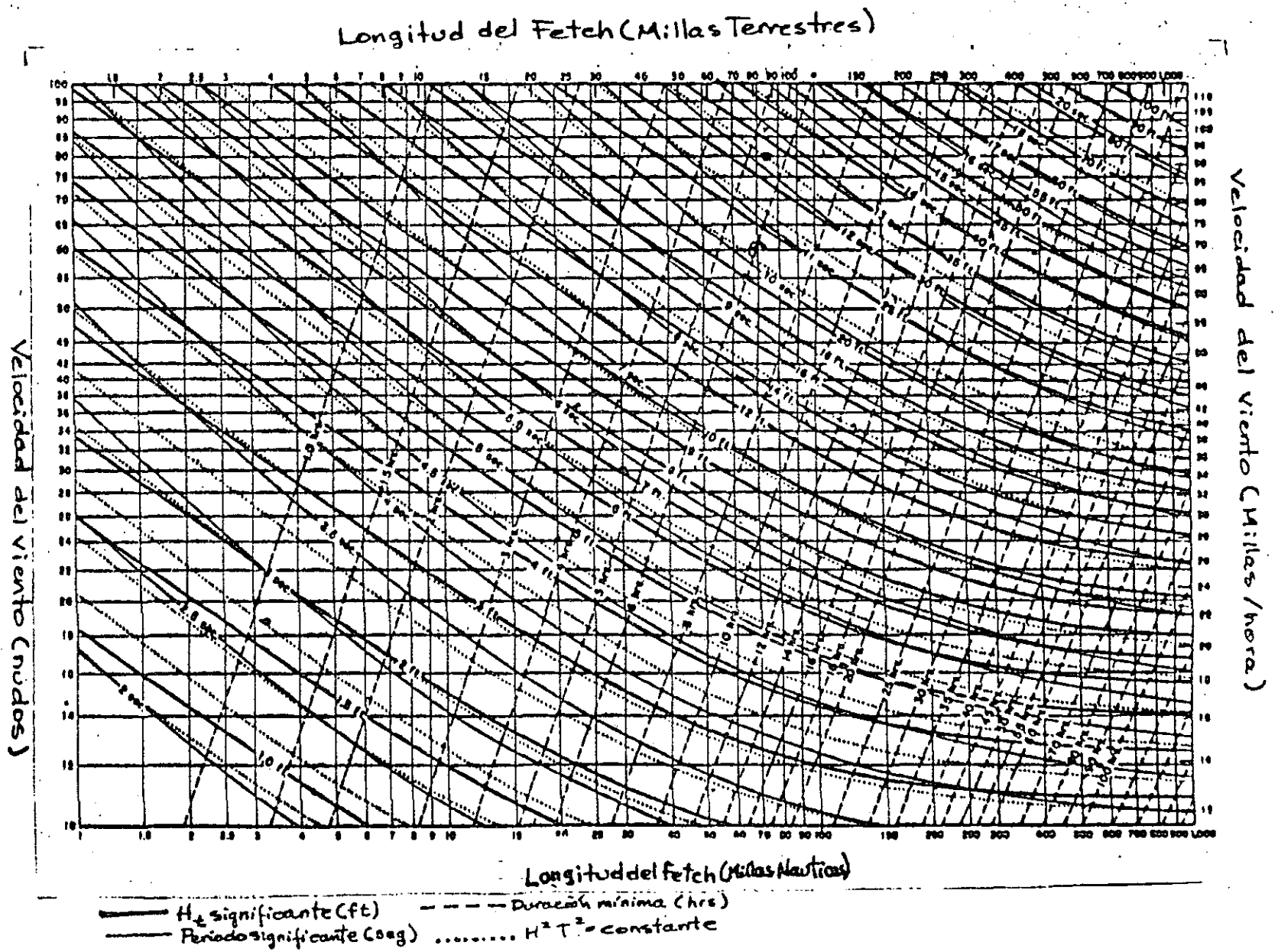
Sverdrup y Munk diseñaron una serie de curvas de utilidad para la predicción del oleaje. Estas curvas fueron posteriormente revisadas por Bretschneider quien les adicionó datos empíricos, por lo que este procedimiento de predicción se le denomina el método de Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB). La aplicación de este método es recomendable cuando se dispone de pocos datos y tiempo.

Las curvas que se muestran en las gráficas 4 y 5 — representan las ecuaciones empíricas siguientes:

$$\frac{SH}{U^2} = 0.283 \tanh h \left[ 0.0125 \left( \frac{SF}{U^2} \right)^{0.42} \right] \dots (1.101)$$

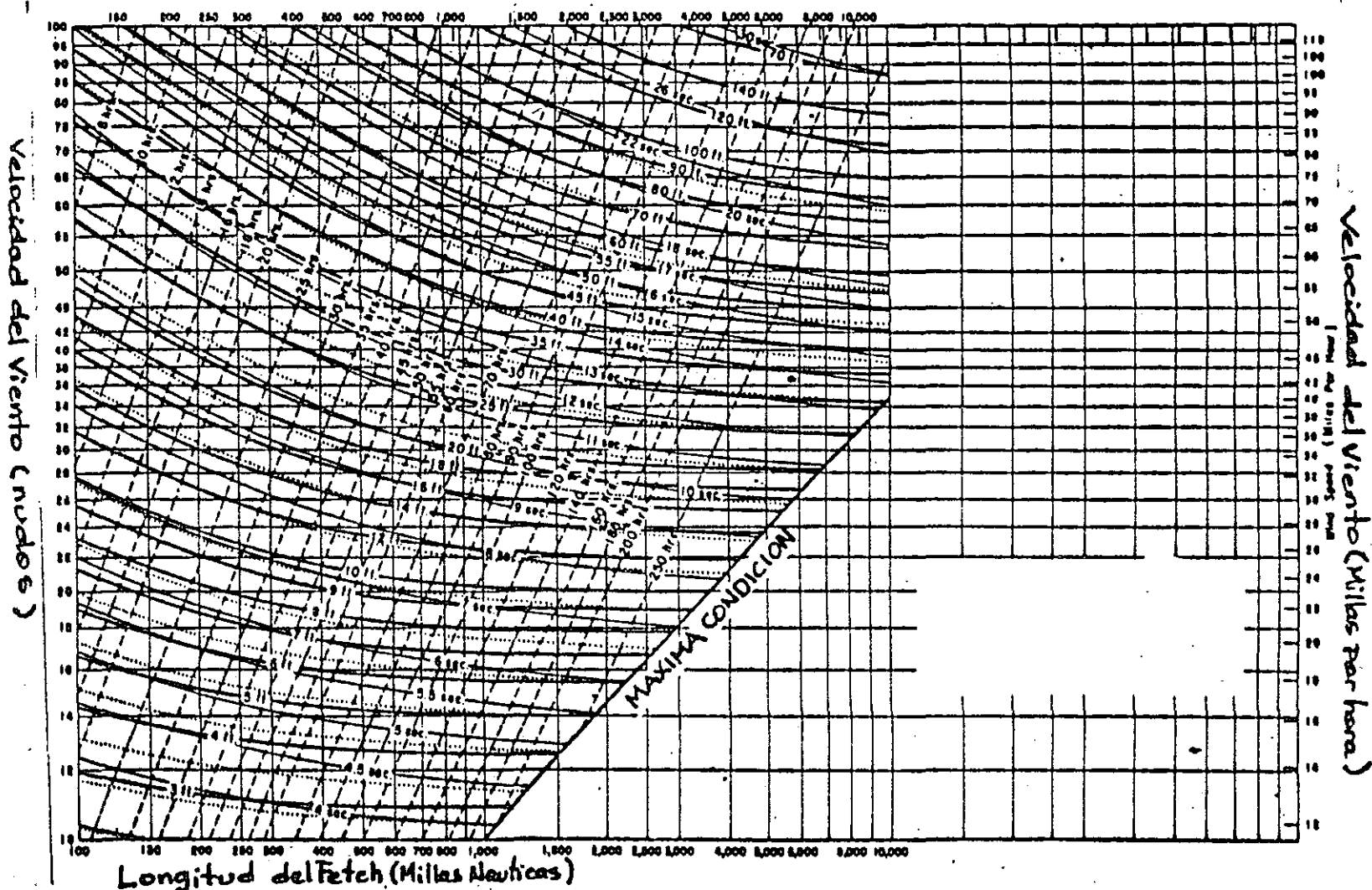
$$\frac{ST}{2\pi U} = 1.20 \tanh h \left[ 0.077 \left( \frac{SF}{U^2} \right)^{0.25} \right] \dots (1.102)$$

$$\frac{St}{U} = k e^{\{x\}} \dots (1.103)$$



Gráfica 4.- Curvas de Predicción de oleaje en aguas profundas como una función de velocidad del viento, longitud del Fetch y duración del viento (para Fetchs de 1 a 1,000-millas).

Longitud del Fetch (Millas Terrestres)



Longitud del Fetch (Millas Nauticas)

- $H_s$  significativa (pies)      - - - - - Duración Mínima (hrs)
- Período Significante (seg)      ······  $H^2 T^2 = \text{constante}$

Gráfica 5 .- Curvas de predicción del oleaje en aguas profundas como una función de la velocidad del viento, longitud del Fetch y duración del viento (para Fetchs de 100 a más de 1,000 millas).

Donde:

$$\{X\} = \left\{ A \left[ \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right) \right]^2 - B \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right) + C \right\} + D \ln \left( \frac{gF}{U^2} \right)$$

$\ln$	=	$\log_e$
$K$	=	6.5882
$A$	=	0.0161
$B$	=	0.3692
$C$	=	2.2024
$D$	=	0.8798

Al conocer la velocidad del viento, la longitud del Fetch y la duración de la acción del viento en el Fetch, con las ecuaciones (1.101), (1.102) y (1.103) es posible estimar la altura de la ola significativa ( $H_f$ ) y el período significativo ( $T_f$ ), al final del Fetch. En las gráficas 6 y 7, con el dato de la velocidad del viento ( $U$ ) y las correspondientes líneas del Fetch y duración, la que intersecte primero, es posible determinar  $H_f$  y  $T_f$ , así como el Fetch mínimo y tiempo de acción mínimo que pueden limitar las características del oleaje.

Quando se utilizan varias cartas sinópticas del tiempo, los valores de ( $U$ )  $F$  y  $t$  se pueden tabular, para la primera carta, con el subíndice 1. Para la segunda con el subíndice 2, sin embargo, si resulta que  $U_2 = U_1$ , entonces  $t_2 = t_1 + Z$ , siendo  $Z$  el tiempo transcurrido entre la primera y la segunda carta. Si  $U_2 \neq U_1$ , entonces se considera que el cambio de velocidad de  $U_1$  a  $U_2$  ocurrió instantáneamente en el tiempo  $Z/2$  y entonces la primera carta tiene una duración de  $t_1 = t_{m1} + Z/2$  y el Fetch una longitud de  $F_1 = F_{m1} + \Delta F/2$  donde  $\Delta F$  representa el cambio en la longitud del Fetch entre las dos cartas.

Puesto que se asume que existe un cambio brusco en la velocidad del viento, la energía transmitida al oleaje por  $U_1$  con una duración mínima  $tm_1 + Z/2$  y Fetch mínimo  $Fm_1 + \Delta F/2$  no cambia, entonces se asume que  $U_2$  transmite energía al oleaje que ya contiene la energía debida a  $U_1$ .

En las gráficas anteriores se representa con líneas punteadas el valor constante  $H^2T^2$  lo que representa líneas de energía constante. Recuérdese que la ecuación de la energía del oleaje en aguas profundas está dada por --

$$E_0 = \frac{\rho g H^2}{8} L_0$$

Si la energía ha sido impartida a las olas bajo la acción de únicamente  $U_2$ , esas olas serán de la altura y longitud que resulten en las gráficas 6 y 7 por la intersección de la ordenada  $U_2$  con la línea de energía constante correspondiente a la energía impartida por  $U_1$  con una duración mínima de  $tm_1 + Z/2$  ó un Fetch mínimo de  $Fm_1 + F/2$ . Mediante un incremento en la duración mínima en este punto por la cantidad  $Z/2$  ó cambiando el Fetch mínimo por una cantidad  $\Delta F/2$ , es posible determinar de una manera aproximada las condiciones del oleaje bajo la acción de  $U_2$  en el momento de la segunda carta sinóptica.

Si la velocidad del viento  $U_2$  es menor que  $U_1$  el procedimiento que se sigue es similar.

### 1.2.3 CALCULO DEL DECAIMIENTO DE LA OLA EN AGUAS PROFUNDAS.

Las gráficas 6 y 7, se utilizan para estimar las características del oleaje después de que las olas han dejado el área del Fetch, pero aún viajan en aguas profundas.

Con la gráfica 6 y conocidos  $H_f$ ,  $T_f$ ,  $F_m$  y  $D$  (distancia de decaimiento), es posible determinar las relaciones.

$$\frac{\text{Decaimiento de la altura de la ola}}{\text{Altura de la ola correspondiente al Fetch}} = \frac{H_D}{H_F}$$

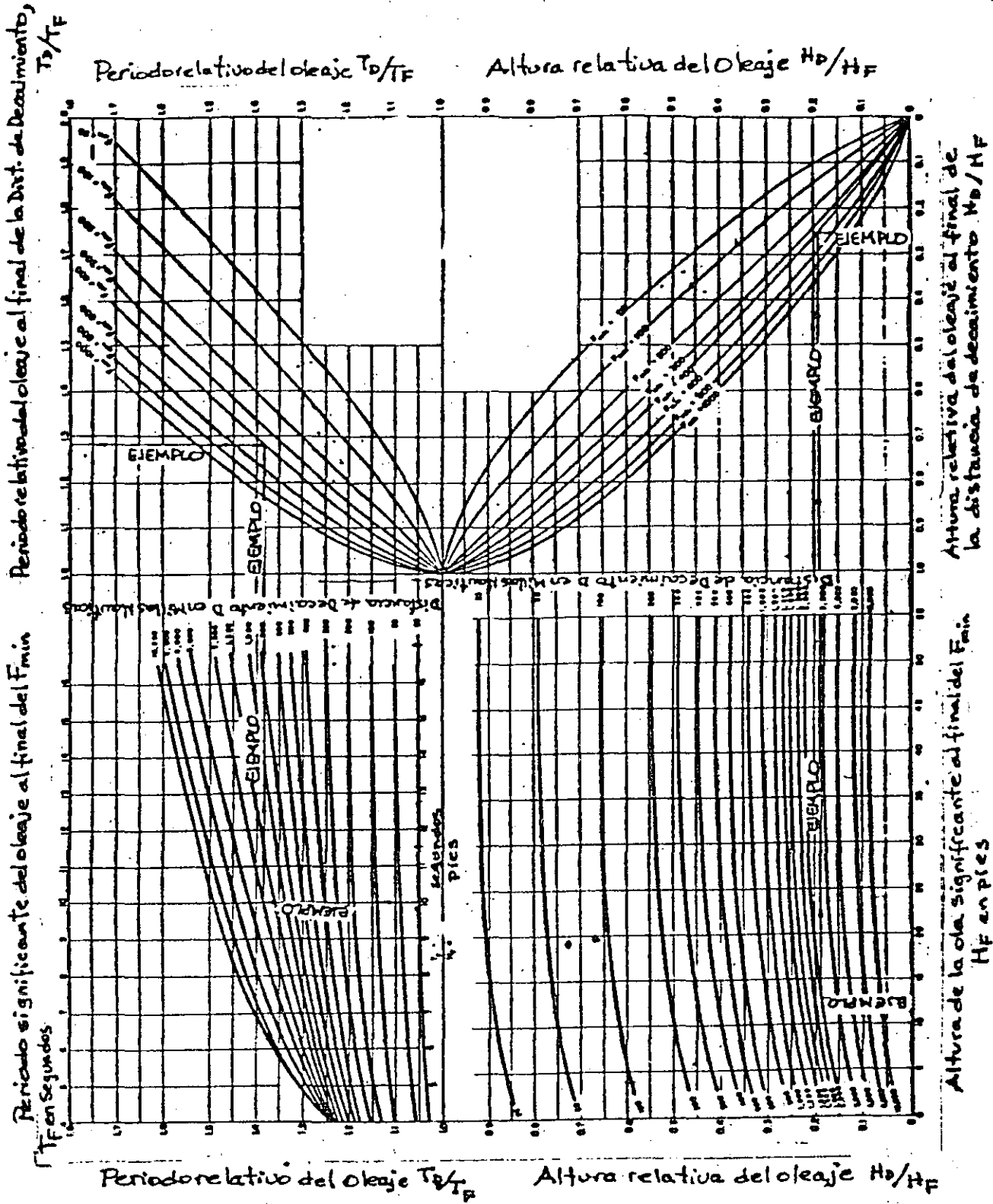
$$\frac{\text{Decaimiento del Período del Oleaje.}}{\text{Período del oleaje correspondiente al Fetch}} = \frac{T_D}{T_F}$$

Con la gráfica número 7 es posible calcular - - - el tiempo que tarda en viajar la ola desde el Fetch hasta la costa, conociendo el decaimiento del período del oleaje ( $T_D$ ) y la distancia de decaimiento ( $D$ ).

El tiempo de translación  $t_p$  se determina como el cociente de la distancia de decaimiento entre la celeridad de grupo en aguas profundas, teniendo un período igual a  $T_D$ .

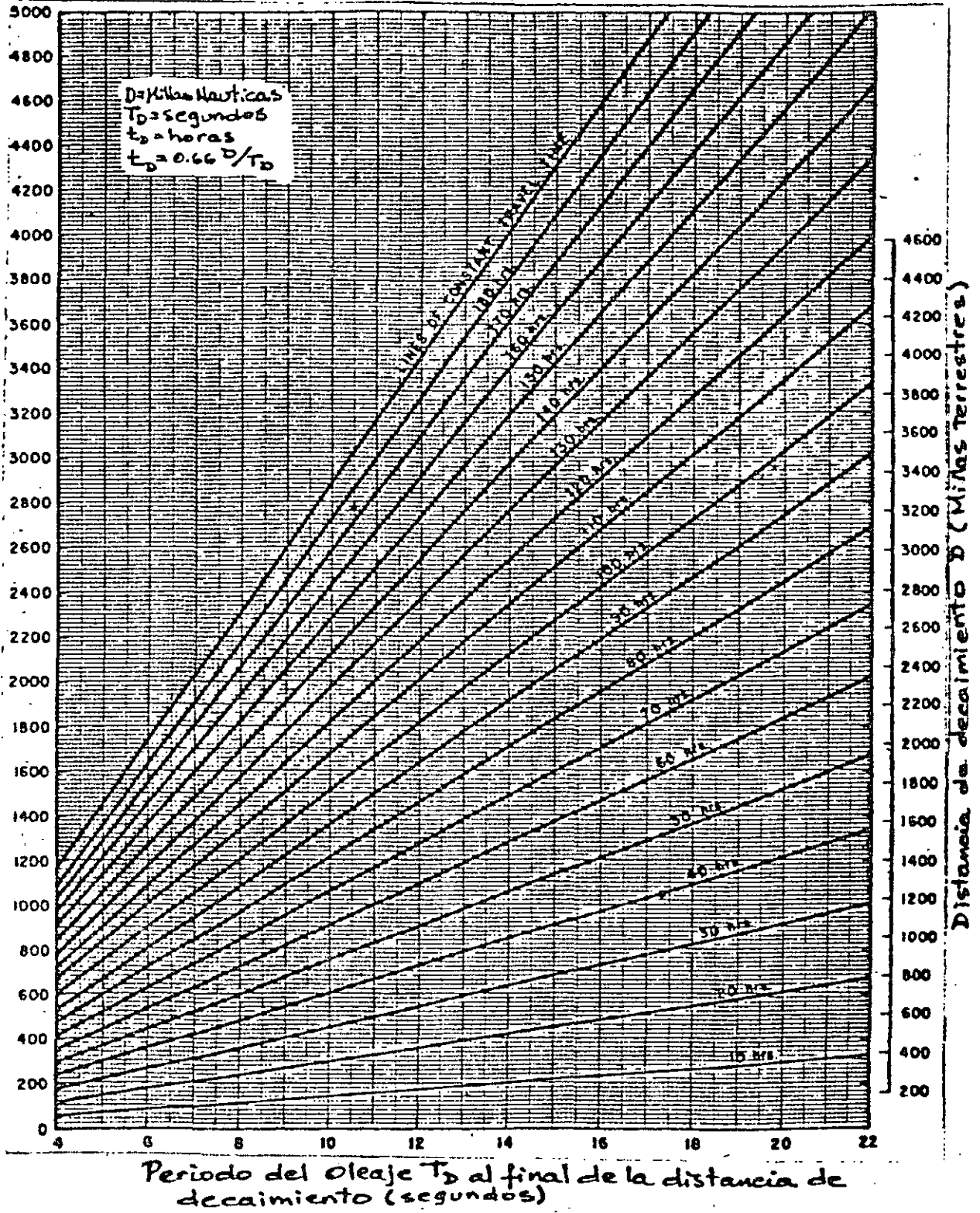
Después de que las olas han dejado la zona de generación, generalmente siguen una trayectoria circular hacia la costa, dicha trayectoria circular tiene un radio muy grande por lo que se obtiene una buena aproximación si se considera una trayectoria rectilínea. La distancia de decaimiento ( $D$ ) se determina midiendo la distancia recta, entre el frente del Fetch y el punto de interés. Si el punto de interés se localiza en la costa, será necesario considerar los efectos del fondo, refracción, fricción y percolación que se presentan en la translación de la ola desde el límite de aguas profundas hasta la costa.

...



Gráfica 6.- Curvas de Decaimiento.





Gráfica 6.- Tiempo de translación del Swell basado en  $T_D = D/Cg$ .

$$\frac{ST}{2\pi U} 1.2 \tanh h \left[ 0.833 \left( \frac{R_d}{U^2} \right)^{0.375} \right] \tanh h \left\{ \frac{0.077}{\tanh h [0.833} \right.$$

$$\left. \frac{\left( \frac{SF}{U^2} \right)^{0.25}}{\left( \frac{SF}{U^2} \right)^{0.375}} \right\} \dots \dots \dots (1.105)$$

2.- OLEAJE CICLONICO

Los ciclones se forman debido a que en algún lugar - sobre el mar, una gran masa de aire aumenta su temperatura debido al calor del agua y a la acción de los rayos solares. Esta enorme masa de aire, disminuye su densidad y sube rápidamente cuyo hueco dejado es ocupado por aire de menor temperatura que se precipita. Las fuerzas de Coriolis hacen que el sistema empiece a girar. Este movimiento se acelera y el aire que asciende, al enfriarse, produce lluvias torrenciales. Finalmente, la fuerza centrífuga tiende a arrojar el aire hacia afuera que se equilibra con la presión del aire que tiende a precipitarse hacia adentro. Esto resulta en una formación de tipo cilíndrico, cuyas paredes se han endurecido e impiden la entrada del aire al centro. Este es el ojo del huracán, que usualmente tiene entre tres y treinta kilómetros de diámetro en el que se presenta calma absoluta.

Los ciclones rara vez se originan cerca de 5 ó 6 grados de latitud y con mayor frecuencia en latitudes entre 10 y 20 grados.

Las isobaras presentan el aspecto de una elipse cuyos ejes tienen relación de 2 a 3 partes y con el eje mayor en la dirección en que se trasladan.

En el Hemisferio Norte, la dirección del viento es - del orden de 30° tangente a las isobaras y con movimiento contrario a las manecillas del reloj. En sus inicios ge-

#### 1.2.4 PREDICCIÓN DEL OLEAJE EN AGUAS BAJAS

##### a) Curvas de Predicción.

El tirante del agua afecta la generación del oleaje de tal suerte que en aguas bajas o intermedias la altura y período del oleaje resulta menor que el que se obtendrá en condiciones similares en aguas profundas.

Actualmente no se ha publicado algún método teórico que permita el cálculo de las olas generadas por viento - que actúa en aguas relativamente bajas.

El método que se describe a continuación se apoyó en los mismos procedimientos para la predicción del oleaje - en aguas profundas ( 1.2.2 ) y las pérdidas de energía - que se presentan, debido a la fricción en el fondo y la - percolación se determinan con las relaciones desarrolladas por Bretschneider y Reid (1953).

La selección de un factor de fricción por el fondo,  $f_f$ , que se utiliza en las técnicas de predicción, está en función del criterio personal. Un valor de  $f_f = 0.01$  se ha utilizado para obtener las gráficas 8 , 9 , 10 , -- 11 , 12, 13, 14 , 15 , 16 y 17 que se utilizan para predecir el oleaje en aguas bajas o intermedias con tirante constante. Estas curvas están determinadas por las - ecuaciones:

$$\frac{S_H}{U^2} = 0.283 \tan h \left[ 0.530 \left( \frac{S_d}{U^2} \right)^{0.75} \right] \tan h \left\{ \frac{0.0125}{\tan h [0.530} \right.$$

$$\left. \frac{\left( \frac{S_F}{U^2} \right)^{0.42}}{\left( \frac{S_d}{U^2} \right)^{0.75}} \right\} \dots \dots \dots (1.104)$$

neralmente se trasladan hacia el Oeste y luego hacia el Noreste. Su velocidad de desplazamiento varía desde prácticamente cero, en el lugar de inflexión, en donde cambia su trayectoria con velocidades hasta de 300 km/día.

Los huracanes son ciclones tropicales en los cuales los vientos alcanzan velocidades de 120 km/hora o mayores y soplan en una gran espiral alrededor de un centro relativamente calmado. Están asociados con un centro de muy baja presión atmosférica y un fuerte gradiente de presiones que ocasiona dichos vientos de gran velocidad. El término huracán propiamente dicho, sólo es aplicable a aquellas tormentas tropicales que se originan en el océano Atlántico Norte Subtropical, entre África y las Antillas y a los que se generan cerca de la costa occidental de México. Los huracanes del mismo tipo son llamados Tifones en el Pacífico Norte y Occidental, así como en el Mar de China; Baguios en la Filipinas y Ciclones Tropicales en el Océano Indico, Bahía de Bengala y Mar Árabe.

Los efectos mas sensibles que provocan el paso de un ciclón cerca de la costa son los siguientes:

- a) Una sobreelevación del nivel del mar denominada Marea de Tormenta.
- b) Formación de oleaje con características extraordinarias, denominado Oleaje Ciclónico.

## 2.1 TECNICA DE PREDICCIÓN DEL OLEAJE CICLÓNICO.

La determinación del Fetch y la duración es mas difícil que para condiciones normales del clima. Los cambios sustanciales en la velocidad y dirección del viento tanto

en posición como en tiempo provocan dicha dificultad.

En los huracanes, las áreas del Fetch, en las cuales la velocidad y dirección del viento son razonablemente -- constantes, son muy pequeñas y nunca se alcanza un "mar - completamente desarrollado".

Se han propuesto muchos modelos matemáticos para el estudio de los huracanes, sin embargo cada uno se ha diseñado para simular algún aspecto de éste fenómeno y no existen suficientes datos para determinar el mejor modelo para todos los posibles propósitos de aplicación.

Para un huracán que se mueve lentamente, se sugiere aplicar las siguientes fórmulas a fin de obtener una estimación de la altura de la ola significativa en aguas profundas y el período en el punto de máxima velocidad del viento.

$$H_o = 16.5 e^{\frac{R \Delta P}{100}} \left[ 1 + \frac{0.208 \alpha V_E}{\sqrt{U_R}} \right] \dots (1.106)$$

$$T_s = 8.6 e^{\frac{R \Delta P}{200}} \left[ 1 + \frac{0.104 \alpha V_E}{\sqrt{U_R}} \right] \dots (1.107)$$

Donde

$H_o$  = Altura de la ola significativa en aguas profundas, en pies.

$T_s$  = El correspondiente período de la ola significativa, en segundos.

$R$  = Radio de los vientos máximos, en millas náuticas.

$\Delta p$  =  $P_n - P_o$ , donde  $P_n$  es la presión normal de ---  
29.92 pulgadas de mercurio y  $P_o$  es la presión  
en el centro del huracán, en pulgadas de mer-  
curio.

$V_F$  = Velocidad de translación del huracán, en nu-  
dos.

$U_R$  = Velocidad máxima sostenida del viento, en nu-  
dos, calculada para 30 pies sobre el nivel --  
medio del mar en el radio R, donde:

$$U_R = 0.865 U_{\text{máx}} \text{ (para huracanes estaciona--} \\ \text{rios) . . . . . (1.108)}$$

$$U_R = 0.865 U_{\text{máx}} + 0.5 V_F \text{ (para huracanes en} \\ \text{movimiento) . . . . . (1.109)}$$

$U_{\text{max}}$  = Velocidad máxima del viento de gradiente, en  
nudos, a 30 pies sobre el nivel del mar.

$$U_{\text{max}} = 0.868 \{ 73 (P_n - P_o)^{1/2} - R(0.575f) \} \text{ . . . (1.110)}$$

$f$  = Parámetro de Coriolís =  $2W \text{ sen } \phi$ , donde  $W$ ,  
velocidad angular de la tierra =  $2\pi/24$  ra-  
dianes por hora.

Latitud ( $\phi$ )	25°	30°	35°	40°
$f$ (rad/hr)	0.221	0.262	0.300	0.337

$\alpha$  = Coeficiente que depende de la velocidad de --  
avance del huracán y del incremento de la lon-  
gitud del Fetch efectivo debido a que el hura-  
cán se encuentra en movimiento. Para huraca-  
nes moviéndose lentamente, se sugiere adoptar  
 $\alpha = 1.0$ ,

Una vez que se calcula  $H_o$  en el punto de viento máximo (aplicando la ecuación 1.106 , también es posible obtener aproximadamente la altura de la ola significativa en aguas profundas en otras zonas del huracán utilizando la gráfica 18.

El correspondiente período de la ola se puede obtener de manera aproximada aplicando la siguiente ecuación:

$$T = 2.13 \sqrt{H_o} \quad (\text{en segundos})$$

Dónde  $H_o$  esta dado en pies (obtenido de datos empíricos que muestran que la relación de esbeltez de la ola --  $H/T^2$  será de 0.22).

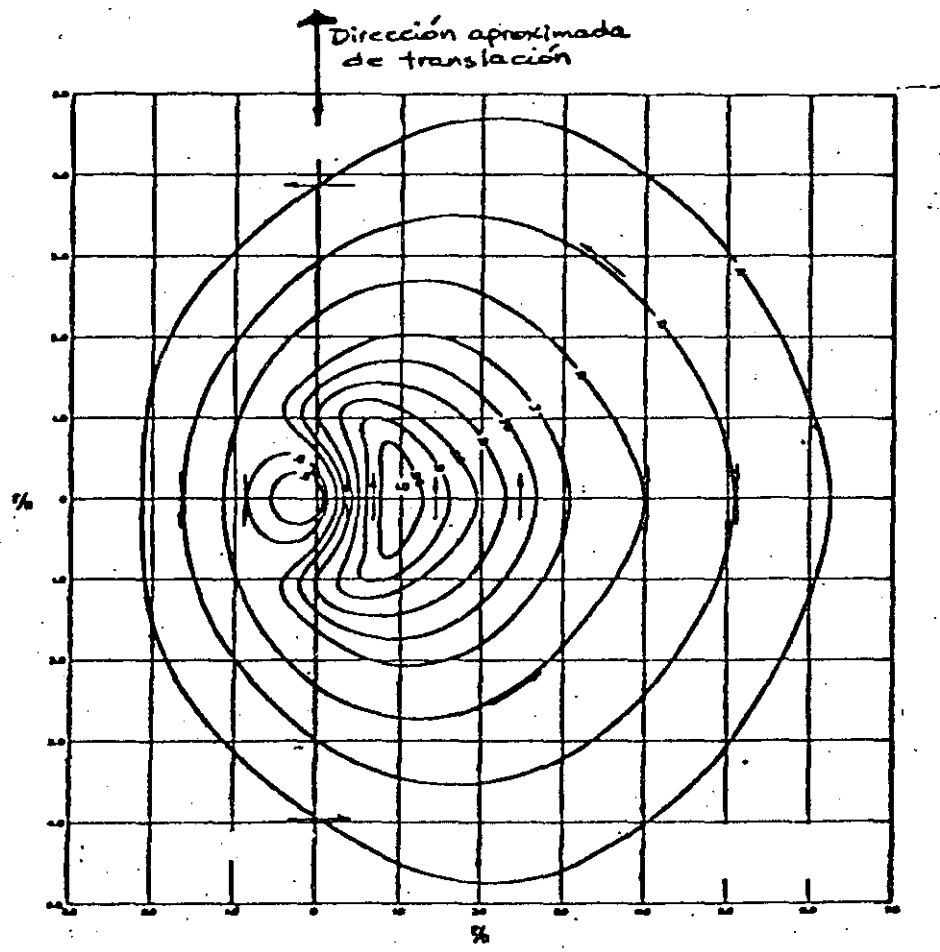
### 3. OLEAJE ESTADISTICO Y PROBABILISTICO

Es necesario el conocimiento del oleaje para el diseño de las obras marítimas a fin de calcularlas para soportar los efectos del mismo.

El estudio del conocimiento del oleaje lo podemos dividir en dos clases, el correspondiente al régimen de oleaje normal y el que se refiere al oleaje extraordinario o ciclónico.

El segundo requiere del análisis de las cartas sinópticas del tiempo y la aplicación de técnicas de predicción descritas en incisos precedentes.

Con relación al régimen de oleaje normal buscamos la ley que nos defina el porcentaje de tiempo que la altura de la ola excede un cierto valor.



Las flechas indican la dirección aproximada de propagación del oleaje

$R$  = Distancia radial a la ola significativa máxima

$r$  = Distancia radial al punto de interés.

Gráfica 18 .- Isolíneas de la relativa altura de la ola significativa para un huracán que se traslada lentamente.



### 3.1 REGIMEN DE OLEAJE NORMAL

Para contar con datos representativos es necesario - disponer de observaciones puntuales en el lugar de interés a través de campañas directas o registros del oleaje mediante equipos oceanográficos de medición.

La posibilidad de que el régimen de oleaje sea direccional y no meramente escalar, depende de que el método - de registro sea capaz de discriminar direcciones.

En caso de no existir información proveniente de campañas o estaciones de medición, es posible recurrir a --- fuentes como el "Atlas of Sea and Swell" publicado por la U. S. Naval Oceanographic Office de los Estados Unidos de Norteamérica, la cuál presenta las estadísticas de obser- vaciones realizadas por buques de líneas regulares y per- tenecientes a la marina en diferentes zonas perfectamente bien localizadas. También existen otras fuentes como el "Ocean Waves Statistics" en el cual se presentan las fre- cuencias de oleaje para diferentes rangos de altura y pe- ríodos, por estaciones y anualmente, en doce direcciones.

De acuerdo con el tipo de olas que se generan en un cuerpo de agua expuesto a la acción del viento, se obser- va que generalmente se presentan olas con alturas y perío- dos diferentes unos de otros.

Un registro típico del perfil del oleaje indica que- las alturas y períodos del oleaje real no son constantes, como se considera en la teoría, y las longitudes y direc- ciones de propagación también son variables. Debido a - que este prototipo es tan complejo, es necesario recurrir a alguna idealización.

En incisos anteriores se mencionaron los parámetros "altura de ola significativa" y "período significativo de la ola" que representan las características de oleaje real de manera monocromática.

La representación del oleaje por medio de la altura y período significativo tiene la ventaja de poder aplicar muchas de las teorías sobre el oleaje y se ha encontrado con una representación adecuada en la solución de muchos de los problemas de ingeniería costera.

Para aplicar el concepto de "ola significativa" es necesario definir los parámetros de altura y período a partir de observaciones del oleaje.

Munk (1944) definió la "altura de ola significativa" como la altura promedio del tercio mayor de un grupo de olas y resulta ser aproximadamente igual al promedio de las alturas de olas que reporta un observador experimentado. Para calcularla, se realiza el siguiente procedimiento: Un conjunto de olas registradas se divide en tres grupos de igual número de olas según su altura y la altura promedio del grupo de olas más altas constituye dicha altura de ola significativa, representándose por  $H_{1/3}$  o simplemente  $H_s$ .

El período de la ola significativa se puede obtener por medio de observaciones visuales del oleaje y resulta ser el período promedio de 10 a 15 olas prominentes y sucesivas. Cuando se determina a partir de registros del oleaje, el período de la ola significativa es una estimación subjetiva, y se calcula al obtener el período promedio de todas

las olas con valles que están por abajo del nivel medio - y crestas por encima de dicho nivel medio.

### 3.1.1 DETERMINACION DE LA ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE POR MEDIO DE LAS CARTAS DEL "SEA AND SWELL".

Las cartas de registro del oleaje se han diferen---  
ciado en dos tipos , SEA y SWELL, presentando el resumen  
de observaciones por meses y zonas, y dentro de cada zona  
por una rosa de oleaje. Cada rosa consta de ocho direc---  
ciones representándose para cada una de ellas la distribu  
ción de alturas observadas reducidas al mes respectivo. -  
La distribución de alturas se hace partiendo de interva---  
los (por ejemplo: 1 pie, 1-3 pies, 3-5 pies, 9-12 pies y  
12 pies), asimilando en cada intervalo un porcentaje que  
indica el tiempo para cada mes en el cual se presenta un  
oleaje (SEA o SWELL) cuya altura de ola significativa esta  
incluida en el intervalo y cuya dirección es la represen  
tada por la flecha correspondiente.

Por oleaje local (SEA) se refiere a las olas genera  
das por vientos locales soplando sobre la superficie del  
mar, las que son generalmente de períodos cortos y de al  
turas pequeñas, dando la apariencia de una superficie ---  
irregular, rápidamente cambiante, que se desplaza en la -  
misma dirección en la que sopla el viento generador. El  
oleaje distante (SWELL) se refiere a las olas que han ---  
avanzado mas allá de la influencia de los vientos genera  
dores. Comparativamente con el tipo anterior, éstas son  
de mayor período y altura, mas uniformes y su dirección -  
no esta asociada a la del viento en el sitio de observa  
ción.

### 3.2 OLEAJE PROBABILISTICO

Cuando las alturas de olas individuales de un registro de varias olas se clasifican de mayor a menor, la frecuencia de ocurrencia de las olas mayores que una cierta altura arbitraria se puede determinar con una buena aproximación por medio de la forma acumulativa de la distribución de Rayleigh.

De acuerdo con la función de distribución de Rayleigh la probabilidad que esa altura de ola  $H$  sea mayor que un valor arbitrario  $\hat{H}$  esta dada por:

$$P(H > \hat{H}) = e^{-\left(\frac{\hat{H}}{H_{rms}}\right)^2} \dots \dots \dots (1.111)$$

Donde  $H_{rms}$  es un parámetro de la distribución y  $P(H > \hat{H})$  es el número "n" de olas mayores que " $\hat{H}$ " dividido entre el número total de olas "N" que se tomaron en cuenta del registro. Por lo tanto "P" tiene la forma  $n/N$ . El valor  $H_{rms}$  se le denomina "la altura de la raíz cuadrada media" y se define por:

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N H_j^2} \dots \dots \dots (1.112)$$

Sustituyendo este valor en la ecuación que define la energía total por longitud de onda, resulta al considerar la energía total por unidad de área:

$$(\bar{E})_A = \frac{\rho g}{8} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N H_j^2 \dots \dots \dots (1.113)$$

$E$  = energía

$N$  = número de olas

$g$  = aceleración de la gravedad

$\rho$  = densidad del agua

$H$  = altura de ola individual

Donde  $H_j$  es la altura de las olas individuales sucesivas, y  $(\bar{E})_A$  es la energía promedio por unidad de superficie de todas las olas consideradas. Por lo tanto,  $H_{rms}$  es una medida de la energía promedio del oleaje. El cálculo de  $H_{rms}$  por medio de la ecuación 1.112 es menor subjetivo que el cálculo directo de  $H_s$  debido a que se le imprime mayor énfasis en las olas mayores y mejor definidas. El cálculo puede ser mas objetivo si se sustituye  $n/N$  por

$P(H > \hat{H})$  en la ecuación (1.111) y tomando logaritmos naturales en ambos miembros de dicha ecuación se obtiene:

$$\ln(n) = \ln(N) - (H_{rms}^{-2}) \hat{H}^2$$

Sustituyendo:

$$y(n) = \ln(n)$$

$$a = \ln(N)$$

$$b = -H_{rms}^{-2}$$

$$x(n) = \hat{H}^2(n)$$

La ecuación queda:

$$y(n) = a + b x(n) \dots \dots \dots (1.114)$$

Las constantes  $a$  y  $b$  se pueden determinar gráficamente o dibujando una línea de regresión de las observaciones. Los parámetros  $N$  y  $H_{rms}$  se pueden calcular a partir de  $a$  y  $b$ . El valor de  $N$  encontrado de esta manera es el valor que proporciona la mejor adaptación entre la distribución de las olas identificadas y la función de distribución de Rayleigh que es generalmente un poco mayor que el número de olas realmente identificadas en el registro.

Lo anterior parece razonable ya que algunas olas muy pequeñas generalmente se desprecian al interpretar el registro.

La ecuación (1.111) puede establecerse rigurosamente para condiciones restrictivas y empíricamente para un rango de condiciones mucho más amplio.

Si la ecuación (1.111) se acepta como una ley exacta, la función de densidad de probabilidad puede obtenerse en la forma:

$$f [(\hat{H} - \Delta H) \leq H \leq (\hat{H} + \Delta H)] = (H_{rms}^2) H e^{-\left(\frac{\hat{H}}{H_{rms}}\right)^2} \dots (1.115)$$

La altura de la ola con cualquier probabilidad dada  $n/N$  de ser excedida puede determinarse aproximadamente -- por la curva "a" de la figura siguiente o por medio de la ecuación siguiente:

$$\left(\frac{\hat{H}}{H_{rms}}\right) = \left[-\ln \left(\frac{n}{N}\right)\right]^{1/2} \dots (1.116)$$

La altura promedio de todas las olas con alturas mayores que  $\hat{H}$  ( $H$ ) se puede obtener con la siguiente ecuación.

$$\bar{H}(\hat{H}) = \frac{\int_{\hat{H}}^{\infty} H^2 e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} dh}{\int_{\hat{H}}^{\infty} H e^{-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2} dh} \dots (1.117)$$

O por medio de la curva "b" de la figura mencionada. Haciendo  $\hat{H} = 0$ , todas las olas son consideradas, y se deduce que la altura promedio de las olas es:

$$\bar{H} = 0.886 H_{rms} \dots (1.118)$$

Y la altura de la ola significativa es:

$$H_s = 1.416 H_{rms} \approx \sqrt{2} H_{rms} \dots (1.119)$$

#### 4.- REFRACCION, DIFRACCION Y REFLEXION

##### 4.1 REFRACCION DEL OLEAJE

El fenómeno de refracción del oleaje tiene una influencia significativa en la altura de la ola y distribución de la energía del oleaje a lo largo de la costa.

Cuando una ola en movimiento cambia de dirección por la presencia del fondo marino, en aguas bajas, se presenta el proceso de refracción.

La parte de la onda que se encuentra en aguas profundas se mueve con mayor velocidad que aquella que se encuentra en aguas bajas originando que el frente se flexione de tal forma que trata de tomar el alineamiento de la batimetría existentes.

Existen diversos métodos de análisis de refracción del oleaje. Estos métodos los podemos clasificar en 2 grandes grupos: Analíticos y Gráficos.

Todos los métodos de refracción están basados en el principio de la Ley de Snell.

El método analítico consiste en la aplicación directa de esta ley.



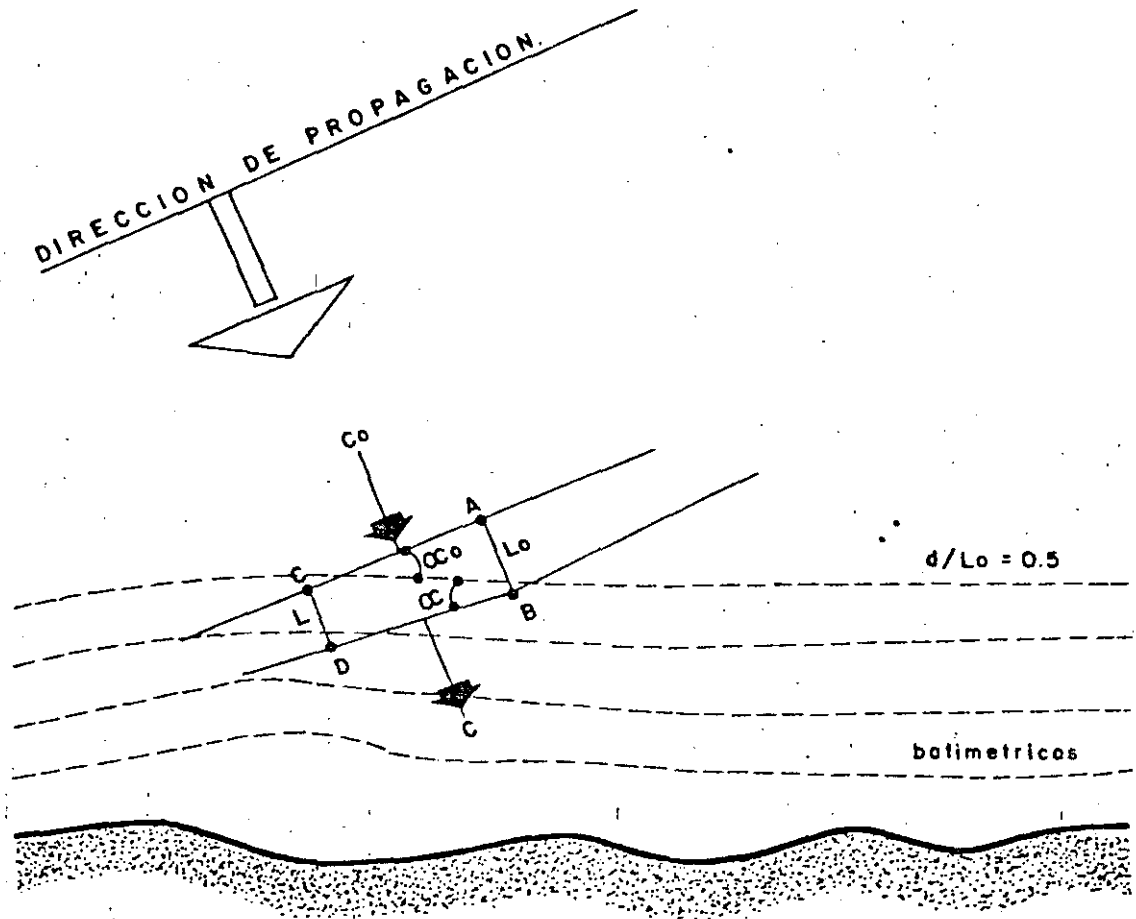


Fig. 6.- Propagación del oleaje con un ángulo de incidencia al pasar sobre el límite de aguas profundas.

Las hipótesis de partida son las siguientes:

- 1.- La energía comprendida entre dos ortogonales permanece constante (ortogonal es la línea que se dibuja perpendicularmente a las crestas y se prolongan en la misma dirección de la ola).
- 2.- La dirección del avance de una ola es perpendicular a la cresta de la misma.
- 3.- La celeridad de una ola de período determinado solamente depende de la profundidad.
- 4.- Los cambios en la topografía del fondo son graduales.
- 5.- Las olas son de cresta indefinida, período constante y pequeña amplitud.
- 6.- Los efectos debidos a las corrientes, vientos y reflexiones que inciden en las playas se desprecian.

Como podemos observar en la fig. No. 6, existe un punto en la cresta de ola que se desplaza en aguas profundas con una celeridad  $C_0$ , desde el punto A al B en un tiempo  $t$  una distancia  $L_0$ . Otro punto en la cresta viajará del punto C al D la distancia  $L$ , en el mismo tiempo  $t$ .  $CD$  es menor que  $AB$  debido a que  $C_d < C_0$ . Como la hipotenusa de estos triángulos rectángulos es la misma, es to es,  $BC$  se observa que:

$$\frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \alpha_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tan \frac{2\pi d}{L}$$

Donde:

- $\alpha^{\circ}$  = Es el ángulo que forma una normal a la ortogonal con la curva batimétrica sobre la cual ha pasado.
- $\alpha$  = Es un ángulo similar al anterior, pero medido cuando la ortogonal ha cruzado la siguiente curva batimétrica.
- $C_0$  = Es la celeridad de la ola para la profundidad de la primera curva batimétrica.
- $C$  = Es la celeridad de la ola para la profundidad de la segunda curva batimétrica.

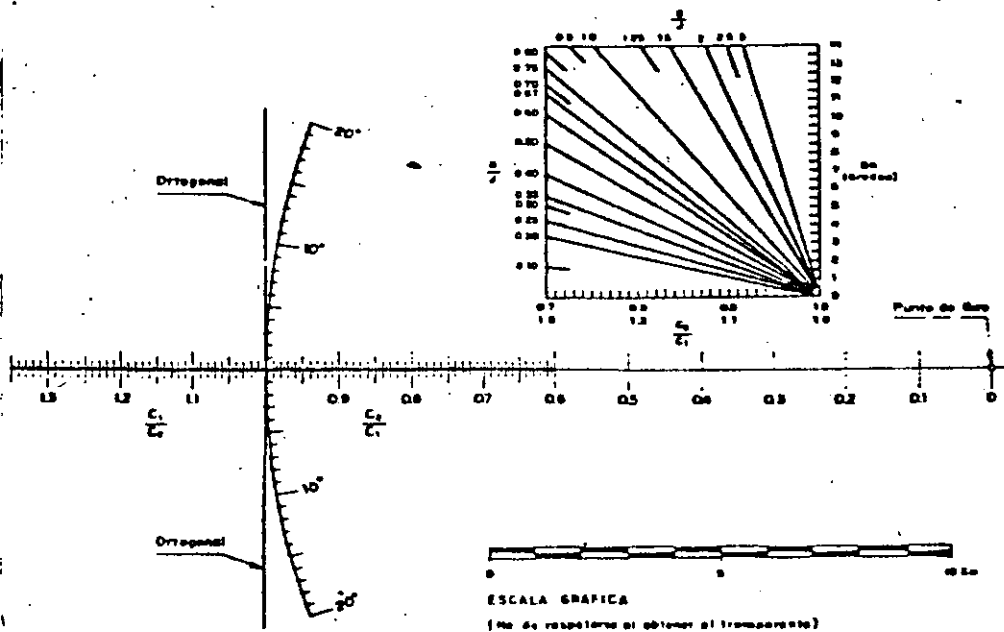


Fig. No. 7.- Patrón de Refracción.

El fenómeno de la refracción puede tratarse analíticamente en una playa sensiblemente recta con la batimetría paralela a la línea de playa, empleando la Ley de Snell.

$$\text{sen } \alpha = \frac{C}{C_0} \text{ sen } \alpha_0$$

La potencia transmitida por un tren de olas en la Teoría Lineal está dada por:

$$P = \frac{C_g b H^2 \delta}{8}$$

Se considera que la energía no fluye lateralmente a lo largo de la cresta de la ola, por lo tanto, la misma potencia debe transmitirse a todas las posiciones entre las dos ortogonales, entonces:

$$P = P_0$$

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} \sqrt{\frac{b_0}{b}}$$

Donde:

$$\sqrt{\frac{b_0}{b}} = \text{Coeficiente de refracción } K_r$$

$$\sqrt{\frac{C_{g0}}{C_g}} = \text{Coeficiente de fondo } K_s \delta \frac{H}{H_0}$$

$b$  = Distancia en un punto determinado entre dos ortogonales consecutivas, -- también denominado ancho del canal de energía.

$b_0$  = Ancho del canal de energía en aguas profundas.

$H_0$  = Altura de la ola en aguas profundas equivalente a la observada en aguas bajas si no está afectada por la refracción y fricción.

Por lo tanto:

$$H = H_0 K_s K_r$$

El valor de  $K_r$  puede calcularse de la siguiente expresión:

$$\frac{b_0}{\sin \alpha_0} = \frac{b}{\sin \alpha}$$

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

Donde  $\alpha = \arcsin \left( \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 \right)$

Para la construcción gráfica de los diagramas de refracción existen dos métodos: el de los frentes de olas y el de las ortogonales.

El método de los frentes de olas, es esencialmente un plano que muestra las crestas de las olas en un tiempo dado o las posiciones sucesivas de una cresta en partículas mientras se mueve hacia la costa. Un segundo conjunto de líneas siempre perpendiculares a las crestas se construye en el plano; estas líneas se conocen como "ortogonales".

En el método de las ortogonales, éstas se dibujan directamente sobre el plano.

### Método de Frentes de Olas.

Este método se utiliza por la sencillez para trazar los frentes de olas. Se apoya en la construcción de -- una regleta, la cual relaciona los avances de los frentes de las olas a distintas profundidades ligadas a través de la relación  $d/L_0$  como lo muestra la figura No. 8.

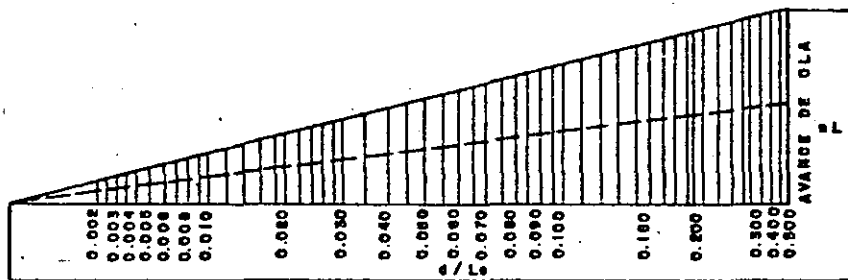


Fig. No. 8.- Regleta utilizada para la elaboración de diagramas de refracción.

En aguas profundas, el movimiento de las crestas de las olas es paralelo, mientras que en aguas intermedias y bajas, la reducción en la velocidad produce que la cresta se curve en la dirección en la que disminuye el ángulo entre la cresta y la batimetría correspondiente.

Generalmente es posible empezar la construcción de los diagramas de refracción desde frentes de olas rectos en una profundidad igual a la mitad de la longitud de la ola en aguas profundas.

La forma inicial de la ola es una línea recta en la zona de aguas profundas. La construcción gráfica de un diagrama de refracción se ejecuta moviendo cada punto de la cresta en una dirección perpendicular a la misma. La fig. No. 8 muestra una regleta; este avance corresponde a  $nL$ , en donde  $n$  indica el número de longitudes de ola que se repiten entre cada frente dibujado y el cual depende de la escala del plano y de la complejidad de la batimetría; debe tomarse en consideración, que el avance  $nL$  no resulte muy grande o muy pequeño, pues en el primer caso la influencia del fondo no es distinguible y en el segundo, se hace laborioso el dibujo. El valor de  $n$  se puede conocer de la siguiente relación:

$$n = 0.0163 \quad s/T^2$$

Donde:

$s$  = Escala del plano

$T$  = Período de la ola (seg).

En la práctica común, el tamaño del cateto menor de la regleta ( $nL$ ) es del orden de los 2.5 a 4 cm y el del cateto mayor de 15 a 20 cm, dimensiones tales que permitan manipular fácilmente y ejecutar lecturas sin dificultad.

Procedimiento para la construcción de la regleta -- utilizada para la elaboración de planos de olas.

La regleta se construye en material transparente -- como papel albanene o material plástico. El cateto mayor contiene toda la variación de la relación  $d/L_0$  desde la zona de aguas bajas hasta el límite de aguas profundas, es decir, desde 0.0 hasta 0.5, lo cual es cierto para cualquier escala del plano.

El valor de  $nL$  máximo corresponde para el límite de aguas profundas y entonces se denomina  $nL_0$ .

Para la colocación de los valores de  $d/L_0$  se prosigue como se indica a continuación:

Se tabulan diferentes valores de  $d/L_0$  desde 0.5 a 0 y se obtienen los correspondientes de  $\tan h \frac{2\pi d}{L}$ , los cuales se multiplicarán por la longitud del cateto mayor determinado así, la distancia a partir del origen a la que debe colocarse un determinado valor de  $d/L_0$ .

$d/L_0$	$\tan h \frac{2\pi d}{L}$	$l$ (cm)	$X$ (cm)
0.5	0.9964	15	15
0.3	0.9611	15	14.42
0.15	0.8183	15	12.27
0.09	0.6808	15	10.21
0.05	0.5310	15	7.97
0.01	0.2480	15	3.72
0.002	0.1119	15	1.68



Procedimiento constructivo de un plano de olas por el método de los frentes de olas.

Es necesario contar con:

- a) Batimetría del lugar.
- b) Direcciones y períodos del oleaje en el lugar.
- c) Regleta para trazar diagramas de refracción.

Pasos a seguir:

- 1.- Determinar el límite de aguas profundas  $\frac{d}{L_0} = 0.5$ .
- 2.- Determinar las relaciones  $d/L_0$  para facilitar el trazo del diagrama y anotarla en cada batimétrica.
- 3.- Trazar el frente de ola en el límite de aguas profundas o detrás de éste en la dirección a estudiar, con el avance determinado en la regleta hasta encontrar el límite de aguas profundas.
- 4.- Dividir el frente de ola en el límite de aguas profundas en segmentos de tamaño  $b_0$ .
- 5.- Colocar la regleta por el lado de los valores de  $d/L_0$  haciéndolo coincidir tangencialmente con el último frente de ola.
- 6.- Se hace coincidir a la batimétrica más cercana con su correspondiente de  $d/L_0$  en la línea punteada de la regleta, determinando el avance correspondiente sobre la hipotenusa de la regleta.

- 7.- Deslizar la regleta sobre el mismo frente de ola -- hasta intersectar nuevamente la misma batimétrica - del punto anterior o una inmediata para determinar otro avance.
- 8.- Se repite la operación las veces que sea necesario y mediante la unión de los puntos marcados, obtener el frente de ola.
- 9.- A partir de los valores que tiene el frente en el límite de aguas profundas, se trazan ortogonales en esos puntos y se prolongan hasta la mitad de la distancia entre cada frente de ola.
- 10.- Se coloca la regleta sobre el nuevo frente de ola - procurando hacer coincidir el lado mayor de la regleta con el frente de ola, de no ser posible debido a que este nuevo frente tenga una configuración muy irregular, se coloca la regleta en el punto sobre el frente que se quiere dar al avance, tangencialmente al punto, alineando para ello el valor correspondiente en la escala d/Lo y el punto en cuestión, con el extremo de la ortogonal que se encuentra a la mitad de la distancia entre el frente anterior y éste y repitiendo los pasos 6, 7 y 8 se obtiene un nuevo frente ola.
- 11.- Se unen con una línea recta al punto sobre el frente del cual se obtuvo el nuevo avance con el extremo de la ortogonal anterior y se prolonga hasta la mitad de la distancia entre este frente y el que se acaba de definir.
- 12.- Se repite todo el proceso hasta encontrar la última batimétrica.

En algunas ocasiones se cuenta con la batimetría de tallada de la zona en estudio, por lo cual es necesario conocer más exactamente el comportamiento del oleaje en esa zona por efecto de la refracción, para lo cual se -- translada a la nueva escala del plano batimétrico de tallado al último frente de ola antes de entrar a la zona batimétrica detallada; este frente, tiene definido un -- coeficiente de refracción  $K'r$ . Se procede a dividir el frente en segmento de longitud  $b_0$  y se repiten los pasos del 5 al 12 para obtener otros valores  $K'r$  del coeficiente de refracción en los canales de energía que se han de finido ahora, por lo cual la altura de la ola en un punto A de la zona en estudio está dada por:

$$H_A = H_0 K_s K'r K''r$$

### Difracción.

Cuando el oleaje encuentra un obstáculo que se interpone en su propagación, se lleva a cabo un fenómeno -- de transferencia de la energía de unas zonas a otras llamado "difracción".

Los obstáculos pueden ser naturales o artificiales, como pueden ser diques, islas, rompeolas, etc.

### Hipótesis de Partida:

- 1.- El agua es un fluido ideal, incompresible y no viscoso.
- 2.- Las olas son de pequeña amplitud y pueden describirse con la teoría lineal del oleaje.

El estudio de la difracción, por tratarse de un movimiento ondulatorio, puede llevarse a cabo por métodos matemáticos muy complicados. Uno de éstos métodos se debió a H Lacombe, y es de una generalización del principio de Huyghens.

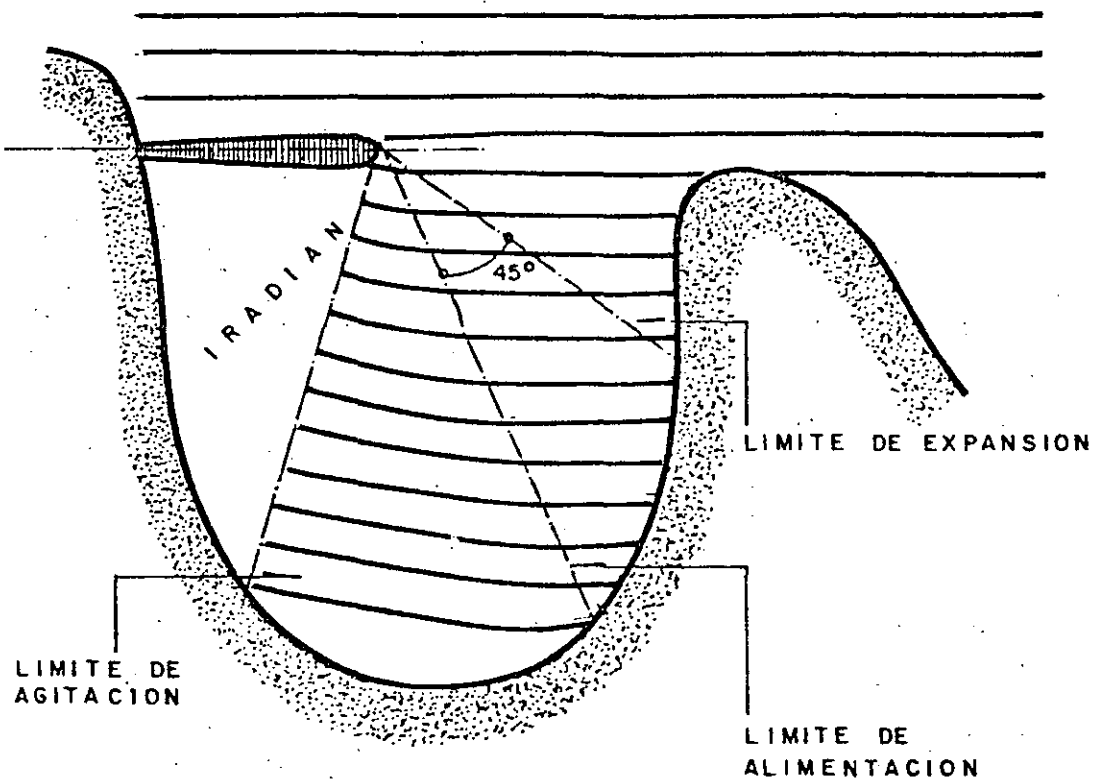


Fig. No. 10.- Límites de Difracción

Se puede considerar que las crestas de las olas difractadas son círculos concéntricos al morro del rompeolas y están separadas entre sí con múltiplos de longitudes de onda  $L$ .

La relación que existe entre la altura de la ola en el área afectada por la difracción y la altura de ola incidente se conoce como "Coeficiente de Difracción"  $K'$ ; - esto es:

$$K' = \frac{H_d}{H_i}$$

Donde:

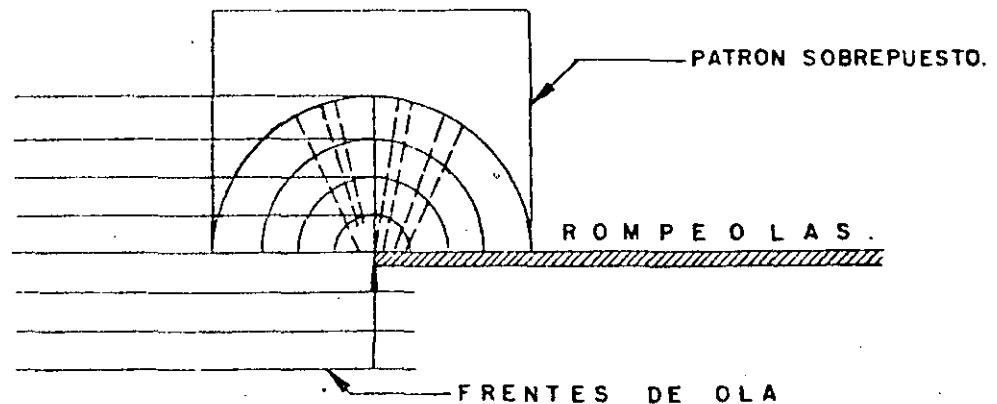
$K'$  = Coeficiente de difracción.

$H_d$  = Altura de la ola difractada.

$H_i$  = Altura de ola incidente.

#### Método Gráfico.

De la solución matemática de Wiegel se han elaborado los llamados diagramas de difracción. Estos muestran curvas de igual reducción de altura de la ola y están -- presentadas en forma adimensional, de tal manera que pueden utilizarse para cualquier condición de período de oleaje y -- profundidad, para lo cual bastará con sobreponer una ampliación -- o reducción de la figura al plano del problema en estudio.



### Difracción del Oleaje en un Rompeolas Sencillo.

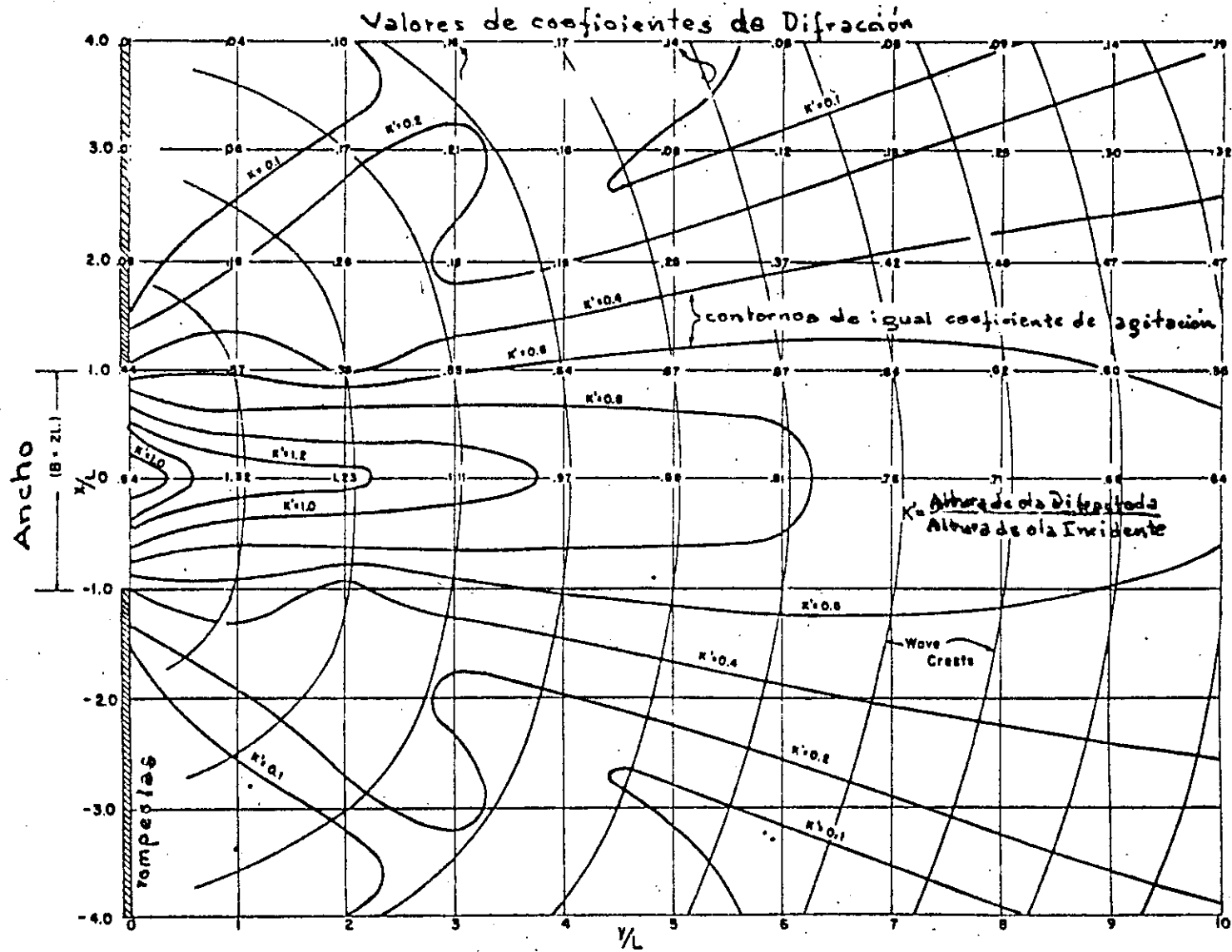
Para la utilización de los diagramas de difracción a problemas reales, obtendremos la longitud de la ola -- "L", de acuerdo a la profundidad "d" a la que se encuentra el morro de la estructura. Se seleccionará el diagrama de difracción correspondiente al ángulo que forma la incidencia del oleaje con el rompeolas.

El diagrama tendrá que ampliarse o reducirse a una escala conveniente sobre un material transparente. Se coloca el origen del diagrama sobre el morro de la estructura determinando así los diferentes valores de  $K'$  según la zona del diagrama en la que se encuentren.

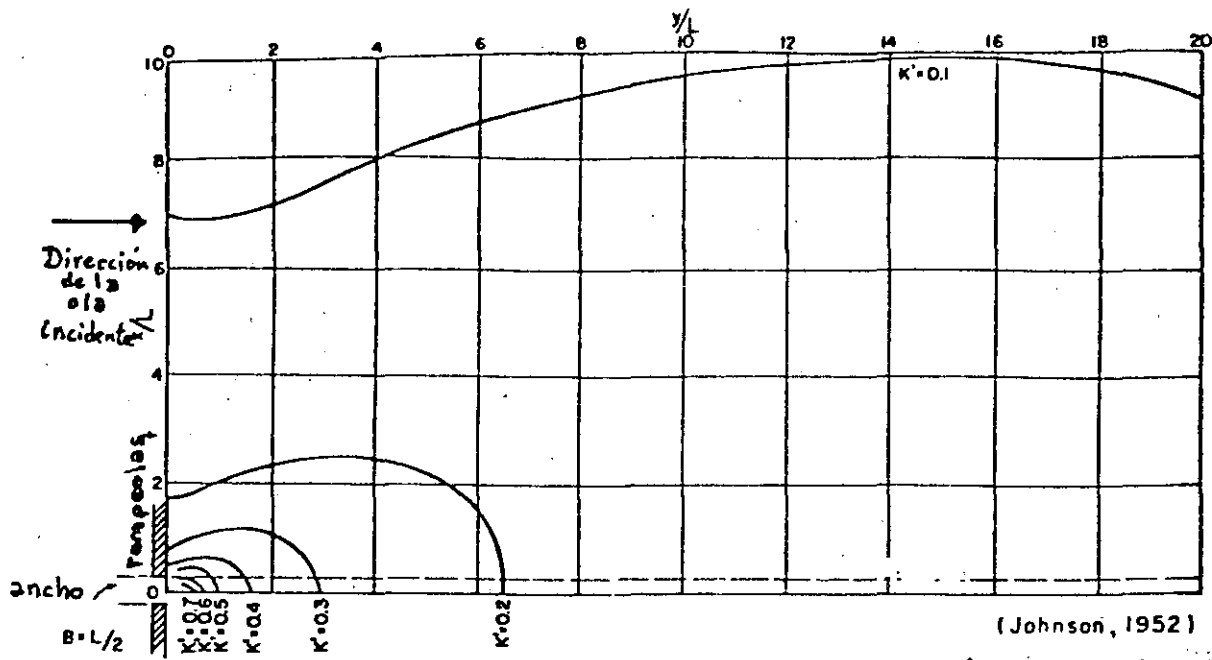
### Difracción del Oleaje Pasando una Abertura Angosta.

Esta condición se establece cuando el ancho del acceso es hasta 5 veces la longitud de la ola incidente y la solución de este problema es más complejo, y no es posible construir un solo diagrama para todas las condiciones. Deberá dibujarse un diagrama diferente para los distintos valores de la relación entre el ancho de la boca (B) y la longitud de la ola en la boca.

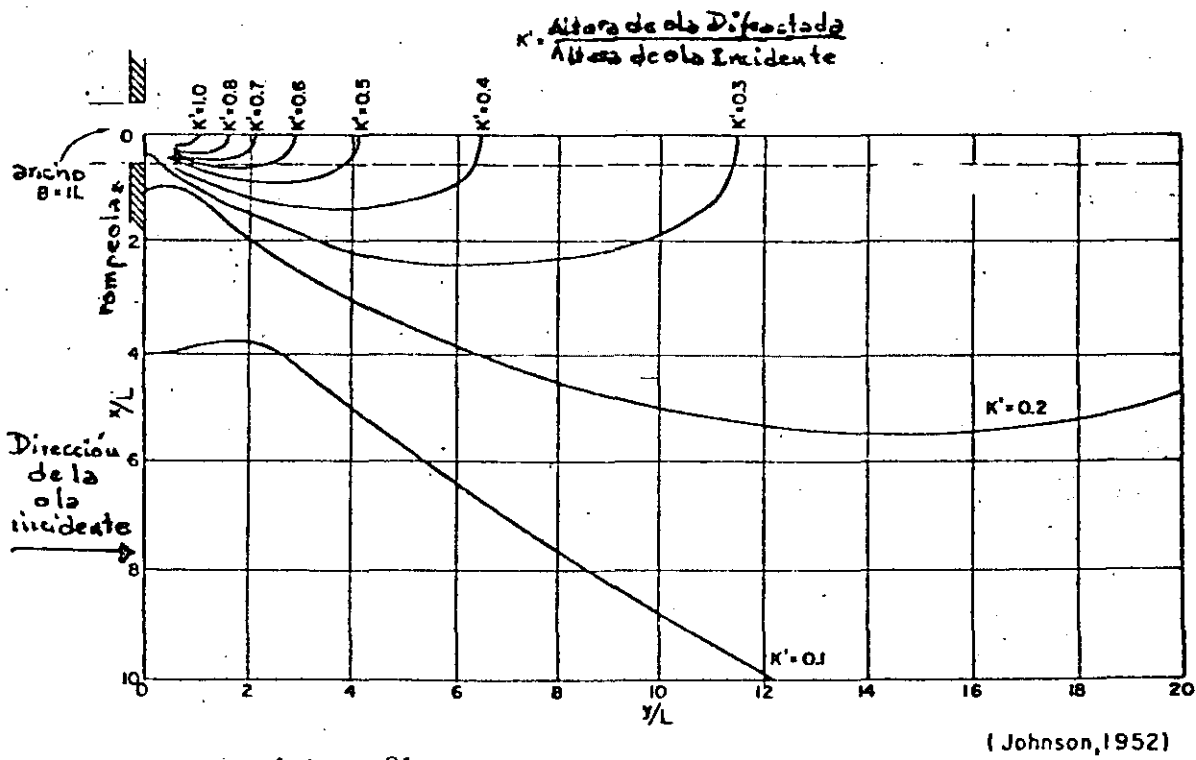
La gráfica No. 19 muestra el diagrama correspondiente a una relación de  $B/L = 2$ . Las gráficas 25 a la 29 muestran líneas de igual coeficiente de difracción para las relaciones de  $B/L$  iguales a 0.5, 1.0, 1.41, 1.64, 1.78, 2.0, 2.5, 2.95, 3.82 y 5.0. Se ha incluido un número suficiente de diagramas para representar los casos más comunes que se presentan en la práctica.



Gráfica 19 .-. Diagrama de Difracción Generalizado para un ancho de boca entre rompeolas de dos longitudes de ola ( $B/L = 2$ ).



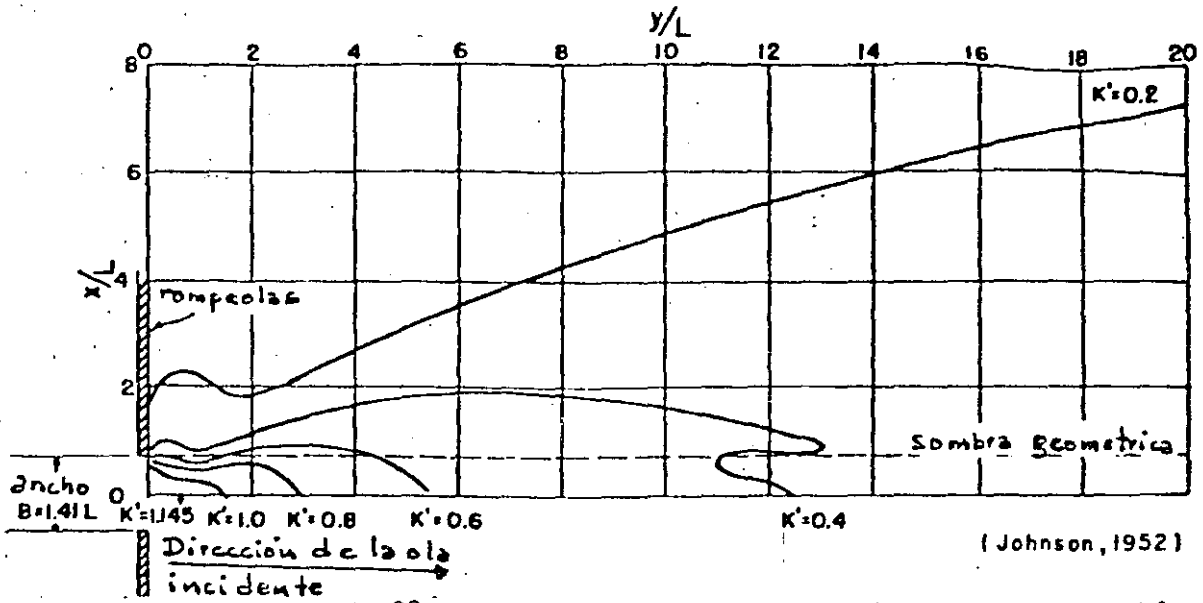
Gráfica 20 .- Curvas de igual coeficiente de difracción ancho de boca = 0.5 longitud de ola ( $B/L = 0.5$ )



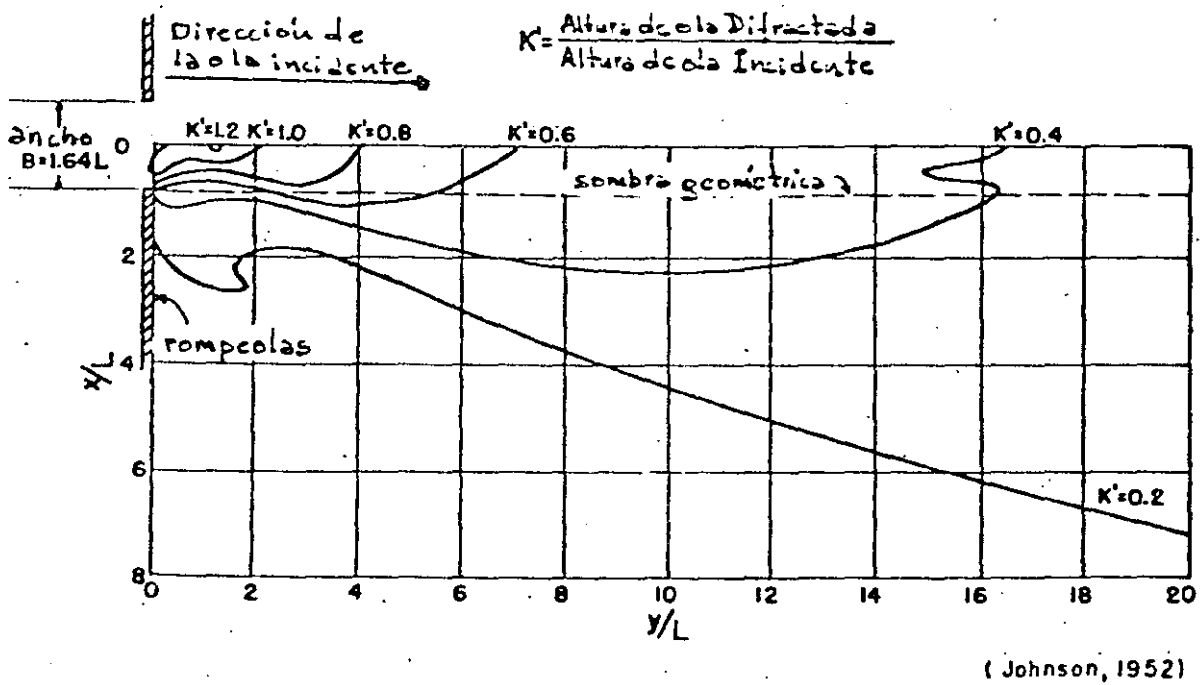
Gráfica 21 .- Curvas de igual coeficiente de difracción ancho de boca = 1 longitud de ola ( $B/L = 1$ ). Difracción de olas en una boca con rompeolas.

(Johnson, 1952)



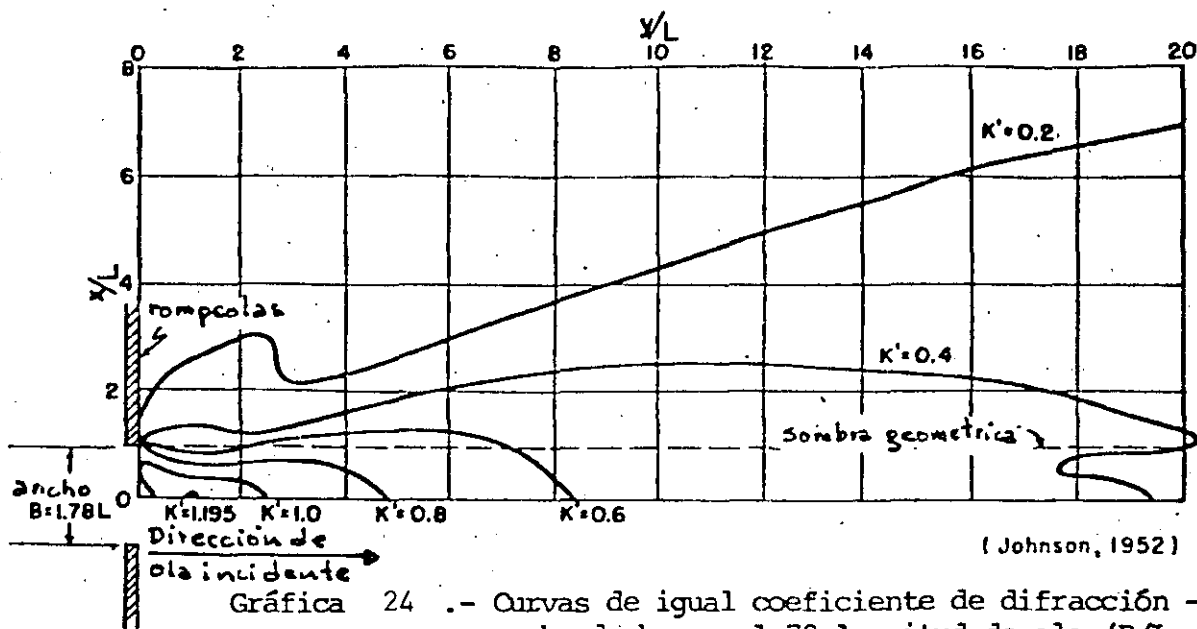


Gráfica 22 .- Curvas de igual coeficiente de difracción ancho de boca = 1.41 longitudes de ola -- (B/L = 1.41)

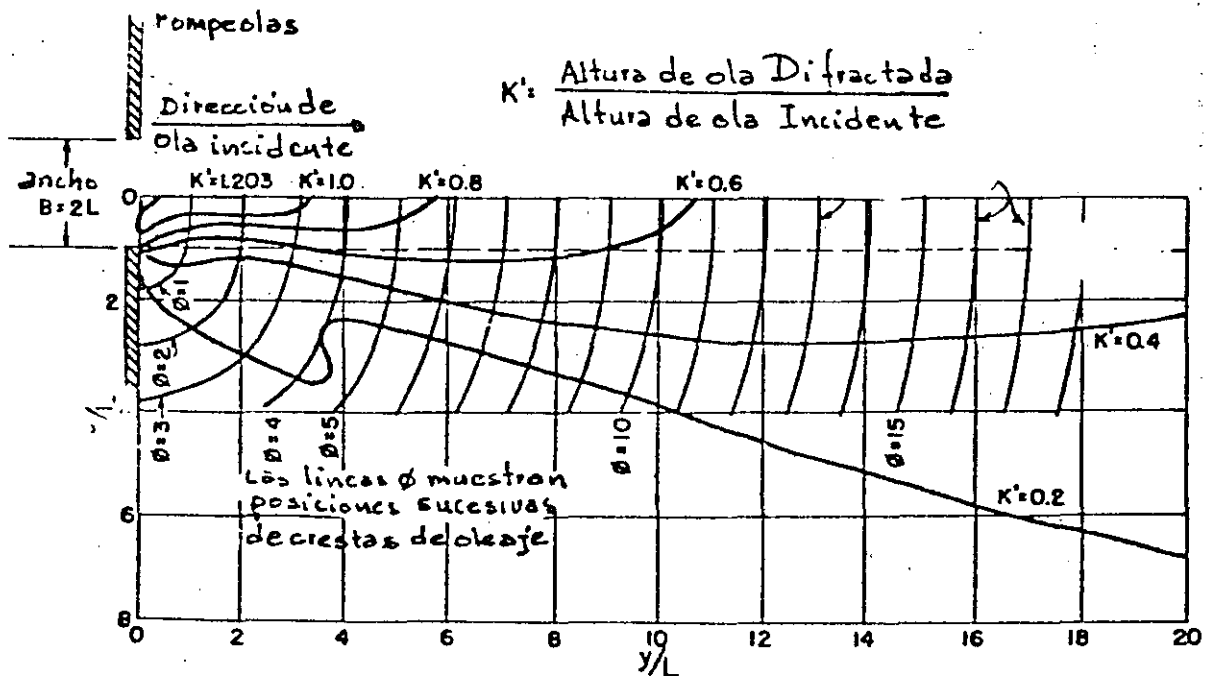


Gráfica 23 .- Curvas de igual coeficiente de difracción ancho de boca = 1.64 longitudes de ola -- (B/L = 1.64)

Difracción de olas en una boca con rompeolas.

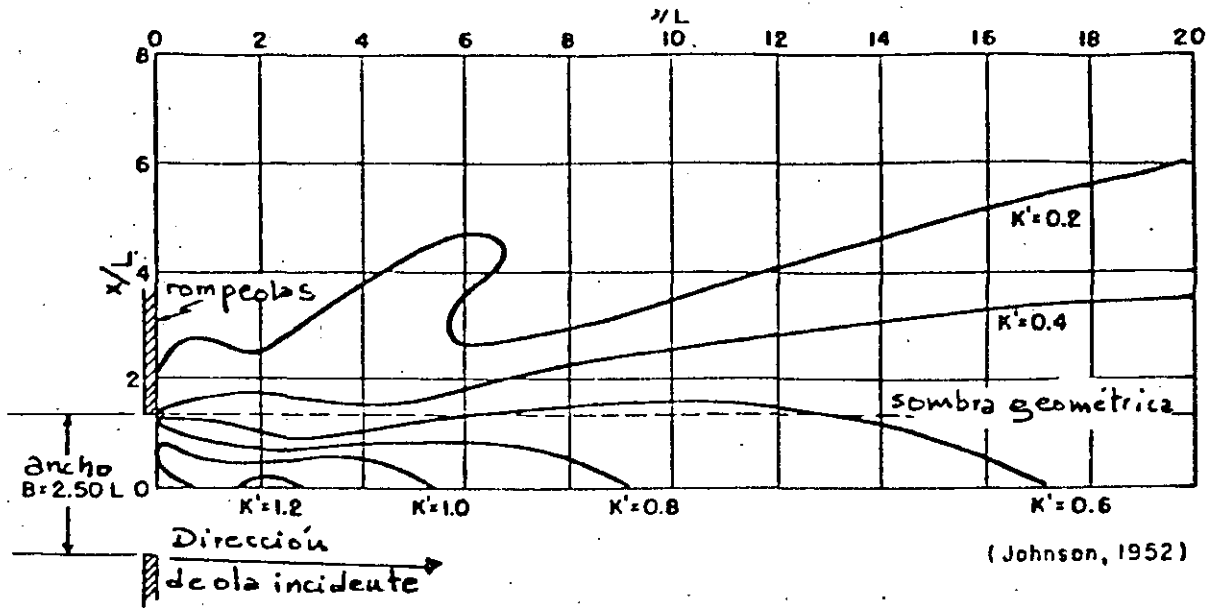


Gráfica 24 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 1.78 longitud de ola ( $B/L = 1.78$ ).

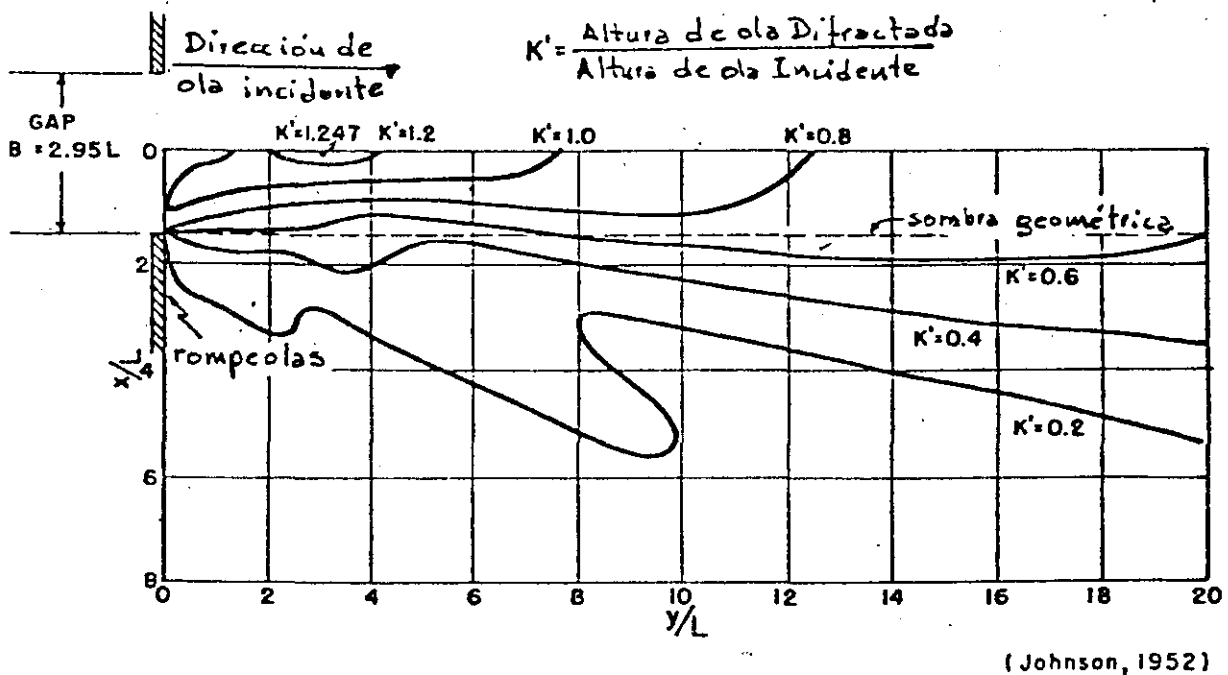


Gráfica 25 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 2 longitud de ola ( $B/L = 2$ ). Difracción de olas en una boca con rompeolas.

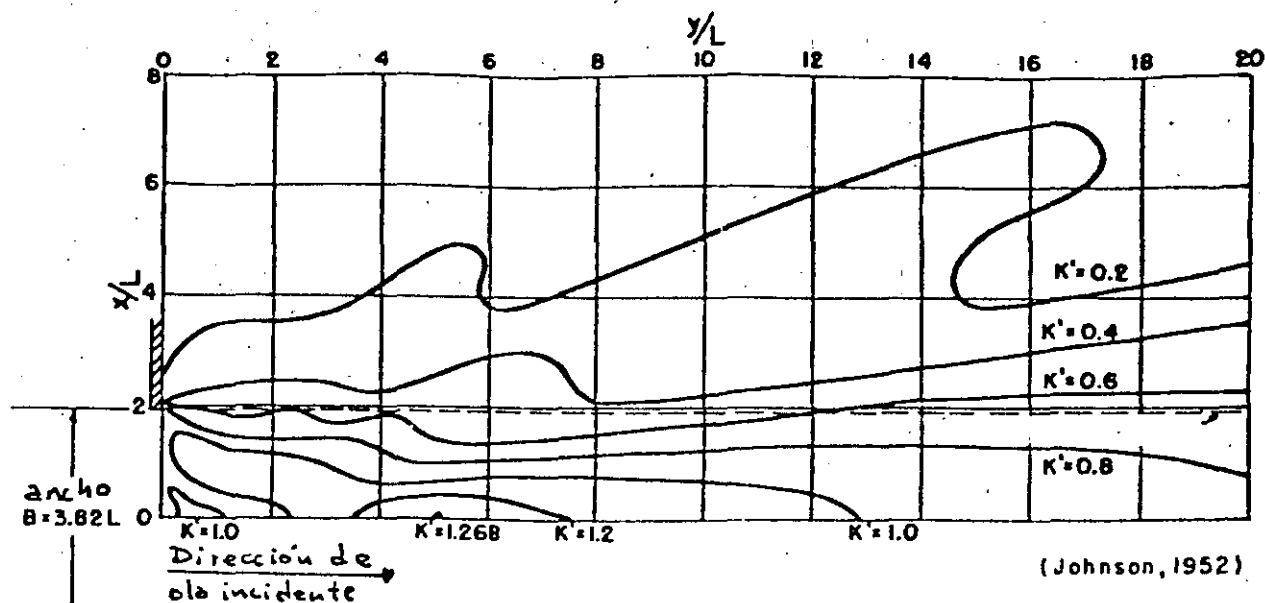
(Johnson, 1952)



Gráfica 26 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 2.50 longitud de ola  $B/L = 2.50$ .

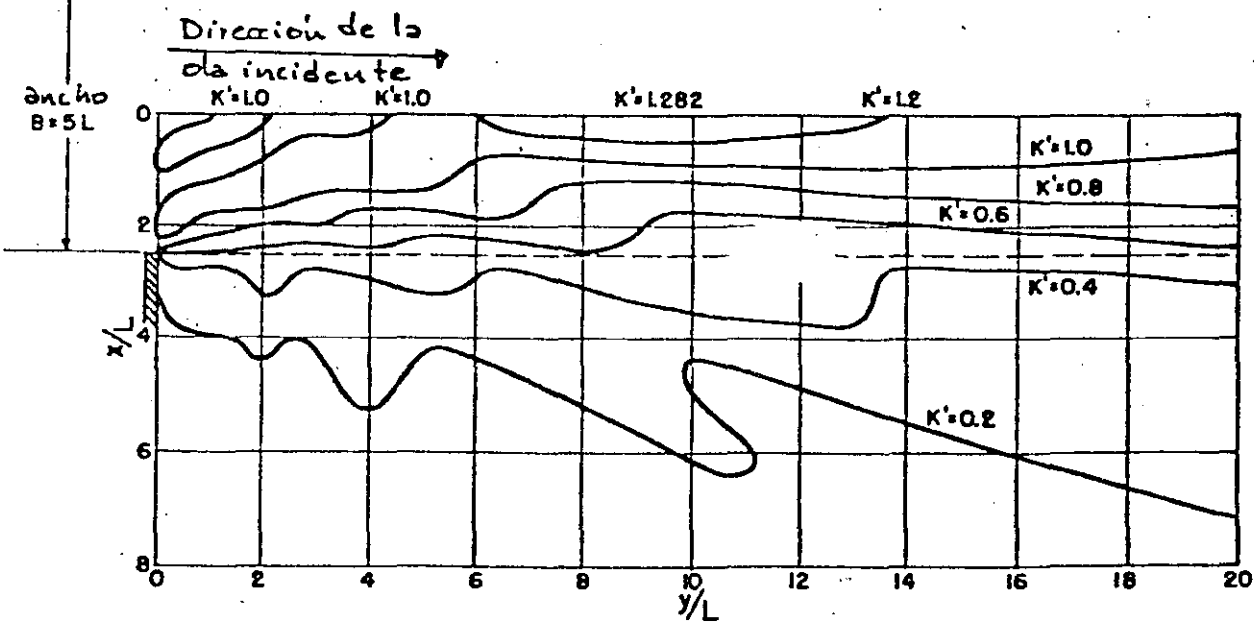


Gráfica 27 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 2.95 longitud de ola  $B/L = 2.95$ . Difracción de olas en una boca con rompeolas.



Gráfica 28 .- Curvas de igual coeficiente de difracción -- ancho de boca = 3.82 longitudes de ola -- (B/L = 3.82).

$$K' = \frac{\text{Altura de ola Difractada}}{\text{Altura de ola Incidente}}$$



Gráfica 29 .- Curvas de igual coeficiente de difracción -- Ancho de boca = 5 longitudes de ola (B/L = 5). Difracción de olas en una boca con rompeolas.

En todas las figuras se han omitido las líneas de las crestas excepto en gráfica No. 25, estas líneas son meramente ilustrativas; sin embargo, se requieren para una estimación precisa de los efectos de refracción y difracción combinadas. En tales casos, las crestas pueden aproximarse mediante arcos circulares. Las crestas que están BL detrás del rompeolas pueden aproximarse mediante arcos con centro a la mitad de la boca; las crestas localizadas a GL se pueden aproximar por dos arcos con centro en los extremos de los rompeolas y unidos por una curva aproximadamente circular con centro a la mitad de la abertura. Únicamente en el diagrama se presenta la mitad del mismo, ya que son simétricas con relación de la línea  $X/L = 0$ .

#### Método Gráfico de Difracción "Expansión Lateral".

Al igual que en el caso de refracción, las hipótesis de partida suponen una onda monocromática de período fijo y cresta indefinida, cuya celeridad depende únicamente de la profundidad de la zona por la cual avanza manteniéndose, además, la energía entre perpendiculares a los frentes.

Supongamos la existencia de un obstáculo al paso del oleaje incidente Fig. No. 11.

Si en la dirección  $BB_3$  existiese una pantalla vertical, la onda continuará su avance normalmente. La no existencia de esa pantalla es causa de expansión lateral de la onda, que agita en parte la zona  $B_2B_1$  llamada zona de expansión. Las condiciones de esta expansión, según Irribarren son:

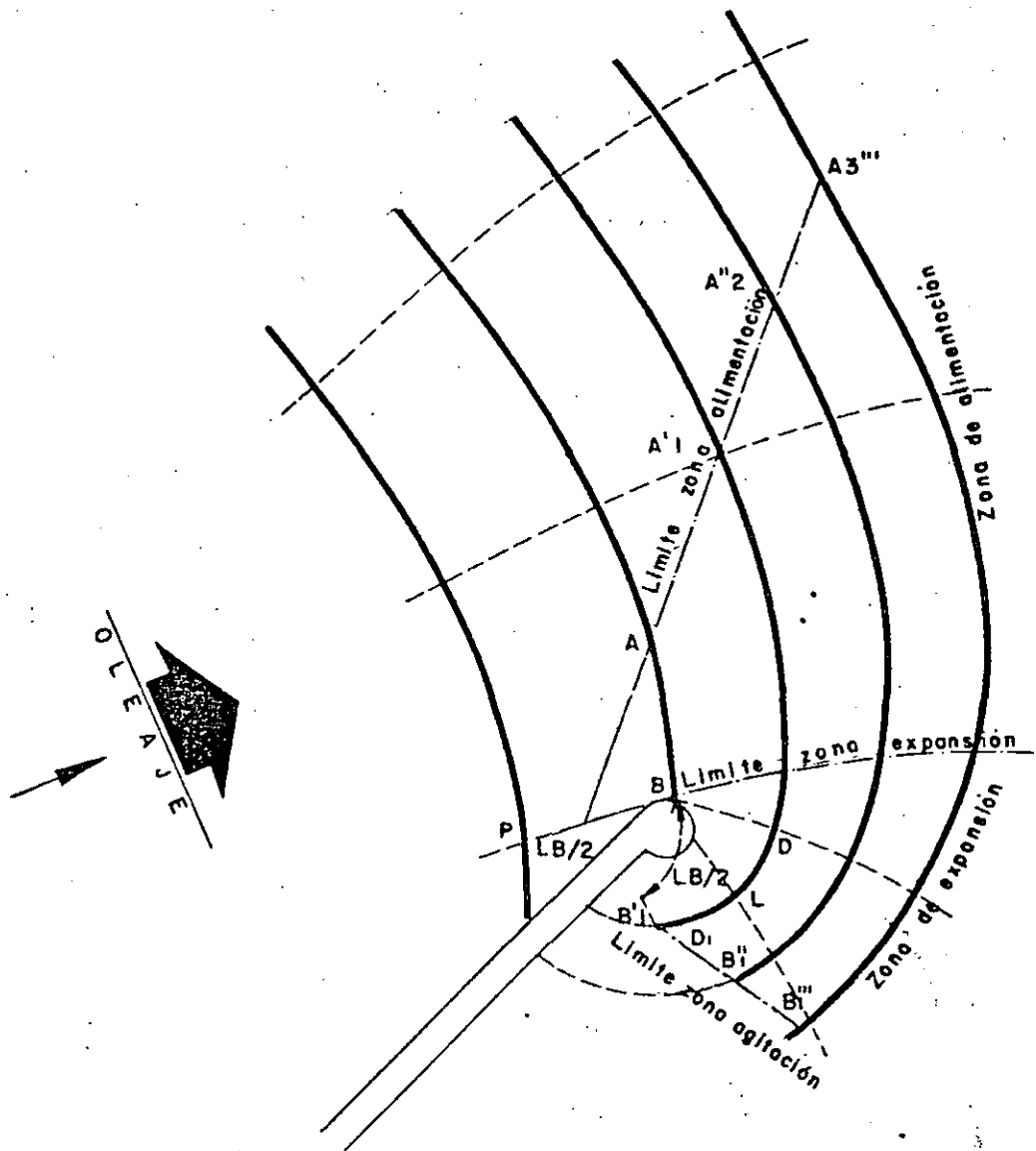


Fig. No. 11.- Construcción del Plano de Oleaje Difractado.

- 1.- El paso de la onda origina en B una oscilación armónica que se propaga radialmente.
- 2.- Hay una cesión lateral de energía que da lugar a modificaciones en la altura de la onda, que se produce, según estas líneas de onda, y con celeridad igual a la celeridad de propagación. Fig. 12.

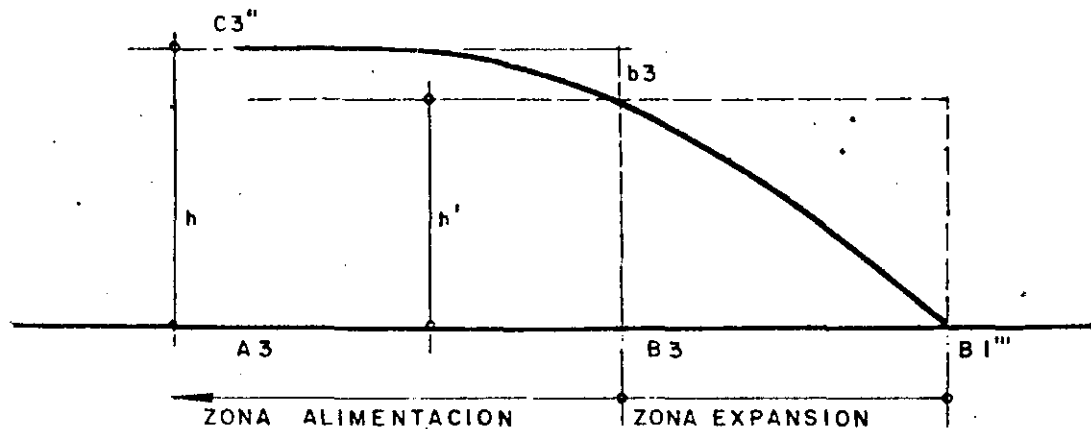


Fig. No. 12.- Cesión Lateral de Energía.

- 3- El fenómeno empieza a producirse cuando a la cresta de la onda le falta un cuarto de su longitud para llegar al extremo del obstáculo, es decir, cuando está a  $L_B/2$  de B, siendo  $L_B$  la longitud de onda correspondiente a la profundidad de B.

El límite de las zonas de alimentación y de expansión es la dirección  $BB_3$ , que coincide con la normal que pasa por B y que se llama "Línea límite de Expansión".

Admitida la igualdad de la celeridad transversal con la celeridad de avance y empezando el fenómeno de la expansión lateral a una distancia  $L_{B/2}$  de B, un punto de "línea de alimentación" será A, a una distancia  $L_{B/2}$  de B. Para hallar otros puntos de esta línea límite en las sucesivas línea de onda, se aplicará la condición general:

$B_2A_2'' = B_1A_1'' + \text{avance correspondiente a } A', \text{ o sea:}$   
 "ancho anterior más avance del último punto considerado".

En la zona de expansión, la primera línea expansio-  
 nada es el arco de circunferencia de centro en B y radio  
 el avance correspondiente a su profundidad, lo - - - -  
 cual es perfectamente admisible puesto que para la misma  
 profundidad, la de B, el avance es el mismo en cualquier  
 dirección radial que parte de ese punto.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que ya en -  
 la línea de onda que pasa por B, el límite de la zona --  
 agitada ha alcanzado, aunque sólo sea hipotéticamente, -  
 un punto que dista de B la dirección  $L_{B/2}$ . Por tanto, -  
 el punto correspondiente a la línea límite de agitación,  
 en la línea de la onda siguiente: seguirá la norma gene-  
 ral:

$$B_1B_1' = L_{B/2} + \text{avance correspondiente a } B.$$

O sea: "Ancho anterior + avance correspondiente al-  
 último punto determinado"; y en general:

$$B_3B_1'' = B_2B_1'' + \text{avance correspondiente a } B_1''.$$



Para dibujar las líneas de onda sucesivas de la ---  $B_1B_1'$ ; en la zona de expansión, se trazan radios  $BD$ , .... que se consideran como nuevas normales operando a partir de ellas como con las demás.

En el caso de profundidades iguales (Figura 13 .) - la línea límite de expansión será la normal que pasa por el extremo del obstáculo y será una recta; la línea límite de alimentación será la recta que partiendo de una -- distancia  $L_b/2$  del extremo del obstáculo, forme un ángulo de  $45^\circ$  con el límite de expansión; y la línea límite de agitación será una espiral cuya asíntota es la recta paralela a la que pasando por  $B$ , a una distancia  $L_B/2$ , - forma un ángulo de un radián con la línea límite de expansión.

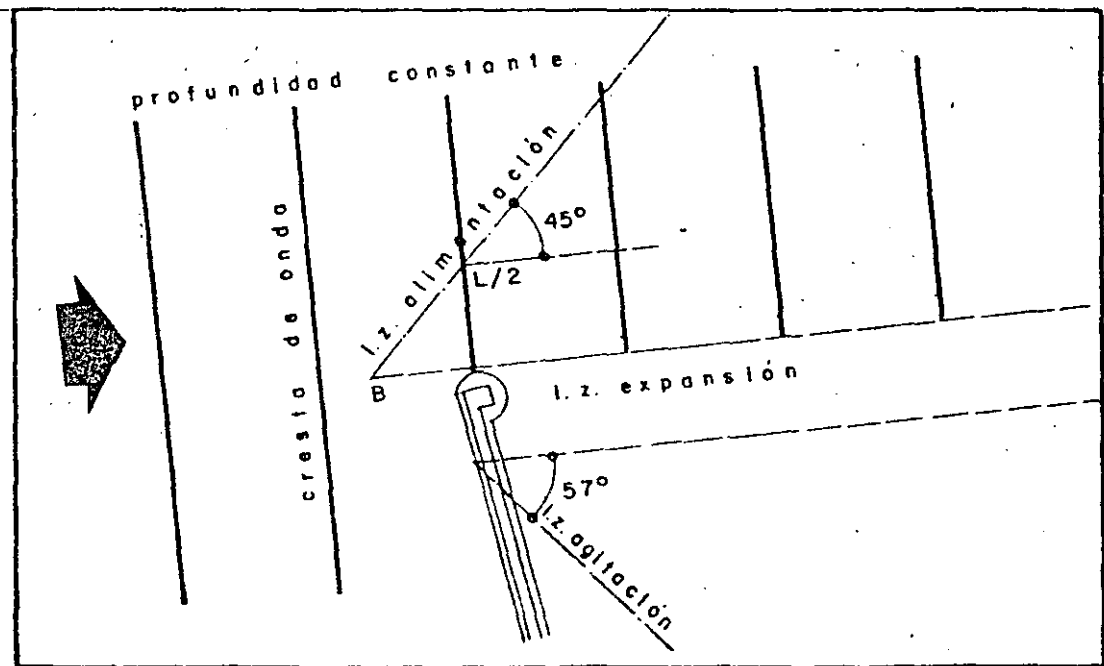


Fig. 13.- Difracción en Profundidades Iguales.

### Reflexión.

Cuando un cierto oleaje es interceptado por alguna estructura artificial, la energía es parcialmente disipada. La energía que no fué disipada se convierte en un nuevo oleaje que se genera y se propaga desde la estructura o hacia el mar, denominándose a este fenómeno Reflexión.

El problema de reflexión del oleaje da como resultado la amplificación de ondas y la resonancia llega a ser aún mas crítica cuando los muros de contención, malecones y rompeolas tienen paredes verticales o superficies altamente reflejantes.

La reflexión, es medida a través de la relación que se establece entre la altura de la ola reflejada  $H_r$  y la altura de la ola incidente, de donde el "coeficiente de reflexión"  $R = \frac{H_r}{H_i}$ . Este coeficiente varía desde 1.0 = 0.0. Esta variación es función de las características de la ola incidente; altura, longitud y dirección; y de las características de la estructura o costa; pendiente rugosidad y permeabilidad.

Reflexión total o clapotis.- Se presenta cuando la ola incide normalmente sobre una pared vertical, lisa e impermeable y se refleja totalmente. En este caso, se presenta una ola estacionaria cuya amplitud resulta el doble de la ola incidente.

Reflexión Parcial o Clapotis Parcial.- Se presenta cuando la ola encuentra a su paso un obstáculo de las siguientes características: pared inclinada, lisa o rugosa y permeable o impermeable.

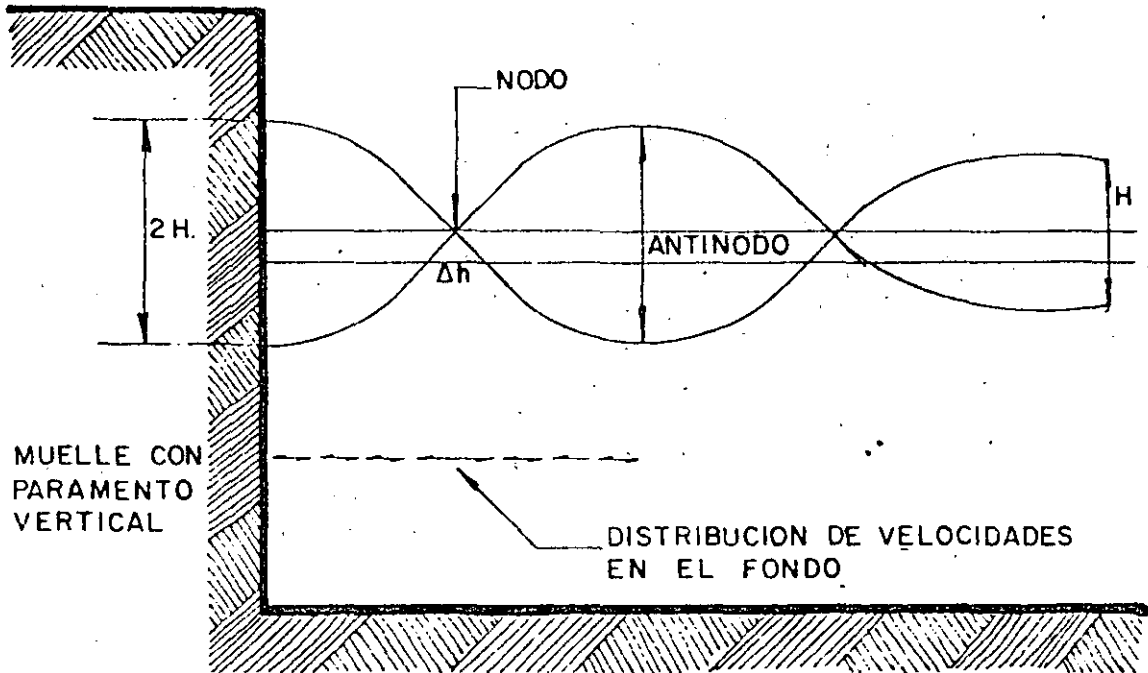


Fig.No. 14.- Reflexión Parcial

El poder reflejante de una playa según Miche, está en función de dos términos diferentes:

- 1.- Un factor de forma  $R'$ , que depende de la pendiente y de la esbeltez de la ola.
- 2.- Un factor  $\rho$ , que va de acuerdo a la superficie de la playa principalmente la rugosidad y permeabilidad.

$$H = \frac{\eta H^2}{4L} \left( 1 + \frac{3}{2} \right) \cot h \frac{2\eta d}{L}$$

$$2 \operatorname{sen} h \frac{2\eta d}{L}$$

La importancia de la reflexión sobre las obras marítimas y en la estabilidad de playas, ha dado origen a numerosas investigaciones, entre estas, los trabajos de -- Shoemaker Thijsse, Irribarren y Nogales, Grislou, etc.

El movimiento de las olas en frente de un muro vertical perfectamente liso sujeto a un oleaje monocromático, moviéndose en dirección perpendicular, a la barrera puede determinarse por superposición de dos olas con idénticas características (período, amplitud), viajando en direcciones opuestas.

De la teoría lineal la ecuación de la superficie -- del agua está dada por:

$$Y_i = \frac{H_i}{2} \cos 2\pi \left( \frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

Para la ola reflejada:

$$Y_r = \frac{H_r}{2} \cos 2\pi \left( \frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

De donde la superficie del agua está dada por:

$$Y_i + Y_r \quad \text{y como } H_i = H_r$$

$$Y = Y_i + Y_r = \frac{H_i}{2}$$

$$\left[ \cos 2\pi \left( \frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right) + \cos 2\pi \left( \frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right) \right]$$

La cual se reduce:

$$Y = H_i \cos 2\pi \left( \frac{X}{L} - \frac{t}{T} \right)$$

Ecuación de la ola estacionaria:

$$2 H_i = \text{altura máxima.}$$

De la figura anterior, observamos situados a una distancia de  $\frac{L}{4}$  una amplitud mínima B (nodo) y una amplitud máxima A (antinodo).

La altura global incidente viene dada por:

$$H_i = \frac{A + B}{2}$$

Y la reflejada por:

$$H_r = \frac{A - B}{2}$$

Por lo tanto el coeficiente de reflexión es:

$$R = \frac{H_r}{H_i} = \frac{A - B}{A + B}$$

5.- MAREAS

El fenómeno de las mareas es debido a la atracción de cuerpos celestes sobre la superficie líquida de la Tierra, dando lugar al movimiento de grandes masas de agua. Los dos cuerpos celestes que tienen influencia decisiva en las mareas son el sol y la luna; la luna por su cercanía a la Tierra y el sol por su enorme masa; más sin embargo, la acción de la luna es 2.18 veces mayor que la del sol, ya que la fuerza de atracción es directamente proporcional a las masas de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

La distancia entre los centros de la tierra y la luna es aproximadamente 60 veces el radio de la Tierra. Tomando el diámetro de la Tierra que se extiende y pasa por la luna, la relación de fuerza gravitacional en tres puntos, uno en cada extremo del diámetro y otro en el centro es:

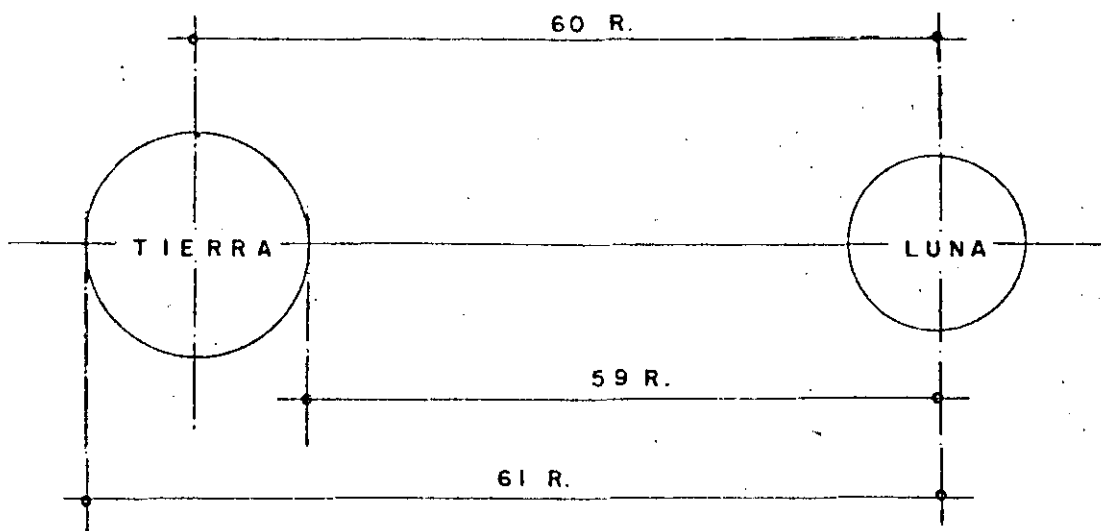


Fig. 16- Distancia entre la Tierra y la Luna.

Y las diferencias de estos que da la razón de atracción en cada extremo del diámetro son:

$$\frac{1}{5g^2} - \frac{1}{60^2} = \frac{1}{3481} - \frac{1}{3600} = \frac{1}{105307}$$

Y

$$\frac{1}{60^2} - \frac{1}{61^2} = \frac{1}{3600} - \frac{1}{3721} = \frac{1}{110708}$$

La media es:

$$\frac{1}{107940} = \frac{2}{215880} = \frac{2}{60^3}$$

Atracción suficiente para mover las partículas del mar.

#### Fuerzas Generadoras de Mareas:

Las fuerzas de principal importancia en la generación de mareas en los océanos son:

- a) Las fuerzas gravitacionales del Sol y la Luna.
- b) La fuerza centrífuga debido al movimiento de la Tierra alrededor de su órbita.
- c) La fuerza de Coriolis debido a la rotación de la Tierra alrededor de su eje.
- d) La fuerza de fricción debida al movimiento del agua con respecto a las fronteras que contiene.

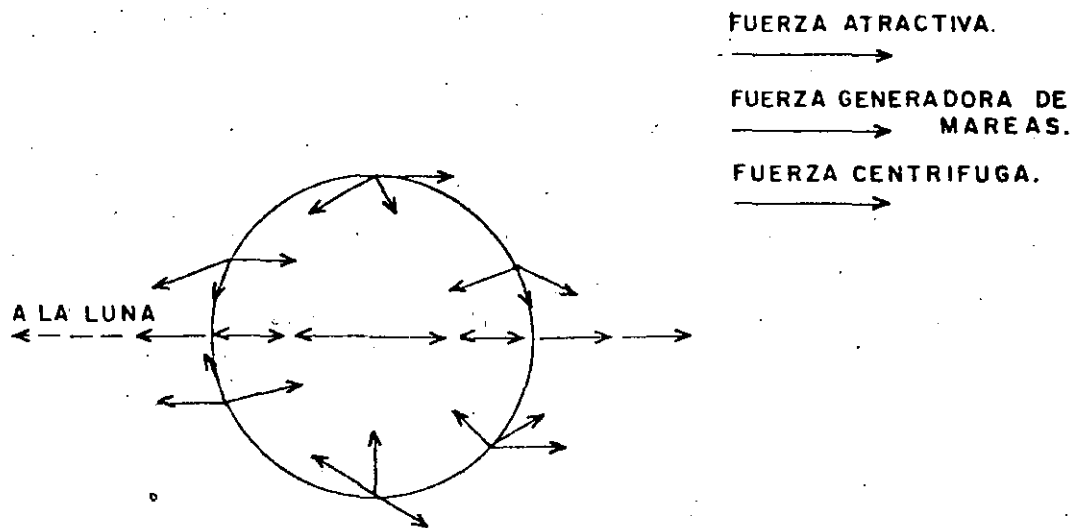


Fig. 17.- Fuerzas Generadoras de Mareas

Si se considera el efecto relativo de dos fuerzas:- la atracción gravitacional de la luna girando alrededor de la Tierra, y la fuerza centrífuga de la Tierra girando sobre su órbita. (Fig. 18 ). Si esto lo observamos en la Fig. 17 , existe una fuerza resultante que es normal a la Tierra a lo largo de la línea que une ésta, con la luna y a lo largo de un círculo máximo que pasa por lo polos. En todos los demás puntos existe una componente tangencial a la superficie.



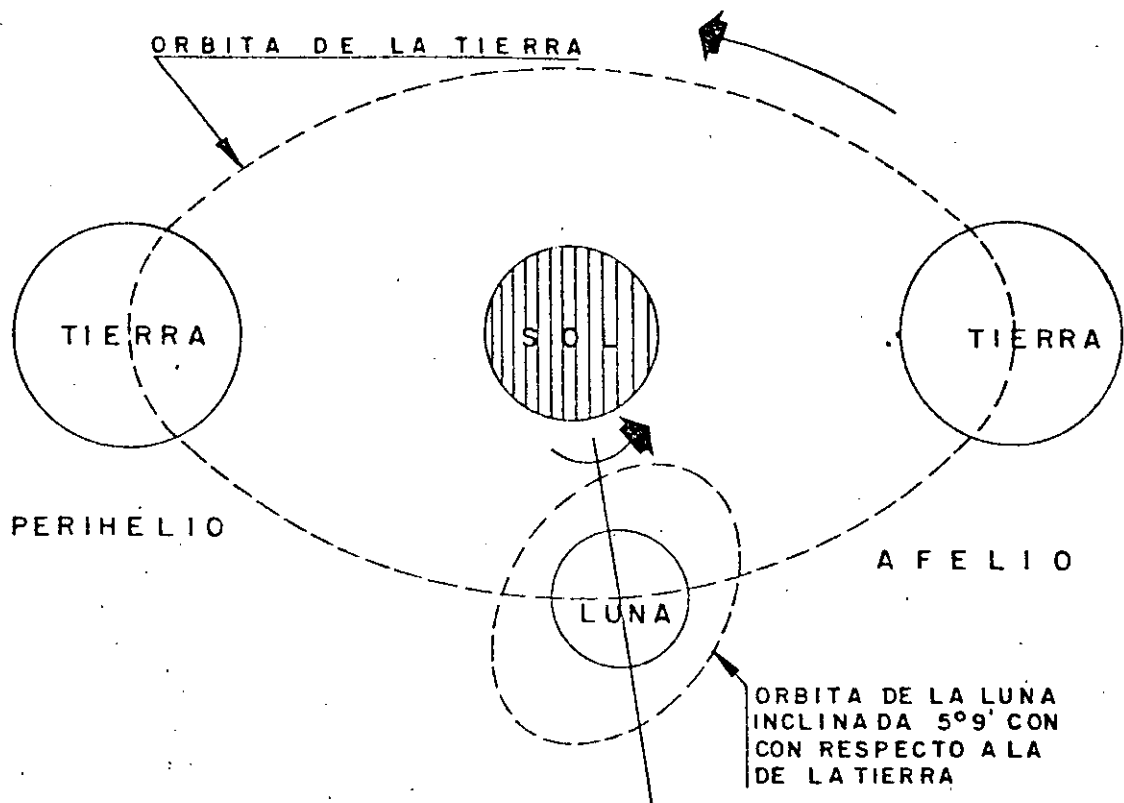


Fig. No. 18.- Características del Sistema  
SOL - TIERRA - LUNA.

"Teoría Estática de Newton".

Para poder explicar el fenómeno de mareas existe una teoría desarrollada por Newton, llamada "Teoría Estática de las Mareas", la cual se base en las siguientes hipótesis:

- 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 las que está sujeta.

La superficie líquida de la Tierra está representada por la línea punteada de la Fig. II.37 en donde no existe ninguna atracción; pero al presentarse la atracción de un cuerpo celeste, por ejemplo el sol, el agua sufrirá una elevación de su nivel en el punto A, que está frente al Astro. Sin embargo, en el punto B, también se presenta una sobreelevación del nivel originada por -- las fuerzas de inercia del conjunto. Dado que el volumen de agua permanece constante, necesariamente en los puntos C y D habrá una disminución del nivel del mar.

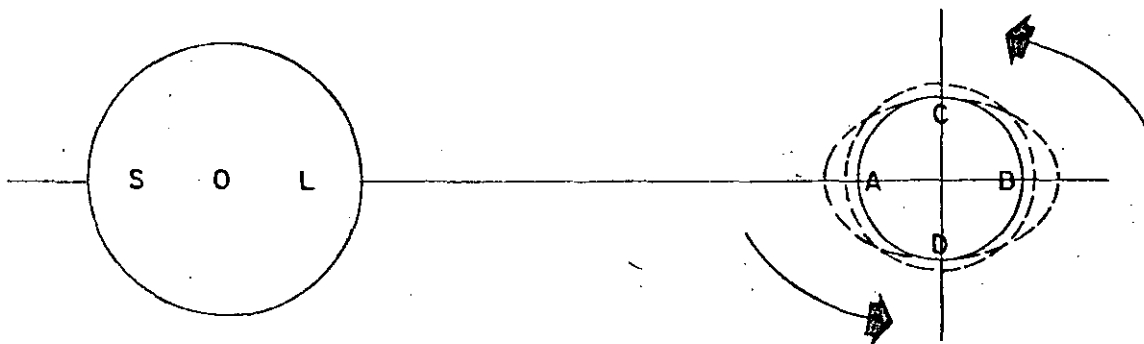


Fig. No. 19.- Atracción del Sol.

Como la tierra hace un giro completo sobre su eje - en 24 horas, en ese lapso se presentarán dos mareas altas y dos bajas, en cualquier punto de ella.

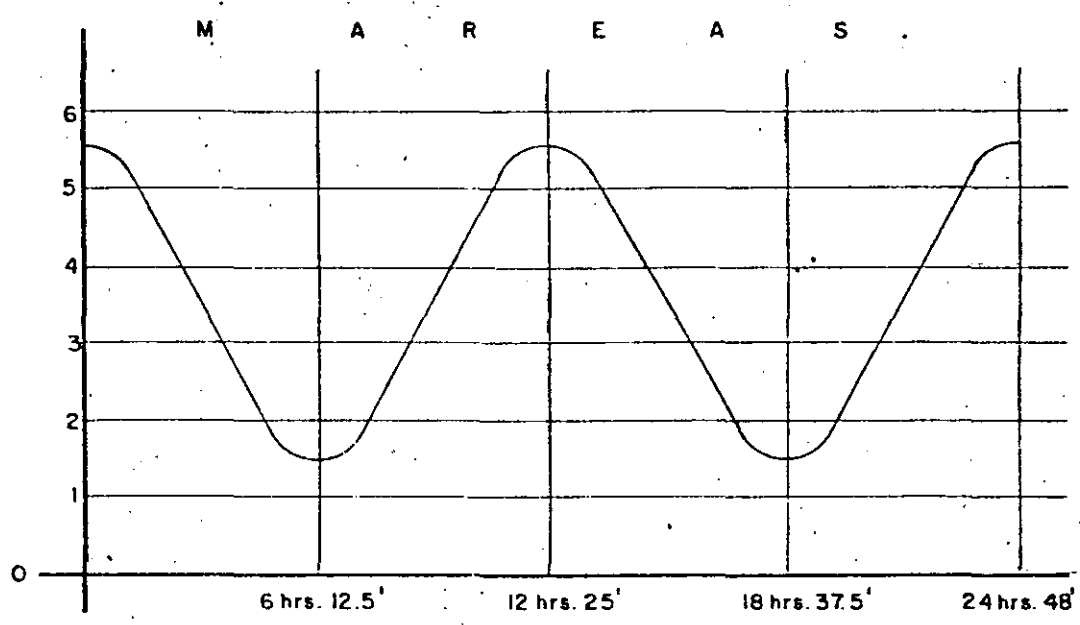


Fig. No. 20.- Mareograma Diario.

El ciclo se completa en 24 horas 48 min. Este retraso se origina porque mientras la Tierra dio un giro completo, la luna cambió su posición relativa con respecto a ella.

La acción de la luna y el sol se combinan según las posiciones relativas de los dos astros, como se indicará enseguida:

La variación de niveles del agua motivada por las mareas, ha dado lugar al establecimiento de diferentes planos, que se definen en seguida:

- Pleamar Máxima Registrada: Es el nivel más alto de un registro dado.
- Nivel de Pleamar Media: Es el promedio de todas las pleamares durante un lapso considerado.
- Nivel Medio del Mar: Es el promedio de las alturas horarias durante un período considerado.
- Nivel de Media Marea: Es el plano equidistante entre la Pleamar Media y la Bajamar Media, obtenido promediando estos dos valores.
- Nivel de Bajamar Media: Es el promedio de todas las Bajamares durante un período considerado.
- Bajamar Mínima Registrada: Es el nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica o también que tengan influencia sobre las mismas los efectos de condiciones meteorológicas.

El establecimiento de estos planos se realiza en base a las observaciones de las variaciones de las mareas durante un período mínimo de un año.

Establecidos los diferentes niveles, es menester indicar la aplicación de éstos a los problemas del Ingeniero Portuario.

Se utilizan para deteminar las alturas de los muelles, para el diseño de las obras exteriores, para marcar a las embarcaciones las horas de entrada y salida en caso de profundidades escasas, para apreciar la importancia de las corrientes de flujo y reflujos, para indicar las profundidades en el área portuaria y en los accesos, siempre referidas a un mismo plano de comparación.

#### 6.- INSTRUMENTACION Y FORMA DE MEDICION EN EL CAMPO

Sólo nos limitaremos a realizar una descripción de los instrumentos oceanográficos que se utilizan para definir los diferentes parámetros requeridos para obtener un mejor entendimiento de los criterios de diseño utilizados en la construcción de estructuras marinas.

Los instrumentos oceanográficos son diseñados para un amplio rango de aplicación como:

- a) Muestreadores de vida marina y suelos.
- b) Registradores de corrientes marinas.
- c) Flujo de agua y temperaturas.
- d) Analizadores de densidad del agua del mar, salinidad y análisis químicos.

Existe también una gran variedad de opiniones en la utilidad relativa de los diferentes tipos de instrumentos y su aplicación en los estudios en que son utilizados. Por tal situación, la experimentación oceanográfica en contraste con la situación de un laboratorio bajo-

control, no existen referencias ni una línea base a donde fijar la ejecución de las mediciones.

La instrumentación se puede definir como "una extensión de las habilidades del hombre para la observación, análisis o control". Los instrumentos se pueden dividir, para un mejor entendimiento, en tres grandes grupos:

I.- Muestreadores

II.- Sensores

III.- Analizadores

I.- Muestreadores

Los muestreadores son utilizados comúnmente en operaciones de rutina con los que se obtienen materiales para su análisis posterior.

a) Se clasifican según su uso:

Muestreadores	}	a.1) Biológicos
		a.2) Químicos
		a.3) Geológicos

b) Ya que se haya identificado el área que se va a estudiar, existen cinco categorías funcionales de --- muestreadores:

Muestreadores	}	b.1) Nucleadores
(según su fun		b.2) Dragas
ción)		b.3) Redes o trampas
		b.4) Bombas
		b.5) Botellas

Breve descripción de los muestreadores, según su --  
función:

b.1) NUCLEADORES.

Pueden ser cilíndricos o de caja y se utilizan para obtener muestras de un punto específico, con el menor disturbio posible en su constitución estatigráfica. El propósito de esto puede ser el de examinar las características estructurales, la formación histórica o la interrelación de los componentes biológicos y su medio ambiente.

Estos instrumentos de extracción se pueden subdividir en términos de la fuerza de penetración en el medio:

Nucleadores (por su fuerza de penetración).	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Masa (peso o pistón hidráulico)</li> <li>b) Vibrador (neumático o eléctrico)</li> <li>c) Explosivo (químico o chispa eléctrica)</li> <li>d) Rotatorio</li> </ul>
--	---	--

b.2) DRAGAS

Estos se dividen en 2 tipos:

Dragas	{	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Arrastre. Se utilizan para obtener ródulos de tierra.</li> <li>b) Las que atacan directamente el fondo para así obtener la muestra cortándolo.</li> </ul>
--------	---	---

SENSORES	a) ACTIVOS (Requieren una fuente de poder - por separado)	1) Termómetro 2) Corrientímetros 3) Mareógrafos 4) Ológrafos 5) Ecosondas 6) Refractores Sísmicos
	b) PASIVOS	1) Termómetro de Mercurio 2) Batitermógrafo 3) Corrientímetros Accionados por Propela.

### 1. Termómetros

El rango de la temperatura en los océanos y mares - adyacentes va de los  $-2^{\circ}\text{C}$  a  $32^{\circ}\text{C}$ . Para una observación directa de la temperatura se puede considerar suficiente una exactitud de  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ , más sin embargo, al determinar la temperatura con el propósito - de definir densidades se requiere una exactitud de  $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$ .

Los termómetros usados comúnmente son los termopares termistores y bulbos de resistencia, después de cada medición de temperatura puede existir cierta - incertidumbre debido a la apreciación de la lectura y a la velocidad del sensor; el tiempo de estabilización para la mayoría de los termómetros eléctricos es de 1 segundo y para los de mercurio puede -- ser hasta de minutos.



## 2. Batitermógrafo.

El batitermógrafo, denominado generalmente BT, es uno de los instrumentos más clásicos para determinar temperaturas en función de la profundidad.

La temperatura es registrada en una placa de vidrio ahumado en un plano (X,Y), donde las "X" son marcadas por una aguja sensible a la temperatura y las "Y" -- por el desplazamiento de la placa conforme al BT se va hundiendo. Los termómetros de cubeta son termómetros de mercurio para medir la temperatura del agua en la superficie.

Los termistores son termómetros de resistencia en donde las caídas de voltaje a través de una resistencia de platino son una función del efecto de temperatura en la resistencia; éstos pueden proporcionar una exactitud que va de los + 0.5°C a - - - - - + 0.02°C.

## 3. Corrientímetros

Los corrientímetros para medir FLUJOS son de 4 tipos:

Corrientímetros

- a) RESISTENCIA. Son registradores que impuestos a una estructura fija, las fuerzas cortantes --- del flujo producen una fuerza-- de desplazamiento.
- b) IMPULSION. Atrapan un volumen - de aguas utilizando la menor -

Corrientímetros

energía cinética posible de la corriente para impartir velocidades de rotación.

c) PROPELA. Utilizan una forma aerodinámica a lo largo del eje de revolución, en forma tal que siempre se oriente en el sentido de la corriente.

d) ACUSTICOS. Miden diferencias de la velocidad del sonido mandando en direcciones opuestas.

Se pueden reconocer dos aplicaciones principales de los corrientímetros en oceanografía. La primera es la medición de la velocidad media de la corriente.

El período de tiempo sobre el cual la velocidad media es tomada depende del propósito de estudio. La segunda aplicación es para obtener una medición del espectro turbulento de la velocidad.

La velocidad de una corriente en mar abierto puede llegar hasta más de 3 m/seg, con velocidades de corriente de marea en zonas costeras de hasta 6 m/seg. En el estudio de las corrientes marinas es recomendable el obtener mediciones simultáneas en serie de tiempo y diferentes posiciones. Una de las causas que producen mayor error en la medición de corrientes es la oscilación vertical que produce

el cable del que a veces se suspende el corrientímetro.

#### 4. Ológrafos y Mareógrafos

La medición de mareas y oleaje representa uno de los grandes problemas de la instrumentación oceanográfica, no por las técnicas de diseño de los instrumentos, sino por los problemas que representa su instalación en el medio ambiente; en este caso, se necesita fijar los instrumentos y referirlos en algún punto conocido.

El instrumento para medir oleaje o marea se puede simplificar tanto como; fijar una estaca graduada o regla y estimar visualmente los desplazamientos del nivel del agua; o se pueden utilizar instrumentos tan desarrollados como celdas de presión electrónica o satélites equipados con radar.

El instrumento más generalizado sobre todo para medir mareas es el LIMNIGRAFO. Para registrar las variaciones del nivel del agua utiliza un juego de poleas que son accionadas por un flotador que al subir o bajar produce el registro de las variaciones en un cilindro de papel que gira en función del tiempo.

Un instrumento simple y común para registrar el oleaje es un tubo en el que se montan resistencias conectadas a un circuito eléctrico, espaciadas convenientemente, las que al hacer contacto con el agua producen un cambio en el circuito eléctrico. Uno -

de los instrumentos que más se están generalizando - en la medición de oleaje y mareas son los sensores de presión. Generalmente constan de una celda sensible a la presión ubicada en la parte exterior del instrumento y de un paquete electrónico localizado, ya sea en un compartimiento hermético o en una base de operación conectado a través de un cable submarino.

Debido a que la mayoría de estos instrumentos electrónicos trabajan por medio de promedios en el período, existe una gran variedad con diferentes rangos de medición. Por eso es importante el definir - las características generales de la ola a medir, - pues existen con períodos que van desde fracciones de segundo hasta 12 horas.

##### 5. Ecosondas

El ecosonda es la simplificación más sencilla del sonar; utiliza un rayo direccional con su eje en forma vertical. El principio del sonar es el de medir el tiempo que le toma a un pulso de energía del sonido, el hacer un viaje de ida y regreso a un punto determinado. El ecosonda automáticamente convierte este tiempo a unidades de distancia, puesto que la velocidad de propagación del sonido en el agua es conocida. El ecosonda consta de 5 parte principales:

...

- a) Generador de Impulsos,
- b) Transductor transmisor,
- c) Transductor receptor,
- d) Amplificador, y
- e) Registrador.

Existen una gran cantidad de tamaños y modelos, desde los portátiles accionados por batería, con profundidades de operación de 120 m, hasta los de instalación permanente que pueden registrar profundidades de 10 Km.

Las formas de registro también varían dependiendo del modelo. Existen ecosondas que funcionan solamente por medio de un rayo catódico que se desplaza sobre una escala graduada en el instrumento, los de registro por impresión en papel, hasta sistemas tan sofisticados de grabación digital en cintas magnéticas.

La velocidad del sonido en el agua varía con la temperatura y salinidad. Los ecosondas son operados considerando una velocidad de sonido conocida como la velocidad de calibración (1463 m/seg, aproximadamente) y por lo tanto, cualquier sondeo tendrá un error en una cantidad directamente proporcional a la variación de la velocidad considerada. Existen tablas que proporcionan la corrección que se debe aplicar para varias combinaciones de temperatura, salinidad y profundidad. Generalmente los nuevos aparatos vienen equipados con un sistema de calibración de la velocidad del sonido con el que a través de una manivela se ajusta una línea de calibración-

a las condiciones existentes en el momento del levantamiento.

### III. ANALIZADORES.

Los analizadores comprenden a aquellos instrumentos que extienden nuestra capacidad de visión, comparación, evaluación y decisión. Los analizadores son más complejos que los sensores; generalmente están compuestos de sensores, transductores y a veces muestreadores.

Existen tres tipos de analizadores:

- 1) Lógicos. Son aquellos que hacen decisiones deductivas en forma de secuencia y en base a similaridad de decisiones previamente hechas de acuerdo a instrucciones dadas. Un ejemplo son las calculadoras digitales.
- 2) Comparativos. Son aquellos que miden el grado de similaridad con respecto a un estándar conocido como salinómetros.
- 3) Reactivos. Son aquellos que forman un material con nuevas características cuando es sujeto a condiciones particulares.

## SALINIDAD.

La salinidad es el total de sólidos disueltos en el mar y su rango varía entre 0% y 40% en estuario y lagunas costeras, respectivamente, con índices altos de evaporación puede llegar a un 100%. El porcentaje de salinidad de agua en los océanos del mundo está dentro de un 33% a 39%.

Dado que las características del agua permanecen constantes, es fácil determinar la salinidad con una colección de muestras y determinar químicamente el contenido de sales de cloro, con una confiabilidad de  $\pm 0.01\%$ .

Existe el método de medición de salinidades por determinación de conducción eléctrica con una aproximación de  $\pm 0.02$  a  $0.002\%$ , dependiendo de la calidad del instrumento. Muchas propiedades del agua varían con el contenido de sales, tales como: la refracción, la temperatura, la velocidad del sonido. Por lo cual es necesario perfeccionar el salinómetro de inducción.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

D E S A R R O L L O   C O S T E R O

SISTEMAS PLAYEROS

NOVIEMBRE, 1985.



## SISTEMAS PLAYEROS

### INTRODUCCION

En el Capítulo precedente se ha descrito el proceso de formación y desarrollo del oleaje conforme se aproxima a la costa; en este Capítulo examinaremos el efecto del oleaje sobre las costas o playas.

#### 1. Terminología y Morfología de las costas.

La costa se define como la franja de tierra que se encuentra rodeada de cualquier cuerpo de agua que esté expuesta de manera alternada o cubierta por mareas y olas.

Una costa de material no consolidado se le denomina generalmente playa. Las costas se encuentran continuamente cambiando y en el mejor de los casos bajo un equilibrio dinámico con sedimentos moviéndose hacia el mar y regresando hacia la orilla.

Las playas son un tipo de costa particular que se estudia con más detalle, dado que el material no consolidado se encuentra sujeto a los mayores cambios.

Algunos autores definen la costa como una frontera que separa el agua de la tierra. Si se trata de agua dulce le denominan Ribera; si se trata de arena la definen-

como Playa y si existe un manto rocoso se le llama Acan-  
tilado.

En cuando a su origen las costas se clasifican en:

- a) Inmersión
- b) Emersión
- c) Mixtas
- d) Neutras

Las costas de Inmersión se originaron cuando en --  
épocas anteriores el mar se adentró en la tierra firme y  
dependiendo del fenómeno que lo produjo se denominan:

FIORDOS: Son playas en las que el hielo produjo un  
efecto erosivo y una vez erosionado, el mar ocupó la zo-  
na.

RIOS: Una corriente erosiona el valle cercano al -  
mar, es decir su desembocadura, permitiendo el paso del-  
agua. Este proceso sucede después de miles de años.

RECESION: Es el proceso más común y sucede al ero-  
sionar el oleaje la franja costera permitiendo el avance  
de las aguas marinas hacia tierra adentro.

Las costas de Emersión se presentan cuando la por--  
ción terrestre avanza hacia el mar mediante un proceso -  
de depósito de sedimentos. En este proceso la acción --  
del viento puede influir de manera preponderante (Ver fi  
gura 1.

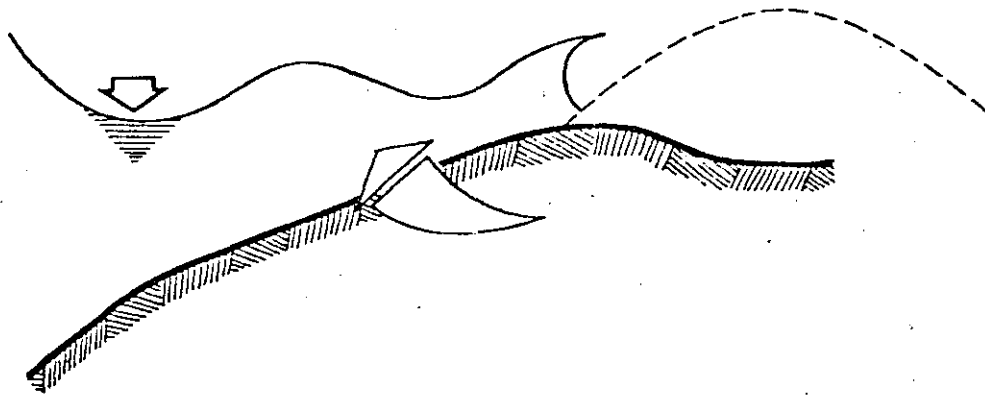


Fig. 1.- Costas de Emersión.

Las costas Mixtas se conforman debido a efecto conjunto de erosión y de sedimentación (Ver figura 2).

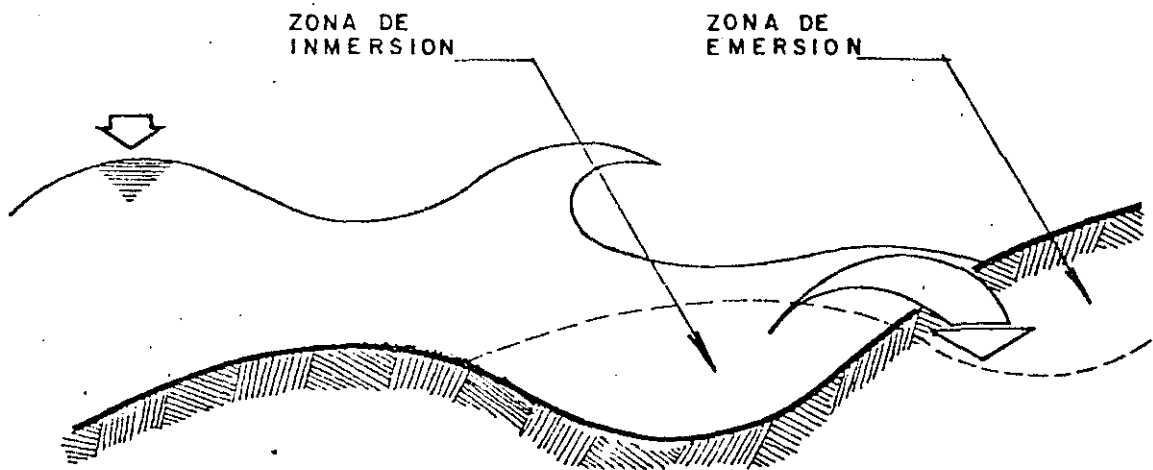


Fig. 2. Costas Mixtas.

Las costas Neutras son aquellas cuyas características esenciales no dependen de su estado de inmersión o emersión.

En el sentido transversal es posible definir una nomenclatura asociada al perfil playero. (Ver figura 3).

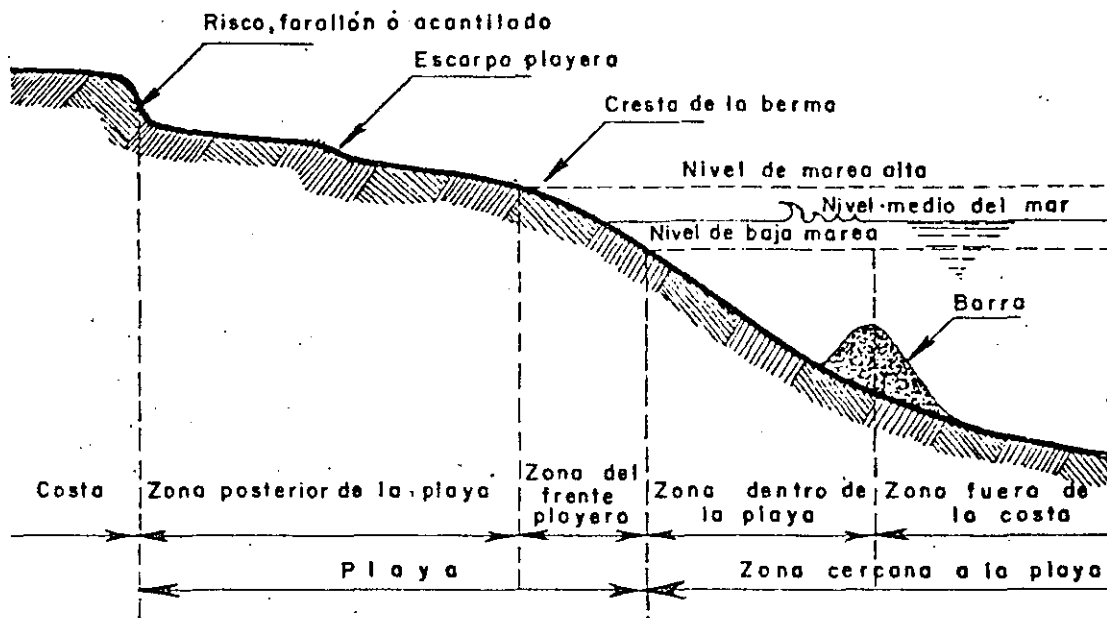


Fig. 3.- Perfil Playero.

Las costas de pendiente suave generalmente consisten de materiales finos, tales como limo, arcilla o arena. Las zonas limosas embalsadas y pantanosas conforman costas con pendiente extremadamente suaves. Los materiales gruesos como los cantos rodados y planos, así como la grava conforman las costas de pendiente pronunciada.

Algunas típicas formaciones costeras se esquematizan

zan en la figura 4. Todas ellas se extienden por lo menos por encima del nivel de baja marea y en algunos casos se presentan arriba del nivel de marea alta. Las formaciones que siempre se mantienen bajo el nivel del agua se les denomina Bajos. Las playas se encuentran continuas a las costas permanentes a lo largo de toda su longitud.

Las flechas se encuentran conectadas a las franjas costeras en un extremo y se desarrollan más o menos perpendiculares a la costa.

Los Tombolos se conforman entre las islas y la porción terrestre conectando ambos cuerpos.

Las Barreras son estructuras bajas más o menos separadas entre sí y en aguas bajas. Estas formaciones pueden estar conectadas con la costa provocando que el oleaje rompa y aparecen generalmente como una cadena de islas.

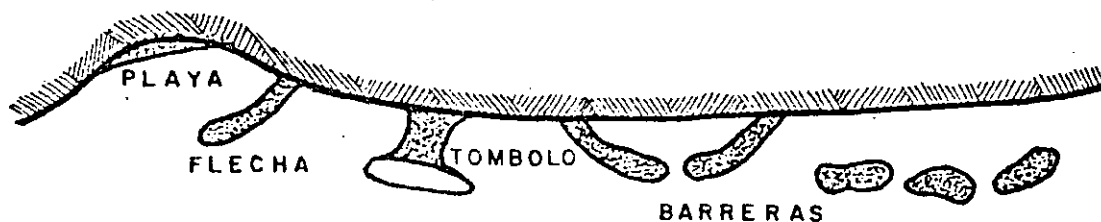


Fig. 4.- Formaciones Costeras.

Generalmente, los materiales más finos se mueven -- mas fácilmente bajo la acción del oleaje y por este motivo las playas consistentes de material fino deben ser --

alimentadas por una suficiente cantidad de sedimento para que mantengan su equilibrio dinámico. Este abastecimiento puede ser de :

a) Origen Terrígeno. Que son las contribuciones -- por corrientes como las de los ríos que son tomadas por el oleaje y corrientes marinas y transportadas hacia las playas.

b) De Playas Vecinas. Que es el material que se -- desplaza dentro del área por transporte litoral natural-- desde áreas de playas adyacentes.

c) De Acantilados. Que son contribuciones que tie-- nen su origen en la degradación por erosión de formacio-- nes rocosas sujetas a la acción del oleaje.

d) Otras Fuentes. Que tienen su origen en los vol-- canes submarinos, cenizas de volcán o de grandes forma-- ciones de coral u otros organismos que bajo la acción -- del oleaje se desintegran formando playas. Ocasionalmen-- te la acción del viento sobre la franja costera puede -- contribuir al abastecimiento de material a las playas. -- Las condiciones necesarias para que exista un transporte apreciable y formación de dunas por el viento son: el -- viento debe soplar desde una dirección prevaleciente, el material sedimentado debe secarse y no debe contener can-- tidades considerables de materiales cohesivos y finalmen-- te, la evaporación no debe ser de tal magnitud que permi-- ta el desarrollo de formaciones de caliche.

Considerando a las playas como un todo, la conserva

ción de las mismas se logra a expensas de la erosión de la masa terrestre. Al analizar las muestras de material-playero se puede determinar que a mayor contenido de materiales pesados más cercana está la fuente de aporte y entre más cercanas estén más angulosos serán los granos.

Según Frack clasifica las playas en relación con el tamaño de los granos del material que las conforma de -- acuerdo con los siguientes rangos :

Playas Gruesas	0.05 mm < d < 250 mm
Playas Medias	0.025 mm < d < 0.05 mm
Playas Finas	d < 0.025 mm

En donde "d" es el diámetro medio del material.

2. Acción del Oleaje sobre las Playas.

La acción del oleaje sobre las playas genera un fenómeno de suma importancia dentro del estudio de la Ingeniería de Costas, el cual por sus efectos manifiesta aspectos de relevancia como son las corrientes marinas y el transporte de sedimentos. Así, generalmente las olas mueven el sedimento (arena) a lo largo de la costa y hacia la playa. Consideraremos inicialmente el segundo de éstos, es decir, el movimiento de agua y arena a lo largo del perfil playero.

Cuando una ola rompe, se produce un considerable -- transporte de masa de agua hacia la costa y una importante turbulencia se presenta en la zona de rompiente. Esta

turbulencia tiende a levantar el material suelto que se encuentra en el fondo de tal suerte que puede ser trasladado hacia la costa junto con la masa de agua. El agua escapa de la zona entre la rompiente y la playa fluyendo por el fondo en sentido inverso a la dirección del oleaje e infiltrándose en la misma playa. Este flujo inverso continúa hasta la zona de rompiente donde se eleva para fluir hacia la playa nuevamente. Puesto que el flujo inverso en la playa es pequeño y menos turbulento, poca cantidad de sedimento puede ser transportado desde la playa, resultando que se acumule material en la playa y sea mayor la pendiente de la misma. La pendiente crece hasta que se alcanza un estado de equilibrio dinámico.

Fuera de la zona de rompiente, el oleaje transporta el material hacia la barra. Por lo que la barra es alimentada con material que proviene de ambos lados de la misma mientras que el material se remueve por el rompimiento de las olas. Este transporte y la barra se muestran en la figura 5. Finalmente se logra un estado de equilibrio dinámico, el cual se desajusta con un considerable cambio en la altura del oleaje o en el nivel del agua.

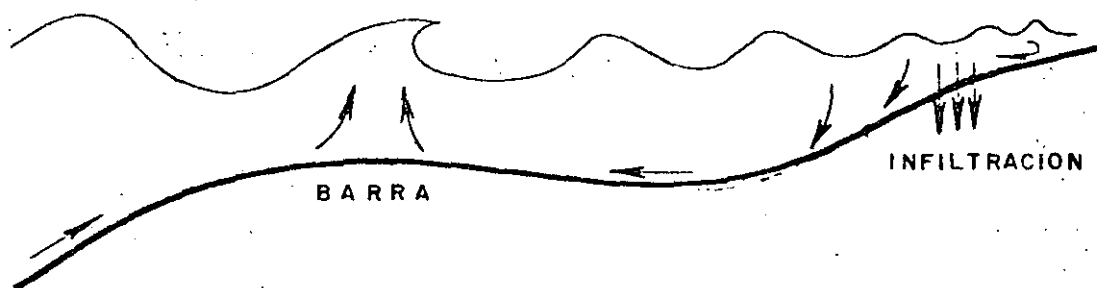


Fig. 5.- Perfil de una playa.



## 2.1. Transporte Litoral de material provocado por Oleaje y Corrientes.

### 2.1.1. Fórmulas Empíricas derivadas de un balance de la Energía.

Durante mucho tiempo el transporte de material a lo largo de la costa se ha relacionado de alguna manera con la componente de la energía del oleaje en el eje paralelo a la costa. Estos métodos se han considerado con una amplia explicación y se apoyan en un razonamiento físico.

En su forma más general, tal relación es:

$$S = AE_a \dots \dots \dots (1)$$

donde:

S es el total de la arena transportada a lo largo de la costa.

$E_a$  es la componente paralela a la costa del flujo de la energía, medida en la zona de rompientes.

A es una constante proporcional.

Desafortunadamente, en esta fórmula empírica, A no es adimensional teniendo las dimensiones ( $LT^2 M^{-1}$ ).

La componente del flujo de energía,  $E_a$ , está dada -  
por:

$$E_a = E_0 K_r^2 \sin \theta_b \cos \theta_b \dots (2)$$

donde:

$\theta_b$  es el ángulo entre las crestas del oleaje en la zona de rompientes y la línea de playa.

$E_0$  es el flujo de energía en aguas profundas en la dirección de la propagación del oleaje.

$K_r$  es el coeficiente de refracción.

De la teoría lineal del oleaje:

$$E_0 = \frac{1}{16} \rho g H_0^2 C_0 \dots (3)$$

donde:

$\rho$  es la densidad del agua.

$g$  es la aceleración de la gravedad.

$H_0$  es la altura de la ola en aguas profundas.

$C_0$  es la celeridad del oleaje en aguas profundas.

Sustituyendo las ecuaciones ( 3 ) y ( 2 ) en ( 1 )

$$S = 0.014 H_0^2 C_0 K_r^2 \sin \theta_b \cos \theta_b \dots (4)$$

donde todas las constantes se han combinado, y la constante, A, evaluada con los datos del CERC. Convenientemente, un poco de análisis dimensional revela que el coeficiente 0.014 es adimensional.

Siendo la fórmula anterior razonablemente confiable, tiene pocas limitaciones, siendo éstas:

a) Se calcula únicamente el total del transporte de material y no proporciona información sobre el perfil del transporte a lo largo de un eje perpendicular a la costa. Esta limitación resulta importante en costas confluencia de varios bajos.

b) Esta fórmula es independiente del tipo o tamaño del material del fondo. Esta fórmula es válida únicamente en playas con material similar al que se utilizó para su deducción, siendo éste, arena uniforme con diámetros de material entre 0.2 y 0.5 mm.

c) No interviene en la ecuación la pendiente de la playa.

d) Esta fórmula considera únicamente el transporte de material provocado por el oleaje. La influencia de corrientes no las contempla y esta limitación puede ser muy importante en deltas de ríos, por ejemplo.

e) La fórmula no es aplicable en la cercanía de canales dragados.

Svasek ha tratado de superar la primera limitación-

## 2.- Dragado de prueba.

Este método es análogo al anterior, ya que la barrera artificial la constituye una fosa en el fondo. Este método tiene más desventajas que el anterior cuando se aplica en playas, pues la fosa le llega arena de todas direcciones.

Además, presenta serias dificultades durante la excavación y no siempre es un método económico. Se utiliza con ventaja en la entrada de puertos, de esteros o en canales de navegación, cuando hay una dirección principal de arrastre.

Se recomienda utilizarlo en obras ya construidas, ya que ayuda a definir criterios de dragado y sirve como comprobación de los resultados obtenidos en estudios previos.

## 3.- Trampas de Arena.

Las trampas de arena son dispositivos en los que se trata de obtener una muestra que represente las características del transporte litoral sin que éste se vea afectado por la presencia de las mismas. Existen trampas para material en suspensión y para material del fondo, y su efectividad dependerá de la eficiencia de la captura, sin alterar las condiciones existentes. Las trampas para material de fondo consisten principalmente de un recipiente enterrado en el fondo, mientras que las trampas para material en suspensión se colocan entre el fondo y la superficie libre.

- a) Trampas de material que es transportado por el fondo.

Existen muchos diseños diferentes de trampas de arena para materiales que son arrastrados en el fondo. Las que han sido utilizados en el Instituto de Ingeniería, - consisten en recipientes circulares con capacidad aproximada de 60 a 200 lts, los cuales van enterrados a lo largo de la línea perpendicular a la playa, separados una - distancia constante entre 10 a 100 m, dependiendo del -- perfil playero. Una vez enterrados se deja abierta la ca - ra superior la cual queda ligeramente abajo del fondo de la playa. Si en la trampa se garantiza que el material - que entra no tiene oportunidad de salir, entonces el ma - terial atrapado corresponde a una muestra representativa del transporte litoral. Si por lo contrario, / el material puede salir formando parte del material en suspensión, - el material atrapado corresponde a una muestra del arras - trado por el fondo.

El método de muestreo consiste en tomar el tiempo - que tarda en llenarse cada trampa o en estimar el volu-- men de arena atrapada en diferentes intervalos de tiem-- po. En forma independiente es necesario observar la di-- rección predominante de donde viene el material. Cono--- ciendo el volumen depositado, el tiempo transcurrido y - la dirección de donde viene el material, se obtiene el - gasto sólido ya sea el total o por el fondo, que se pue - den asociar a unas determinadas condiciones oceánicas. - Al estudiar los volúmenes almacenados en todas las tram - pas de una sección, se conocerá el gasto a todo lo ancho de la playa.

- b) Trampas para el material que se transporta en suspensión.

Estas trampas son dispositivos de forma muy variable que se colocan a diferentes profundidades; con ellas se trata de relacionar la cantidad de material que atrapen con la cantidad de material en suspensión en movimiento y, este último dato, con las características medias de oleaje y corrientes.

Este tipo de muestreadores son los siguientes:

- a) Muestreador tipo Bambú.
- b) Recipientes Van Dorn.
- c) Succión con tuberías.

#### 4.- Trazadores.

Los trazadores consisten en partículas de arena de la playa en estudio, a las cuales se les ha marcado para distinguirlas fácilmente, ya sea con pinturas o radioactivantes. La inyección del material marcado puede hacerse una sola vez o puede ser continua; ambas son de gran utilidad principalmente en:

- a) La localización de las trayectorias que sigue la arena.
- b) Cuantificación del arrastre litoral.

En la localización de trayectorias ha dado magnífico resultado y se ha aplicado en bocas de lagunas costeras.

ras, en entradas de puertos, en desembocaduras de ríos y para conocer las trayectorias alrededor de la zona en estudio. En estudios de este tipo interesa conocer: De -- dónde viene el sedimento, por dónde pasa, adónde va, y -- en dónde se deposita.

En la cuantificación del volumen arrastrado, se emplean dos tipos principales que son:

- A) Trazadores Fluorescentes.
- B) Trazadores Radioactivos.

#### A) TRAZADORES FLUORESCENTES:

Los trazadores fluorescentes consisten en granos de arena pintados con colores fluorescentes, los cuales pueden ser identificados al exponerlos a la luz ultravioleta.

En el sitio donde se va a llevar a cabo el experimento se localizan previamente los puntos de inyección y de muestreo, los cuales se señalan adecuadamente con tubos o boyarines, que se colocan con la ayuda de cinta y tránsito.

Antes de hacer la prueba se toma arena de los sitios donde se va a depositar, la cual es marcada. El inicio de la prueba principia con un muestreo simultáneo en todos los puntos fijos; inmediatamente después se inicia la inyección del material marcado y luego se efectúan -- muestreos simultáneos en todos los puntos a intervalos -- de tiempo prefijados de antemano, pudiendo ser a los --

se depende de la Comisión de Energía Nuclear; además, si los trazadores son entregados oportunamente, se deben de utilizar de inmediato, lo cual a veces no es posible por existir tormentas en el sitio de muestreo.

5.- Los trazadores fluorescentes son menos costosos que los radioactivos.

6.- El transporte e inyección de los trazadores fluorescentes no presentan problemas en comparación con los radioactivos que requieren de muchas precauciones.

7.- La durabilidad o tiempo de vida está más controlado en los trazadores radioactivos.

8.- El análisis del muestreo es directo en los trazadores radioactivos. La parte más compleja en un estudio de trazadores fluorescentes es su conteo.

9.- La aproximación de los resultados depende de la persona que calibre el contador de radioactividad o de la dificultad o facilidad del ojo humano para ver determinados colores fluorescentes.

10.- Los trazadores fluorescentes son mejores en áreas pequeñas; para grandes extensiones es conveniente usar trazadores radioactivos.

### 3.2. Criterios Empíricos.

En la actualidad existen diversas teorías resultado de mediciones en el campo y en el laboratorio, de las --



cuales enunciaremos las más aceptadas en la práctica ingenieril :

### 3.2.1. Fórmulas que toman en cuenta únicamente la energía del oleaje.

Las fórmulas que permiten valuar el transporte litoral en función de la energía del oleaje, son de uso local y pueden aplicarse en aquellas playas donde se obtuvieron; o bien en otras con características semejantes.- En estas fórmulas se relaciona la energía del oleaje por unidad de longitud de playa con el volumen de arena que se mueve en un intervalo de tiempo, y cuya expresión general es de la forma:

$$Q_s = K E^a \dots (5)$$

así se tienen expresiones como las siguientes:

#### 1.- Fórmula de Cadwell

$$Q_s = 210 E_i^{0.8} \dots (6)$$

Durante las observaciones que se efectuaron en California, la dirección del oleaje con la línea de playa varió entre 9° y 21°, y el diámetro del material fluctuó entre 0.30 y 0.48 mm. En Florida el material era arena de cuarzo con diámetro entre 0.33 a 0.84 mm y las direcciones similares. Posteriormente esta expresión fue probada en la costa de Nueva Jersey con buenos resultados. En la fórmula de Cadwell  $Q_s$  está dada en yardas cúbicas por día y la energía "E" en millones de libras-pie por día y por pie de playa.

2.- Fórmula de Coastal Engineering Research Center  
(CERC) :

$$Q_s = 125 E_a \dots (7)$$

Esta fórmula ha sido obtenida de la recopilación de datos recabados de modelos y playas, y en las que se toma en cuenta condiciones promedio del oleaje y de características del sedimento, de varios lugares. Por ello se considera como una de las fórmulas principales con resultados satisfactorios;  $Q_s$  y  $E$  están expresadas en las mismas unidades de la fórmula de Cadwell.

$$E_o = \frac{\gamma H^2 L_o}{8} \quad \text{energía de una ola en aguas profundas.}$$

$$E_i = \frac{\gamma H_o^2 K_r^2 L}{8} \quad [(\text{número de olas por día}) (\text{sen } \alpha \text{ cos } \alpha)]$$

donde  $\alpha$  = ángulo de incidencia.

$K_r$  = coeficiente de refracción.

$$E_a = \frac{E_o}{2 \times 10^6} \quad [(\text{número de olas por día}) K_r^2 (\text{sen } \alpha \text{ cos } \alpha)]$$

Recientemente el CERC publicó en el Manual de Protección de Costas (1973) una nueva fórmula deducida del análisis de la información utilizada en la ecuación original.

El método está basado en la hipótesis de que el transporte  $Q$  es directamente proporcional a la componente paralela a la costa del flujo de la energía en la zo-

na de rompientes "Surf". Esta componente se calcula por el principio de la conservación de la energía en profundidades reducidas, usando la teoría de las ondas de pequeña amplitud, y evaluando la relación del flujo con la posición de la línea de rotura.

El flujo de energía por unidad de longitud de cresta de onda,  $O$ , equivalentemente, la relación en la que la energía de la onda es transmitida a través de un plano de anchura unitaria perpendicular a la dirección de avance es:

$$P = E \cdot C = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot C$$

Si la cresta de la onda forma un ángulo  $\alpha$  con la línea de costa, el flujo de energía en la dirección de avance por unidad de longitud de playa es:

$$P \cdot \cos \alpha = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot C_g \cos \alpha$$

y la componente longitudinal a lo largo de la playa:

$$P_1 = P \cos \alpha \sin \alpha = \frac{\rho g}{8} H^2 \cdot C_g$$

$$\cos \alpha \sin \alpha = \frac{\rho g}{16} H^2 C_g \sin 2\alpha$$

$$P_1 = \frac{E}{2} C_g \sin 2\alpha$$

En la zona de rompientes "Surf", tendremos:

$$P_{1s} = \frac{\rho g}{16} H_b^2 \sin 2\alpha_b \cdot (C_g)_b$$

La velocidad de grupo  $C_g$  está relacionada con la celeridad  $C$ , usando la teoría de onda lineal en pequeñas profundidades, de la forma:  $C_g \approx C$ , por lo que:

$$P_{1s} = \frac{\rho g}{16} H_b^2 C \sin 2\alpha_b \quad \dots (8)$$

donde  $H_b$  y  $\alpha_b$ , son la altura y la dirección en rotura, y  $C$  es la celeridad.

Según la teoría lineal:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}$$

que en profundidades reducidas se simplifica a :

$$C = \sqrt{gd}$$

Si queremos hallar el valor de  $P_1$  en función de las características de la onda en aguas profundas,  $C_g$  es igual a  $0.5 C_0$ , siendo  $C_0$  la celeridad en aguas profundas. Como sabemos que:

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 5.12 T \quad (\text{ft/seg})$$

podremos poner el valor de  $P_{1s}$  en la forma:

$$P_{1s} = \frac{\rho g}{64\pi} T (H_0 Kr)^2 \sin 2\alpha_b \quad \dots (9)$$

siendo  $Kr$ , el coeficiente de refracción.

Si aplicamos este valor a las rompientes, donde la profundidad  $d$ , es igual a  $1.28 H_b$  (evaluada según la teoría de la onda solitaria), tendremos:

$$C = \sqrt{1.28 H_b g}$$

Las figuras III.10 y 11 permiten hallar la componente paralela a la orilla de la energía de acuerdo con los resultados anteriores. Para su elaboración se ha partido de la hipótesis de batimetría paralela y recta, y se ha utilizado la teoría lineal del oleaje hasta las rompientes.

Hasta ahora, con la teoría utilizada, se ha considerado un tren de olas con un único período y altura. Las condiciones reales del oleaje, sin embargo, contienen una variación de alturas de ola que se ajustan a una distribución de Rayleigh. La altura de ola que debemos introducir en las ecuaciones expuestas hasta ahora, es la altura media cuadrática, para reflejar el flujo de energía total.

Sin embargo, en la generalidad de los proyectos de ingeniería de costas se cuenta únicamente con  $H^{1/3}$  como dato. Cuando se utiliza  $H^{1/3}$  en vez de la cuadrática en las ecuaciones anteriores, el resultado obtenido es aproximadamente el doble del flujo real de energía.

Para conocer  $P_1$ , hay que tener en cuenta que este valor varía a medida que el oleaje se propaga por los fondos cercanos a la línea de costa. En el cuadro siguiente se proponen varias expresiones que dan  $P_1$  a cual

Fórmula	Datos de partida	Valor de $P_{11}$
1	$H_b, \alpha_b$	$32,1 H_b^{5/2} \text{ sen } 2\alpha_b$
2	$H_o, \alpha_o$	$18,3 H_o^{5/2} (\text{cos } \alpha_o)^{1/4} \text{ sen } 2\alpha_o$
3	$T, H_o, \alpha_o, \alpha_b$	$20,5 T H_o^2 \text{ sen } \alpha_b \text{ cos } \alpha_o$
4	$T, H_b, \alpha_o$	$100,6 (H_b^3/T) \text{ sen } \alpha_o$

Nota: Este cuadro esta en unidades inglesas.

TABLA 1.- Expresiones del Valor Pis.

En el cálculo de todas las expresiones se ha supuesto batimetría rectilínea y paralela. Las hipótesis de cálculo particulares de cada expresión son para cada fórmula las siguientes:

FORMULA 1.

- 1.1 Energía en las rompientes (a partir de la teoría lineal).

$$E = \frac{H_b^2}{8} \dots (10)$$

- 1.2 Velocidad de la ola en las rompientes (dada por la teoría de la onda solitaria) para la profundidad de rotura:

$$C_g = C = 2g H_b$$

1.3 En rotura se usa  $\alpha = \alpha_b$

FORMULA 2.

2.1 Igual a 1.1

2.2 La altura de ola de rotura que se estima a partir de la teoría lineal de oleaje, tiene como valor:

$$H_b = K_r K_s H_o ;$$

$K_s$  se supone constante,  $K_s = 1.14^2$ ;

y además  $(\cos \alpha_b)^{1/4} \approx 1$

FORMULA 3.

3.1 Se usa la teoría lineal de oleaje para determinar la refracción.

FORMULA 4.

4.1 Igual a 1.1

4.2 Como la 2.2

4.3 Igual que 3.1

4.4  $\cos \alpha_b = 1$

Por último, vamos a establecer la relación de proporcionalidad entre el factor del flujo de energía  $P_{1s}$  y el transporte. Para ello, en la figura siguiente, se incluyen los datos:

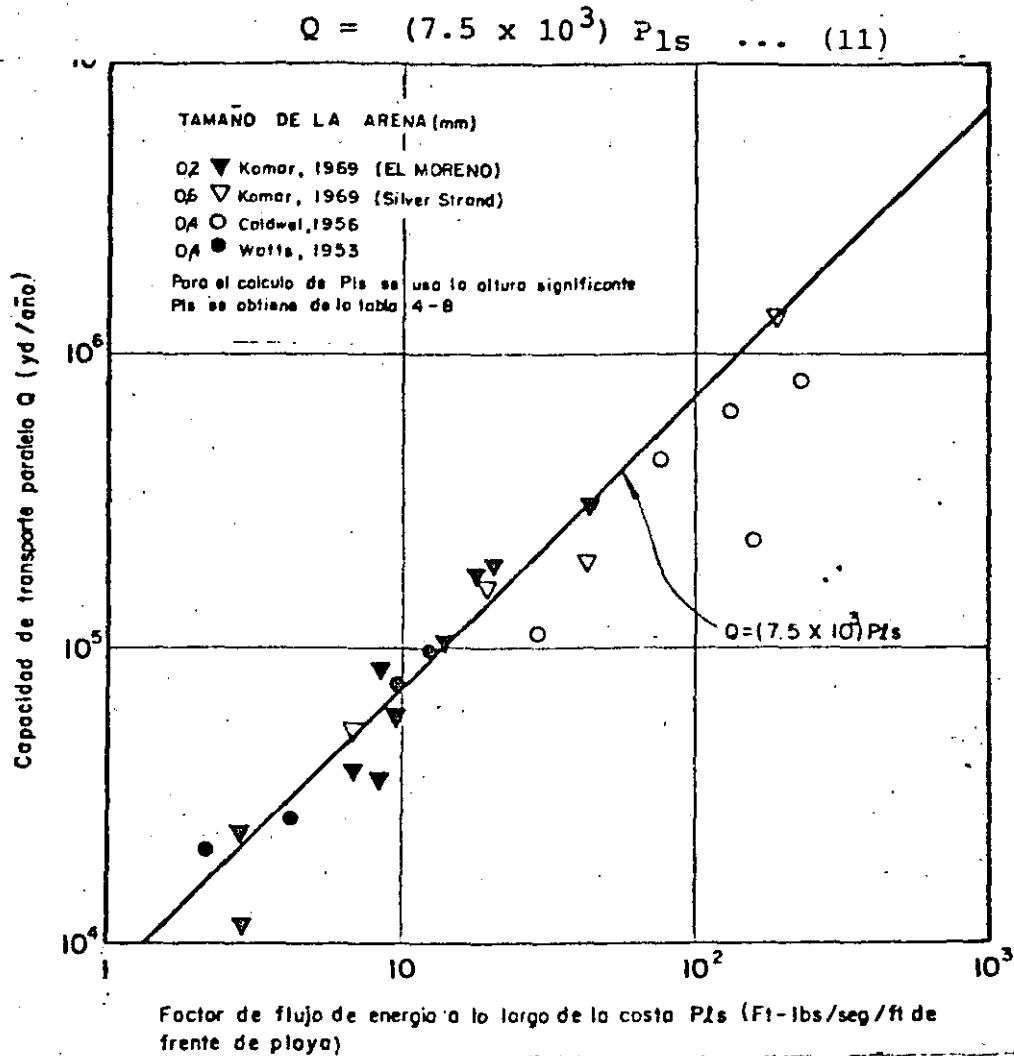


FIG. 9. - Factor del Flujo de Energía.

3.2.2. Fórmulas que toman en cuenta la energía del oleaje y las características del material -- transportado.

Con estas fórmulas se da un paso más en el intento de evaluar adecuadamente el transporte litoral, puesto que se toman en cuenta las características del material de playa. Al igual que las fórmulas anteriores, cuantifi



can el transporte total sin hacer ninguna distinción sobre si el material se mueve en el fondo o en suspensión.

1. Fórmula de Larras:

$$Q_s = K g H_0^2 K_r^2 T \operatorname{sen} \frac{7}{4} \alpha \dots (12)$$

en donde  $Q_s$  está expresada en  $m^3/\text{seg}$ , el valor de  $K$  depende de la relación de esbeltez de la ola ( $H/L$ ) y del diámetro del material:

$$K = 1.18 (10^{-6}) D^{-1/2} \frac{L_0}{H_0}$$

$g$  = Gravedad.

$D$  = Diámetro 50 del material en (mm).

$\alpha$  = Angulo de incidencia.

$T$  = Período

$H_0$  = Altura de la ola en aguas profundas.

$L_0$  = Longitud de la ola en aguas profundas.

2.. Fórmula: BONNEFILE Y PERNECKER.

Los investigadores Larras y Bonnefile, en el II -- Congreso de A.I.R.H. de Leningrado, presentaron un estudio, realizado en modelo reducido, sobre la valoración de la capacidad de transporte de arena paralela a la -- playa, producida por una ola monocromática que abordase la playa bajo un ángulo  $\alpha$  constante de  $20^\circ$ . La determinación de la intensidad del transporte litoral, para --

ecuaciones, ya que la intensidad del transporte litoral debe depender de las características de los sedimentos.- Sin embargo, probablemente debido a que este campo de investigación está todavía en un estado bastante empírico, es la fórmula del CERC, al estar basada en numerosos resultados de modelos reducidos y de prototipos (naturaleza) en condiciones medias de la acción del oleaje y de las características del sedimento, la que da resultados más reales.

En definitiva, la cuantificación del transporte litoral, por su complejidad, requiere, para cada caso particular, un estudio que pudiera estar orientado por las siguientes recomendaciones:

- a) El mejor método del cálculo es el derivado del estudio cuantitativo de un modelo natural próximo y de similares características, en el caso de que exista.
- b) Si las cantidades deducibles de sitios cercanos no son conocidas, lo mejor será computarlas con datos confiables que muestren los cambios históricos en la topografía de la zona litoral (cartas, mediciones, registros de dragado, etc.).
- c) En el caso de no ser aplicables los procedimientos expresados en a) y b), se puede calcular el transporte litoral con las fórmulas tradicionales. Este procedimiento, si bien más rápido que los anteriores, adolece de menor exactitud.

Por descontado, la aplicación conjunta de estos 3 - procedimientos dará una visión más completa del problema y una confiabilidad mayor, al poder eliminar los errores que se hayan podido cometer en la aplicación de cada uno de ellos.

## 5. Planta de las formas costeras - Soluciones adoptadas.

Si se desea saber lo que sucederá en una costa, después de la construcción de unas estructuras marítimas, se pueden usar varias -- aproximaciones.

Evidentemente estaríamos en condiciones de predecir los posi-- bles cambios si conociésemos suficientemente bien una serie de hipó-- tesis de partida --contando además con que pudiésemos utilizar una -- fórmula del transporte litoral digna de confianza--.

Desgraciadamente el estado de conocimientos no llega a tanto - por el momento, por lo que, normalmente, se buscan aproximaciones -- más o menos morfológicas con la ayuda de la ecuación de continuidad - y una ecuación dinámica simplificada, lo que permite encontrar una - fórmula para la variación de la línea de costa con el tiempo.

Estas aproximaciones analíticas, por tanto, no han de hacer -- olvidar que la solución más confiable del problema consiste en el en sayo en modelo reducido de fondo móvil del tramo de costa en estudio aplicando en él las variables del oleaje obtenidas en compañía direc ta de obtención de datos en el lugar durante un cierto tiempo.

### 5.1. R. Pelnard-Considere:

"Essai de teorie de l'evolution des formes de rivages en ----- plages de sable et de galets" (IV Jornada de Hidráulica - Paris Ju-- nio 1954).

Las hipótesis principales de partida son:

- El perfil de la costa siempre permanece en equilibrio.
- No existen corrientes diferentes de la industria por la in-- cidencia oblicua.

- La dirección del oleaje es constante, siendo el ángulo de incidencia pequeño.
- La relación entre el ángulo de incidencia y la corriente litoral es lineal.

Con estas premisas y debido a que el ángulo de la ola de incidencia en A es mayor que en B, el transporte litoral en A será también mayor que en B, lo que significa que entre A y B habrá un depósito (Fig. 4).

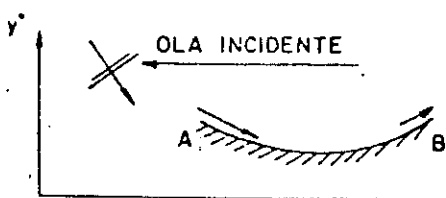


Fig. 11.- Acrección en costa cóncava.

Las costas convexas, por lo tanto, se erosionan y las cóncavas crecen.

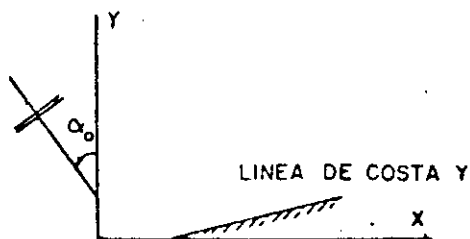


Fig. 12.-

La corriente litoral  $Q$ , función del ángulo de incidencia, puede ser desarrollada en serie de Taylor (Fig. 12).

$$Q = Q_0 + \frac{dQ}{d\alpha} (\alpha - \alpha_0) + \dots$$

Siendo  $Q_0$  el transporte  $Q$ , si el ángulo de incidencia es  $\alpha_0$  )

Admitiendo según las hipótesis anteriores que:

$$\frac{\delta Y}{\delta x} = \text{arc tg } \frac{\delta Y}{\delta x}$$

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{\delta Y}{\delta x}$$

Si en el desarrollo anterior introducimos estas ecuaciones tendremos:

$$Q \approx Q_0 - q \frac{\delta Y}{\delta x}, \text{ donde: } q = \frac{dQ}{d\alpha}$$

Por otra parte la cantidad de arena depositada o removida en una longitud de playa será:  $D (\delta x) (\delta y)$ , (siendo  $D$  la distancia vertical existente entre la parte superior de la playa y la línea más baja donde el material es movido) (Fig. 13).

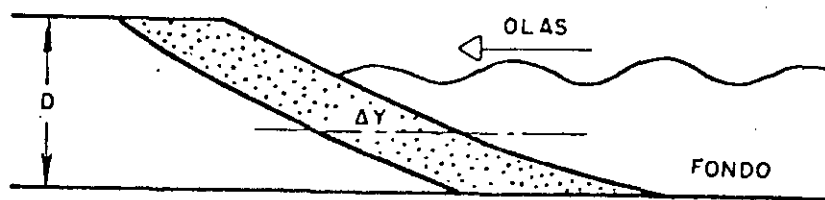


Fig. 13.

Este volumen será igual a su vez a:  $(\delta Q) \delta t$ , por lo que si igualamos ambas expresiones tendremos:

$$D (\delta x) (\delta y) = (\delta Q) \delta t, \text{ y despejando:}$$

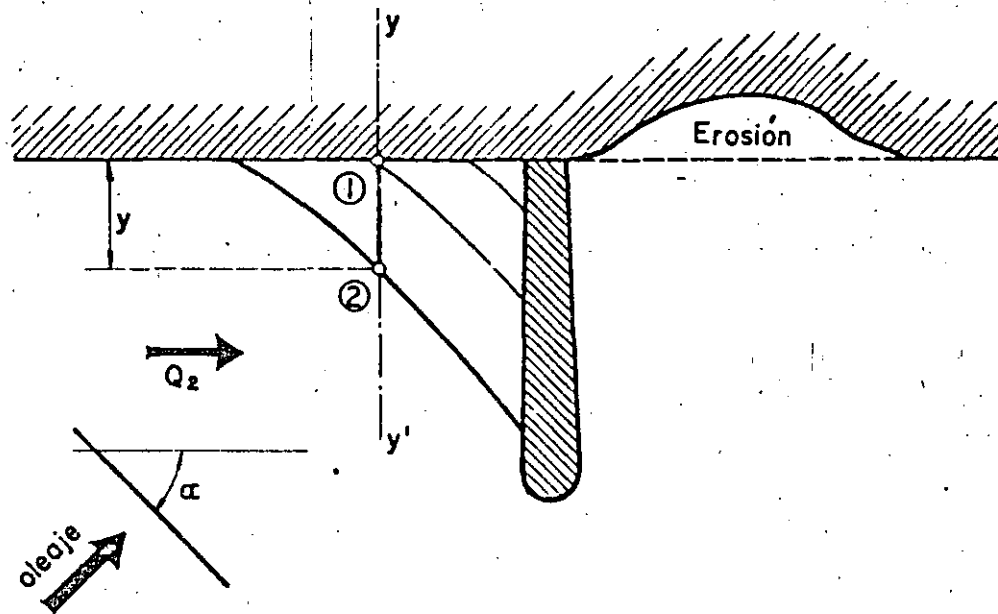
$$\frac{\delta y}{\delta t} = \frac{1}{D} \frac{\delta Q}{\delta x}$$

Si hallamos el valor de  $\delta Q / \delta x$  del desarrollo anterior simplificado y sustituimos, tendremos:

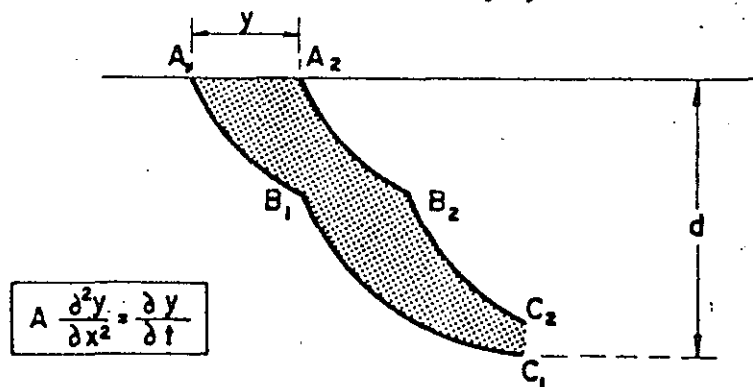
$$\frac{\delta Y}{\delta t} = \frac{q}{D} \frac{\delta^2 Y}{\delta x^2} = A \frac{\delta^2 Y}{\delta x^2}$$

Vamos a ver ahora la aplicación de esta teoría al caso de un espigón, tomando como ecuación de transporte la de Larras:

$$Q = K \cdot g \cdot h^2 \cdot T \cdot \text{sen} \frac{7\alpha}{4} \quad (\text{Fig. 14}).$$



CORTE  $y-y'$



## DRAGADO

## INTRODUCCION.

La remoción de material del lecho marino y del fondo de los ríos para proveer de una mayor profundidad en las vías de entrada a los puertos y en las zonas adyacentes a los muelles, se ha efectuado a través de la Historia. En nuestros días, a causa de los requerimientos impuestos por la expansión mundial en cuanto al comercio marítimo se refiere, han obligado a esta rama de la Ingeniería a investigar permanentemente y en forma exhaustiva, ideando nuevos sistemas en base a la experiencia y a las necesidades presentes y futuras; -- que si bien en un principio se pensaba en extraer materiales tales -- como fango, arena o roca, al pasar el tiempo, se ha ido incursionando en los campos de la minería y en el de obtención de alimentos bajo el agua, llevándose a cabo dragados que hasta hace poco tiempo se juzgaban impracticables.

Se pueden resumir en cinco los objetivos principales del dragado:

- a) Profundizar o mantener la profundidad de ríos, lagunas, canales o puertos marítimos;
- b) Elevar el nivel de áreas bajas de terrenos para mejorar sus condiciones;
- c) Construir diques y otras obras de control de corrientes y de línea de costa;
- d) Explotación de depósitos subacuáticos con valor comercial -- tales como: minerales, plantas para productos alimenticios, coral, esponjas, grava, arena y fertilizantes;
- e) El relleno de áreas ganadas al mar, que si bien sin ser necesariamente bajas, se requieren para determinado fin.



## 1.2. Clasificación.

Los diseños de las dragas hidráulicas no han permanecido estáticos, sino que han sufrido constantes cambios de acuerdo a la experiencia y a los materiales a dragar propios de cada región donde se ejecuten los trabajos.

En general, todas las dragas hidráulicas quedan integradas en los tres grupos siguientes:

- a) Si pueden navegar por sus propios medios.
- b) Si son capaces de almacenar el producto del dragado en su interior.
- c) De acuerdo con el equipo de ataque de que disponen.

## 1.3. Maniobrabilidad.

En primer lugar, la forma del casco que soporte al equipo de dragado es fundamental. Así, se tiene que si la draga está provista de medios de autopropulsión, las formas del casco serán hidrodinámicas, es decir, con líneas tales que le permitan su desplazamiento en el agua, sin demasiada resistencia.

En el caso de no contar con autonomía para trasladarse de un lugar a otro, el casco podrá tener forma rectangular sin que esto tenga mayor importancia, a este tipo de diseño se le identifica como estacionario.

- a) Dragas Autopropulsadas.

Durante el dragado, la nave se mueve lentamente hacia adelante por la potencia de sus propulsores (Fig. 2). En líneas de navegación concurridas, un alto grado de maniobrabilidad es esen

Podemos definir a la draga como una embarcación especialmente dispuesta y con los medios necesarios para limpiar o extraer material del fondo de los puertos, ríos, dársenas, canales, etc.

Así mismo, podemos clasificar a las dragas en dos grandes grupos: mecánicas e hidráulicas.

Al primer grupo pertenecen las de cangilones o de rosario, las de grúa (con almeja, granada o garfios) y las de cucharón. Todas estas dragas podemos considerarlas como los tipos básicos del grupo de mecánicas, que debido a su construcción relativamente sencilla, fueron las primeras que se usaron y que en ciertas clases de obras son insustituibles, a pesar de que su alcance de descarga es muy limitado por lo que se impone el uso de gánguiles o chalanestolva y remolcadores para tirar el material en las zonas de depósito.

Corresponden al segundo grupo, y al tema de estudio del presente trabajo, las dragas hidráulicas que combinan la operación de extracción y transportación del material hasta el lugar de depósito, mezclándolo con agua y bombeándolo como si fuera fluido. Estas dragas resultan más versátiles, económicas y eficientes que las mecánicas.

Actualmente, en la República Mexicana este proceso de Construcción Pesada se ha considerado como una actividad exclusiva del sector marino, y es meta del presente trabajo demostrar que está vinculada a la Ingeniería Civil, por lo que debe ser tratada como parte integrante de la rama de Movimiento de Tierras, pues conlleva la misma tecnología y conceptos.

cial. Esto puede ser logrado de dos formas, equipando a la nave con propulsores y timones dobles, y/o por el uso de un impulsor transversal colocado en la proa. Ya sea que se use uno o ambos sistemas, proporcionan una gran maniobrabilidad que -- permiten dragar con el barco en marcha, en condiciones de oleaje importante y sin causar estorbo alguno al tráfico marítimo; y además el barco puede navegar hacia cualquier zona de trabajo por sus medios de autopropulsión.

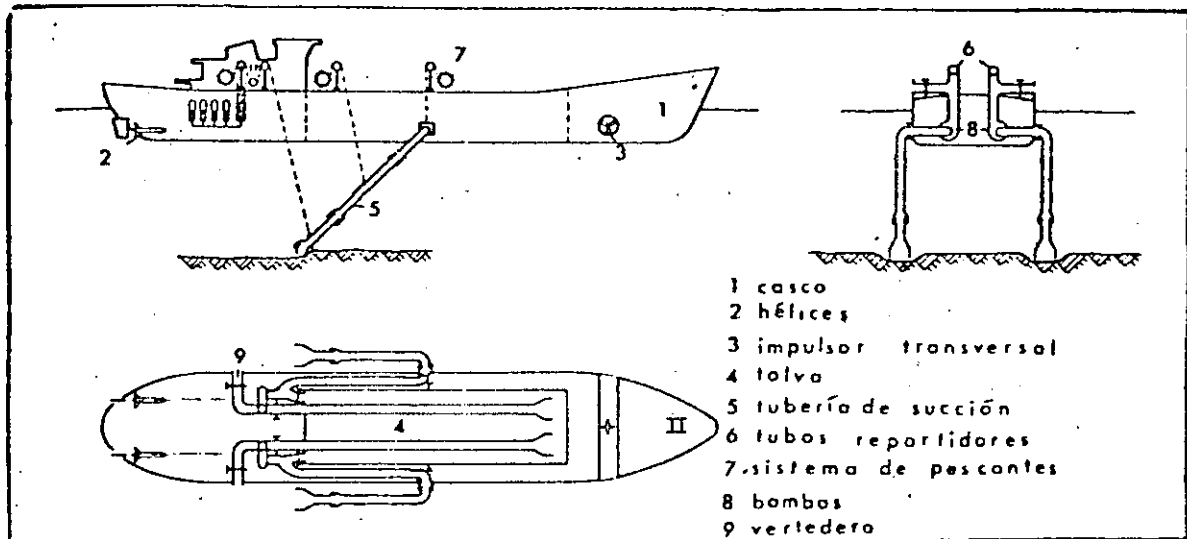


Fig.2 DRAGA DE AUTOPROPULSION CON TOLVA

- Se pueden distinguir tres fases en la operación de este tipo de dragas:

1. Succión. Propulsada pausadamente, la draga aspira los productos del fondo submarino, a través de la tubería de succión y bombas, depositándolos en la tolva.
2. Transporte. La draga con la tolva llena, se translada autopropulsadamente hacia la zona de vertido en altamar o en un pozo hondo (i), o hacia un lugar de entrega en tierra - (ii).
3. Descarga. En el caso (i), se abren las compuertas o válvu

las en el fondo de la tolva, o el barco se abre hendido -- longitudinalmente. En el caso (ii), las bombas entregan -- los productos del dragado en tierra.

#### b) Dragas Estacionarias.

La movilización de la draga puede ser ejecutada de diferentes formas. Los principales sistemas son:

1. Dragas con traveses. Los movimientos de oscilación y avance son ejecutados por medio de cables o traveses. Este sistema no es ampliamente usado, y es solo aplicable para -- obras rectas y continuas, porque proporcionan escasa preci-- sión (Fig. 3).

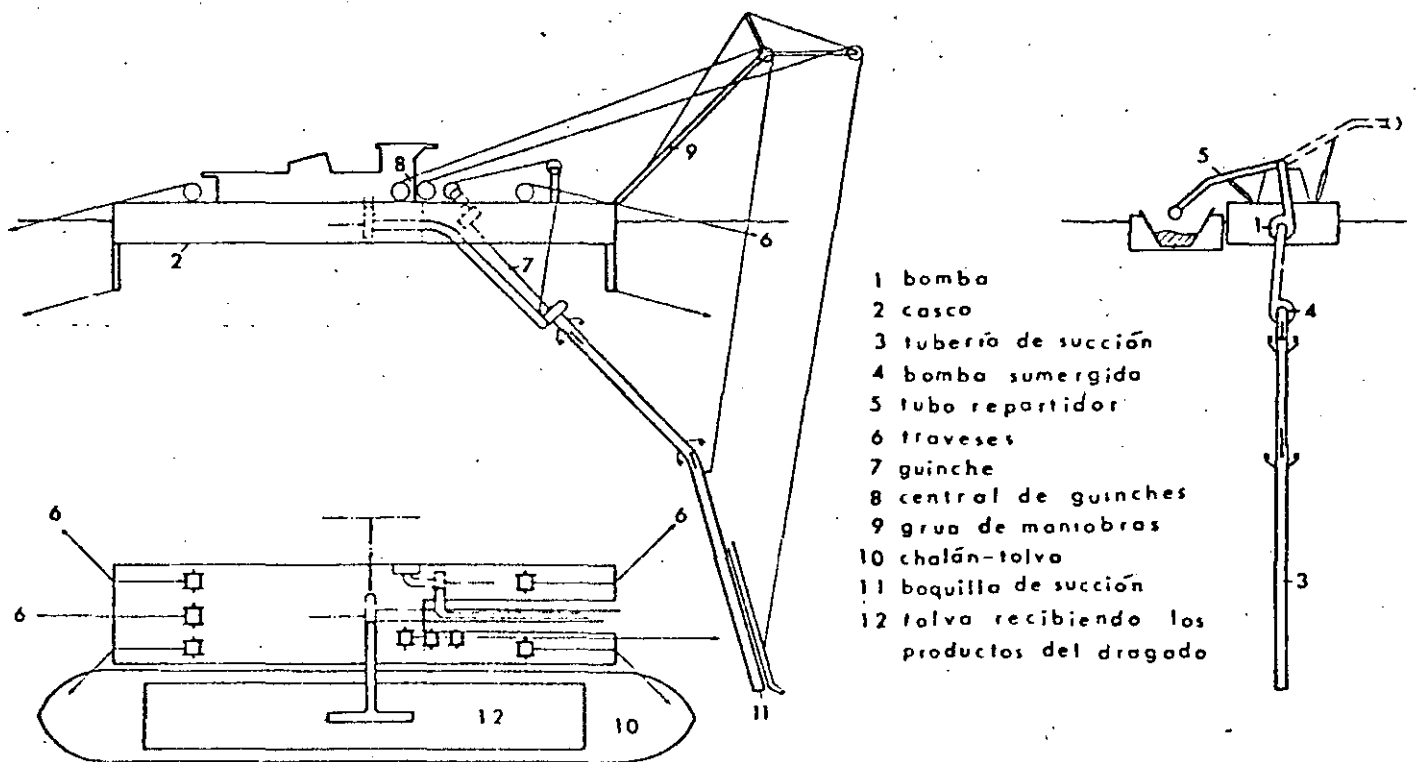


Fig. 3 DRAGA ESTACIONARIA CON TRAVESES

2. Dragá con zancos. Este diseño proporciona máxima producción y al mismo tiempo óptimo perfil del fondo. En la mayoría de las embarcaciones de este tipo, el movimiento es efectuado por la oscilación de la draga con respecto a un zanco de "trabajo" reposando en el lecho marino. La nave avanza a través del canal maniobrando con los zancos. En otras dragas de este tipo, sólo la escala oscilada, y la draga permanece fija en su posición por tres o cuatro zancos; pero el ancho del corte es menor con este arreglo. El avance es ejecutado con la ayuda del zanco de "paso". La draga es oscilada de lado a lado del canal por medio de dos traveses delanteros, operados por tambores gemelos de una central de maniobras de guinches o por guinches de oscilación separados. Los traveses están guiados sobre poleas montadas a ambos extremos delanteros del casco o cerca del extremo final de la escala de dragado, ver la Fig. 4.

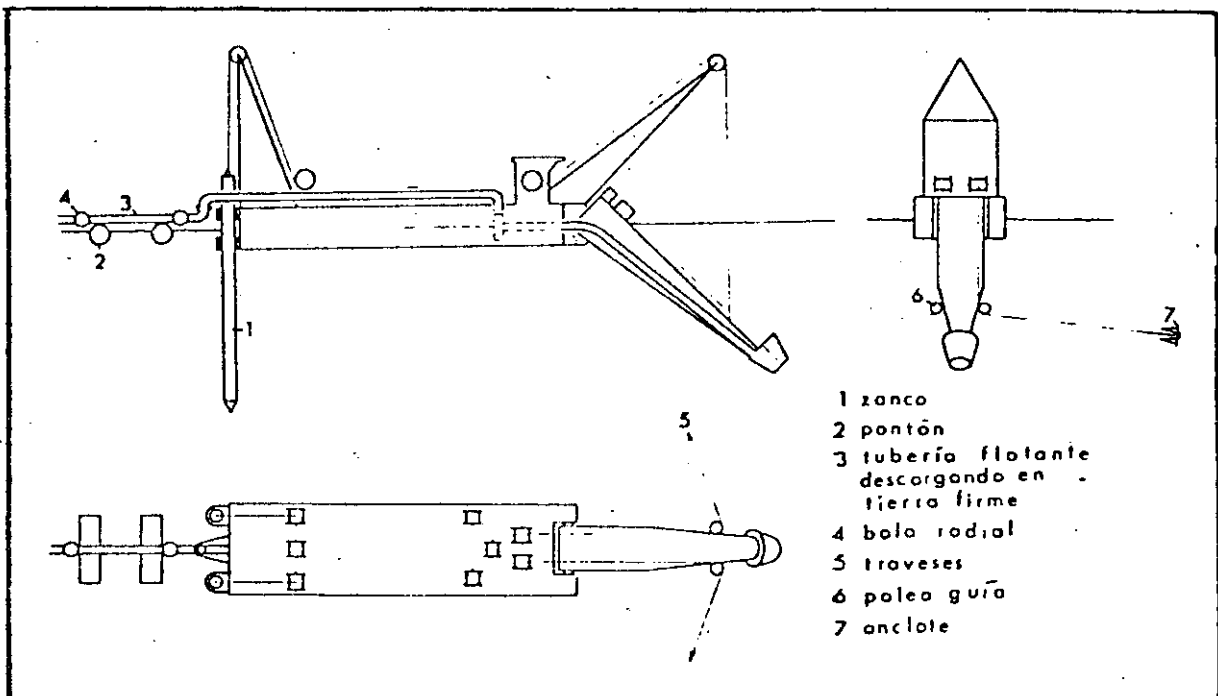


Fig. 4 DRAGA ESTACIONARIA CON ZANCOS

En vista del diseño del casco y de la presencia de zancos-rígidos, este tipo de dragas sólo pueden operar en aguas tranquilas con altura máxima de ola de 0.5 m, y en zonas sin tráfico de embarcaciones debido a la presencia de tubería flotante.

#### 1.4. Métodos de Disposición del Material Dragado.

Son tres los métodos en que una bomba centrífuga de dragado -- puede descargar el material extraído:

##### a) Tolva.

La tolva es un depósito interconstruido en el casco de la draga, con una capacidad de 500 hasta 12,000 m<sup>3</sup>, cargándose en un lapso de 20 a 60 minutos. El material se distribuye mediante canales o tubos repartidores provistos de válvulas o compuertas para controlar las descargas. Generalmente en cada extremo de la tolva se colocan vertederos por encima del nivel teórico de decantación del material dragado para asegurar una buena producción. En años recientes se han construido dragas con gran capacidad en la tolva, la ventaja de esto es económica, -- es decir, reduce el costo por unidad de volumen de material -- dragado, transportado y tirado.

##### b) Gánguiles o Chalanes-Tolva.

Los gánguiles o chalanes-tolva, son barcazas destinadas para:-- recibir, transportar o verter en el mar u otro lugar convenientemente elegido; el fango, arena, piedras, etc., que extraen -- las dragas. Están provistas de tolvas interconstruidas dotadas de sus correspondientes compuertas, con dispositivos de -- operación mecánica o hidráulica para abrirlas y vaciar el material. Se construyen barcazas de autopropulsión o dispuestas --

para ser remolcadas, pero ya sean de una u otra clase, se abarlotan al costado de la draga (Fig. 3), para recibir los productos excavados.

c) Tubería de Descarga.

La tubería de descarga puede ser más fácilmente descrita y localizada considerándola en tres secciones separadas, (1) la tubería sobre la draga, (2) la tubería flotante, y (3) la tubería terrestre.

1. La tubería sobre la draga. La tubería sobre la draga corre desde la descarga de la bomba hasta conectarse con la tubería flotante, o fuera de borda para descargar en tolvas o chalanes. En el caso de conectarse con tubería flotante, ésta conexión se efectúa por medio de codos giratorios, conexiones esféricas o mangueras flexibles.
2. La tubería flotante. La tubería flotante va montada sobre pontones y se extiende desde el codo giratorio de la draga hasta el pontón cabria de conexión con la línea de tierra. Los pontones pueden ser cilíndricos o de sección elíptica con los extremos semiperfilados para disminuir la resistencia a las corrientes o el oleaje. La unión de los tramos de tubería flotante se efectúa mediante conexiones esféricas o manguitos de hule tramado. Cuando el tráfico de buques en la zona de dragado sea importante, se podrá emplear la tubería sumergida para que no constituya un estorbo a la navegación.
3. La tubería terrestre. La tubería terrestre se extiende -- desde el pontón cabria, siguiendo el trayecto más corto al lugar de descarga.

### 1.5. Equipos de Ataque.

Todas las dragas hidráulicas tienen una cosa en común, una bomba centrífuga de dragado descargando ya sea en el interior de la draga misma, en chalanes, o en tierra firme. También tienen una línea de succión a través de la cual se suministra material a la bomba. Los medios de ataque y extracción del material son en lo que se diferencian, y se clasifican en:

- a) Dragas de succión.
- b) Dragas con rastra de succión; y,
- c) Dragas de succión con cortador.

### 1.6. Dragas de Succión Simple.

- a) Características Generales.

Las dragas de succión simple que, utilizan únicamente la fuerza de succión de la bomba para extraer el material del fondo, son similares en la construcción del casco a un barco regular, pero a menudo difieren de otras dragas en la localización de la tubería de succión. La draga de succión simple por lo regular tiene su tubería de succión en un pozo interconstruido en la proa, mientras que otros tipos, tales como las dragas con tolva, tienen sus tuberías situadas lateralmente (Fig. 2).

La tubería de succión, independientemente de su localización, corre a través del casco hasta la bomba. La bomba descarga el material dragado ya sea en tolvas construidas en la draga misma, dentro de chalanes-tolva estacionados lateralmente, o transportado por tubería a cierta distancia a una zona de tiro (Fig. 5). Ocasionalmente existe un sistema de bombeo en tierra firme (Fig. 6). Las dragas de succión simple modernas, --



por lo regular tienen un sistema de chiflones instalado en el extremo final de la tubería de succión, donde agua a altas presiones es inyectada para remover al material.

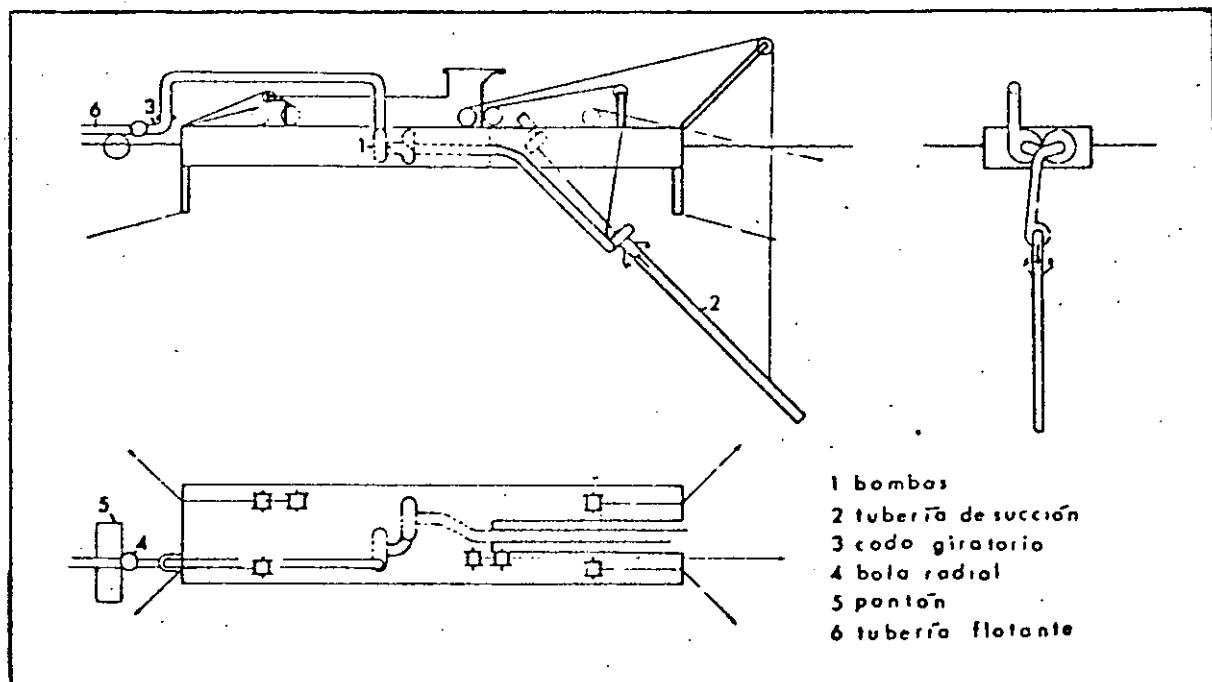


Fig.5 DRAGA DE SUCCION SIMPLE

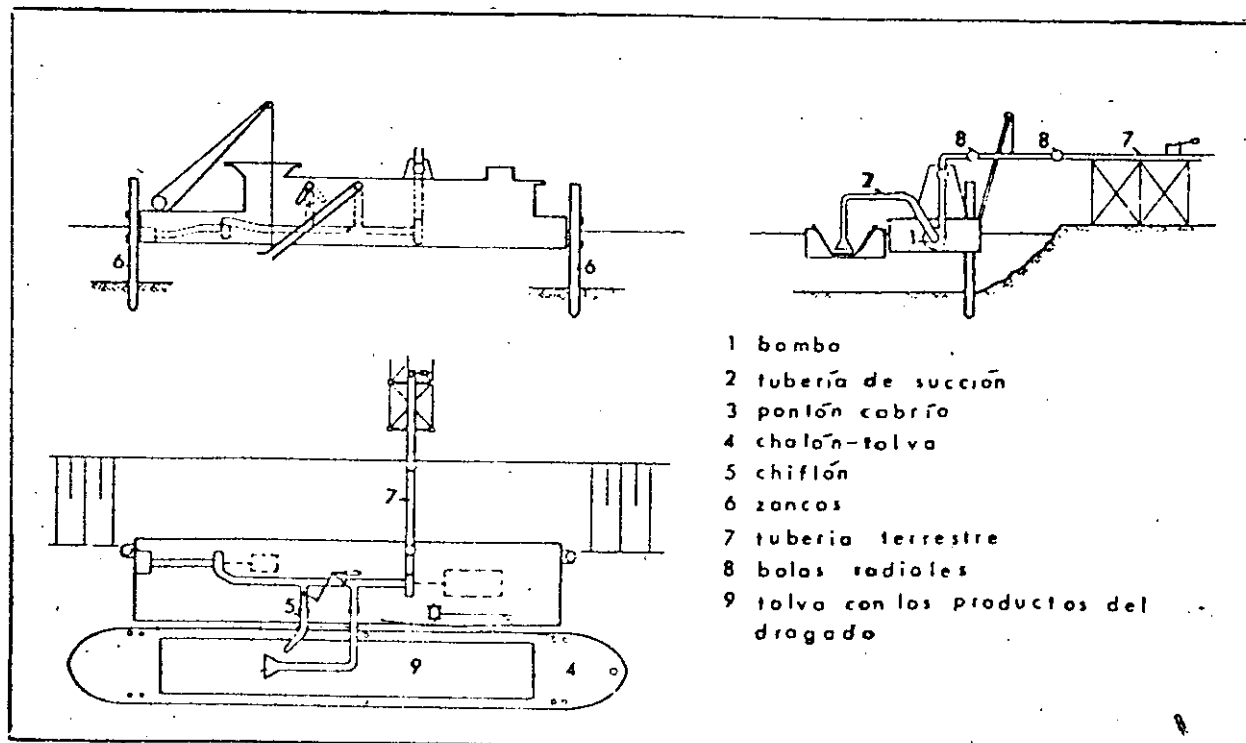


Fig.6 UNIDAD DE REBOMBEO

b) Utilización.

Este tipo de dragas operan mejor cuando son capaces de fijarse estacionariamente y pueden dragar un hoyo dentro del cual la arena circundante puede caer, y se emplean para succionar materiales sueltos o de fácil flujo como arena y fango. Con dificultad pueden dragarse conglomerados de arena con arcilla y arcilla de barro. Los estratos duros o compactos, no son posibles de extraer con dragas de este tipo, así como cualquier otro material que no pueda ser removido con facilidad.

1.7. Dragas con Rastra de Succión.

a) Características Generales.

La draga de succión simple a menudo emplea una cabeza especial llamada rastra, acoplada en el extremo de la succión. Las dragas que emplean este aditamento son generalmente barcos con --tolva (Fig. 7) con tubos de succión laterales, con bomba(s) de succión instalada(s) en los tubos y/o a bordo; y con equipo de autopropulsión; pero ocasionalmente pueden bombear al material en barcazas abarlotadas, o botándolo a los lados de la zona de trabajo.

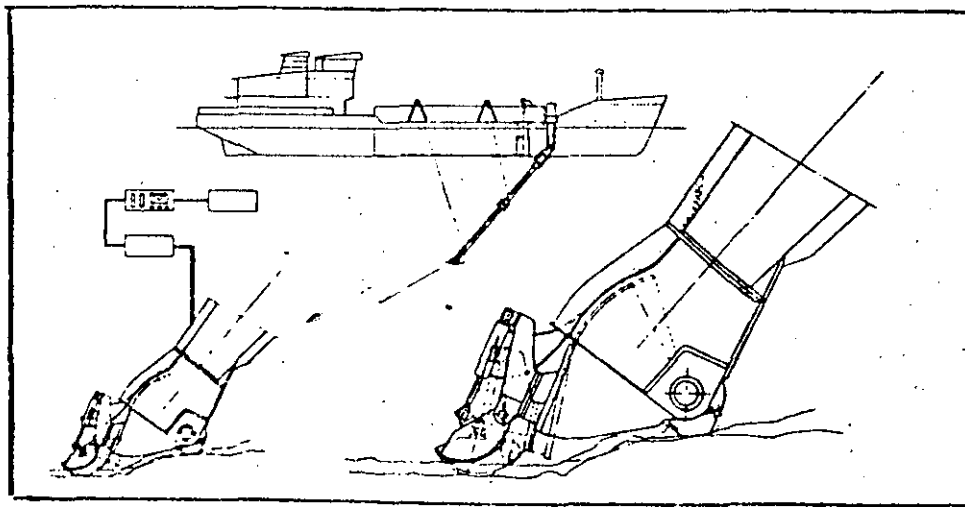


Fig-7 DRAGA CON RASTRA DE SUCCION

Las rastras de succión más conocidas y más solicitadas son el cabezal IHC y el cabezal California (Fig. 8). Los mismos pueden suministrarse en ejecución estandar para diámetros tubulares de 450 hasta 1,200 mm.

El cabezal IHC consta de una parte fija, que se monta al extremo inferior de la tubería de succión y con que el tubo de succión permanece en el fondo, y una visera que está acoplada a la misma con bisagras, de manera que puede seguir las desigualdades del perfil del fondo. La visera se apoya en el fondo con patines ajustables, que mantienen así una cierta abertura de succión. Este tipo de cabezal es apropiado para las clases de materiales más comunes. Para materiales compactos, como por ejemplo la arcilla, el cabezal puede armarse de cuchillas que se colocan en sentido transversal en la visera. Siendo entonces necesario fijar la visera bajo un ángulo adecuado con el tubo de succión, para que las cuchillas penetren en el fondo en un ángulo correcto.

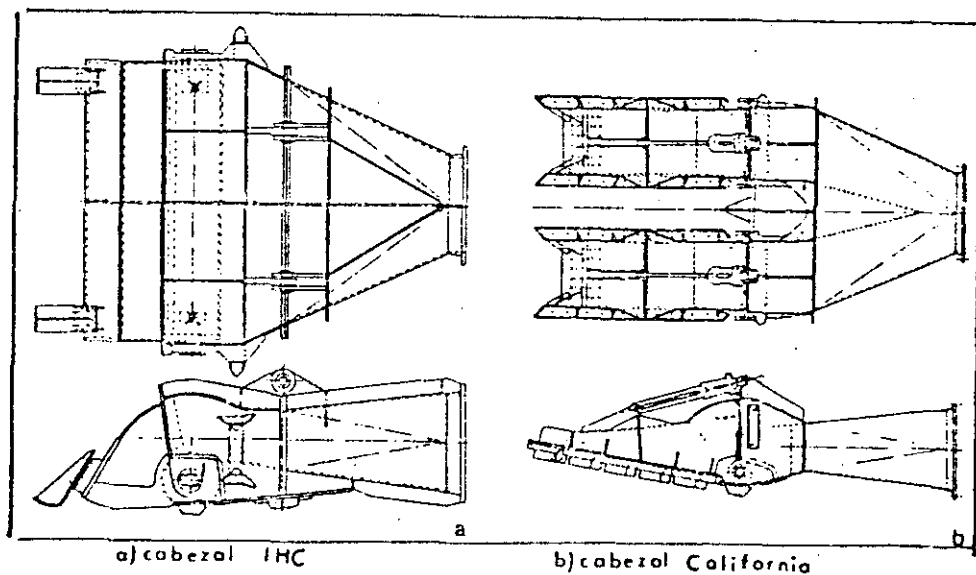


Fig. 8 TIPOS DE RASTRAS

El cabezal de succión California tiene una parte fija en la -- que están montadas con bisagras dos viseras. Estas viseras -- son de forma oblonga y están provistas de amortiguadores de -- choque. Este tipo de cabezal se presta particularmente para -- arena fina y muy compacta, pero se emplea igualmente para -- otras clases de materiales.

Ambos cabezales tienen una función predominantemente erosiva -- hidráulica, o sea que desprenden el material del fondo y lo -- transportan por medio de una corriente de agua a alta veloci-- dad, que se pone en contacto íntimo con el fondo. El grado de esta velocidad determina la acción excavadora y por lo tanto -- la producción.

Un cabezal de succión que tiene principalmente una función ex-- cavadora mecánica, es el llamado cabezal activo, y que corta -- el material del fondo mediante una jaula rotativa con cuchi-- llas. Este cabezal es especialmente apropiado para la arcilla compacta.

b) Utilización.

Estas dragas se utilizan para profundizar las vías navegables -- en altamar y en las dársenas portuarias, así como de su mante-- nimiento; y en abastecimiento de grava. Los materiales que -- pueden ser extraídos son: fango, arena, arcilla y grava.

1.8. Dragas de Succión con Cortador.

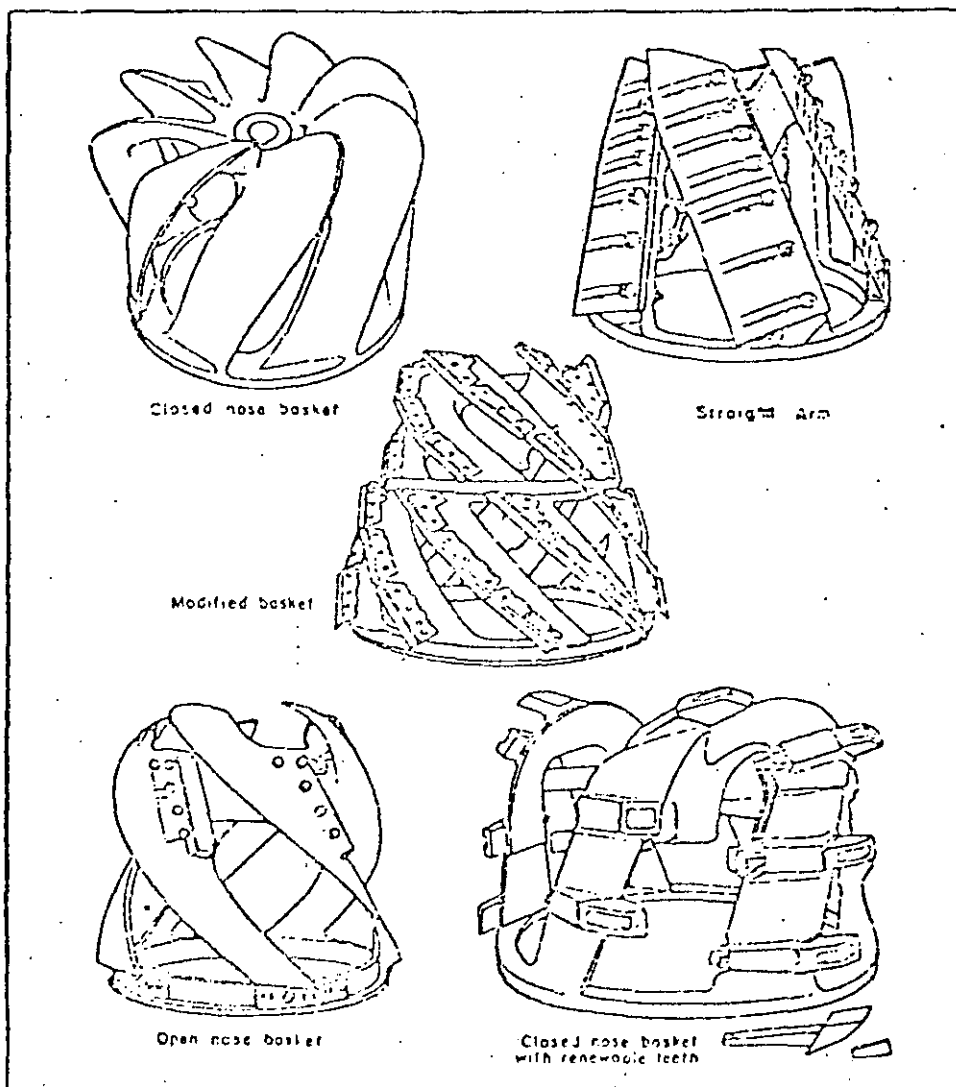
a) Características Generales.

Esta draga esencialmente es una combinación de las otras dra-- gas, su principal función es excavar y mover el material hi-- dráulicamente hacia otro sitio sin manejo adicional, mediante-

una tubería; y que cuenta con un dispositivo especial para disgregar el material llamado cortador, ver Fig. 9

El cortador es un dispositivo giratorio, instalado en el extremo inferior de la escala de dragado, que sirve para cortar, disgregar y remover el material a fin de que la bomba de dragado pueda succionarlo fácilmente. Esto hace posible el dragado de terrenos duros o compactos, dentro de ciertos límites y aumenta en forma apreciable la eficiencia de las dragas hidráulicas, ya que asegura el suministro de material suelto a la boquilla de succión, por la que es aspirado mediante la bomba de dragado y descargado por tubería hasta el lugar de depósito.

El cortador está sometido a grandes esfuerzos y efectos de abrasión considerables, que deteriorarían las cuchillas y aún al mismo cortador en breve tiempo, si no se construyeran de materiales resistentes como acero al manganeso.



El número de palas o aspas varía de tres a siete y las cuchillas o dientes se encuentran colocados de tal forma que puedan sustituirse cuando estén gastados.

La dirección de la rotación, número de aspas, potencia necesaria, diámetro y longitud del cortador, dependen fundamentalmente de las características de la draga y de las circunstancias propias del dragado de determinado material.

La velocidad del cortador varía entre 12 y 36 rpm, la que se regula de acuerdo con la clase de material que se drague, y por lo tanto, el motor tiene los medios necesarios para variar la según convenga.

El eje del cortador es de acero y su diámetro varía entre 12 y 45 cm o más.

La potencia desarrollada por el motor del cortador está comprendida entre 200 y 400 HP para dragas de 250 mm (10") y mayores, de 1,500 a 2,500 HP y aún más en dragas de 700 mm (28") a 762 mm (30").

Las dragas que emplean este dispositivo son generalmente estacionarias (Fig. 10), sin embargo, el cortador puede instalarse en unidades autopropulsadas, siendo entonces capaces de dragar a punto fijo en condiciones de oleaje significativo, este tipo de dragas son identificadas como dragas mixtas.

#### b) Utilización.

En vista de su producción continua y alta capacidad y posibilidad de dar un buen perfil de dragado; se emplean para construir canales y dársenas, ampliar vías navegables y canales, y en abastecimiento de arena. Los tipos de suelo que se pueden extraer son: arena, grava, arcilla, piedra arenisca y roca ligera.

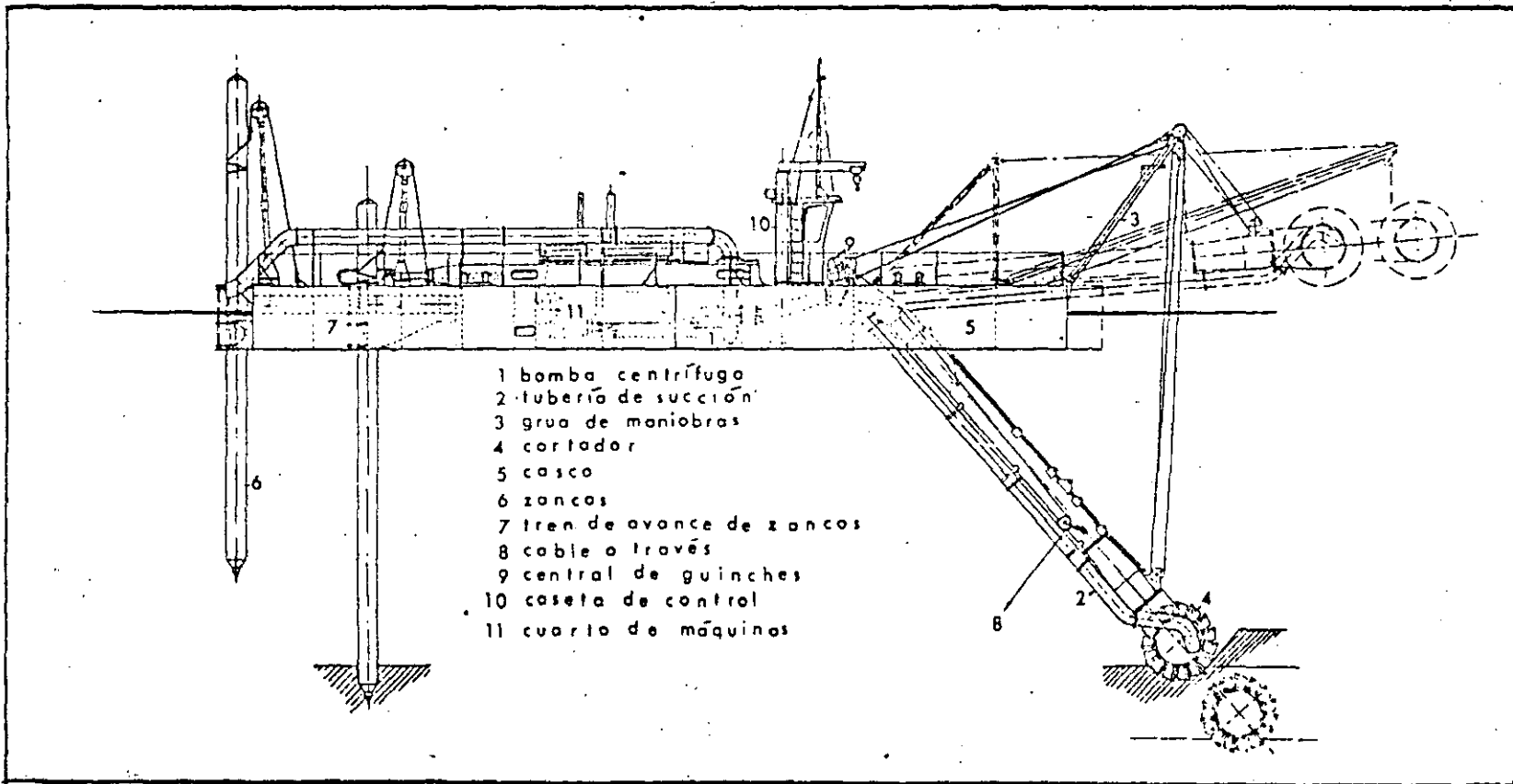


Fig. 10 DRAGA ESTACIONARIA DE SUCCION CON CORTADOR

## II. FACTORES PARA CALCULO DE RENDIMIENTO

### II.1. Dragas de Autopropulsión.

Para las dragas de autopropulsión con tolva, Fig. 11, existen dos condiciones principales de operación, que son:

- a) Navegación, cargada o descargada;
- b) Dragado con las tuberías de succión bajadas, lo cual produce un considerable incremento de resistencia;

es decir, el diseño del casco bajo el agua y el proceso de carga es de suma importancia.

### II.2. Diseño del Casco.

Cuando una gran distancia separa el área de dragado y la de tiro, la resistencia ofrecida por el casco asume gran significancia. Un diseño de casco que permite una mayor velocidad para una potencia de propulsión dada, redundará en una mayor producción por unidad de tiempo, a un costo total menor.

Cuando el área de dragado y de tiro están relativamente cercanas, el tiempo de llenado de la tolva es más importante que la velocidad de crucero.

La velocidad de la draga durante el dragado será entre dos o tres nudos; a esta velocidad, la resistencia del casco será relativamente baja y consistirá principalmente de fricción. En esta condición de operación, la tubería de succión es la causa principal de resistencia, debida al contacto de la rastra de succión con el fondo y el movimiento de la tubería a través del agua.



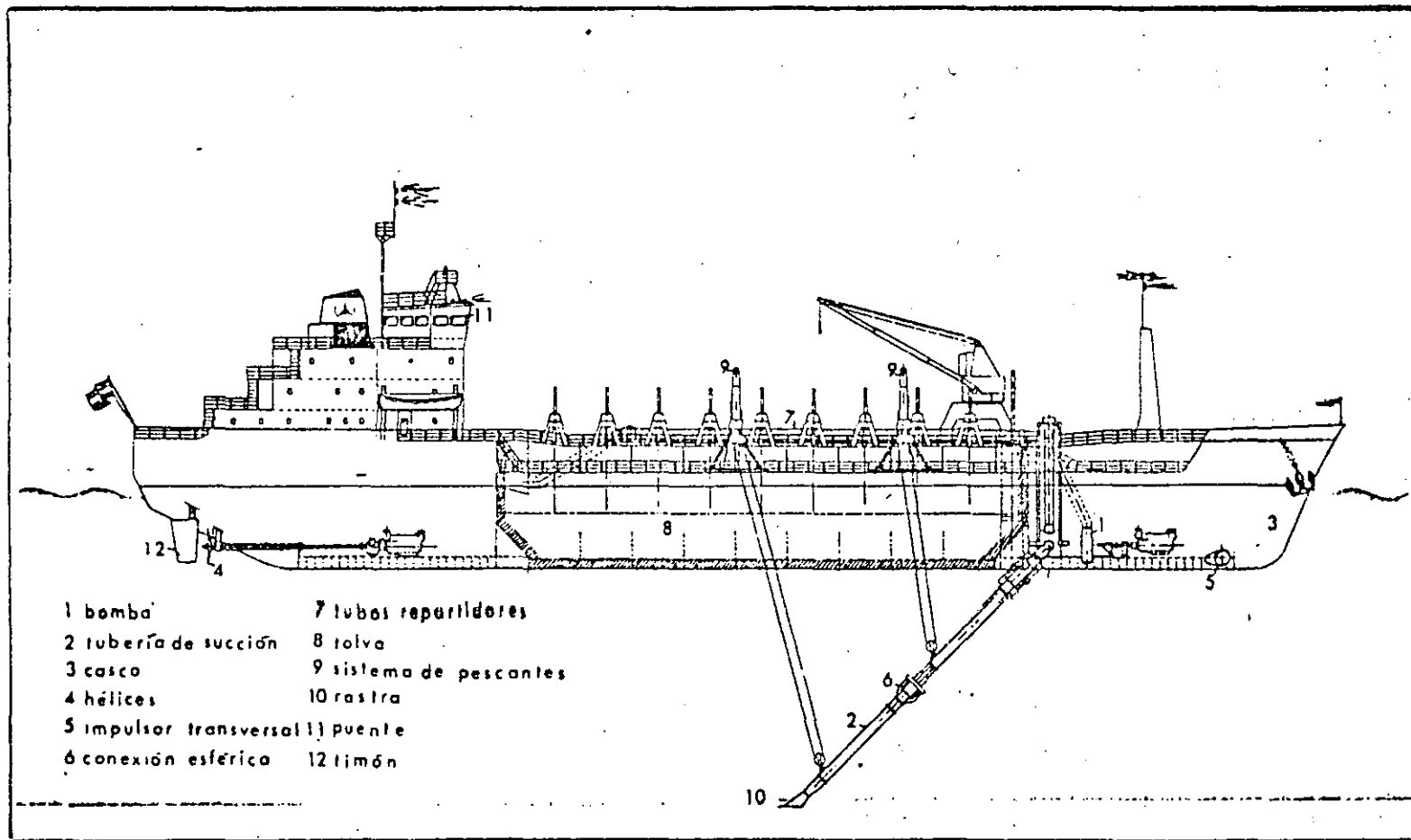


Fig. 11 DRAGA DE AUTOPROPULSION CON TOLVA

Suponiendo un caso bidimensional (o despreciando el refluo de la mezcla a través de las paredes), y la ausencia de corrientes externas en la rastra, una expresión para la diferencia de carga de presión a través de la rastra puede ser desarrollada:

$$P_1 - P_2 = \frac{SW_w}{2g} (V_m + V_d)^2$$

donde:  $SW_w$  = peso específico del agua, en kg/m<sup>3</sup>;

$V_m$  = velocidad de la draga, en m/s;

$V_d$  = velocidad relativa de la mezcla fluida con respecto al movimiento de la rastra, en m/s.

El valor del gasto total que entra en la rastra es igual a:

$$\frac{a b V_d}{(2 - SW)}$$

donde:  $a$  = el ancho de la abertura, en m; y,

$b$  = la altura de la abertura, en m.

En base a observaciones del flujo de la mezcla agua-sólido se ha establecido que el cambio de presión es igual a:

$$p = p_s - d(SW - 1) + (SW)y - \frac{K(SW)}{2g} \left(\frac{Q}{A}\right)^2 = \frac{(V_m + V_d)^2}{2g}$$

donde:  $p_s$  = a la presión de succión, en atmósferas.

En las ecuaciones enunciadas anteriormente, existen cuatro variables desconocidas ( $Q$ ,  $SW$ ,  $a$ , y  $V_d$ ); por lo tanto es necesaria una ecuación adicional, o una relación para resolver el sistema de ecuaciones.

Tomando en cuenta que en muchas operaciones de dragado son usados chorros de agua para romper o diluir el material y que las propiedades de este varían considerablemente, lo que complica las suposiciones teóricas, se ha sugerido la siguiente expresión:

$$SW = \frac{(V_m + V_d)^2 (SW_s) + k_1 g a (SW_w)}{(V_m + V_d)^2 + k_1 g a}$$

donde:  $k_1$  = constante adimensional.

En base a pruebas experimentales, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Con todas las variables constantes, un mayor vacío de succión-absoluto produce un mayor rendimiento de sólidos.
2. Para una altura dada en la abertura de la rastra a una presión constante de succión, la máxima producción se alcanza a una --descarga dada. Esta óptima descarga se eleva con el incremento de la profundidad de dragado. Se logra máxima producción a una concentración de mezcla dada.  
Esta óptima concentración decrece cuando se incrementa la profundidad de dragado.
3. A una mayor profundidad de dragado, la producción máxima se alcanza al incrementar la abertura de la rastra.

#### II.4. Tolva.

La forma y otras características de la tolva han sido sujetas a intenso estudio. Así, las investigaciones han mostrado que el diseño original de una tolva dividida en cierto número de compartimientos virtualmente cuadrados, es marcadamente menos eficiente que una tolva sin dividir.

El diseño de la tolva "abierta" es un producto de la tradición; los dragadores gustan de observar el material y así no perder de vista el proceso de carga de la tolva. Con la introducción de modernos instrumentos y la automatización de los procesos de dragado, sin embargo, las cosas han cambiado a este respecto. Ahora un gran número de grandes y modernas dragas tienen tolvas "cerradas".

Una parte importante en cualquier tolva, es el sistema de ver-  
tederos. Cuando la mezcla dragada de material y agua llega a la tol-  
va, los sólidos se asientan y el agua superficial escapa por los ver-  
tederos. En una situación ideal, solo agua fluiría hacia el exte-  
rior por los vertederos, en la práctica sin embargo, algo de mate-  
rial dragado es llevado al exterior antes de que tenga oportuni-  
dad de asentarse. El porcentaje de sólidos perdidos de esta forma es --  
llamado como la "pérdida por vertederos o sobreflujo", y juega un pa-  
pel importante en el proceso de carga de la tolva. Cuando el nivel-  
de sólidos en la tolva sube, las pérdidas por vertederos se incremen-  
ta - tan alto que a un nivel dado de sólidos, 100% del material que-  
entra puede perderse via los vertederos -, ver Fig. 13.

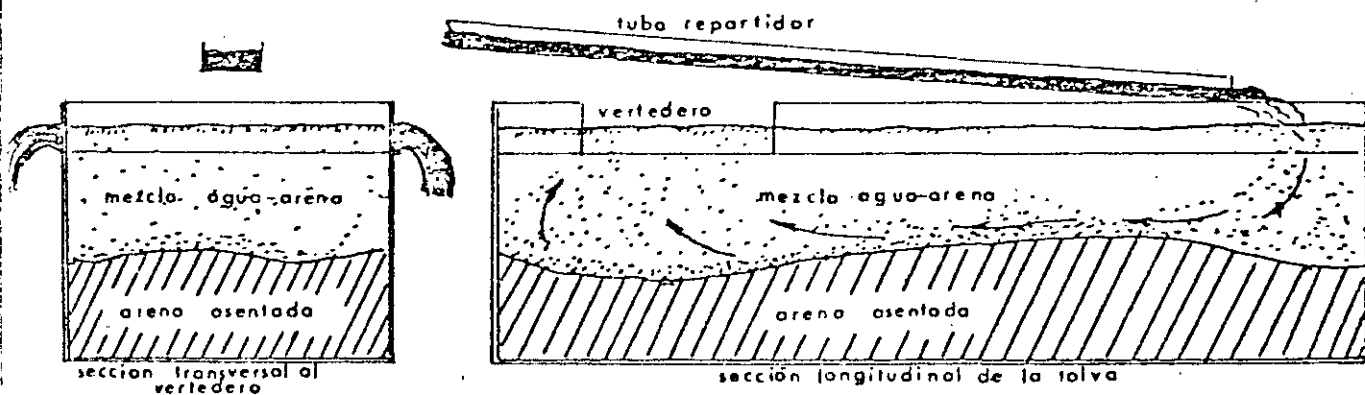


Fig. 13 TOLVA Y SISTEMA DE VERTEDEROS

El modelo y extensión de las pérdidas por vertederos están ampliamente gobernados por la naturaleza del material dragado y por el diseño de la tolva. Por consiguiente, el tiempo requerido para cargar la draga "bajo la marca" - en otras palabras, el tiempo de llenado de la tolva - está ampliamente influenciado por el tipo de material manejado y sobre todo del diseño de la tolva.

#### 11.5. Ciclo de Dragado.

El tiempo de carga más económico está gobernado por el también llamado ciclo de dragado, es decir, el tiempo total requerido para - cargar una tolva llena de material; acarrear este al sitio de tiro, - descargarlo ahí y el retorno al área de dragado.

La cantidad de material manejado por unidad de tiempo puede -- ser expresada como:

$$\frac{\text{carga dragada}}{\text{ciclo de dragado.}}$$

valor que debe ser tan grande como sea posible, implicando un valor máximo de producción de material.

El tiempo requerido para ir y regresar a la zona de descarga y el tiempo de descarga pueden ser estimados aproximadamente. El ciclo total de dragado entonces consiste en la suma de estos puntos - más el aún todavía desconocido tiempo de carga. La Fig. 14, muestra como el tiempo de carga óptimo puede ser deducido de esos datos.

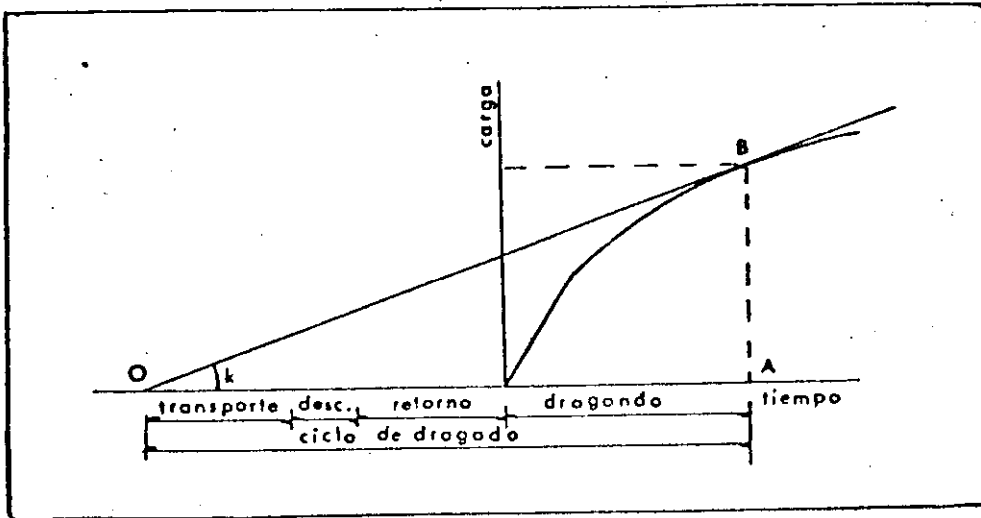


Fig. 14 CICLO DE DRAGADO

Es imperativo que:

$$\frac{\text{Peso de la carga}}{\text{ciclo de dragado}} = \frac{AB}{OA}$$

sea máximo - en otras palabras, que el ángulo  $k$  que la línea  $OB$  forma con el eje de tiempo, sea tan grande como sea posible. Esto puede ser así, si  $OB$  es una tangente de la curva de carga. El punto de contacto  $B$  entonces indica la duración económicamente admisible del ciclo  $OA$  y la carga dragada  $AB$ . El tiempo económico u óptimo de carga puede entonces ser leído.

La economía juega un papel significativo en el llenado de la tolva. Con la naturaleza del material como base, el tiempo de llenado de la tolva más económico debe ser establecido. Si el material es muy fino, el tiempo empleado para llenar completamente la tolva puede hacerse muy desproporcionado debido a las rápidas y excesivas pérdidas por vertederos. En tales situaciones, una mayor producción de sólidos puede ser lograda estableciendo, experimentalmente o con la ayuda de instrumentos, un tiempo máximo de carga de la tolva dentro del cual la tolva se llena pero las pérdidas por vertederos no

exceden un valor económico medio. Cuando este principio es aplicado, pueden resultar tolvas no completamente llenas. El momento más adecuado para cesar la carga de la tolva puede ser deducido de la curva de carga. Esta es trazada por una pluma movida por mecanismos de -- precisión, que continuamente miden el calado de la draga.

#### II.6. Dragas Estacionarias.

Para una draga de succión simple el factor que determina el -- rendimiento, es la bomba; y los componentes importantes de una draga de succión con cortador desde el punto de vista de máxima producción, son la bomba y el cortador. Así, el rendimiento del cortador y el -- volumen de material que el sistema bomba-tubería puede manejar deben ser evaluados.

#### II.7. Cortadores.

La potencia requerida para maniobrar el cortador está determi- nada - hasta cierto punto - por el propósito para el cual la nave es diseñada. Así, un cortador que regularmente operara en suelos duros tendría una mayor potencia que, pro ejemplo, uno que operara solo -- con arena compacta. Entre los principales factores que influyen en el rendimeinto del cortador son su diámetro, velocidad y diseño, la naturaleza y diseño de las cuchillas, la velocidad y potencia de los traveses o quinchés delanteros, el avance de la embarcación por el -- sistema de zancos.

Se han diseñado una serie de cortadores estándar que proporcio- nan óptimos rendimientos en diferentes tipos de suelos. La elección del cortador más adecuado, está determinada por el tipo de suelo, -- las condiciones de dragado, los requerimientos de potencia y otros - factores y, requiere un gran cúmulo de experiencia.

### 11.8. Bomba de Dragado.

La potencia de las bombas de dragado está determinada por la distancia a la cual el material dragado ha de ser transportado. Si el material se vierte cargándolo sobre gánguiles abarloados a la draga, una relativa menor potencia es suficiente. La bomba de dragado tiene que efectuar cinco fases: (1) elevar el material en la mezcla, (2) superar la fricción en el sistema, (3) dar velocidad a la mezcla, (4) introducir la mezcla en movimiento dentro de la succión, y en -- ocasiones, (5) elevar la mezcla desde la superficie libre del agua -- al centro de la bomba. Cuando el eje central de la bomba coincide -- con la superficie libre del agua, esta quinta fase se elimina.

En cada una de las cinco fases necesarias con excepción de la primera, el esfuerzo consumido es identificado como carga, y en su -- determinación debe afectarse por la densidad del flujo, que corre a -- través de la tubería, así:

$$SG = (SG_m - SG_w) \frac{P}{100} + SG_w$$

donde: SG = peso específico relativo promedio de la mezcla;

$SG_m$  = peso específico relativo del material dragado;

$SG_w$  = peso específico relativo del agua en la mezcla;

P = porcentaje de concentración de sólidos por volumen.

### 11.9. Carga Total Dinámica.

La carga total dinámica sobre una bomba es la suma algebraica de todas las cargas individuales en el sistema de bombeo, y usualmente se expresa en metros de columna de agua, estas cargas, empezando-



desde la succión y continuando a través de la descarga, son la carga total de succión y la carga total de descarga.

a) Carga Total de Succión.

La carga total de succión es la carga necesaria para vencer la carga de entrada a la succión, la carga estática de succión, la carga de velocidad de succión, y la carga de fricción de succión. La suma algebraica de estas cuatro cargas, será la carga total de succión. Sólo la carga estática de succión puede ser negativa, las tres restantes serán siempre positivas.

1. Carga de entrada de succión ( $H_{es}$ ). La energía consumida en introducir a la mezcla dentro de la succión es llamada carga de entrada de succión. Esta pérdida generalmente es pequeña, puede despreciarse, puede ser obtenida de:

$$H_{es} = k_e \frac{v^2}{2g}$$

donde:  $k_e$  = factor de forma de la boca de succión, adimensional;

$g$  = aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ ;

$v$  = velocidad de la mezcla, en  $m/s$ .

2. Carga estática de succión ( $H_{ss}$ ). A la energía consumida en la elevación de la mezcla sobre la superficie libre del agua, es llamada carga estática de succión, es decir, es la distancia vertical, entre la superficie libre del agua y el plano horizontal del eje central de la bomba. Puede ser negativa o positiva dependiendo de la posición de la bomba con respecto al espejo del agua. Esta carga puede determinarse por medio de la expresión:

$$H_{ss} = SG_B - SG_w C$$

donde: B = distancia vertical entre el plano horizontal -  
del eje central de la bomba y la entrada a la-  
succión, en m;

C = distancia vertical entre la entrada a la suc-  
ción y la superficie libre del agua, en m.

3. Carga de velocidad de succión ( $H_{vs}$ ). Usualmente el valor-  
de esta carga es mínimo, debido a la baja velocidad en la-  
succión, y es la carga equivalente a la velocidad que el -  
agua adquiere al entrar a la succión. Es por lo tanto, la  
carga que debe ser desarrollada para crear velocidad en la  
succión, y está dada por:

$$H_{vs} = \frac{(SG) (V^2)}{2g}$$

4. Carga por fricción en la succión ( $H_{fs}$ ). Esta carga es la-  
energía consumida para vencer a la fricción que actúa en-  
tre la columna líquida en movimiento y la pared interna de  
la tubería, y puede ser obtenida a partir de una expresión  
modificada de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$H_{fs} = (SG) f \frac{L}{d} \frac{v^{1.75}}{2g}$$

donde: L = longitud de la tubería de succión, en m;

d = diámetro interior de la tubería, en m;

f = coeficiente de fricción igual a 0.028.

5. Pérdidas locales. Una pérdida local, es una pérdida adi-  
cional debida a cambios de dirección; por la presencia de-  
codos, accesorios; y otras irregularidades en la longitud-  
de la tubería.

- i) Pérdida por cambio de dirección ( $H_d$ ). Son dos las variables a considerar, el radio y el grado de curvatura - - (Fig. 15). Una buena aproximación de la pérdida se puede obtener de la ecuación:

$$H_d = \frac{k v^2}{2g}$$

$$\text{donde: } k = (0.131) + (1.847) \left( \frac{r}{R} \right) \frac{3.5 \cdot \emptyset}{180^\circ}$$

$R$  = radio de curvatura, en m;

$r$  = radio interior de la tubería, en m;

$\emptyset$  = ángulo de deflexión, en grados decimales.

- ii) Pérdidas por válvulas. Estas pérdidas se incrementan proporcionalmente con el diámetro de la tubería. Una buena aproximación puede obtenerse multiplicando el diámetro de la tubería en m, por 6.5 para obtener la longitud equivalente de tubería.

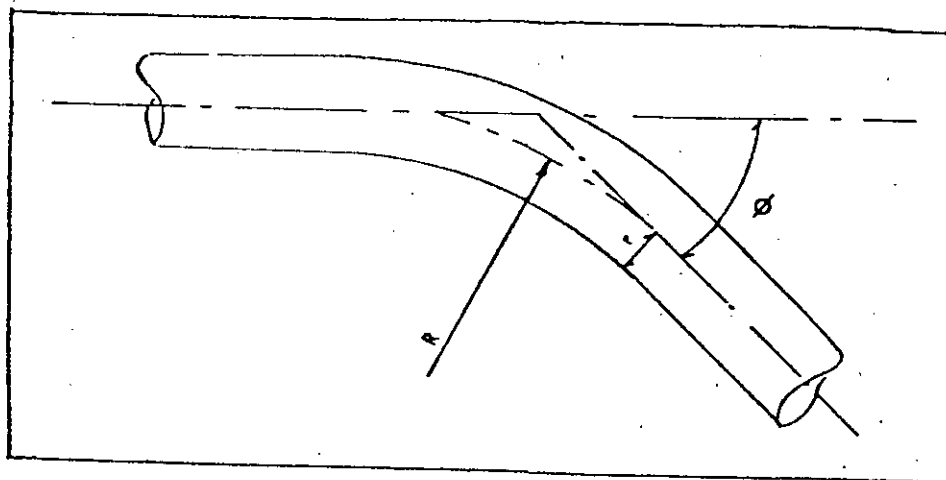


Fig. 15 CAMBIO DE DIRECCION

iii) Pérdidas por bolas radiales ( $H_b$ ). Estas pérdidas usualmente son determinadas por:

$$H_b = C \frac{V^2}{2g}$$

donde:  $C = 0.10$

iv) Pérdidas por contracciones y expansiones repentinas ( $H_x$ ).- Para reducciones aguas arriba (contracción repentina), la pérdida de carga será:

$$H_x = \frac{(V_2 - V_1)^2}{2g} C_1$$

donde:  $V_1$  = velocidad de entrada, en m/s;

$V_2$  = velocidad de salida, en m/s;

$C_1 = 0.4$  a  $0.5$

cuando la reducción es aguas abajo, la pérdida de carga en cada junta será obtenida por medio de la ecuación para contracciones repentinas, sustituyendo la constante  $C_1$  por la  $C_2$ , siendo  $C_2$  igual a 1.0, ver la Fig. 16.

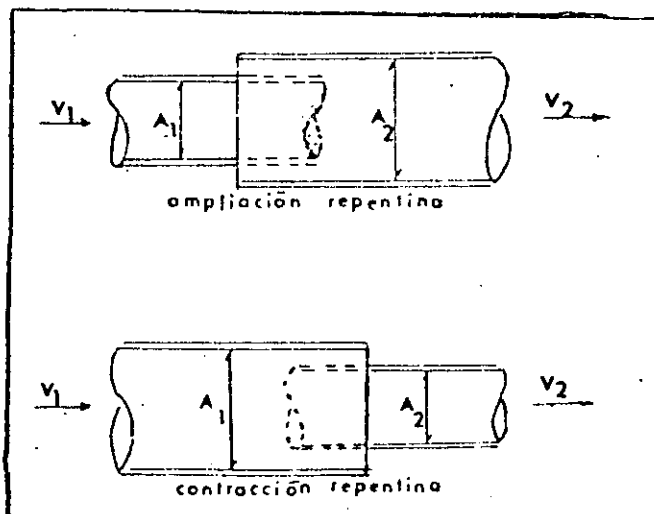


Fig. 16 AMPLIACIONES Y CONTRACCIONES

b) Carga Total de Descarga.

La carga total de descarga es la suma de las cargas: estática, de velocidad y de fricción en el sistema de descarga.

1. Carga estática de descarga ( $H_{sd}$ ). Es la distancia vertical entre el plano horizontal del eje central de la bomba y el punto de descarga, es decir:

$$H_{sd} = SG h$$

donde:  $h$  = altura de descarga, en m.

2. Carga de velocidad de descarga ( $H_{vd}$ ). En términos simples, es la carga creada por la bomba -siendo la carga de salida menor que la carga de entrada- y es proporcional a los diámetros de succión y de descarga de la bomba. Si las aberturas de succión y descarga tienen el mismo diámetro, esta carga será nula. Puede obtenerse por medio de:

$$H_{vd} = SG \frac{(V_d)^2 - (V_s)^2}{2g}$$

donde:  $V_d$  = velocidad de la mezcla en la descarga, en m/s.

$V_s$  = velocidad de la mezcla en la succión, en m/s.

3. Carga de fricción en la descarga ( $H_{fd}$ ). Es la carga requerida para vencer las pérdidas debidas a la fricción en la descarga. Puede ser obtenida a través de la ecuación para la carga de fricción en la succión, como se vió en 11-9:a)4., pero donde  $L$  = longitud de la tubería de descarga, en m;  $d$  = diámetro interior de la tubería de descarga, en m.

4. Pérdidas locales. Para la determinación de la longitud -- equivalente de la línea de descarga, la longitud de la línea flotante se multiplica -- en algunas ocasiones -- por una constante que varía entre 1.3 y 1.5 para corregir las -- fricciones adicionales causadas por la presencia de codos -- y juntas radiales en esa línea, cuando estas no son calculadas individualmente. La línea terrestre en algunas ocasiones se afecta de una constante igual a 1.1, para corregir las fricciones creadas por conexiones y bifurcaciones. Las pérdidas por concepto de cambios de dirección, válvulas, bolas radiales y contracciones o ampliaciones; son -- consideradas en términos de longitudes equivalentes de tubería, en igual forma como se mostró en el párrafo -- 11.9.a)5.

#### 11.10. Rendimientos.

El rendimiento de un draga estacionaria, es medido en metros cúbicos de material removido por hora, y es una función del diámetro de la tubería de descarga, la velocidad de flujo y la concentración de material en la mezcla, y se determina:

$$Q = (0.785) (3600) (p) (d^2) (V)$$

donde: Q = rendimiento o gasto, en m<sup>3</sup>/hr;

P = concentración de material en la mezcla, en %;

d = diámetro interior de la tubería de descarga, en m;

V = velocidad del flujo, en m/s.

#### 11.11. Potencia.

La potencia consumida para forzar al material y agua en la -- descarga y fuera de ella, más la potencia para recorrer la bomba y --

vencer todas las pérdidas, es identificada como potencia al freno:

$$P = \frac{(SG) (Q) (H_t)}{75 e}$$

donde:  $P$  = potencia al freno, en CV;

$SG$  = peso específico relativo promedio de la mezcla bombeada, en  $kg/m^3$ ;

$Q$  = gasto, en  $m^3/s$ ;

$H_t$  = carga total dinámica de la bomba, en m;

$e$  = eficiencia de la bomba, adimensional.

Los requerimientos de potencia de la bomba de dragado están determinados por la carga total dinámica, y existen límites que pueda alcanzar: la distancia de tiro no puede ser incrementada al infinito. En el caso de que fuera obligada una mayor distancia de tiro, sería necesario emplear una segunda bomba dentro del sistema; esta puede ser de tipo flotante o terrestre, dependiendo de las condiciones locales. La bomba de rebombeo puede también ser colocada en la draga misma, un reciente desarrollo en este campo, es la colocación de una bomba sumergida en la escala de dragado, especialmente en las dragas grandes. La principal función de una bomba tal, es compensar ciertas limitaciones de vacío en el lado de succión de la bomba principal en el casco, permitiendo un incremento de la concentración de material en la mezcla. Esto es de particular importancia cuando se draga a grandes profundidades.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

TRANSPORTE LITORAL

Ing. José Luis Murillo

NOVIEMBRE, 1985.



TRANSPORTE LITORAL Y SU RELACION CON LA  
CONSTRUCCION DE UN ROMPEOLAS

Ejemplo Numérico

Sea:

$S_0 = 0.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$

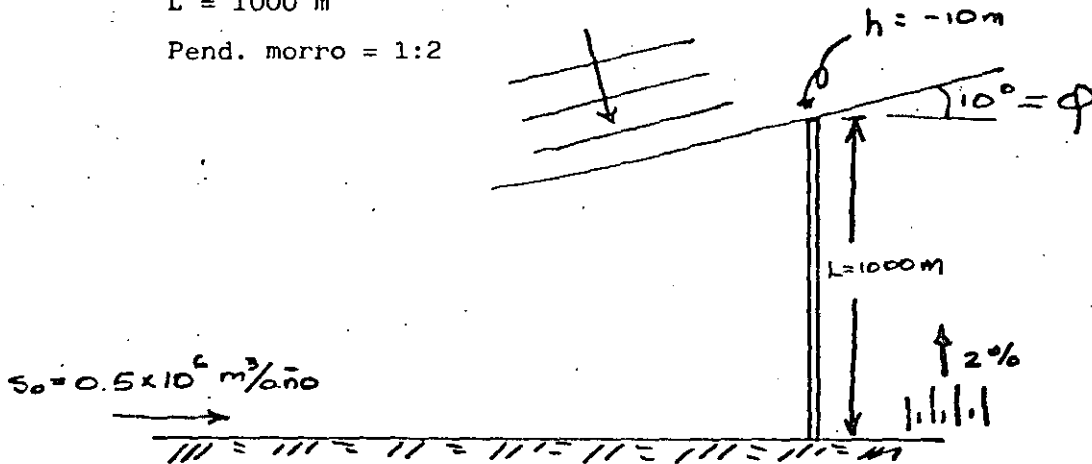
en  $h = -10 \text{ m}$  es  $10^\circ$

$h_{\text{max}} = 10 \text{ m}$

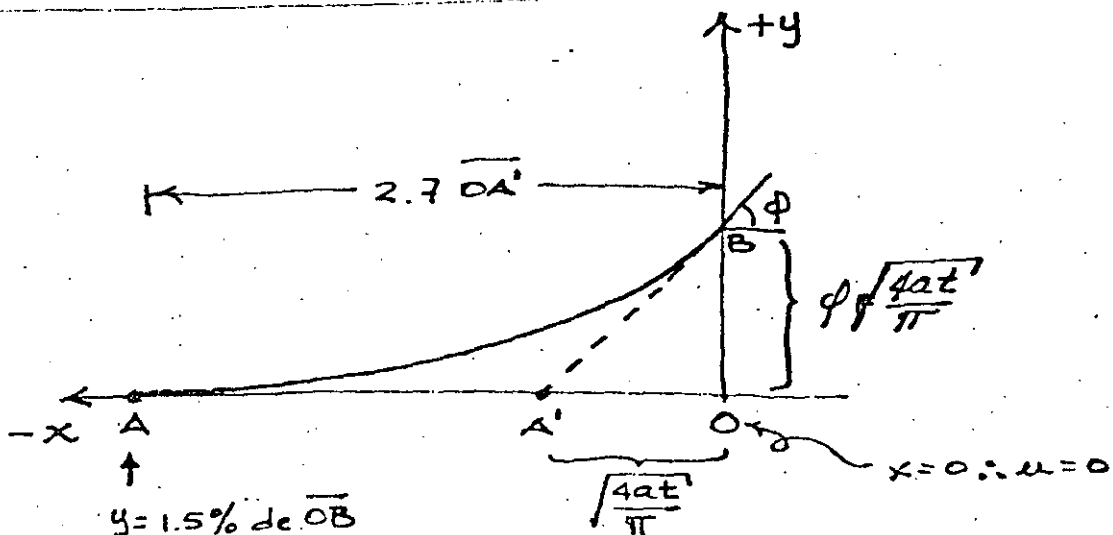
Pend. playa hasta  $-10$  es  $2\%$

$L = 1000 \text{ m}$

Pend. morro =  $1:2$



- a) ¿ En cuanto tiempo empieza a pasar el mat. ?
- b) ¿ A que distancia del rompeolas se observa el efecto de depósito ?
- c) Que se puede hacer para prevenir un incremento en el transporte después del tiempo  $t$  de la pregunta anterior.



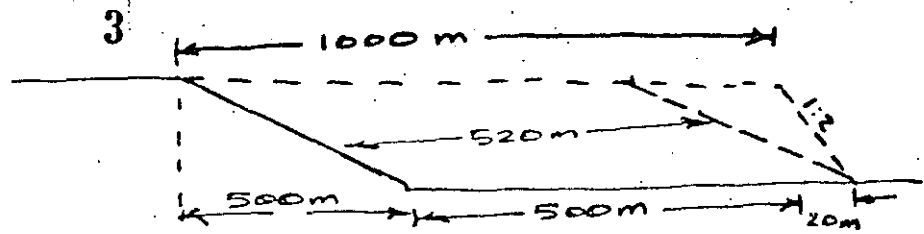
$$y = \phi \sqrt{\frac{4at'}{\pi}} \left[ e^{-\mu^2} - \mu \sqrt{\pi} Q \right]$$

$$\mu = \frac{-x}{\sqrt{4at'}} \quad a = \frac{S_0}{\phi h}$$

$\mu$	$Q$	$e^{-\mu^2} - \mu \sqrt{\pi} Q$
0	1.000	1.000
1/4	0.724	0.620
1/2	0.482	0.348
3/4	0.289	0.185
1	0.157	0.090
3/2	0.034	0.015
2	0.005	0.002

Si  $x=0 \Rightarrow \mu=0 \therefore y = \phi \sqrt{\frac{4at'}{\pi}}$

$$\therefore t_L = \frac{y^2}{\phi^2 a} \frac{\pi}{4}$$



Solución

a)  $t_L = ?$

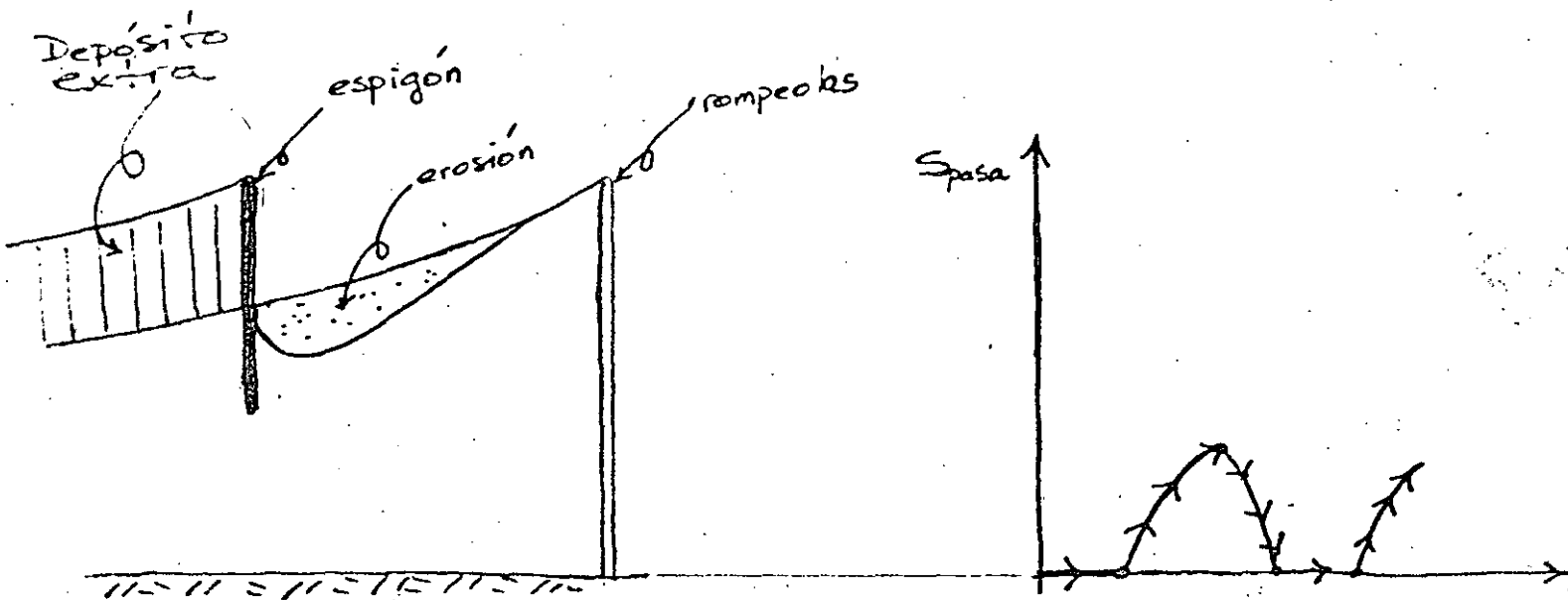
$$t_L = \frac{L^2}{\phi^2 a} \frac{\pi}{4} \quad \left\{ \begin{array}{l} L = 520 \text{ m} \\ \phi = 10^\circ = \frac{\pi}{180} \times 10^\circ = \frac{\pi}{18} \text{ radianes} \\ a = \frac{S_0}{\phi h} = \frac{0.5 \times 10^6}{\frac{\pi}{18} (10)} = \frac{9}{\pi} \times 10^5 \text{ m}^2/\text{año} \end{array} \right.$$

$$\therefore t_L = \frac{(520)^2}{\frac{\pi^2}{18} \cdot \frac{9}{\pi} \times 10^5} \frac{\pi}{4} = 24 \text{ años}$$

b) Teóricamente, el depósito es cero en el punto  $X = \infty$ , pero prácticamente, a la distancia  $X = 2.7 \sqrt{\frac{4at}{\pi}}$  desde el rompeolas.

$$X = 2.7 \sqrt{\frac{4(9/\pi \times 10^5)(24)}{\pi}} = 8,100 \text{ m}$$

- c) 1º.- Removiendo el exceso mecánicamente; por ejemplo by pass
- 2º.- Alargando el rompeolas (solución temporal)
- 3º.- Construyendo un espigón en donde crece la playa (ver sig. figura).



## LOS DIEZ MANDAMIENTOS PARA LA PROTECCION COSTERA

- I - AMARAS TUS COSTAS Y TUS PLAYAS.
- II - LAS PROTEGERAS CONTRA LOS DEMONIOS DE LA EROSION
- III - LAS PROTEGERAS SABIAMENTE, EN VERDAD Y TRABAJANDO CON LA NATURALEZA.
- IV - NO PERMITIRAS QUE LAS FUERZAS DE LA NATURALEZA - SE VUELVAN CONTRA ELLAS.
- V - PROYECTARAS CUIDADOSAMENTE EN TU PROPIO INTERES Y EN EL INTERES DE TU PROJIMO.
- VI - AMARAS LA PLAYA DE TU PROJIMO COMO LA TUYA MISMA
- VII - NO ROBARAS LA PROPIEDAD DE TU PROJIMO NI LE CAUSARAS DAÑO PARA TU PROPIA PROTECCION.
- VIII - PLANIFICARAS EN COOPERA CION CON TU PROJIMO, Y EL HARA LO MISMO CON EL SUYO Y ASI SUCESSIVAMENTE: QUE ASI SEA.
- IX - DEBERAS CUIDAR LO QUE HAYAS CONSTRUIDO
- X - DEBERAS SER MISERICORDIOSO CON LOS PECADOS DEL PASADO Y LOS CUBRIRAS CON ARENA.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

SISTEMAS ESTUARIOS

NOVIEMBRE, 1985.

## SISTEMAS ESTUARINOS

## 1.- TIPOS Y MORFOLOGIA DE LAS DESEMBOCADURAS.

Los cuerpos de agua principales deben considerarse de dos tipos: la laguna y el estuario.

## LAGUNAS COSTERAS:

Desde un punto de vista geomorfológico se define como "depresión" que contiene agua dulce y salada localizada en el borde litoral. En otras palabras, son cuerpos de agua ubicados en la zona litoral del continente, que presentan una comunicación con el mar y a las cuales llegan corrientes superficiales de agua dulce continental, que propician la mezcla de ambas para dar como resultado concentraciones variables según la zona.

## ESTUARIO:

La palabra estuario proviene del latín aestuarium - que quiere decir marea. En forma general el término se aplica a una formación costera en la cual la marea juega un papel importante. Históricamente se ha definido como la parte baja de los ríos sujeta a efectos de marea. Según Emery y Stevenson, estuario es una amplia desembocadura de un río o un brazo de mar donde la marea encuentra a la corriente de un río.

Por su parte Pritchard, tratando de integrar ampliamente el concepto, establece que estuario es un cuerpo de agua costera semi-cerrado que tiene libre conexión con mar abierto y dentro del cual el agua marina puede encontrarse diluída con el agua dulce procedente de los escurrimientos de tierra firme.

Normalmente las lagunas costeras presentan variaciones relativamente pequeñas de marea, con amplia plataforma continental y una pendiente suave, en las cuales existe un cierto transporte litoral, que tenderá en la mayoría de los casos a cerrar completamente el acceso a la laguna.

En condiciones naturales existe un cierto equilibrio entre la acción de los diferentes agentes que intervienen en el funcionamiento de una laguna, actuando unos en el sentido de absorberlas y hacerlas desaparecer y otros en el sentido de profundizarlas o mantenerlas.

La acción humana es fundamental en este aspecto, ya que puede ayudar con sus obras a la desaparición de las lagunas o a la conservación de las mismas.

El cordón litoral tiende a adelgazarse o aun acortarse por el efecto de tempestades o ciclones, mientras que el transporte litoral tenderá a robustecerlo y a cerrar las bocas o accesos.

Las fuertes avenidas provocadas por las lluvias tratarán de abrir más bocas o profundizar los fondos por las corrientes que originan, al mismo tiempo que aportan sedimentos que posteriormente serán introducidos nuevamente por las corrientes de flujo, debido a los efectos de los fuertes oleajes al destruir la barrera litoral. Es frecuente establecer la diferencia entre laguna y estuario desde el punto de vista de la estabilidad en la salinidad. Así se dice que cuando el escurrimiento de agua dulce en un vaso separado desarrolla un cuerpo estable de agua salobre puede considerarse como laguna. Si este mezclado no es estable y presenta cambios periódicos

VASO PRINCIPAL: Es la zona donde las áreas de agua tienen una extensión sensiblemente mayor a la sección transversal del canal de comunicación.

En un sistema estuarino típico esta parte la constituyen tramos muy amplios del río mismo, dentro de los cuales pueden estar incluidas zonas lagunarias.

Para el sistema combinado o con dominio lagunario, el vaso principal es la laguna propiamente dicha; según las características de la marea, la presencia salina tendrá mayor o menor influencia, pero en general los procesos de mezclado son más débiles y la salinidad tiende a ser menor. En los sistemas lagunarios, los escurrimientos de tierra son en forma de corrientes intermitentes que desembocan en ellos siendo ésta la causa del abatimiento de la salinidad.

Esteros, Vasos Secundarios y Planicies de Inundación y Marismas: Estas partes se localizan en la zona más alejada del mar y constituyen el extremo inferior del sistema. Se integra por pequeños vasos y zonas bajas, que están sujetas a inundación, sea en épocas de avenidas para sistemas estuarinos puros, o por efectos de variación de mareas en sistemas lagunarios.

Existe también una barra interior que la separa del sistema principal y su liga con él puede ser a través de pequeños canales o cuando el agua rebase la cota superior de la barra.

De este marco general es posible entrar al terreno de la clasificación según diversos criterios científicos;



cos, el vaso podrá considerarse como estuario.

#### SISTEMA LAGUNARIO - ESTUARINO

Un sistema lagunario - estuario está compuesto por los siguientes elementos:

CANAL DE COMUNICACION CON EL MAR, que puede ser la desembocadura del río del sistema o la liga de la laguna con el mar. En el primer caso la laguna puede estar integrada completamente con ese canal o comunicada a su vez con el río a través de un segundo canal. En el sistema - estuarino más simple la parte baja del río se amplía considerablemente en comparación al resto del cauce.

Para el segundo caso la liga puede tener únicamente una longitud equivalente al ancho del cordón litoral que separe a la laguna del mar o constituir un brazo de mar de varios kilómetros de extensión.

#### SISTEMAS ESTUARIOS - LAGUNARIOS:

Desde el punto de vista de la mezcla de aguas dulces y saladas, en el primer caso presenta características bien definidas, aunque variables, para ir desde el movimiento estratificado con la cuña salina en la parte inferior, apareciendo inclusive en las fases más intensas del flujo inversión de corrientes, hasta el mezclado débil en toda la sección sin inversión de flujo. En el segundo caso, el fenómeno de mezcla es menos acentuado y el sentido de las corrientes de flujo y reflujos es bien definido.

sin embargo conviene establecer como conclusión el hecho de que desde el punto de vista de la ingeniería hidráulica, el problema del aprovechamiento de las zonas estuarinas y lagunarias radica en asegurar un sistema circulatorio adecuado de las aguas, principalmente de las marismas, que en sí constituyen un elemento preponderante de la dinámica del sistema. Según Bowden, el factor determinante en la circulación estuarina es el papel desempeñado por las corrientes de marea con relación a los aportes de agua dulce; consecuentemente, concentraremos nuestra atención al problema representado por esta circulación, con especial énfasis en el acceso y boca y en el canal de comunicación, que son las piezas claves de los sistemas estuarinos y lagunarios.

Al considerar el origen de los accesos de marea, se ha concluido que la mayor parte de éstas han sido abiertos por la naturaleza, a través de una barra construída mediante la acción del oleaje.

Las deltas son formaciones locales en la costa donde el material es principalmente suministrado por un río. Inicialmente consideremos un caso simple en donde no existen corrientes por marea o litorales y los frentes de ola son siempre paralelos a la costa. El río depositará el material sólido en la inmediata vecindad de la desembocadura porque la velocidad del agua y su consecuente capacidad de transporte se reducen prácticamente a cero. Si no existe oleaje se formará un delta como se muestra en la figura No. 1 y consistirá de arena, limos y arcilla.

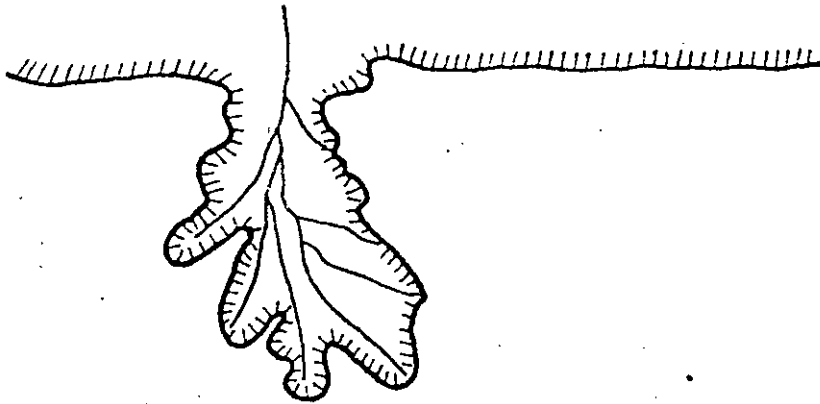


FIG. No. 1 Delta sin la presencia de oleaje.

Si al mismo tiempo existe oleaje, ocurrirá el fenómeno de refracción del oleaje y en ambos lados del delta se presentarán corrientes litorales. Estas corrientes, combinadas con la acción perturbadora del oleaje, transportarán el material en la dirección de la costa original. En la zona adyacente al delta, la refracción inicialmente se incrementará para posteriormente disminuir. Por ello, el material se decantará en ambas extremidades del delta, primero el material grueso y finalmente el fino. El resultado final es la comunmente denominada delta de pata de pájaro. (Ver figura No. 2)

Generalmente existe el fenómeno de las mareas y las olas se aproximan a la costa con un cierto ángulo desarrollando corrientes litorales. La corriente por marea tienden a mantener abierta las bocas en la costa, mientras que el transporte de sedimentos en el mar debido a

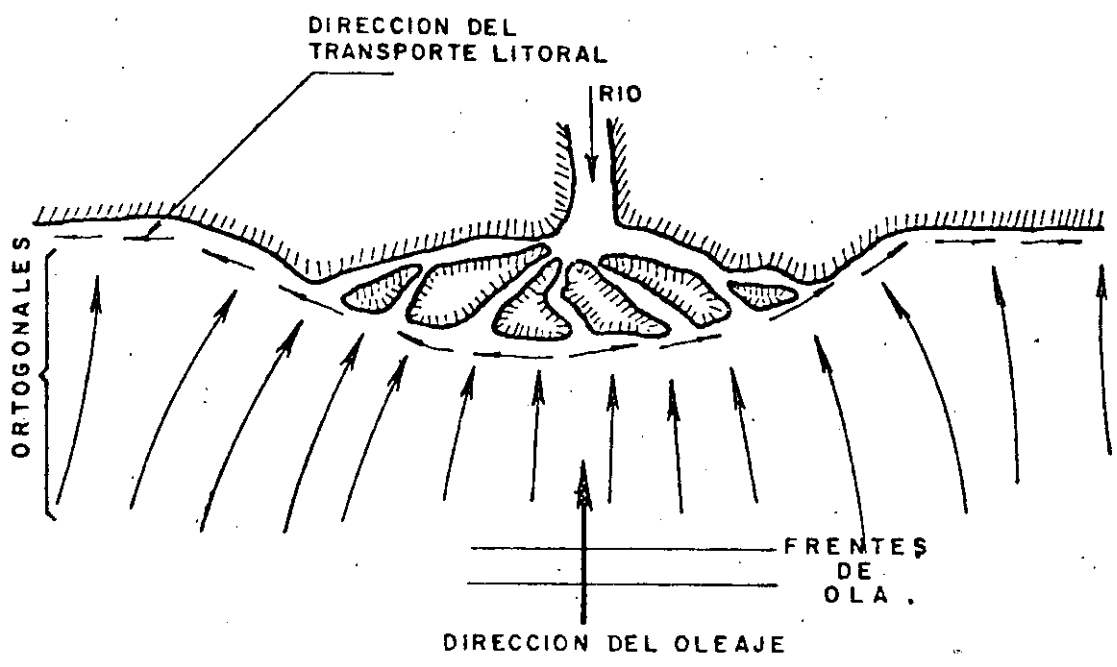


FIG. 2.- Delta tipo Pata de Pájaro.

la acción del oleaje y corrientes, tratan de cerrar las comunicaciones hidráulicas en la costa.

El tipo de comunicación con el mar del río o estuario se establecerá, finalmente, dependiendo de muchos factores. Los más importantes son:

- a. Corrientes en la comunicación (por marea y escurrimientos).
- b. Corrientes y oleaje en la zona costera.
- c. Transporte litoral.
- d. El sedimento transportado por el río.

Las variaciones de cada uno de estos factores condu

cen a un gran número de posibles combinaciones, cada cual produce un tipo único de comunicación. Las más características resultan al relacionar el aporte de sedimentos y las fuerzas distributivas del oleaje que actúan sobre éstos.- Esta concepción debe separarse en dos grupos: el aporte sólido del río con el agua del mar y el sedimento de la zona costera con el agua del río.

Primero, variaciones en el aporte de sedimento por el río.

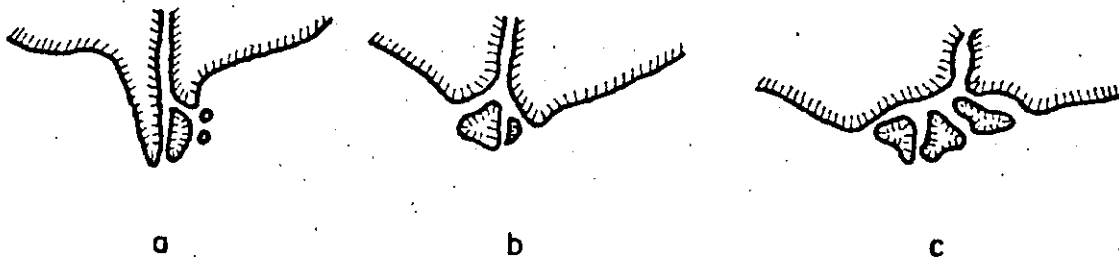


FIG. 2.- Influencia del aporte de sedimento.

La figura 3.a muestra el caso de un enorme aporte, mientras que el efecto de los restantes factores es relativamente despreciable; existe una oportunidad muy pequeña de dispersar el sedimento. Si el sedimento consiste de partículas finas, se formará un delta tipo pata de pájaro.

En la figura 3.b se muestra el caso de un aporte-

considerable, y relativamente menos importante, el efecto de los otros factores. La figura (3.c) representa el caso donde un aporte bajo se balancea con buenas fuerzas de distribución. En los ejemplos anteriores, debe señalarse que las variaciones en el aporte del sedimento de los ríos, en relación con la magnitud de los restantes factores afectan no sólo el tipo de comunicación, sino también el tipo de delta en su totalidad.

Segundo, variaciones de las corrientes por marea.

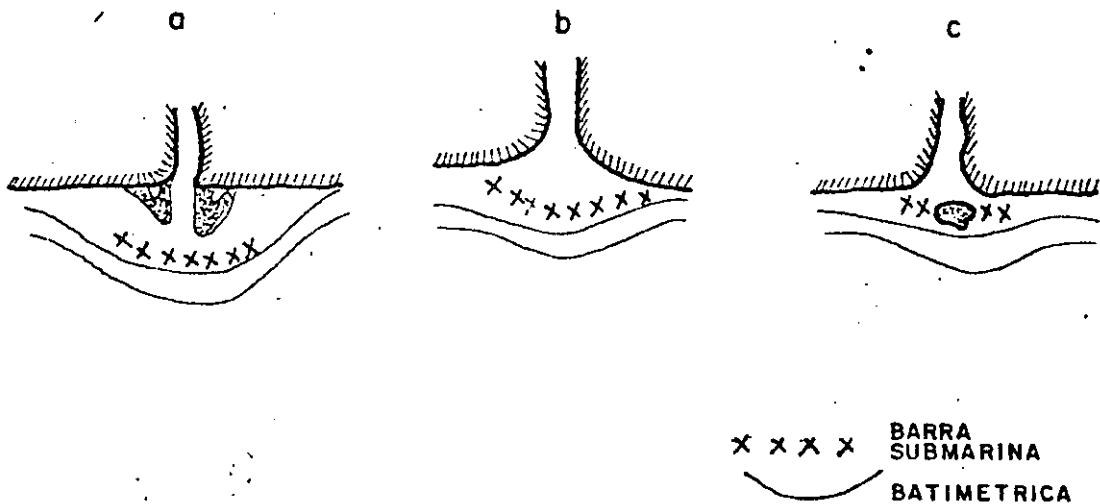


FIG. 4.- Influencia de las Corrientes por Marea

La figura 4.a muestra el caso de un reflujo de marea muy fuerte con un bajo aporte de sedimento del río. En ambos lados de la comunicación se forman flechas y una barra submarina se forma alejada de la costa. La figura 4.b representa el caso medio de una corriente menos fuerte balanceada por las fuerzas de distribución en la zona costera, mientras que en la figura 4.c se presenta la acción de fuerzas de distribución relativamente importantes que dispersan el sedimento del río an-

tes de que éste se interne en el mar.

Tercero, influencia de las fuerzas de distribución.

En la figura 5 se muestran los casos donde las fuerzas de distribución provocadas por oleaje y corrientes son muy fuertes, regulares y moderadas respectivamente en relación a la magnitud de los factores restantes.

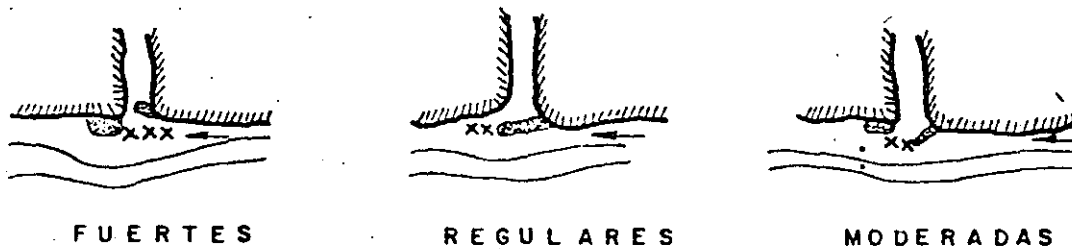


Fig. 5.- Influencia de las fuerzas de distribución

Finalmente, al variar el transporte litoral, la figura 6 muestra los casos donde el transporte es considerable, regular y pequeño, respectivamente, en relación a los otros factores.

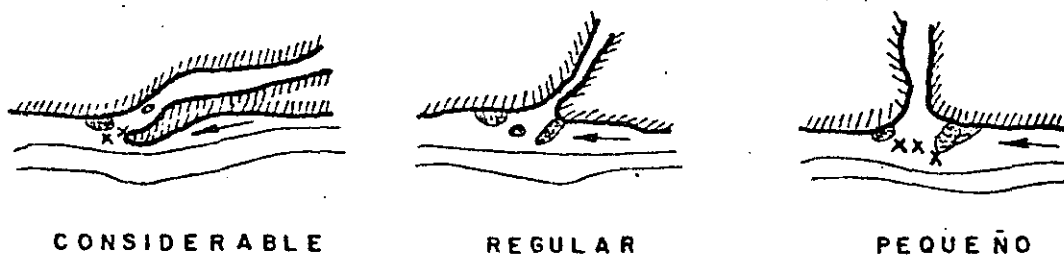


Fig. 6.- Influencia del Transporte Litoral

En lo que se refiere a configuraciones más detalladas de las comunicaciones, el número de posibilidades es infinito. En general las corrientes por flujo de marea - (llenante) son más fuertes en las márgenes de las desembocaduras mientras que las corrientes por reflujos de marea (vaciantes) predominan en el centro de las comunicaciones con el mar. Esto se debe a que el tirante promedio es menor durante la marea baja que durante la marea alta.

Comúnmente la configuración de las comunicaciones no es estable, pero sigue ciertos patrones de cambio. En algunas ocasiones se presentan movimientos cíclicos de - largo período con una sucesión de erosión y depósito de material en cauces inestables.

Parece que la estabilidad de la boca depende en mucho de la relación entre el transporte litoral y el promedio del flujo máximo por marea. Las relaciones pequeñas acrecientan la estabilidad de las comunicaciones.

#### Costas Fangosas.

Los ríos muy largos, como el Amazonas, transportan grandes cantidades de materiales arcillosos en suspensión, por lo que la costa adyacente consiste de lodos. Este material en suspensión es generalmente más fino que 0.002 mm y la concentración es muy fuerte. Cuando la concentración excede las 200,000 ppm, entonces la mezcla no se comporta como un fluido.

Cuando este material en suspensión entra en contac-



to con el agua salada, ocurre un proceso de floculación - debido a que el agua salada contiene una concentración - relativamente alta de iones metálicos cargados positiva- mente (Na, K, etc.) y neutralizan los iones cargados ne- gativamente de las partículas de limo provocando la flo- culación (ver figura 7).

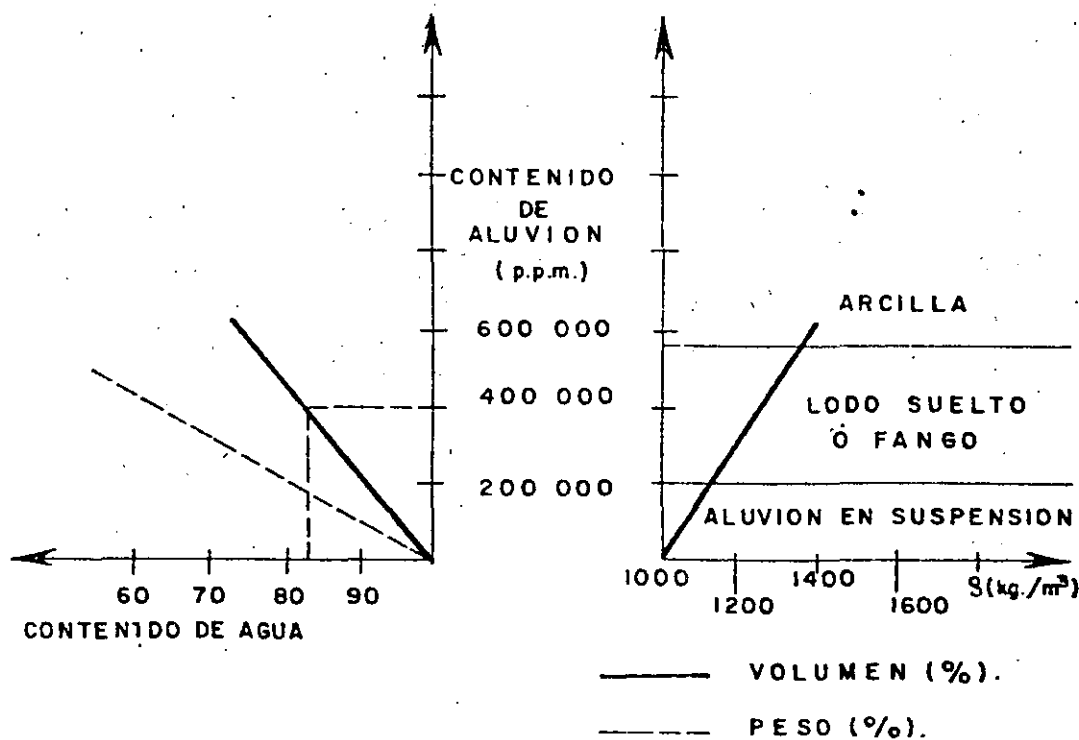


FIG. 7.- Nomenclatura de acuerdo con la concentra- ción de aluvión.

El sedimento arcilloso resultante es fango o lodo - que contiene 85% de agua en volumen, no es estable y - - tiende a moverse con las corrientes oceánicas a lo largo de la costa en ondas de 40 km de longitud y celeridad de 1.3 km por año (ver figura 8).

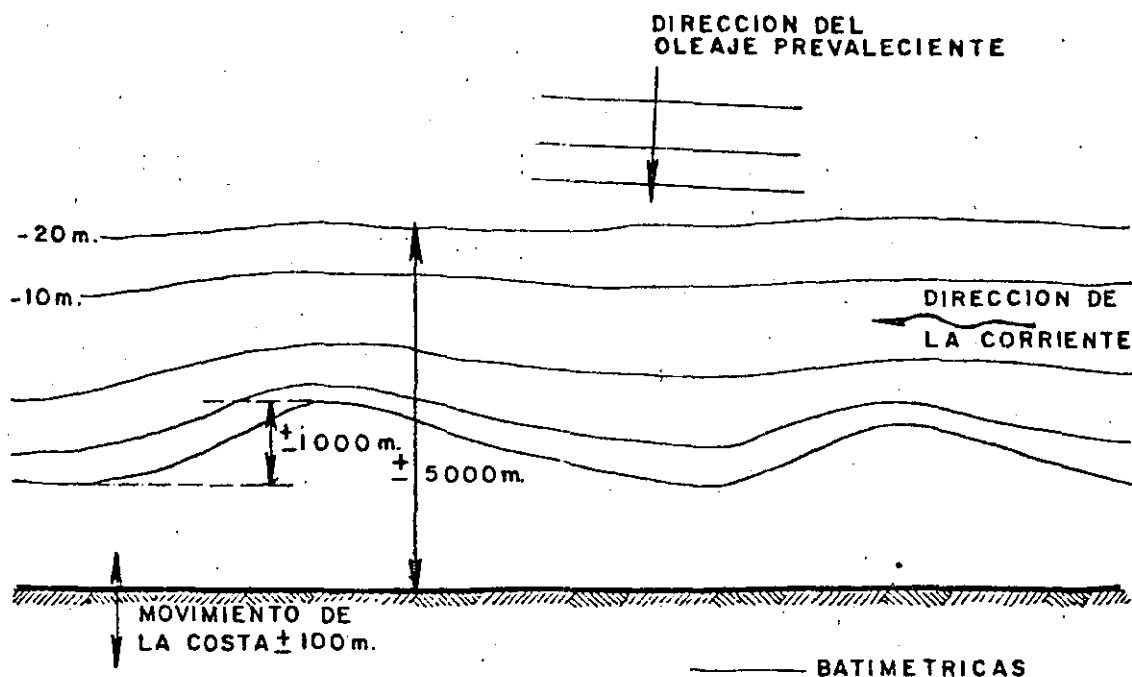


FIG. 8.- Ondas de Fango

El mecanismo de transporte se muestra en la figura No. 9 en el que las líneas de corriente tienden a ser perpendiculares a las curvas batimétricas.

Cuando la dirección del viento prevalece como se muestra en la figura 9, en el punto A la refracción provoca que se incremente la energía por unidad de área, por lo que se incrementará la altura de la ola,  $H$ , resultando mayores disturbios en el material sólido. Este material es transportado por las corrientes hacia B donde la refracción produce divergencia en el oleaje por lo que  $H$  disminuye; con este proceso el material removido en A se deposita en B.

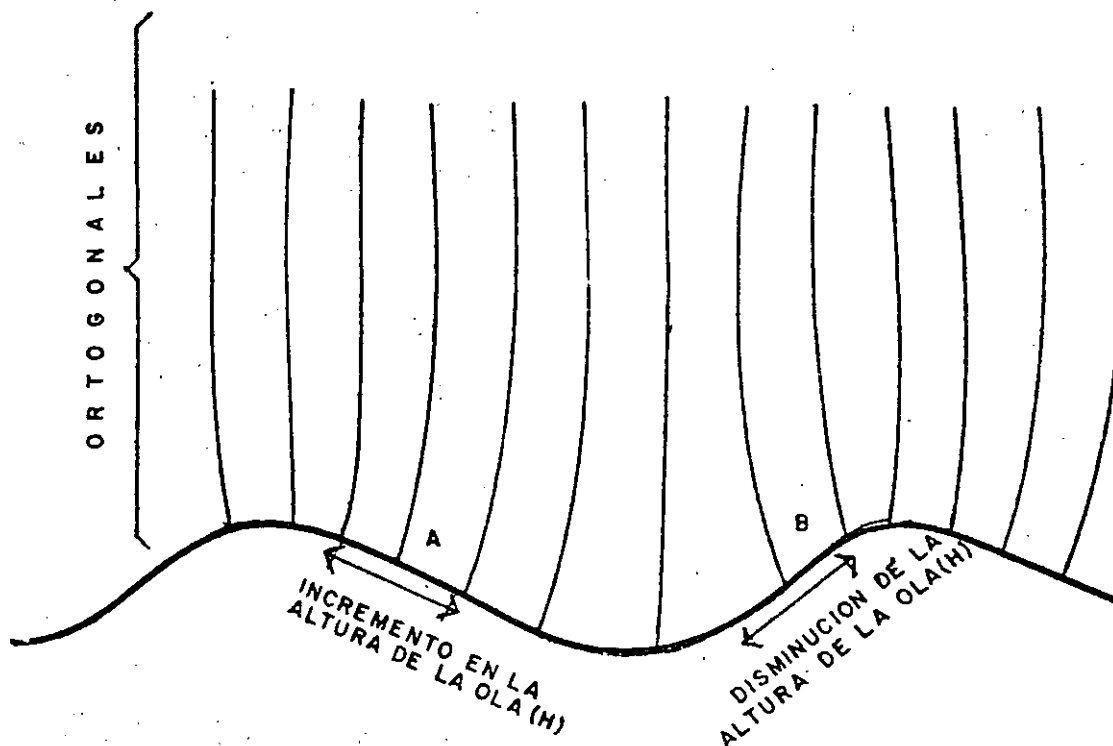


FIG. No.9.- Mecanismo de Transporte de las Ondas de Fango

La línea de la costa tiende a trasladarse con las ondas de fango. Como este movimiento puede ser del orden de cientos de metros, es aconsejable comprobarlo, lo cual resulta muy complicado porque el fango no resiste estructuras pesadas. En algunas ocasiones existen escollos de arena fina en los que se pueden construir sistemas de defensa, pero estos escollos no son continuos. Otras posibilidades son la fijación de vegetación o construcción de estructuras que flotan sobre el fango.

El incremento del tamaño de los buques dificulta los problemas para construir un puerto sobre este tipo de costas. Las pendientes sumamente tenues de estas cos-

tas (1:1000) requieren de enormes cantidades de dragado - lo cual resulta costoso porque el lodo se filtra entre - las tolvas de las dragas de succión. Unicamente es posi- ble el dragado por agitación cuando se provoca una velo- cidad de la corriente suficiente para dispersar el mate- rial. Una ventaja es que el claro de la embarcación pue- de ser muy pequeño.

## 2.- HIDRAULICA DE LAS MAREAS.

### 2.1 Desembocaduras de Ríos.

Las desembocaduras de los ríos en costas de pendien- te suave no sólo se ven influenciadas por los escurrimientos desde las cuencas de los mismos, sino también por el - - prisma de marea. De acuerdo con O'brien en la publica- - - ción ASCE WW1, feb. 1969.

$$A = 2 \times 10^{-5} P \dots \dots \dots (1)$$

en donde:

A, es el área de la sección transversal del -- río en su desembocadura, en pies cuadrados.

P, es el prisma de marea en pies cúbicos, defi niéndose como el volumen de agua que fluye- como flujo y reflujo debido a la marea.

Generalmente se desarrollan diferentes canales natu- rales para el flujo durante la alta y la baja marea.

Como se sabe, el Talweg en la curva de un río se forma en la parte de afuera de la curva y la sección tiene un tirante más continuo aguas abajo o arriba de la curva.

En el caso de una corriente de dirección alternante sobre un canal ancho, se desarrolla un sistema de canal de doble curso como se muestra en la figura 10.

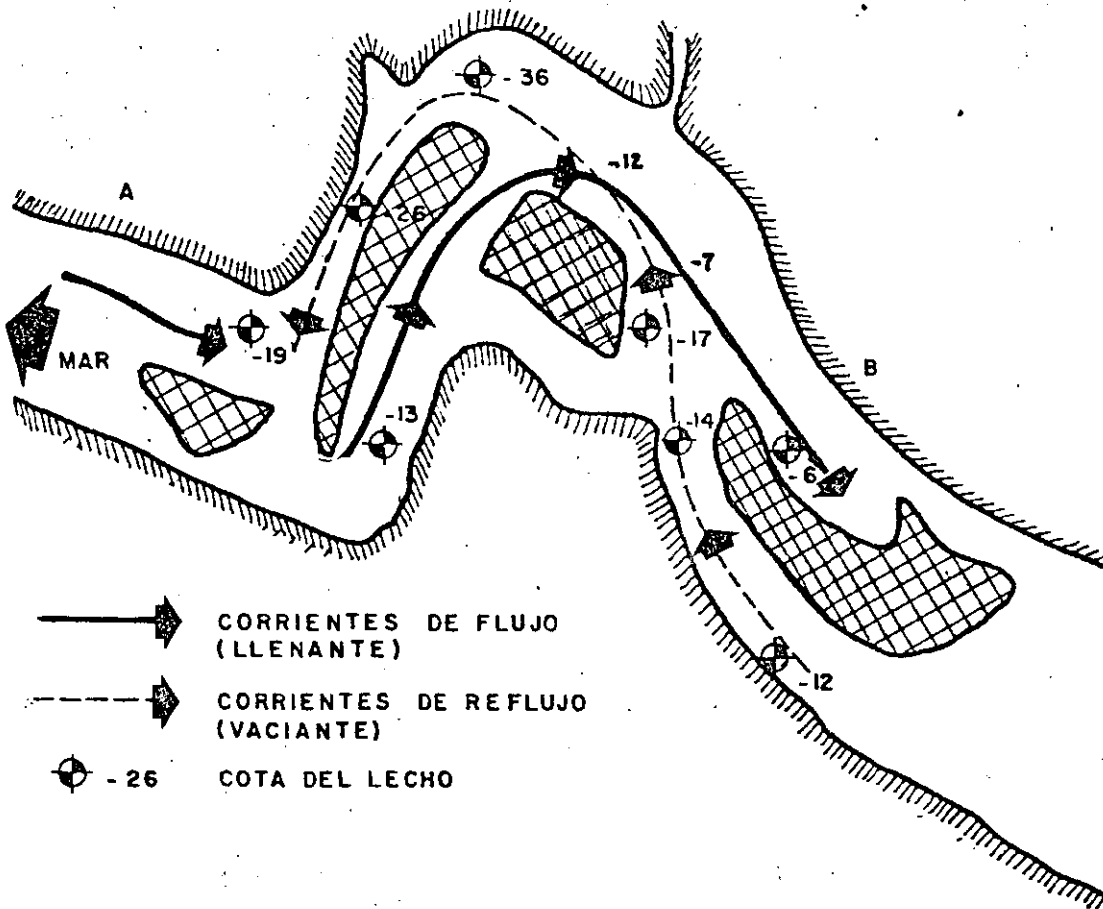


FIG. 10.- Sistema de doble curso de Canales.

Puesto que el nivel del agua en el mar, durante el flujo de la marea se eleva, los canales de flujo tienen la tendencia a terminar en bajos. En cierto momento el nivel de agua es tan alto que el extremo de estos canales de flujo (después de la curva) se rebasa y el nivel del agua no se mantiene confinado en el canal y se inundan los bajos hasta la siguiente curva del meandro.

Justamente ocurre lo contrario durante la marea baja en el reflujó. En este caso el nivel del agua disminuye y la corriente de reflujó se confina a un canal angosto. También resulta que  $Q_{\text{flujo}} < Q_{\text{reflujó}}$  puesto que el gasto en reflujó contiene además del prisma de mareas, el escurrimiento del río. Por estas razones, los canales de reflujó son generalmente más profundos y tienen una pequeña tendencia a estrangularse hacia aguas abajo (dirección del mar).

En ríos sujetos a la acción de la marea, el gasto normal del río es detenido o frenado por el movimiento provocado por la marea y en algunos casos se presenta un flujo inverso al del cauce natural. En todos los sitios del cauce de un río donde se aprecia un movimiento vertical del nivel del agua, la magnitud de la corriente varía con la marea. (Ver figura 11).

De la teoría de ondas largas (de mareas) la relación entre la marea vertical y marea horizontal (corriente) se puede estimar. Esta relación se indica en la figura 12 (despreciando el escurrimiento del río).

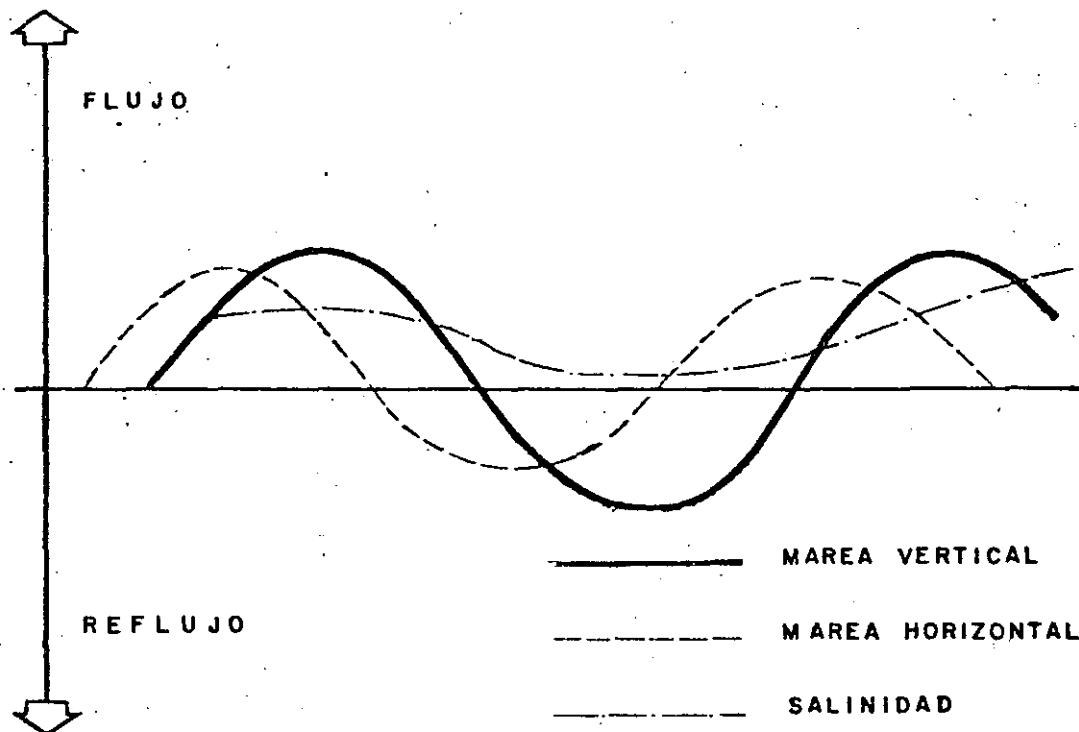
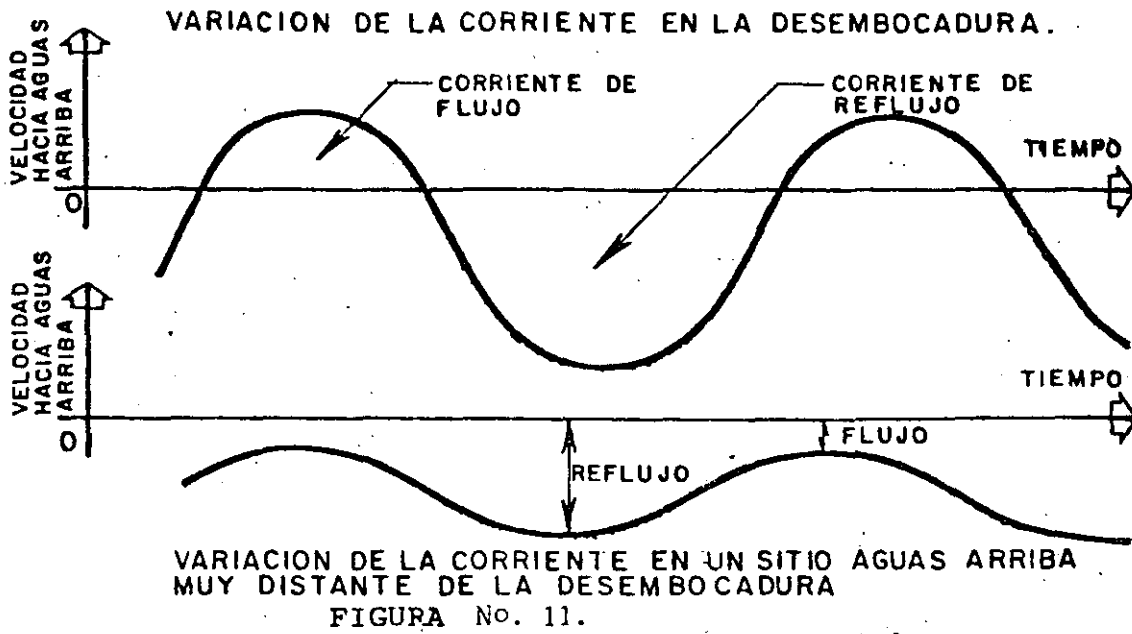


FIG. No. 12.- Relación entre la marea vertical y la marea horizontal (corriente).

## 3.- CORRIENTES DE DENSIDAD Y CUÑA SALINA.

Las corrientes de densidad se presentan por las diferencias en salinidad (o densidad) entre dos cuerpos de agua que se interconectan periódicamente.

Supongamos que se tienen dos cuerpos de agua, uno con agua dulce y el otro con agua salada, como se muestra en la figura 13.

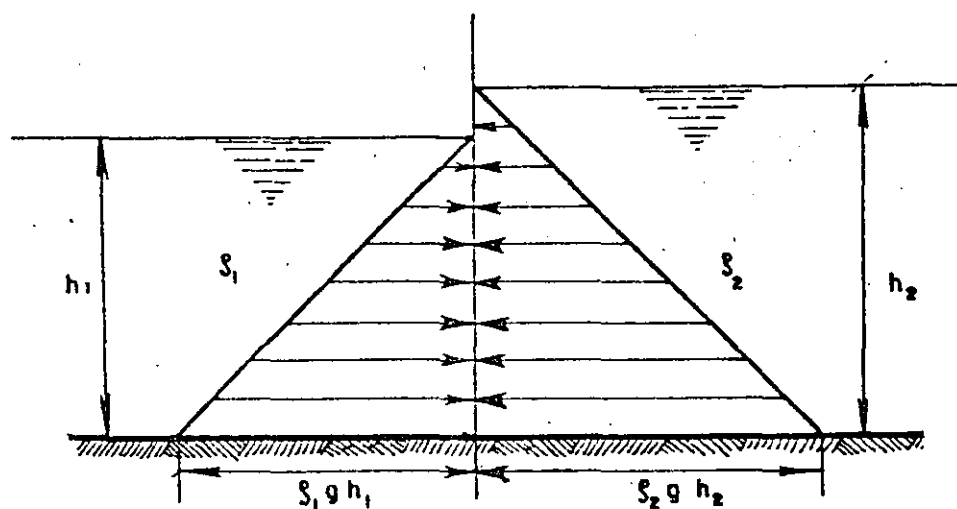


FIG. 13.- Distribución de la Presión.



Las fuerzas de presión que actúan sobre el plano -- que separa los dos cuerpos de agua se encuentran en equilibrio cuando:

$$\frac{1}{2} \rho_1 g h_1^2 = \frac{1}{2} \rho_2 g h_2^2$$

$$\rho_1 > \rho_2 \quad h_1 < h_2$$

La distribución de la presión neta en el plano de - separación es como se muestra en la figura 14.

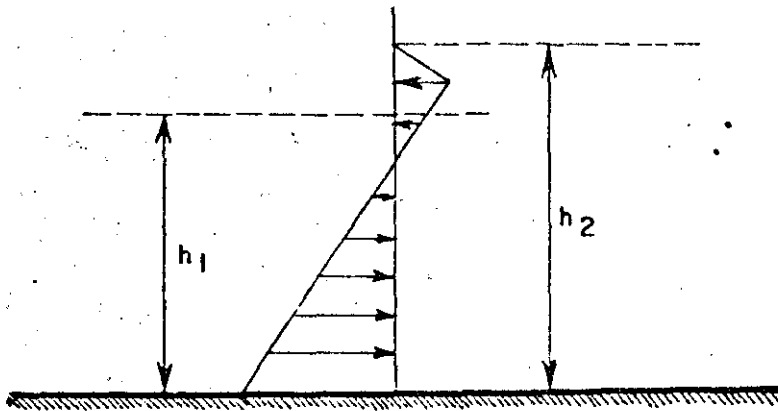


FIG. 14.- Distribución de la presión neta.

Cuando la separación se remueve, esas diferencias - de presión provocarán un flujo de agua salada cerca del - fondo hacia la sección con agua dulce. Después de un - - cierto tiempo la interfase entre los dos fluidos de dife - rente densidad tendrá la siguiente forma (Ver figura - - 15):

La velocidad  $v$  de esa cuña, es igual a:

$$v = 0.45 \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho} gh} \quad \dots \dots \dots (2)$$

La forma de esta curva es parecida a la que presen-

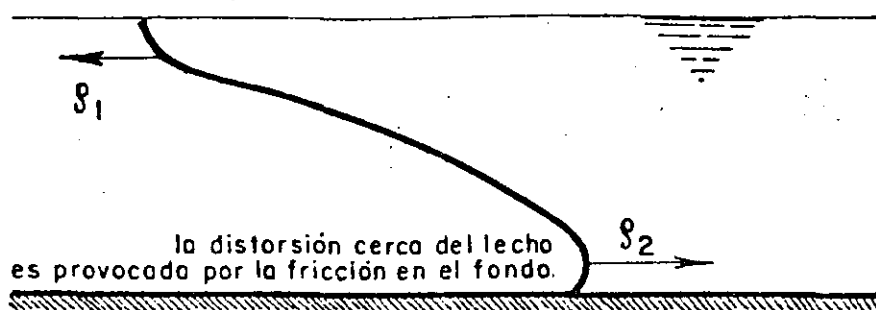


FIG. 15.- Cuña Salina

ta la superficie libre del agua en el caso de colapso de la cortina de una presa.

Cuando el frente de la cuña llega al final del depósito ésta se comporta como una ola que se traslada, removiendo el agua dulce de esta zona. (Ver figura 16).

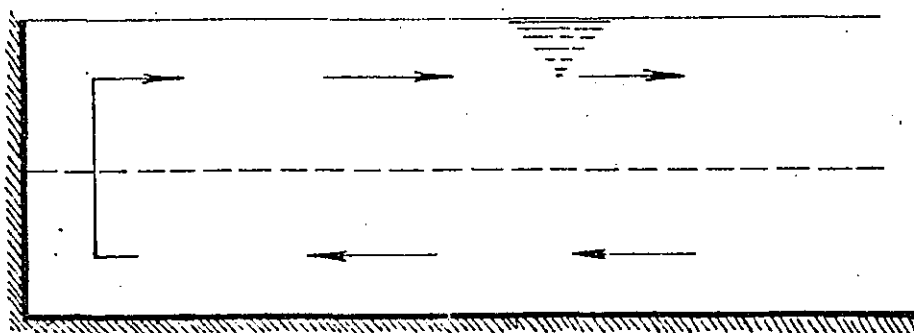


FIG. 16.- Intercambio vertical de una onda que se traslada

Cuando se inyecta lentamente el agua salada cerca del fondo de un depósito cerrado lleno parcialmente con agua dulce, después de un cierto tiempo existirán dos capas de agua, la superior de agua dulce y la inferior de agua salada (Ver figura 17). Cuando se genera una onda de traslación en el agua salada, la onda viajará con una velocidad igual a:

$$c = \sqrt{\frac{h_1 h_2 \Delta \rho g}{\rho_2 h_1 + \rho_1 h_2}} = \sqrt{\frac{h_1 h_2 \Delta \rho g}{\rho h}} \dots (3)$$

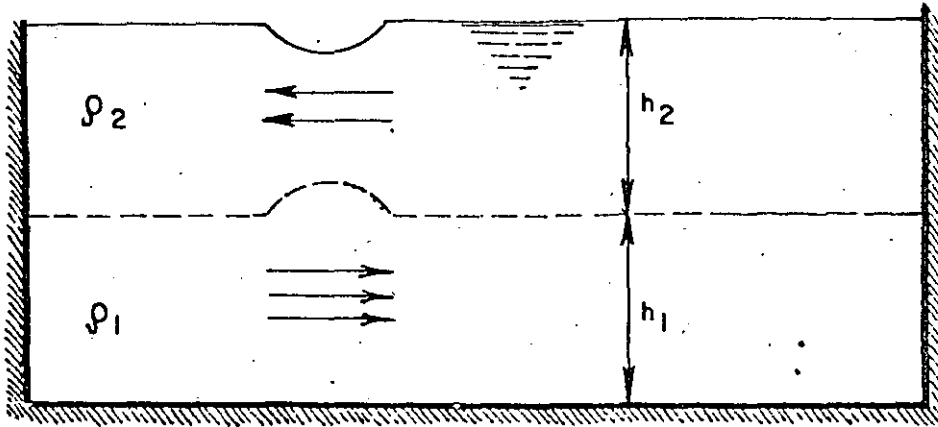


FIG. 17.- Efecto de una onda de translación sobre la capa inferior.

De las ecuaciones básicas de movimiento del agua para la capa superior se entiende que una curva positiva en la interfase corresponde a una curva negativa en la superficie.

Problemas relacionados con las corrientes de densidad.

Estos problemas pueden separarse en tres grupos:

- a. Navegación.
- b. Sedimentación.
- c. Intrusión salina.

Los problemas de navegación se presentan cuando la-

corriente que actúa sobre una embarcación cambia rápidamente de dirección. La figura 18<sup>10</sup> muestra el caso cuando una dársena se conecta con un río fluvial o estuario.

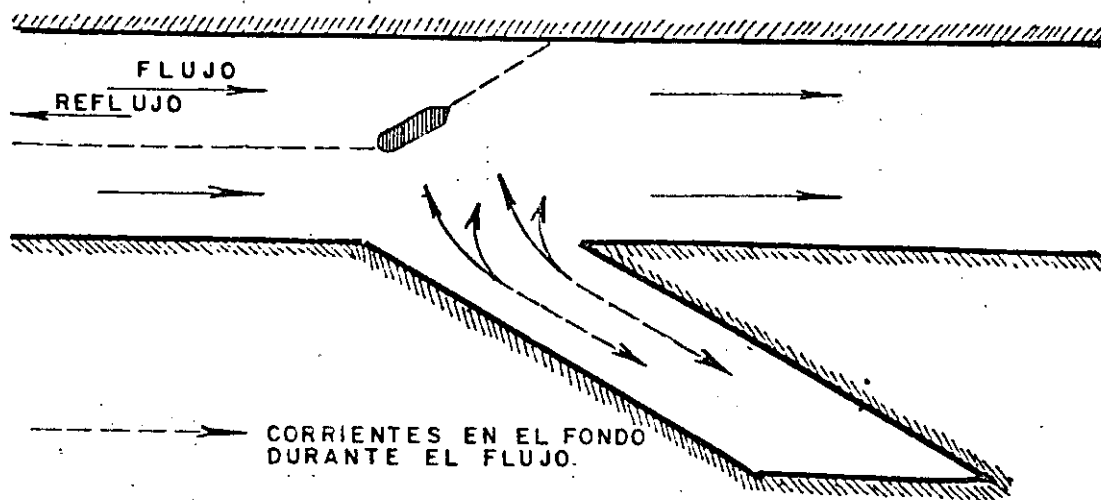


FIG. 18.- Problemas de Navegación

Cuando una embarcación con calado relativamente pequeño navega aguas arriba durante la marea alta, experimenta repentinamente una corriente transversal formada por el agua dulce que es sacada de la dársena por la intrusión de agua salada. Los efectos de este fenómeno pueden ser desastrosos, ya que los marineros esperan que se presente una corriente hacia la dársena. Esto puede evitarse atendiendo a las indicaciones de los prácticos de los puertos.

La sedimentación ocurre en las dársenas cercanas a los ríos. Hacia aguas arriba la cuña salina se traslada como se muestra en la figura 19.

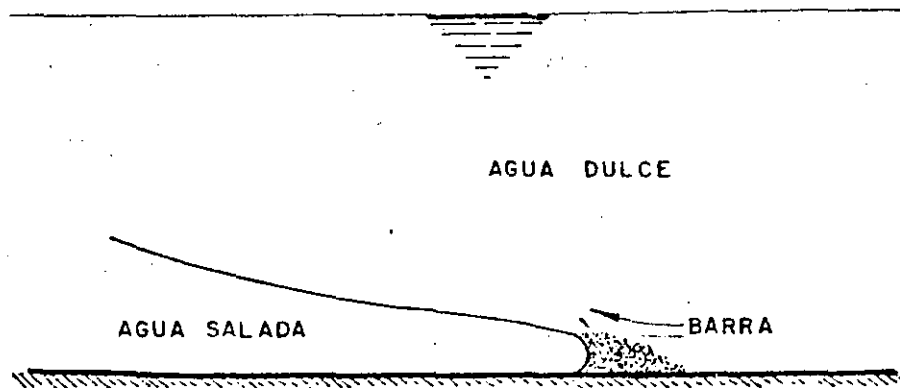


FIG. 19.- Formación de una barra debido a las corrientes de densidad.

En el lecho la velocidad del agua disminuye de tal suerte que el transporte de sedimentos por el fondo se nulifica formando una barra en el río, de acuerdo con la figura 20.

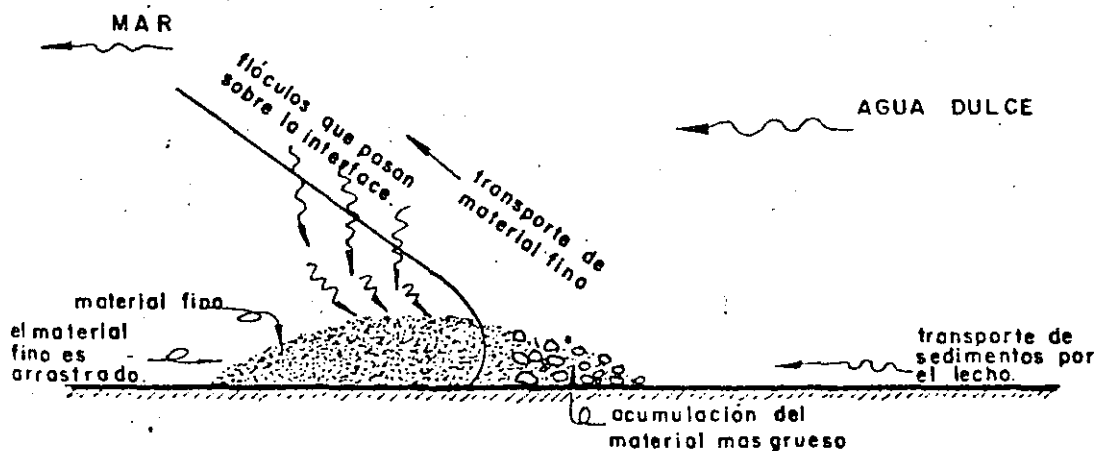


FIG. 20.- Contribución de material sólido para formar la barra.

En las dársenas las partículas en suspensión que -- transporta el agua salada durante el flujo se depositan en el fondo. En el reflujó las velocidades no son suficientemente altas para regresar este material a su estado de suspensión nuevamente. Debido a que el agua dulce (que ha llenado la dársena durante el reflujó) es empujada fuera de la dársena por el agua salada, la cantidad de material y agua que entran es mucho mayor que la requerida para llenar el prisma de marea. Cuando la dársena es muy larga, la cuña salina no alcanza a viajar en toda la longitud de la dársena y regresar, por lo que no se presenta un completo intercambio de agua. En dársenas de corta longitud se pueden presentar varios intercambios completos, de pendiendo de las variaciones de la salinidad en un ciclo de marea; en cada intercambio se presenta un depósito de material adicional.

Schif y Schonfeld derivaron una expresión para encontrar la longitud de la cuña salina en un canal rectangular y horizontal, descargando al mar con poca influencia de la marea.

$$L = \frac{2h}{f_I} \left[ \frac{1}{5F^2} - 2 + 3 F^{2/3} - 6/5 F^{4/3} \right] \dots\dots (4)$$

en donde:

$$f_I = \frac{8 \zeta_c}{\zeta (v_1 - v_2) v_1 - v_2}$$

$$F = \frac{v_r}{\sqrt{\delta g h}}$$

L = Longitud de la cuña.

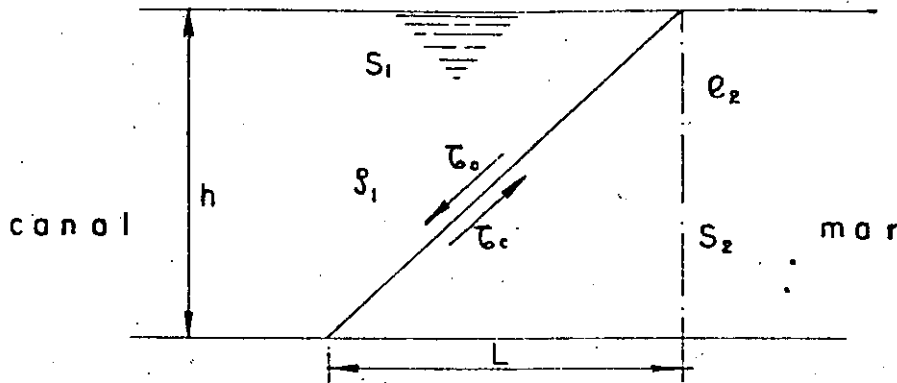
v<sub>r</sub> = Velocidad del agua en el canal aguas arriba -

de la cuña.

$V_1$  = Velocidad del agua dulce sobre la cuña.

$V_2$  = Velocidad de la cuña salina.

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante en la interfase.



El volumen de partículas de material que penetran - en una dársena, depende de su concentración.

Si se tiene una dársena de 300 m de ancho, 3000 de longitud y tirante máximo de 10 m, con una concentración de sedimentos de  $0.4 \text{ kg/m}^3$  en el flujo y  $0.1 \text{ kg/m}^3$  en reflujo y un intercambio total de agua por ciclo de marea entonces la cantidad de material que se deposita por día es:

$$\frac{2 \times 300 \times 3000 \times 10 \times (0.4 - 0.1)}{1000} = 0.6 \times 10^3 \text{ ton/día}$$

Esta sedimentación, también denominada intercambio-vertical del agua, es la que prácticamente contribuye toda la sedimentación en una dársena.

Adicionalmente, también ocurre sedimentación en los

vórtices, como los que se conforman en la entrada de las dársenas (ver figura No. 21 ), arrojando agua dentro de la dársena con agua en reposo y sedimenta el material antes que se presente el refluo.

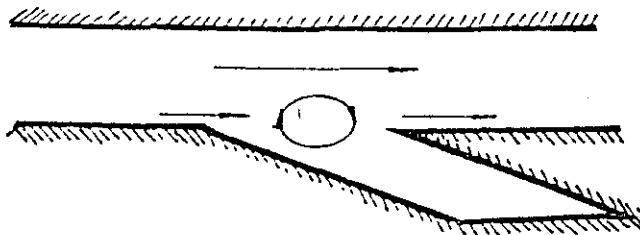


FIG. 21.- Formación de un vórtice a la entrada de una dársena.

Asimismo, se presenta una floculación del material en suspensión existente en el agua dulce cuando ésta es empujada hacia afuera de la dársena. Las partículas de arcilla en el agua dulce tienden a desprender iones positivos y entonces las moléculas de agua muestran su carácter dipolar y se forma una capa de agua alrededor de cada partícula de arcilla. En el resto de la masa de agua el potencial es aún negativo, lo que impide que las partículas de arcilla se junten y se decanten.

El agua salada que entra a la dársena contiene una concentración relativamente alta de iones cargados positivamente ( $\text{Na}^+$ , etc.), los que se neutralizan con la carga negativa del material en suspensión, para posteriormente ocurrir la floculación de las partículas de arcilla.

Con respecto al mezclado de agua salada y agua dul-



ce, su grado depende de la relación del escurrimiento de un cauce (agua dulce) con el prisma de marea. El mezclado completo se presenta cuando:

$$\frac{QT}{\Omega} < \frac{1}{10} \quad (\text{ver figura 22})$$

en donde:

$QT$  = El volumen escurrido en un ciclo de marea.

$\Omega$  = Prisma de marea en  $m^3$ .

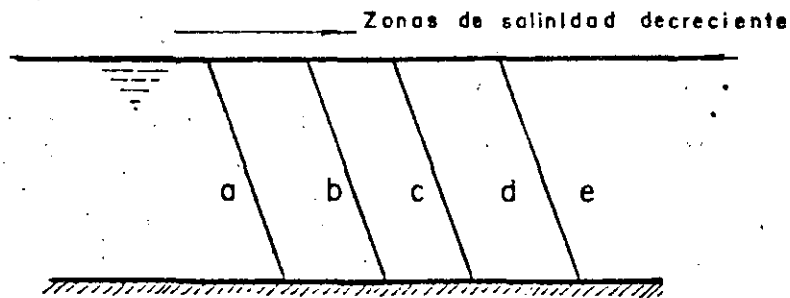


FIG. 22.- Mezclado Completo

El mezclado parcial ocurre cuando:

$$0.1 < \frac{QT}{\Omega} < 1 \quad (\text{ver figura 23})$$

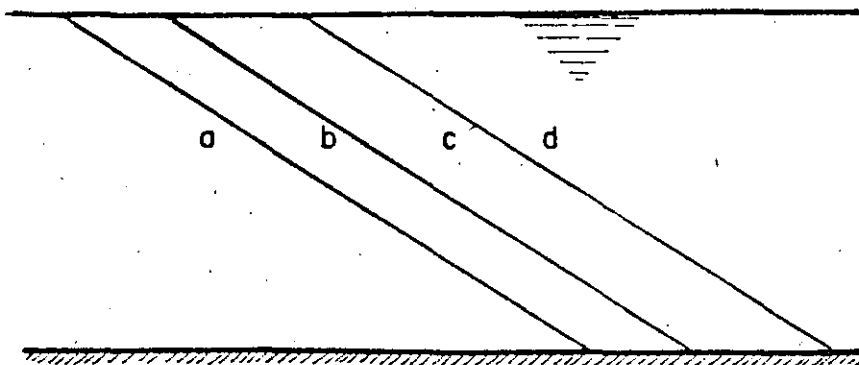


FIG. 23.- Mezclado Parcial

El mezclado insignificante existe cuando:

$$\frac{QT}{h} > 1 \quad (\text{ver figura 24})$$

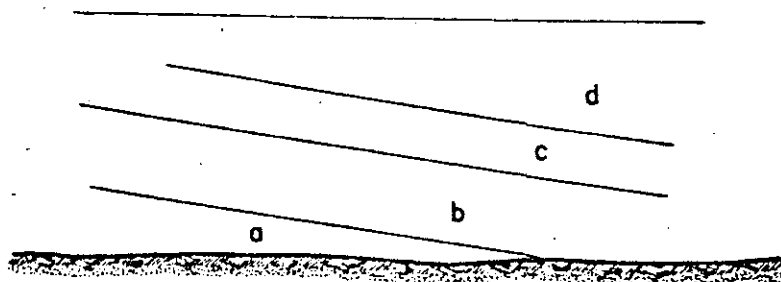


FIG. 24.- Mezclado Insignificante

En este caso se tienen capas casi horizontales de diferente salinidad.

Remedios contra la sedimentación.

1. Las dársenas pequeñas experimentan una sedimentación considerable provocada por la formación de un vórtice en la entrada. En algunas ocasiones se acostumbra orientar la entrada como se muestra en la figura 26, - con el fin de reducir el vórtice y la sedimentación consecuente.

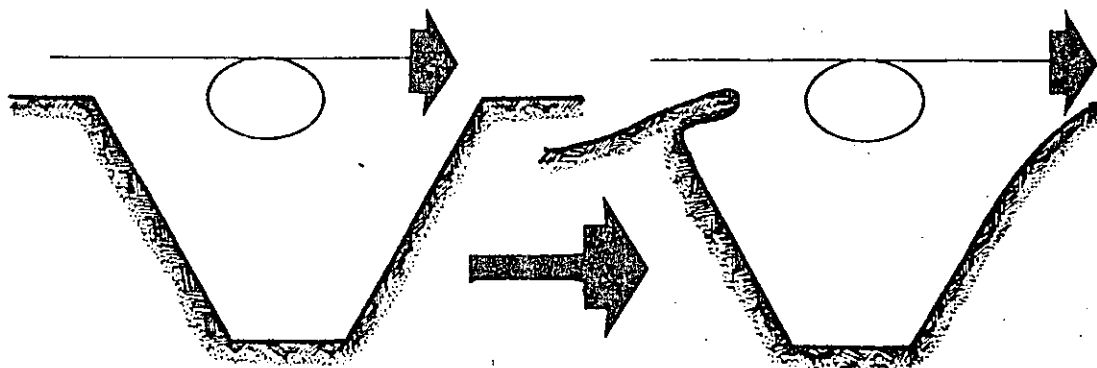


FIG. 26.- Reducción de la formación de vórtice.

2. Las dársenas muy largas pueden angostar la entrada para disminuir la sedimentación. La velocidad de la corriente de densidad únicamente depende de la diferencia de presión provocada por las diferencias en salinidad, por lo que se disminuye la cantidad de sal, sedimento en suspensión y agua que entra a la dársena en la unidad de tiempo. Cuando la dársena es tan larga que en la situación original no existe un intercambio total de agua, la relación de la sedimentación en la nueva situación (entrada angosta) comparada con la original, será la misma que resulta con la relación  $b_1/b_0$ . (Ver figura 26).

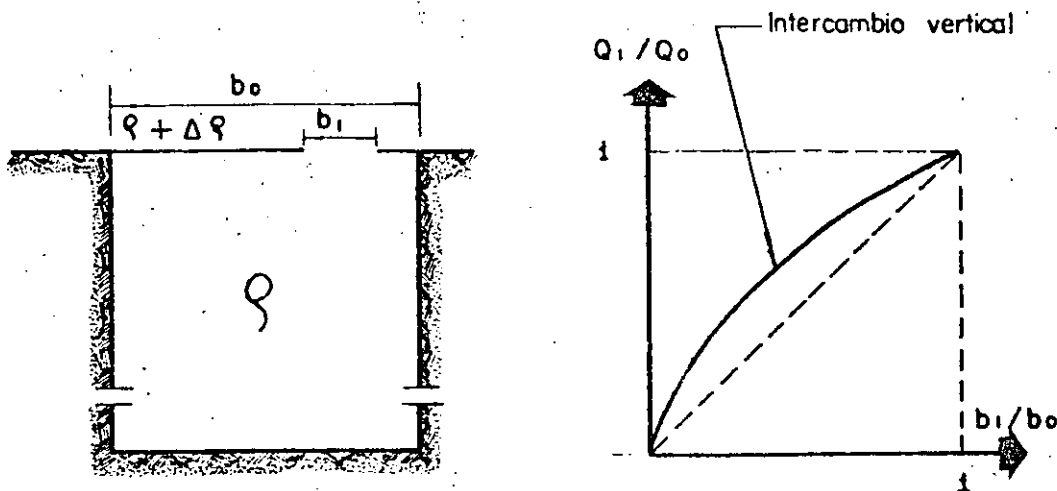


FIG. 26.- Disminución del intercambio vertical provocada por una entrada angosta.

Una segunda posibilidad para disminuir la sedimentación en una dársena larga es con una cortina de aire. El aire induce una corriente del mismo, como se muestra en la figura 27. Cuando esta nueva corriente tenga una velocidad al menos igual a la velocidad de la cuña sal-

na, la única cantidad de agua salada que entra será la necesaria para elevar el nivel del agua el cual se incrementa aún más por el efecto de mezclado en la corriente que se levanta.

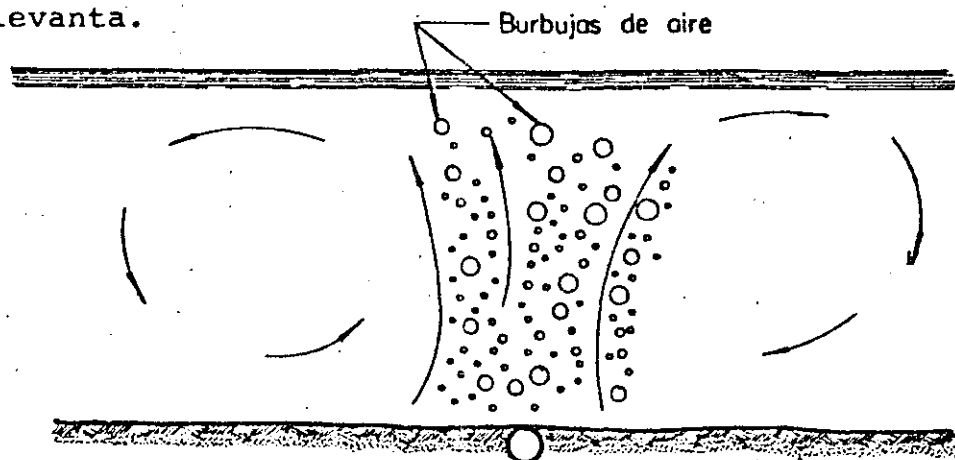


FIG. 27.- Cortina de aire.

La intrusión salina es un problema que se presenta en el caso de esclusas que comunican cuerpos de agua dulce y salada. Por ejemplo, en el caso de una esclusa de dimensiones  $400 \times 50 \times 10$  m y con diferencia en salinidad entre ambos cuerpos de agua de 20 p.p.m. =  $0.02 \text{ kg/m}^3$ , en cada operación de apertura la cantidad de sal que entrará será de  $50 \times 400 \times 10 \times 0.02 = 4 \times 10^3$  kg ó 4 ton.

Esta intrusión se puede evitar de diferentes maneras:

1. Dragando una zanja adyacente a la esclusa sobre el canal de agua dulce, con el fin de atrapar el volumen de agua salada que se almacena en cada operación dentro de la esclusa. Después de cada apertura se bombea el agua salada desde la zanja y se regresa hacia el mar (ver figura 28).

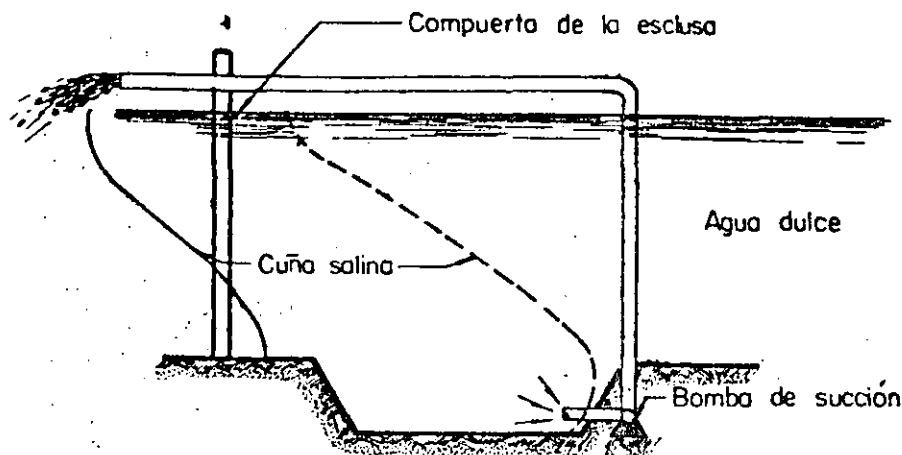


FIG. 28.- Zanja para extraer el agua salada.

2. Abriendo y cerrando las compuertas con la mayor rapidez posible.

Por ejemplo, si la velocidad de traslación de la cuña salina es de  $\pm 0.50$  m/seg, serán necesarios  $\frac{2 \times 400}{0.5} = 1600$  segs para lograr un intercambio completo.

3. Colocar una cortina de aire.

4. En cada operación extraer el agua salada fuera de la esclusa y reemplazarla con agua dulce.

#### 4- REGIMEN DE VASOS A MAREA LIBRE.

El análisis de los cuerpos de agua que se comunican con el mar, como es el caso de las lagunas litorales, -- bahías y estuarios, requiere en muchos casos definir la influencia del fenómeno de las mareas en lo correspondiente a fluctuaciones del nivel del agua, el retraso en el que se presenta la altura de marea máxima en el vaso-

con respecto al mar y la velocidad máxima promedio que se presenta en el canal.

Como es de suponerse, los cambios de nivel de la superficie libre del agua, dependen de un sin número de parámetros, mencionando entre otros, la forma del vaso, -- los taludes de las paredes, los aportes de agua dulce, -- la rugosidad de los canales de comunicación con el mar, -- el número y características de estas bocas, y tipo de marea. Por lo que se refiere al flujo de agua en la comunicación, destaca la influencia de la forma y dimensiones del vaso, el sentido del flujo, el rango de mareas, etc.

Los parámetros anteriores pueden simplificarse con el fin de facilitar la solución de las ecuaciones del comportamiento del sistema. Así, Keulegan simplifica el planteamiento al considerar que las paredes del vaso son verticales, en el canal de comunicación la profundidad es varias veces mayor a la amplitud de las mareas, no existen aportaciones provenientes de ríos y arroyos, no se presentan corrientes de densidad y las fluctuaciones del nivel del agua por efecto de la marea esta representada por una curva senoidal. Asimismo, se supone que el agua en el canal toma una forma prismática, la profundidad del canal es mucho mayor en relación al rango de variación de las mareas y el flujo en el canal está regido por la fórmula de Manning.

El análisis se enfoca inicialmente a evaluar el máximo desplazamiento de la superficie del agua en el vaso y posteriormente a determinar la máxima velocidad media en el canal durante el ciclo de marea.

#### 4.1 Deducción de la ecuación de cambios de nivel.

Consideremos una sección longitudinal del canal de comunicación entre el vaso y el mar, como se muestra en la figura 29.

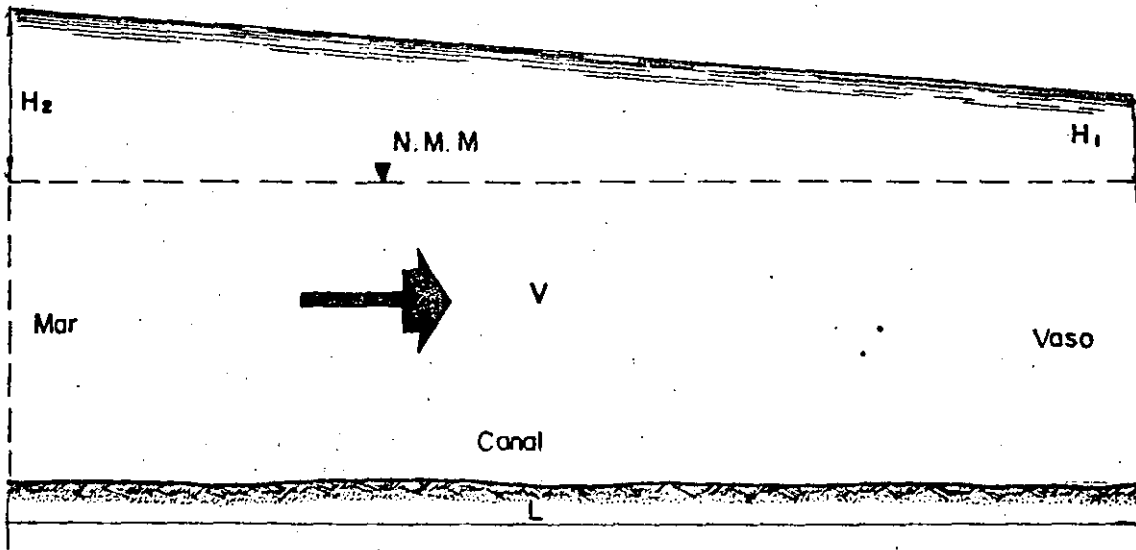


FIG. 29.- Gradiente Hidráulico, sobre el canal de comunicación

La diferencia de nivel de la superficie del agua en el vaso y en el mar puede representarse como  $H_2 - H_1$ .

Esta distancia puede ser descompuesta en dos partes, como sigue:

$$H_2 - H_1 = \Delta H_1 + \Delta H_2$$

en donde:

$$\Delta H_1 = m \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (5)$$

siendo:

$m$  = Coeficiente resultado de la distribución de velocidades. Si la distribución es uniforme, entonces  $m = 1$ .

$\Delta H_2$ , representa la pérdida de energía por fricción, por lo que utilizando la fórmula de Weisbach:

$$\Delta H_2 = \lambda \frac{L}{R_H} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (6)$$

donde:

$\lambda$  = Coeficiente de fricción.

$R_H$  = Radio hidráulico del canal.

$v$  = Velocidad media del flujo en el canal.

Sumando las ecuaciones (5) y (6) :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \left( \lambda \frac{L}{R_H} + m \right) \frac{v^2}{2g}$$

Despejando  $v^2$  se tiene:

$$v^2 = \frac{2g R_H}{\lambda L + m R_H} (H_2 - H_1)$$

Es deseable expresar la elevación con respecto al nivel medio del mar (n.m.m.) en términos de la semiamplitud de la marea que ocurre en el mar. Si el rango de la marea se representa por  $2H$ , la semiamplitud será  $H$ . Entonces:

$$v^2 = \frac{2g R_H}{\lambda L + m R_H} \left( \frac{H_2}{H} - \frac{H_1}{H} \right)$$



o bien:

$$V = \sqrt{\frac{2g R_H H}{\lambda L + m R_H}} \sqrt{\frac{H_2}{H} - \frac{H_1}{H}} \dots \dots \dots (7)$$

Si se expresa  $h_2 = H_2/H$  y  $h_1 = H_1/H$ , entonces:

$$V = \sqrt{\frac{2g R_H H}{\lambda L + m R_H}} \sqrt{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (8)$$

Como no se consideran aportaciones de agua provenientes de ríos y las paredes se estiman verticales, al suponer que las variaciones del nivel del agua producidas por la marea influyen en toda el área del vaso, la ecuación de almacenamiento de agua en el vaso resulta:

$$A \frac{d H_1}{dt} = a V \dots \dots \dots (9)$$

donde:

$A$  = Área del vaso.

$a$  = Área desde sección transversal del canal prismático.

$V$  = Velocidad media del agua en el canal.

$\frac{d H_1}{dt}$  = Variación del nivel del agua en el vaso con respecto al tiempo.

De la ecuación 9.

$$\frac{d H_1}{dt} = \frac{a}{A} V \dots \dots \dots (10)$$

Al considerar el período  $T$  de un ciclo de marea, se puede escribir:

$$\frac{t}{T} = \frac{\Theta}{2}$$

donde:

$\Theta$  = Tiempo específico de la marea, en radianes.

Entonces:

$$\frac{d h_1}{d \Theta} = \frac{T}{2} \frac{a}{H} \frac{a}{A} v \dots \dots \dots (11)$$

Sustituyendo la ecuación 10 en la ecuación --- No. 11 y al considerar:

$$K = \frac{T}{2\pi H} \frac{a}{A} \sqrt{\frac{2g R_H H}{\lambda L + m R_H}}, \text{ entonces:}$$

$$\frac{d h_1}{d \Theta} = K \sqrt{h_2 - h_1} ; (h_2 > h_1) \dots (12)$$

que es la ecuación diferencial para las fluctuaciones de la superficie en el vaso cuando el nivel del mar es mayor que el nivel en el vaso. Cuando se presenta la condición contraria, o sea, cuando el nivel del mar es inferior al nivel en el vaso, la ecuación correspondiente es:

$$\frac{d h_1}{d \Theta} = -K \sqrt{h_1 - h_2} ; (h_1 > h_2) \dots (13)$$

Al coeficiente  $K$  se le denomina Coeficiente de Sensibilidad de Llenado.

#### 4.2 Variación senoidal de la superficie del mar.

Suponiendo que las fluctuaciones en la superficie del agua del mar puede ser representados por una curva senoidal, la solución más general que describe las fluctuaciones de nivel de la superficie del agua en el vaso necesita estar afectada con referencia a la altura de la superficie del agua en el vaso en el instante en el que es conectado con el mar.

Sin embargo, si el vaso ha estado comunicado con el mar durante largo tiempo, las fluctuaciones de la superficie del agua en el vaso llegan a ser estables y las fluctuaciones entre límites ya no varían con el tiempo. Los mismos límites pueden ser establecidos no tomando en cuenta las condiciones iniciales en que hubo estado el nivel en el vaso. Sin embargo, las fluctuaciones de la superficie del agua en el vaso son periódicas, y no se puede decir que la variación corresponda a una curva senoidal pura, debido a que la resistencia a la fricción del canal de unión varía con el cuadrado de la velocidad media.

Considerando que los desplazamientos de la superficie del agua en el mar y en el vaso están dados sobre un eje común en el tiempo  $t$ , o por el parámetro adimensional  $\Theta$  (ver figura 30), el origen del tiempo debe ser tomado en el instante en que  $h_2$  y  $h_1$  son iguales y  $h_2$  comienza a crecer más rápidamente que  $h_1$ . Entonces, como se muestra en la figura IV.33,  $h_2 = 0$  cuando  $\Theta = \tau$ . Teniendo en cuenta que la oscilación de la superficie del mar viene dada por:

$$h_2 = \text{sen} (\theta - \zeta), \quad 0 < \theta < 2\pi \quad \dots\dots (13.a)$$

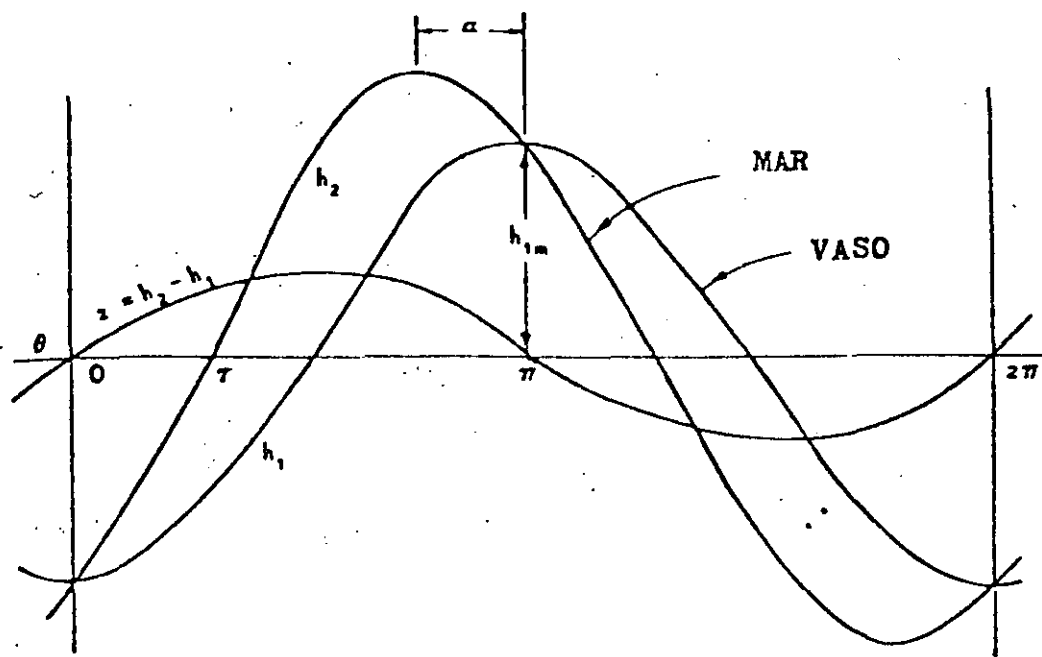


FIG. 30.- Variaciones de la superficie del mar y el vaso

debe considerarse que se sostendrá el método de solución a seguir durante la porción de tiempo en el cual el nivel del agua en el mar sea mayor al nivel del agua en el vaso. Se podrá considerar que durante un tiempo  $T/2$  la superficie del mar es mayor que la superficie en el vaso. La suposición se verificará después. Acordando que la determinación de  $h_1$  debe estar separada en rangos de valores comprendidos en  $0 < \theta < T\pi$  y  $T\pi < \theta < 2T\pi$ , donde el primer rango  $T/2$  es cuando  $h_2 > h_1$  y el segundo lapso  $T/2$  es cuando  $h_1 > h_2$ , se tiene:

Para el primer lapso  $T/2$ ,  $h_2 > h_1$ , tenemos:

$$h_2 > h_1, \quad 0 < \theta < \pi$$

$$h_2 = \text{sen}(\theta - z) \dots \dots \dots (14)$$

$$\frac{dh_1}{d\theta} = K \sqrt{(h_2 - h_1)} \dots \dots \dots (15)$$

$$h_2 = h_1, \quad \theta = 0$$

$$\text{y } h_2 = h_1, \quad \theta = \pi$$

Para el segundo lapso  $T/2$ ,  $h_1 > h_2$ , tenemos:

$$h_1 > h_2, \quad \pi < \theta < 2\pi$$

$$h_2 = \text{sen}(\theta - z) \dots \dots \dots (16)$$

$$\frac{dh_1}{d\theta} = -K \sqrt{(h_1 - h_2)} \dots \dots \dots (17)$$

$$h_2 = h_1, \quad \theta = \pi$$

$$\text{y } h_2 = h_1, \quad \theta = 2\pi$$

En vez de determinar  $h_1$  directamente, es más conveniente obtener la diferencia,  $h_1 - h_2$ , de esta manera -- poniendo:

$$z = h_2 - h_1, \quad 0 < \theta < \pi \dots \dots \dots (18)$$

la ecuación 15 se reduce a:

$$\frac{dz}{d\theta} = -K \sqrt{z} + \frac{dh_2}{d\theta}$$

introduciendo después el valor de  $h_2$  de la ecuación No. 16, el problema matemático para el primer rango se desarrolla como sigue, para la determinación de  $z$ :

$$z > 0, \quad 0 < \theta < \pi$$

$$\frac{dz}{d\theta} = -K \sqrt{z} + \cos \theta \cos z + \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} z \dots (19)$$

$$z = 0, \quad \theta = 0$$

$$z = 0, \quad \theta = \pi$$

Para el segundo rango, poniendo:

$$z = h_1 - h_2, \quad \pi < \theta < 2\pi \dots (20)$$

con la ecuación No. 17 llegamos a:

$$\frac{dz}{d\theta} = -K \sqrt{z} - \frac{dh_2}{d\theta}$$

introduciendo la transformación:

$$\theta = \pi + \beta \dots (21)$$

y por lo tanto la relación:

$$h_2 = -\operatorname{sen}(\beta - z)$$

el problema matemático para el segundo rango involucra para su solución, las relaciones:

$$z < 0, \quad 0 < \beta < \pi$$

$$\frac{dz}{d\beta} = -K \sqrt{z} + \cos \beta \cos \zeta + \sin \beta \sin \zeta \dots (22)$$

$$z = 0, \beta = 0$$

$$z = 0, \beta = \pi$$

Comparando las ecuaciones ( 19 ) y ( 22 ) nos indican que será suficiente obtener la solución de  $z$  sólo para el primer rango. El comportamiento de  $z$  para el segundo rango puede ser deducido. La misma comparación nos muestra también que la porción del tiempo durante el cual la superficie del mar es superior a la superficie del vaso corresponde a un tiempo  $T/2$ . Por lo tanto, la suposición original queda comprobada.

Entonces la solución a la ecuación ( 19 ) queda de la forma:

$$z = f(\Theta) \dots \dots \dots (23)$$

y ya que:

$$h_1 = h_2 - z, \quad 0 < \Theta < \pi$$

el valor de  $h_1$  para este rango es:

$$h_1 = \sin(\Theta - \zeta) - f(\Theta) \dots \dots \dots (24)$$

Nuevamente, debido a que la solución de la ecuación ( 22 ) es de la forma:

$$z = f(\beta) \dots \dots \dots (25)$$

y como:

$$h_1 = z + h_2, \quad 0 < \beta < \pi$$

el valor de  $h_1$  para el segundo rango es:

$$h_1 = \text{sen } (\beta - \zeta) + f(\beta), \quad \Theta = \pi + \beta \dots (26)$$

La interpretación geométrica acerca de esta discusión es fácilmente inferida. La curva de  $h_1$  para el primer rango es ascendente, es decir, su pendiente es mayor o igual que cero. La curva de  $h_1$ , para el segundo rango es invertida y movida a lo largo del eje  $\Theta$  una distancia  $\pi$ .

Método aproximado de solución.

La determinación de la forma de  $z$  queda satisfecha por una ecuación diferencial (ecuación 19), que puede ser resuelta en varias formas. Como están involucrados cambios periódicos, es preferible la solución tomando en cuenta la función circular de  $\Theta$ . De esta forma y utilizando las series de Fourier para la solución de  $\sqrt{\text{sen } \Theta}$  se llega a:

$$z = a_1 \text{ sen } \Theta + a_1 b_3 (\cos \Theta - \cos 3\Theta) + a_1 a_3 \text{ sen } 3\Theta \dots (27)$$

$$z^{1/2} = a_1^{1/2} (N_1 \text{ sen } \Theta + N_3 \text{ sen } 3\Theta) + \frac{b_3 N_1}{2} (\cos \Theta - \cos 3\Theta) + \frac{a_3 N_1}{2} \text{ sen } 3\Theta \dots (28)$$

y :

$$\frac{dz}{d\Theta} = a_1 \cos \Theta + a_1 b_3 (-\text{sen } \Theta + 3\text{sen } 3\Theta) +$$

$$3 a_1 a_3 \cos 3\Theta \dots (29)$$



donde  $N_1$  toma el valor de 1.1107,  $N_3$  el valor de 0.1580 y  $a_1, a_3, b_1$  y  $b_3$  son constantes a determinar.

Tomando en cuenta que las fluctuaciones de la superficie del agua en el vaso están dadas por  $h_1 = z + h_2$  y que  $z$  está dada por la ecuación ( 27 ), las cantidades  $a_1, a_3, b_3$  y  $\zeta$  son los parámetros que determinan la forma de las fluctuaciones en el vaso como función del tiempo. Estas constantes dependen individualmente del coeficiente de llenado  $K$ . Sus valores, determinados de acuerdo a lo proyectado en el planteamiento de las relaciones al respecto, están dados en la tabla 1.

En el método usado, los resultados están obtenidos dentro de la solución con una segunda aproximación de la ecuación diferencial, ecuación 4.23. El método del análisis es semejante a uno que pueda tener grandes aproximaciones. Esta posibilidad, sin embargo, tiene únicamente un significado teórico, tomando en cuenta que los cálculos que hay que hacer son muy largos y pueden ser evitados.

#### 4.3 Amplitud de mareas en el vaso y desfaseamiento.

El rango de mareas en el vaso es el doble del desplazamiento máximo de la superficie del agua en el vaso medida a partir del nivel medio del mar. Los máximos y mínimos desplazamientos corresponden a la diferencia nula de  $z$  ( $h_2 = h_1$ ), ya que para estos puntos  $dh_1/d\theta$  es nula (ver ecuación 15 ). Como  $z$  es nula en los puntos  $\theta = 0$  y  $\theta = \pi$ , es suficiente el considerar el valor de

$h_1$  en  $\theta = \pi$ , donde  $h_1$  es máxima, llamando a este valor  $h_{1m}$ . Tomando en cuenta las características adimensionales de esta cantidad, nos muestra que  $h_{1m}$  nos da la proporción del semirango de mareas en el vaso al semirango de mareas en el mar. Ya que en  $\theta = \pi$ ,  $h_{1m}$  es igual a  $h_2$  y como el valor de  $h_2$  en  $\theta = \pi$  es  $\text{sen } \zeta$  (ver ecuación No. 14, la proporción de la semiamplitud de mareas en el vaso a la semiamplitud de mareas en el mar es:

$$h_{1m} = \text{sen } \zeta \dots \dots \dots (30)$$

La relación de la amplitud de mareas en el vaso a la amplitud de mareas en el mar es también  $\text{sen } \zeta$ . Los valores de  $\text{sen } \zeta$  como una función de  $K$  se muestran en la tabla 2. Entonces la amplitud de mareas en el vaso se puede leer directamente de la tabla y por lo tanto el coeficiente de llenado  $K$  es conocido para un vaso en particular (ver figura No. 31).

La siguiente pregunta a considerar es el retardo entre el máximo desplazamiento de la superficie del agua en el mar y el máximo desplazamiento del agua en el vaso. Expresando el retardo en radianes y denotándolo por  $\alpha$ , el máximo desplazamiento de la superficie del agua ocurre en  $\theta_m$  y tiene el valor, de la ecuación No. 14.

$$\theta_m - \zeta = \frac{\pi}{2}, \quad \theta_m = \frac{\pi}{2} + \zeta$$

El máximo desplazamiento de la superficie del agua en el vaso ocurre cuando  $\theta = \pi$ . Entonces el desfaseamiento es:

$$\alpha = \pi - \theta_m \quad 6$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \zeta \dots \dots \dots (31)$$

TABLA 1

PARAMETROS DE LA VARIACION DE LA SUPERFICIE  
DEL AGUA EN EL VASO, COMO FUNCION DE K.

K	$a_1$	$a_3$	$b_3$	$\cos \zeta$	$\text{sen } \zeta$
0.1	0.9936	-0.0001	-0.0052	0.99327	0.115804
0.2	0.9745	-0.0004	-0.0106	0.97334	0.22934
0.3	0.9435	-0.0009	-0.0164	0.94086	0.33874
0.4	0.9020	-0.0017	-0.0220	0.89735	0.44137
0.5	0.8515	-0.0028	-0.0282	0.84425	0.53593
0.6	0.7942	-0.0043	-0.0347	0.78386	0.62091
0.7	0.7325	-0.0063	-0.0418	0.71856	0.69549
0.8	0.6689	-0.0089	-0.0495	0.65091	0.75917
0.9	0.5997	-0.0123	-0.0579	0.57732	0.81649
1.0	0.5451	-0.0165	-0.0664	0.51783	0.85551
1.2	0.4369	-0.0281	-0.0849	0.39949	0.91676
1.4	0.3489	-0.0448	-0.1038	0.30119	0.95357
1.6	0.2811	-0.0661	-0.1201	0.22449	0.97446
1.8	0.2294	-0.0910	-0.1327	0.16588	0.98614
2.0	0.1893	-0.1177	-0.1401	0.12160	0.99258
3.0	$0.8830 \times 10^{-1}$	-0.2207	-0.1187	0.02953	0.99956
4.0	$0.5032 \times 10^{-1}$	-0.2606	-0.0802	0.01037	0.99995
5.0	$0.3232 \times 10^{-1}$	-0.2740	-0.0532	0.00575	0.99898
6.0	$0.2249 \times 10^{-1}$	-0.2794	-0.0377	0.00363	0.99999
7.0	$0.1653 \times 10^{-1}$	-0.2817	-0.0280	0.00256	1.0000
8.0	$0.1266 \times 10^{-1}$	-0.2828	-0.0215	0.00192	1.0000
9.0	$0.1001 \times 10^{-1}$	-0.2835	-0.0170	0.00150	1.0000
10	$0.8105 \times 10^{-2}$	-0.2845	-0.0138	0.00119	1.0000
20	$0.2026 \times 10^{-2}$	-0.2845	-0.0035	0.00030	1.0000
30	$0.9007 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0015	0.00013	1.0000
40	$0.5066 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0009	0.00008	1.0000
50	$0.3242 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0006	0.00005	1.0000
60	$0.2252 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0004	0.00004	1.0000
70	$0.1654 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0003	0.00003	1.0000
80	$0.1267 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0002	0.00002	1.0000
90	$0.1001 \times 10^{-3}$	-0.2845	-0.0002	0.00001	1.0000
100	$0.8105 \times 10^{-4}$	-0.2845	-0.0001	0.00001	1.0000

TABLA 2

COEFICIENTE C EN LA FORMULA DEL PRISMA DE MAREAS  
Y LA AMPLITUD DE LA MAREA EN EL VASO

<u>K</u>	<u>sen z</u>	<u>C</u>	<u>K</u>	<u>sen</u>	<u>C</u>
0.1	0.1158	0.8106	4.0	0.9999	0.9993
0.2	0.2293	0.8116	5.0	0.9999	0.9994
0.3	0.3387	0.8128	6.0	1.0000	0.9997
0.4	0.4414	0.8153	7.0	1.0000	0.9997
0.5	0.5359	0.8184	8.0	1.0000	0.9998
0.6	0.6209	0.8225	9.0	1.0000	0.9998
0.7	0.6955	0.8288	10.0	1.0000	0.9998
0.8	0.7592	0.8344	20	1.0000	0.9998
0.9	0.8165	0.8427	30	1.0000	0.9999
1.0	0.8555	0.8522	40	1.0000	0.9999
1.2	0.9168	0.8751	50	1.0000	0.9999
1.4	0.9536	0.9016	60	1.0000	1.0000
1.6	0.9745	0.9267	70	1.0000	1.0000
1.8	0.9861	0.9484	80	1.0000	1.0000
2.0	0.9926	0.9650	90	1.0000	1.0000
3.0	0.9996	0.9950	100	1.0000	1.0000

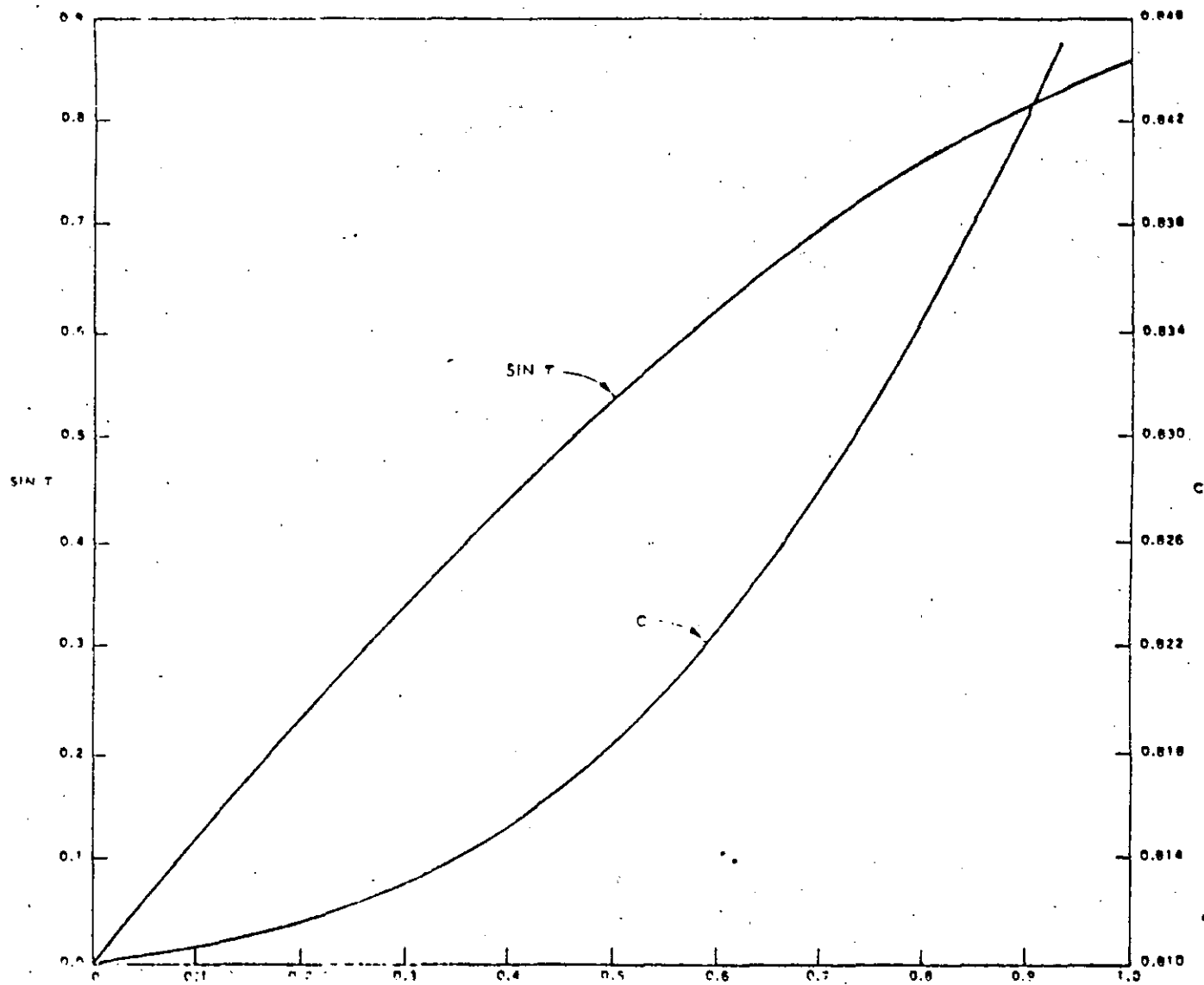


FIGURA 31.- RELACION DEL COEFICIENTE DE LLENADO K CON C Y SEN

#### 4.4 Prisma de mareas y máxima velocidad media en el canal.

El volumen de agua en el vaso incluido entre los dos planos horizontales, uno dado por la elevación máxima de la superficie durante un ciclo de marea y el otro dado por la elevación menor de la superficie, es conocido como el prisma de mareas. Designando el volumen del prisma por  $\Omega$ , si  $Q_m$  es el máximo gasto a través del canal durante medio ciclo de mareas, el volumen del prisma, el máximo valor de descarga y el período de mareas pueden ser relacionados por la expresión:

$$\frac{T Q_m}{\pi \Omega} = C \dots \dots \dots (32)$$

donde C es un número adimensional.

El valor de C es cercano a la unidad, y su valor exacto depende del coeficiente de llenado K. Esta dependencia será determinada después.

Con la máxima velocidad media denotada por  $V_m$ ,

$$Q_m = a V_m$$

También por la condición de continuidad,

$$\Omega = a \int_0^{T/2} v dt$$

ya que  $z = h_2 - h_1$ :

$$v \doteq \sqrt{z}$$

y

$$v_m \doteq (\sqrt{z})_m$$

el subíndice  $m$  indica que se toman los máximos valores. Entonces:

$$\frac{Q_m}{\Omega} = \frac{(\sqrt{z})_m}{\int_0^{T/2} \sqrt{z'} dt}$$

o, ya que  $2\pi dt = T d\theta$  :

$$\frac{T Q_m}{2\pi\Omega} = \frac{(\sqrt{z})_m}{\int_0^\pi \sqrt{z'} d\theta} \dots \dots (33)$$

Siendo  $\theta_1$  el valor de  $\theta$  que corresponde a  $z$  máxima en este punto  $\sqrt{z'}$  es también máximo. Acordando,  $dz/d\theta = 0$ , y de la ecuación (29):

$$\cos \theta_1 + b_3 (-\sin \theta_1 + 3\sin 3\theta_1) + 3a_3 \cos 3\theta_1 = 0$$

Ello puede mostrar que la más pequeña raíz de esta ecuación es:

$$\theta_1 = \frac{\pi}{2} + \xi \dots \dots (34)$$

donde:

$$\xi = - \frac{4}{1 - 9a_3} b_3$$

$$\cos \Theta_1 = -\xi$$

$$\cos 3\Theta_1 = 3\xi$$

$$\text{sen } \Theta_1 = 1, \text{ sen } 3\Theta_1 = -1$$

De la ecuación ( 28 ) el máximo valor de  $\sqrt{z'}$  es:

$$\begin{aligned} (\sqrt{z'})_m &= a_1^{1/2} (N_1 \text{ sen } \Theta_1 + N_3 \text{ sen } 3\Theta_1 \\ &+ \frac{b_3 N_1}{2} (\cos \Theta_1 - \cos 3\Theta_1) \\ &+ \frac{N_1 a_3}{2} \text{ sen } 3\Theta_1) \end{aligned}$$

Introduciendo el valor de  $\Theta_1$  de la ecuación ( 34 ), esto se reduce a:

$$(\sqrt{z'})_m = a_1^{1/2} (N_1 - N_3 - 2N_1 b_3 \xi - \frac{N_1 a_3}{2} \dots) \quad ( 35 )$$

Nuevamente, de la ecuación ( 28 ) e integrando:

$$\int_0^\pi z^{1/2} d\Theta = 2a_1^{1/2} (N_1 + \frac{1}{3}N_3 + \frac{1}{6}N_1 a_3) \dots \quad ( 36 )$$

Sustituyendo estas expresiones, ecuaciones ( 35 ) y ( 36 ), en la ecuación ( 33 ) y tomando en cuenta el hecho de que  $N_3$ ,  $a_3$  y  $b_3$ ,  $z$  son todas cantidades pequeñas, tenemos:

$$\frac{T Q_m}{\pi \Omega} = 1 - \frac{4}{3} \frac{N_3}{N_1} - 2b_3 \xi - \frac{2}{3} a_3$$

El miembro de la derecha de la ecuación es expresa--



do por C en la ecuación ( 32 ), esto es:

$$C = 1 - \frac{4}{3} \frac{N_3}{N_1} - 2b_3 \xi - \frac{2}{3} a_3 \dots \dots \dots ( 37 )$$

Es obvio que C depende de K, ya que  $a_3$ ,  $b_3$  y  $\xi$  dependen de K. Valores de C calculados usando la última expresión están dados en la tabla 4.2. En ella se muestra que para valores de K comprendidos entre 0.1 y 100 el valor de C varía de 0.8106 a 1.0000 (ver figura No. 31).

La fórmula para el prisma de mareas es importante para poder evaluar la máxima velocidad media en el canal. - Por la definición del prisma de mareas:

$$\Omega = 2 h_{1m} A H$$

donde  $h_{1m}$  es la relación del máximo desplazamiento de la superficie del agua en el vaso, al máximo desplazamiento de la superficie en el mar. Entonces, usando la ecuación ( 30 ):

$$\Omega = 2 A H \text{ sen } \zeta$$

como antes,

$$Q_m = V_m a$$

Introduciendo esto en la fórmula de prisma de mareas, ecuación ( 32 ), nos da:

$$V_m = 2 \pi C \frac{A}{a} \frac{H}{T} \text{ sen } \zeta \dots \dots ( 38 )$$

Esta es la ecuación que nos relaciona la máxima ve--

locidad media en el canal con la amplitud de marea en el mar,  $2H$ . En la expresión,  $H$  está dada en pies y  $T$  en segundos.

## .5 ESTABILIDAD DE ACCESOS COSTEROS.

El equilibrio o estabilidad de los canales a marea-libre puede analizarse en dos forma: la primera, considerando la posición de la entrada con respecto a su localización en planta -estabilidad horizontal-, y la segunda, tomando en cuenta las características de la sección transversal -estabilidad vertical-.

### 5.1 Estabilidad horizontal.

Los canales podrán ser estables o migratorios. La estabilidad o la migración es función de su edad. En el caso de albuferas, puede abrirse un canal durante una tormenta, cerrándose de inmediato; pero si las condiciones interiores de la laguna son favorables, es posible que permanezca abierto, iniciando un proceso migratorio, que de no existir interferencias, puede adoptar una situación estable. En este proceso, tiene una gran influencia el acarreo litoral  $M$ , el área de entrada  $a$  y la longitud  $L$  del canal.

Consideremos una entrada cuyas características estén cerca del ideal (figura 32 ). En este caso la barra tiene una disposición tal, que su centro de curvatura está muy próximo a la sección principal de salida. El oleaje, por efectos de refracción, generará un sistema -

### 5.5 Forma de paso del material.

En la naturaleza se observan dos formas de paso del material de un lado a otro de la boca. La primera es por barrera, o sea frente al canal se forma una barra convexa hacia el mar que sirve de "puente" por donde circula el arrastre de fondo. Esta condición no es muy favorable cuando se pretende utilizar el acceso para entrada de embarcaciones. La segunda es utilizando las corrientes de marea como medio de transporte; el material es arrastrado hacia el canal por las corrientes de flujo y regresado hacia al mar, del otro lado de la boca, con las de refluo. Esta condición es en extremo favorable, siempre y cuando las características del canal sean tales que no se produzcan depósitos en su extremo interior. La forma de paso está determinada según Bruun, por la relación entre el gasto máximo y el acarreo litoral neto.

$$r = \frac{M_n}{Q_m} \dots \dots \dots (43)$$

Si  $r > 200 - 300$  paso por barra

$r < 10 - 20$  paso por corriente de marea

Normalmente pueden presentarse formas de paso combinadas, ya que el intervalo entre 20 y 200 es demasiado grande. En general mientras más regular sea el transporte por una acción moderada o fuerte del oleaje en las playas inmediatas a la boca, existirán mejores condiciones para el paso del material. También hay que considerar el efecto de escolleras en la desembocadura. Normalmente el escollerado da lugar a un paso de tipo mixto, dependiendo el predominio de uno sobre otro, si el aca-

rreo se mueve por lo alto de la playa o por corrientes - litorales.

### 5.6 Grado de estabilidad.

La relación que da el mejor índice es la establecida entre el prisma de marea y el acarreo litoral neto. - Si;

$$\Omega/M_n < 100 \quad \dots \dots \dots (44) ;$$

existirá una gran tendencia a la formación de bajos y la capacidad de autodragado de las corrientes de marea será muy bajo; de hecho esta situación creará una tendencia - a la divagación e inclusive bifurcación del canal disminuyendo, en consecuencia, la eficiencia hidráulica de la sección. Cuando la relación

$$\Omega/M_n > 150 \text{ a } 200 \quad \dots \dots \dots (45) ;$$

el grado de estabilidad es aceptable, siendo óptimo cuando el valor es superior a 300. El cociente  $\Omega/M_n$  proporciona también un criterio para la selección del esfuerzo cortante de estabilidad  $\zeta_s$ ; el criterio es el siguiente:

$\Omega/M_n \leq 600$	$150 < \Omega/M_n < 600$	$\Omega/M_n \leq 150$
$\zeta_s \text{ (kg/m}^2\text{)} = 0.46$	0.50	0.51

Este criterio hace ver que para valores muy cercanos o inferiores a una estabilidad aceptable, puede tratarse de subsanar esta deficiencia con un incremento en la velocidad y por tanto, en el esfuerzo cortante de es-

tabilidad, buscando en esta forma mejorar la eficiencia-hidráulica de la sección, hecho que podrá llevar a un incremento en el valor del prisma de marea y en consecuencia en el grado de estabilidad de la sección.

### 5.7 Capacidad de autoconservación del canal.

El análisis de esta capacidad puede hacerse tomando en cuenta diversas relaciones. Un primer criterio es comparando el valor de la velocidad de las corrientes de marea con la velocidad crítica del material del canal. A este respecto, la experiencia demuestra que es conveniente que, en general, las velocidades en el canal se conserven superiores a la crítica durante el 60 a 80% del tiempo, es decir, se ha encontrado que la relación  $V_m/V_c$  arroja los siguientes valores en cuanto al porcentaje de tiempo de marea en que la corriente es capaz de mantener un autodragado adecuado.

$\frac{V_m}{V_c}$	%
1.05	20
1.30	40
2.00	60
5.75	80

debe tratarse de que  $V_m = 2$  a  $5 V_c$  ..... ( 46 )

Por lo que toca a la comparación entre el gasto máximo  $Q_m$  y el acarreo neto  $M_n$ , se tiene que si:

$$Q_m/M_n > 0.01 \text{ ..... ( 47 )}$$

las condiciones de estabilidad son mejores que si es menor de ese valor. El análisis más completo es quizás el que se hace tomando en cuenta las relaciones entre la capacidad de transporte  $M_s$  con el porcentaje de acarreo litoral  $p M_t$  que entra al canal; el esfuerzo cortante de la sección  $\tau$  y el de estabilidad  $\tau_s$ ; el esfuerzo cortante  $\tau$  con las características del material, peso volumétrico y  $D_{50}$ ; y finalmente entre el porcentaje  $p$ , el área de la sección  $a$  y el área de estabilidad  $a_s$ .

Inicialmente tendríamos los siguientes valores como los más ventajosos:

$$0.5 < \frac{M_s}{p M_t} < 1.5 \quad \dots \quad (48)$$

$$0.8 < \frac{\tau}{\tau_s} < 1.2 \quad \dots \quad (49)$$

$$1.0 \leq \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}} \leq 1.5 \quad \dots \quad (50)$$

Los valores límites, sobre todo los inferiores están fuertemente afectados por el valor  $M_t$ . En función de él la entrada podrá tender hacia un canal no estable, pero con valores del esfuerzo cortante inferiores al crítico para el caso de que el acarreo total sea pequeño; pero si  $M_t$  es grande y el prisma de marea reducido, el acceso tenderá a cerrarse. Ahora bien, si el prisma de marea es grande, será más probable el desarrollo de una condición de estabilidad.

Los demás elementos pueden relacionarse en la siguiente forma como los valores más adecuados a la estabi-

lidad:

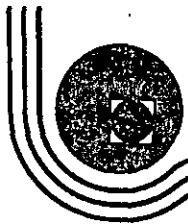
$$0.7 < p \leq 1.6 \quad \dots\dots\dots ( 51 )$$

$$0.8 \leq \frac{a}{a_s} \leq 1.2 \quad \dots\dots\dots ( 52 )$$

$$6 \quad \frac{a}{a_s} > 1.5 \quad \dots\dots\dots ( 53 )$$

La condición ideal es que tanto "p" como la relación  $a/a_s$  se mantengan muy cerca de la unidad. Si  $a/a_s$  aumenta considerablemente, el canal tenderá hacia un estado de no erosión que puede representar una situación estable. En cambio, si tiende hacia el límite inferior, existirá una tendencia a la formación de barra tanto mejor desarrollada cuanto menor sea la relación, llegando a cerrarse la entrada, si  $a/a_s = 0.4$ . Finalmente, es conveniente señalar que para ambos casos mientras más cercano a la unidad esté el valor de "p", se tendrán mejores condiciones de estabilidad. El valor de "p" puede calcularse con la expresión:

$$p = \frac{M_s}{M_t} \quad \dots\dots\dots ( 54 )$$



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

CONTAMINACION COSTERA

NOVIEMBRE, 1985.



## CONTAMINACION COSTERA

### Introducción.

La toma de conciencia por el hombre del problema de la contaminación artificial del mar y de las costas es un fenómeno de reciente auge que responde al, asimismo creciente, grado de actividad polucionante que se viene dando en las últimas décadas. El fenómeno de redistribución zonal de la población tendiente hacia la saturación de la franja costera así como el desarrollo de los procesos industriales y el incremento de transporte marítimo han incidido en un brusco y extraordinario aumento en la recepción por el mar de sustancias exógenas.

Los episodios, a veces casi situaciones estables, de contaminación de las costas vienen siendo cada día más frecuentes. En la Bahía de Nueva York, una zona de cincuenta kilómetros cuadrados recibe el nombre de "Mar Muerto" debido a la escasez de oxígeno y, por tanto, desaparición de vida animal. Otro tanto puede decirse de la Bahía de Tokyo. En 1970 diversas playas de Francia e Italia (Palermo, Nápoles) estuvieron cerradas al público por su alto grado de contaminación. Las catástrofes de tipo petrolífero son cada día más frecuentes. "Torrey Canyon", "Policomander", "Urquiola", y otros muchos, son nombres que van asociados a vertidos de decenas de miles de toneladas de crudo sobre las

aguas costeras. Mientras tanto, las industrias y ciudades vierten al día millones de toneladas de residuos, metales pesados tóxicos.

Las voces de alarma comienzan a alzarse. El profesor Cousteau, apoyado en su conocimiento profundo de la vida marina, ha afirmado recientemente: "En el plazo de veinticinco o treinta años, la vida habrá desaparecido de los océanos". Muchos organismos han centrado su atención sobre el tema (FAO, Club de Roma, etc.). Otras opiniones autorizadas, sin embargo, son más optimistas. Una cosa queda clara: el problema está planteado y su solución no requiere demagogias sino una intervención técnica profunda.

#### Definición.

El término "contaminación marina" se puede definir de forma general como la introducción en la masa líquida de los océanos y mares de sustancia que producen un empobrecimiento de los recursos vitales de los mismos y una pérdida de la calidad de las aguas. Estos factores se traducen, generalmente, en una disminución en el rendimiento de actividades marinas, tales como la pesca, y en lo que es más significativo en riesgos para la salud humana y todo el ecosistema dependiente. Quedan incluidas, por tanto, todas las formas de alteración del agua de mar ya sean de tipo peligroso (concentraciones bacterianas, químicas, radioac

3

tivas, etc.) o simplemente molestas y antiestéticas (maderas, papeles, espumas, etcétera).

Dentro del amplio marco de la contaminación del mar, merece un tratamiento especial aquella que afecta a los bordes costeros por ser la -- que mayor incidencia tiene para el ser humano. En esta zona confluyen gran número de fuentes contaminantes con una variada gama de actividades humanas. Aquí aún el criterio de considerar, únicamente, la contaminación tanto en cuanto pueda afectar al hombre, comprende casi todas las actuaciones polucionantes dado el estrecho contacto del hombre con el medio.

En todo caso, la investigación de la contaminación marina está todavía en una fase inicial con numerosas incógnitas ante sí. La relación causa-efecto, en la mayoría de los casos, no ha sido determinada, ni cualitativa ni cuantitativamente, en razón al limitado período de observación que se tiene de los fenómenos. ¿Cómo incide en el hombre la ingestión de animales sometidos a un episodio accidental de contaminación del medio líquido por hidrocarburos? ¿Qué cantidades, concentraciones y períodos son los determinantes de una cierta enfermedad?

La respuesta a este tipo de preguntas queda en muchas ocasiones sumida en apreciaciones relativas. Por ello las distintas reglamentaciones

Ante éste como ante cualquier otro problema de contaminación es necesario sopesar el exacto significado que tienen las cifras. El alarmismo excesivo llevaría quizá a disminuir las capacidades productivas de las industrias ante la amenaza de apocalípticas transformaciones en el ecosistema. Del otro extremo, la confianza excesiva en la autodepuración puede hacer irreversibles procesos de degradación del medio ya iniciados. A este respecto pueden ser indicativos los cálculos efectuados por J. Ros (1973) sobre la mencionada demanda biológica de oxígeno en el Mediterráneo. En ellos, en base a los datos de la FAO que estiman en 1,2 millones de toneladas de oxígeno al año las necesidades de depuración de todas las aguas residuales urbanas vertidas al mar Mediterráneo, se consideran las posibilidades reales de renovación. Teniendo en cuenta que el caudal de agua entrante por el estrecho de Gibraltar es de 1,2 millones de m<sup>3</sup> por segundo y que el contenido medio de oxígeno es de 7 mg por litro, se puede concluir que en menos de 2 días entra suficiente oxígeno para compensar la demanda anual. Esta conclusión simplista se ve reforzada por las medidas realizadas en la práctica desde hace cincuenta años, que no revelan disminución sensible en el oxígeno disuelto.

No ha de entenderse con esto que se pueda contaminar en lo sucesivo libremente con el pretexto de la autodepuración ya que los resultados contemplados parcialmente podrían ser funestos. Simplemente se ha pre-

tendido orientar al técnico hacia una posición reflexiva desde la cual, -  
utilizando sus conocimientos, pueda valorar los riesgos e impactos reales  
de la contaminación marina.

Agentes contaminantes.

Aunque la variedad de sustancias y materias que pueden ser calificadasas  
como agentes contaminantes del mar es muy extensa, las más impor--  
tantes y conflictivas se pueden agrupar en tres grandes grupos.

- a) Hidrocarburos
- b) Sustancias químicas
- c) Bacterias y microorganismos.

Contaminación por hidrocarburos.- La importancia de este agente radi-  
ca en la universalización de su uso como fuente energética que ha moti-  
vado la necesidad de su transporte masivo por vía marítima y su trata-  
miento en plantas ubicadas generalmente en la franja costera.

Cualitativamente los productos petrolíferos se pueden clasificar, se---  
gún su contenido en volátiles, en estables e inestables. Su comporta---  
miento contaminante varía asimismo según esta clasificación.

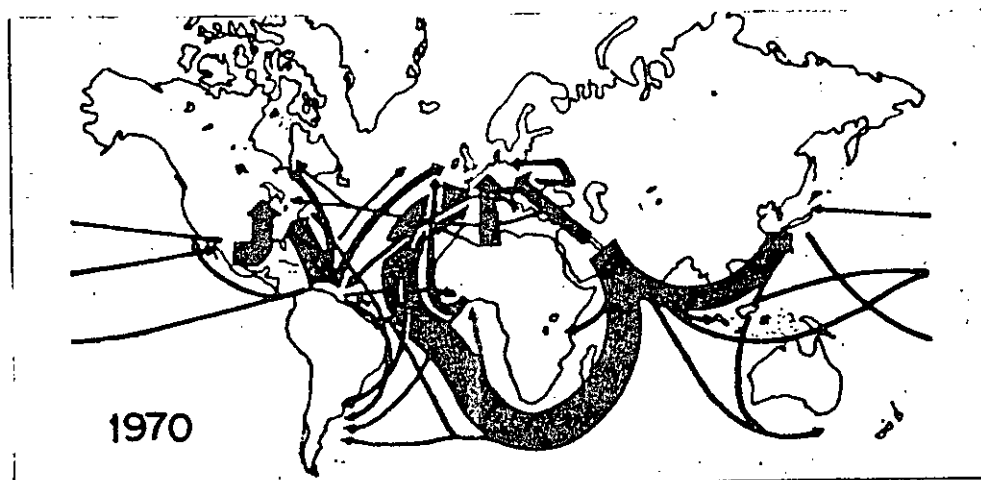
Los petróleos estables (crudos, fuel oil, diesel) se distribuyen sobre -

el agua rápidamente formando una fina capa que se extiende en una superficie relativamente grande (1 m<sup>3</sup> de crudo procedente de Oriente Medio se expande en un círculo de 24 m de radio en el lapso de 10 minutos). Los productos volátiles se evaporan en un grado de 25-30% al cabo de los 2 días dejando un residuo más espeso que, favorecido por la agitación del oleaje, se emulsiona con el agua hasta formar la llamada "mousse de chocolate".

Los productos petrolíferos no estables (gasolinas) se evaporan, en gran parte, rápidamente sin dejar apenas residuos. Su efecto contaminante es por ello muy reducido.

No ocurre lo mismo con los de tipo estable. Su efecto se deja sentir tanto en las especies animales como en las vegetales, si bien son estas últimas las más sensibles a su acción. Se ha comprobado que el contacto durante 6 a 12 horas con una emulsión al 0,1% basta para alterar irreversiblemente la fotosíntesis de las algas, debido a la infiltración y a la formación de una cubierta aislante. Los peces suelen evitar las aguas contaminadas y por ello quedan libres de sus efectos. Los moluscos, en cambio, se ven afectados notablemente a partir de concentraciones superiores al 1%, aunque su aprovechamiento comestible deja de ser posible a partir de dosis superiores a 100 mg de petróleo por m<sup>3</sup> de agua.

Las aves marinas son especialmente afectadas por este tipo de polución. Su contacto físico con el agua, necesario para su alimentación, origina una impregnación de todo su plumaje que imposibilita su vuelo y motiva su muerte en el medio contaminado. los estragos causados en estas especies por los vertidos de tipo catastrófico ocurridos en los últimos -- años han diezclado la población de las colonias ubicadas en las áreas -- costeras próximas.



Las causas más frecuentes de vertidos de productos petrolíferos al mar se pueden sintetizar en las siguientes:

- Pérdidas y descargas de combustibles y lubricantes de los barcos.
- Vertidos en la fase de transporte de los productos petrolíferos:
  - lavado de tanques
  - accidentes marítimos
  - accidentes en tuberías submarinas

- Escapes en la fase de prospección y explotación:
  - accidentes en los campos de producción
  - accidentes en la fase de prospección.

Dejando aparte los vertidos accidentales, cuyas magnitudes pueden variar desde unos cuantos litros hasta cientos de miles de toneladas ("Torrrey Canyon": 117.000 Tn), los vertidos sistemáticos y habituales motivan la mayor parte de las descargas de petróleo al mar. (Ver tabla)

<u>Origen</u>	<u>Cantidad descargada neta (Tn/año x 10<sup>6</sup>)</u>	<u>Relativa (%)</u>
- Petroleros		
Accidentes	0,20	13,2
Deslastre y lavado buques "Lot"*	0,11	7,3
Deslastre y lavado buques no "Lot"	0,53	35,0
Mantenimiento y limpiezas	0,36	23,7
Accidentes de barcazas	0,03	2,0
Bombeo	0,02	1,3
- Otros buques transportando crudos	0,06	4,0
- Otros buques (operacional)	0,19	12,5
TOTAL .....	1,50	100,0

En general, se puede afirmar que todos los barcos cargan agua de lastre en cantidades que dependen del trayecto y de las condiciones del mar.

En los buques no incluidos en la categoría de "tanques" el propio fuel oil empleado para combustible se usa como lastre. Sin embargo, lógicamente a medida que se consume necesita ser repuesto por agua del



mar si se pretende mantener las condiciones de estabilidad iniciales del barco. La descarga de esta mezcla de agua y residuos de fuel oil en los puertos o en sus proximidades provoca una mancha contaminante.

La solución, en este caso de buques no tanques, es sencilla y consiste en separar los tanques de combustible y los de lastrado. La modificación se puede llevar a cabo con un costo económico aceptable.

El problema en el caso de los buques-cisternas es más complejo. Los petroleros tienen que lastrarse con agua, en los trayectos en que no transporten crudo en sus tanques, hasta proporciones próximas al 30%-60% de su peso muerto. Para ello no tienen otra solución que rellenar de agua los mismos tanques utilizados para la carga de crudos. La limpieza de estos tanques supone entonces la descarga del agua de lastrado que, inevitablemente, va acompañada de gran cantidad de residuos petrolíferos.

Esta actividad, fuertemente contaminante, se vio modificada favorablemente con la adopción del sistema "load-on-top", que consiste en la separación del petróleo y del agua en su propio barco.

Con este sistema el agua de deslastrado se vierte en el mar hasta que se alcanza un nivel en el que comienzan a aparecer indicios de petróleo. El vertido directo al mar se detiene entonces y se trasvasa la mezcla restante a otro tanque de almacenamiento. Una vez vaciado el tanque primitivo se procede a su limpieza con chorros de agua caliente a presión. El agua de limpieza residual se descarga asimismo al tanque de almacenamiento y se vuelve a repetir la operación de lavado hasta que se alcance la limpieza total del tanque de carga. Una vez conseguida, se llena con agua limpia de mar hasta que sea descargada en puerto como lastre limpio.

En el tanque de almacenamiento se puede efectuar un vertido al mar hasta que se alcance un nivel en el que aparecen trazas de petróleo. Cuando el barco llegue a la terminal de carga, en el tanque de almacenamiento habrá unos residuos de petróleo mezclados con agua en alta concentración que sólo serán descargados en el puerto o terminal de descarga a un tanque de separación situado en tierra. Si en el puerto de carga el contenido del tanque de almacenamiento no fuera total es posible utilizar este mismo tanque para cargar crudo sobre la mezcla agua-residuos existente. De aquí proviene el nombre "load-on-top" (carga sobre el nivel).

El sistema "load on top" ha sido adoptado por el 80% de la flota petrolera mundial y por el 100% de la española . En el cuadro anterior, sin embargo, se puede observar que el 20% restante es responsable del 35% -- de la contaminación total de tipo petrolífero y de más del 75% de la generada por deslastrado y limpieza de tanques .

Contaminación por sustancias químicas .- Dentro de las múltiples sustancias que causan alteraciones peligrosas en la calidad de las aguas se van a distinguir aquí las que se pueden agrupar en las siguientes clases:

- Detergentes
- biocidas
- metales pesados .

La acción contaminante de los detergentes se centra en sus proximidades tensoactivas . Las espumas creadas por su no biodegradabilidad favorecen la concentración de agentes contaminantes además de disminuir la proporción de oxígeno disuelto . Otros efectos adicionales son de -- impedimento a la transmisión de la luz y la pérdida de poder autodepurador del mar .

En las zonas de uso turístico, además, su aparición produce un lamentable efecto estético que puede dar al traste con múltiples actividades lúdicas de asentamiento litoral (baños, deportes náuticos, pesca submari-

receptoras de vertidos accidentales o voluntarios de residuos metálicos.

El mercurio, por ejemplo, afecta al organismo a través del cerebro, -- sistema nervioso, y además da lugar a alteraciones genéticas. Su presencia da lugar a la llamada enfermedad de Minimata, que recibe este nombre de la aldea japonesa de tal denominación en la que se produjo -- en 1956 un episodio patológico por contaminación de dicho metal. Este famoso caso tuvo como resultado la muerte de algunos habitantes que habían ingerido peces sacados de las aguas de la bahía cercana (Yatsushiro) a la que vertían los residuos algunas fábricas de acetaldehidos. La transformación del mercurio en metilmercurio, soluble en el agua, facilitó el paso del metal a la cadena alimentaria de los peces y por ende a la del ser humano.

Contaminación por bacterias.- La mayor parte de las bacterias patógenas que recibe el mar tienen procedencia terrestre y más concretamente origen humano. Un ser adulto elimina por término medio 300 gramos/día de excrementos, que se traducen en una cifra comprendida entre -- 200-300 litros/día de aguas residuales. En estas aguas se estima que -- pueden existir de 200-500 millones/litro de bacterias *Escherichia coli* -- (*E. coli*) y 10-20 millones/litro de *Streptococcus faecalis* (D) además de otros tipos de bacterias u organismos, algunos con mayor potencial patógeno, tales como la *Salmonella* o los gérmenes del cólera, botulismo, etc.

La subsistencia de estos organismos, una vez en el medio marino, está afectada por diversos factores. Por un lado se produce una dilución y -- una dispersión de las pequeñas partículas en suspensión sobre las que -- van fijadas las bacterias, y por consiguiente, de éstas. Por otro lado se puede tener en cuenta el controvertido poder autodepurador del agua del mar.

Este poder autodepurador, en proceso de investigación por distintos científicos, tiene tantos ciegos partidarios de su efectividad como enconados enemigos.

En experiencias llevadas a cabo en laboratorio se ha comprobado que en el seno del agua de mar natural se efectúa una cierta actividad antibacteriana. Por contra, si esta misma agua es filtrada o envejecida o esterilizada el potencial antibacteriano disminuye, llega a la casi anulación o desaparece, respectivamente.

Según A. Fruchart este poder autodepurador del agua del mar reside en la existencia en su seno de micro y macrodepredadores bacteriófagos -- que junto con la acción antiséptica de algunas algas eliminan los elementos patógenos.

Algunos fenómenos físicos también contribuyen a la creación de condicio

de los ultravioleta (longitud de onda entre 0,3 y 3) y la de los infrarrojos y microondas (longitud de onda 3 - 8). En los primeros la idoneidad se basa 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 una diferencia de tensión eléctrica (detector electrónico).

En el caso de la radiación infrarroja y de las microondas su efectividad se basa en las radiaciones características de la temperatura de los cuerpos en los que se reflejan. Debido a que el petróleo mantiene una temperatura superior a la del agua, la mancha queda detectada pudiendo además apreciarse las variaciones de espesor y temperatura en la propia mancha. El procedimiento, al depender únicamente de la temperatura, posibilita su utilización durante la noche.

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. La onda del radar se refleja mejor en la superficie del agua que en la de la capa de petróleo y queda reflejada en la pantalla.

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.

Por el contrario, la inexistencia de una observación directa no permite apreciar si la irregularidad del estado de agitación de la superficie marina se debe, efectivamente, a una mancha de petróleo o a cualquier otra causa de análogos efectos.

Actualmente, este método se está poniendo a punto en los satélites artificiales de forma que en el futuro será posible la detección inmediata de los vertidos de petróleo así como la evolución de las manchas y las rutas de los buques causantes de las mismas.

Detección de la contaminación costera por otros productos.- Para la detección de la contaminación general de las aguas marinas se han seleccionado una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que se usan como indicadores cualitativos y cuantitativos de la contaminación.

La escasa durabilidad de muchas de las materias y organismos tomados como indicadores hace que sea preciso efectuar la toma de la muestra y su análisis en un breve período de tiempo. El seguimiento práctico de la detección y evolución de la contaminación ha de hacerse, pues, por medio de campañas directas "in situ" y en muchos casos con ayuda de laboratorios móviles.

Hasta el momento presente se han desarrollado diversos tipos de mode-

los, físicos y matemáticos, de simulaciones de la contaminación que permiten, con mayores o menores limitaciones, una vez conocidas las condiciones de emisión, determinar la distribución de la carga contaminante en amplias zonas como bahías, estuarios, etc. Asimismo, existen diversas formulaciones matemáticas que analizan los procesos de dilución y dispersión en las aguas de los vertidos (Brooks, Fan, Harremoes, -- Abraham, etc.).

Sin embargo, ninguno de estos métodos puede dar la voz de alarma ante situaciones imprevistas que no estén introducidas en el conjunto de datos del modelo.

En España se ha iniciado los preparativos para poner en marcha una -- campaña-piloto a fin de conocer las posibilidades reales de establecer una red nacional de alerta de la contaminación litoral.

En síntesis, este estudio se propone lograr una correlación entre los diversos tipos de parámetros medidores de contaminación en diversos -- puntos de la costa e interrelacionarlos con una malla de medidas de variables oceanográficas (oleaje, corrientes, niveles, etc.) que simulen la dilución y dispersión de los contaminantes. Los parámetros definidos de la contaminación se pueden dividir en tres grupos:



a) Físicos:

- oxígeno disuelto
- pH
- conductividad
- salinidad
- temperatura
- potencial red-ox
- turbidez

b) Químicos:

- carbono total
- nitrógeno total
- demanda total de oxígeno
- fosfatos, nitritos e hidratos, metales pesados.

c) Biológicos:

- bacterias coliformes
- material fecal
- D.B.O. (Demanda Biológica de Oxígeno)

Los únicos parámetros que se pueden registrar de un modo fiable, con sensores electrónicos remotos, son los físicos. Los de tipo químico y biológico se tienen que determinar con muestras tomadas en una campa

quido transportado. Esta regla tiene como consecuencia un aumento en el costo de construcción. Por ejemplo, en el caso de un buque de 350.000 T.P.M. que, en vez de los 22 tanques usuales, pase a tener 28 de menores dimensiones, se necesitan 12.000 Tm más de acero.

- Doble casco: con esta solución se lograría un doble objetivo: proteger los tanques de los impactos exteriores y disponer de tanques de lastre independientes de los de carga. El costo de construcción se encarecería, sin embargo, notablemente tanto por costo de materiales de construcción como por necesidad de aumentar la potencia de los motores de impulsión a fin de mantener idénticas velocidades. Se calcula que dicho incremento de costo representa un 30-40%.

- Separación total crudo-lastre: ello supone la construcción de buques con tanques para crudo y tanques para lastre, de forma que en ningún caso se puedan admitir utilizations mixtas separadas o simultáneas en ninguno de ellos. Teniendo en cuenta que en ciertas condiciones el lastre que se precisa para una navegación segura puede representar cerca de un 60% del peso muerto de un buque, significa que la puesta en práctica de este procedimiento reduce en una cifra similar la capacidad de transporte de crudo de cada barco. No obstante, es factible que en los próximos años este procedimiento se emplee de manera parcial en un 20-40% de los tanques de cada barco.

b) Métodos operativos en los buques.

Los problemas de vertido y limpieza de los residuos y basuras generadas por la operación con la carga por la tripulación del propio buque -- pueden ser tratados de diversas formas, si bien en último lugar el producto resultante se termina evacuando en el mar en la mayoría de los -- casos ya que no en todos los puertos existen instalaciones específicas -- que admitan la recepción y tratamiento definitivo.

- Depuración de agua de lastre en buques petroleros: además del procedimiento "load on top", detallado en párrafos anteriores y extendido a -- la mayoría de los buques de la flota mundial, otras prácticas que pueden aliviar la contaminación del mar por vertido del lastre son aquellas que consiguen la separación del agua de mar y del petróleo de la mezcla (decantadores químicos, membranas flexibles de separación, etc.) -- o de los que minimizan el vertido (uso de sustancias especiales para la limpieza de los tanques).

- Tratamiento de basuras producidas en el barco: los sistemas en práctica pueden concretarse en:

- Tanques de almacenamiento dotados o no de compactador.
- Maceración de las basuras acompañada de una posterior cloración.
- Incineración de los residuos sólidos.
- Digestores.

c) Seguridad en la navegación.

La importancia de la prevención de los accidentes durante el período de navegación estriba en que los resultados suelen ser catastróficos y por tanto las cantidades de contaminante vertidas (petróleo, sustancias químicas, sólidos flotantes, etc.) muy elevadas. Las medidas en este aspecto pueden extenderse a los tres puntos siguientes:

- Distribución de la carga en el buque: los efectos que se pueden derivar de la mala distribución de la carga en los diversos tanques o bodegas de los barcos son, principalmente, la fatiga de la estructura del casco por esfuerzos descompensados y el riesgo de daños (rotura, explosión) por excesivo llenado.

Los métodos usuales para mejorar la distribución de la carga consisten en la racionalización y previsión de los diversos episodios de carga-descarga y en la automatización de los sistemas de control de carga (válvulas, indicadores, etc.).

- Rutas de navegación: dentro de la extensa malla de tráfico marítimo mundial existen algunas zonas cruciales en las que confluyen gran cantidad de fletes dando lugar a una elevada densidad de buques. Este es el caso de los estrechos estratégicamente enclavados (Canal de la Mancha, Gibraltar, Malaca), de los cabos más significativos de los continentes --

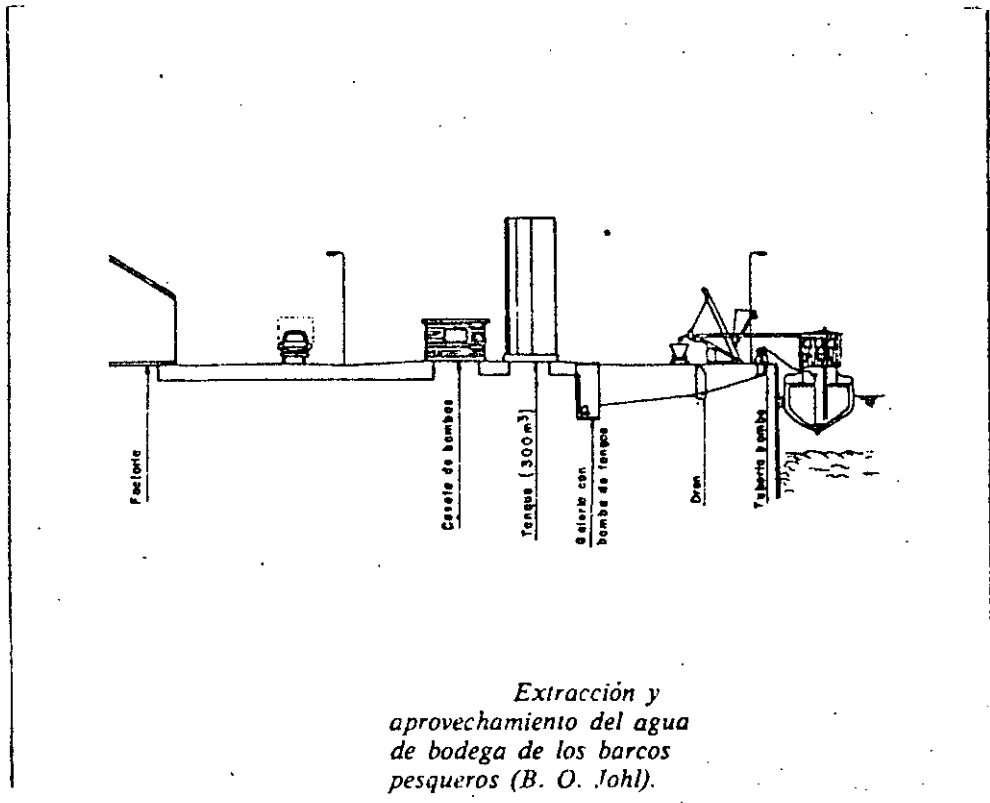
(Buena Esperanza, Finisterre, etc.), algunos ríos (Elba, Rin, Mississipi, etc.) y en general todos los entornos de los grandes puertos (Nueva York, Rotterdam, Barcelona, etc.).

Ello obliga a establecer pasillos de navegación que afslen los diversos sentidos de tráfico y los separen de los obstáculos fijos (escollos, bajos, etc.) y flotantes (icerbergs).

- Sistemas de posicionamiento y maniobra: con ellos se persigue una completa y constante identificación de la situación de cada buque y de los que lo rodean. Los sistemas actuales de mayor uso son los de radio señales (sistemas Decca, Toran, etc.) que permiten posicionar el barco con una gran precisión sobre todo en zonas próximas a las costas. También se está poniendo en funcionamiento un sistema de navegación por satélite en base al proyecto NNSS (Navy Navigation Satellite System).

Para evitar los riesgos de colisión se han desarrollado, asimismo, diversos sistemas Anti-Colisión que colaboran a anular los errores humanos en los momentos críticos, ofreciendo rutas óptimas, datos sobre distancias relativas y definiendo las maniobras necesarias para evitar el impacto.

Contaminación en la operación portuaria.- Excluyendo la contaminación causada en la construcción y reparación de buques, las operaciones de carga y descarga y de eliminación de residuos del barco, constituyen los dos focos más usuales de polución de las aguas de un puerto. Frente a la última, los sistemas de prevención existentes en el barco han de complementarse con las instalaciones en tierra capaces para absorber los residuos. En puertos pesqueros reviste especial importancia la eliminación del agua de bodega de los barcos ("bilge water") que representan un 5%, aproximadamente, del volumen de captura. Esta agua residual está compuesta por una mezcla de restos y proteínas del pescado, agua y combustible y se va depositando en el fondo de las bodegas tanques y sentinas B.O. Juhl, 1973, describe la instalación de evacuación de este líquido en el puerto de Ejsberg (Dinamarca).



En esquema, consta de una toma incrustada en el muelle que conectada al barco succiona por medio de una bomba el líquido. Este es transportado por una tubería a un tanque de almacenamiento desde donde se lleva a la factoría de reutilización.

En cuanto a los sistemas de prevenir la contaminación en la carga y descarga de los buques los más usuales son los que se emplean en la operación de graneles sólidos ya que en las restantes modalidades son raros los vertidos a la dársena. En la carga, descarga y transbordo del material es conveniente el uso de cortinazo paneles que cubran el recorrido del material y faciliten la caída del mismo por las escotillas. En el caso de graneles de tipo pulverulento es, asimismo, recomendable su protección frente al viento con cintas cerradas o cubiertas y la eliminación del polvo con equipos especiales al efecto.

Contaminación procedente de tierra.- Dentro de este grupo, aunque es posible distinguir formas muy variadas, tienen especial importancia las que llegan al mar por medio de cauces fluviales o bien directamente a causa de vertidos directos de industrias o núcleos urbanos ubicados en la franja litoral.

En el primer caso la labor de prevención de la polución ha de efectuarse en los puntos de vertido a lo largo del recorrido del cauce, ya que una vez en el mismo es extemadamente difícil y onerosa la depuración del -

caudal total. La competencia, por tanto, excede del ámbito portuario o costero para convertirse en un tema de orden nacional o supranacional. Otro caso distinto sería el de los vertidos que se efectúan por industrias situadas en zona portuaria sobre las aguas de los cauces fluviales que desembocan en el puerto (Rotterdam, Amberes, Bilbao, etc.). En este supuesto la autoridad portuaria suele tener capacidad para regular los vertidos y así mantener un nivel de calidad adecuado en las aguas del puerto.

En cuanto al vertido de aguas residuales de manera directa al mar la forma más adecuada, hoy por hoy, para prevenir la contaminación del mar es el tratamiento del efluente en estaciones depuradoras y su conducción bien a zonas interiores, bien a zonas marinas adecuadas mediante un emisario submarino.

Los sistemas de no verter al mar las aguas residuales generadas en zonas costeras son la inyección de las mismas en el subsuelo y el reciclaje para usos diversos. El primer método tiene el peligro de que se contaminen las aguas subálveas o que por sifonamiento vuelvan a aparecer en agua o en tierra. El reciclaje obliga a emplear las aguas en zonas próximas para evitar transportes y a obtener una depuración mínima, si su utilización es en regadíos.



Con el empleo de emisarios submarinos se trata de evitar la saturación de contaminantes en zonas costeras útiles aprovechando los recursos -- purificadores en tierra y el poder de disolución, dispersión y depuración natural del mar. Es evidente que existirá en todo caso una polución, por muy completo que sea el conjunto estación-emisario que se emplee, ya que existe la realidad física del vertido de un efluente impuro. Sin embargo, su incidencia sobre la actividad humana queda reducida, ya que tanto la distancia del punto de vertido como la acción diluidora y dispersante del medio marino hace que el usuario, desde la costa, no note la contaminación.

Eliminación de la contaminación.- Una vez que se ha producido la contaminación de las aguas, las estrategias a seguir pueden ser de dos tipos. De una parte puede adoptarse una postura activa encaminada a la eliminación o desaparición del agente contaminante. Esta postura suele tomarse cuando la contaminación, sea del tipo que sea, supone un riesgo para los bienes o usos costeros. En otro caso, cabe adoptar una postura pasiva que confíe la eliminación o alejamiento de la polución a los factores naturales de depuración (oleaje, viento, bacterias, etc).

El caso particular de las manchas de petróleo quizá sea el más representativo de esta doble posibilidad. En los casos de vertido por accidente de los productos transportados en un petrolero se ha hecho especial

hincapié en el seguimiento de la evolución de la mancha creada. Solamente cuando su proximidad a la costa ha revestido peligro se han puesto en marcha todos los dispositivos de limpieza activa.

Contaminación de tipo petrolífero.- Aparte de las contaminaciones ocasionadas por vertidos aislados de sustancias químicas o sólidos flotantes, la mayor parte de la contaminación de zonas en mar abierto está constituida por productos petrolíferos provenientes de escapes en las instalaciones de extracción y en tuberías submarinas, limpieza de tanques y accidentes de los buques que los transportan.

P. Degobert (1971) hace una exhaustiva enumeración de métodos de lucha contra la polución por petróleo. Entre los más característicos cabe señalar los siguientes:

a) Limitación de la mancha.

Este procedimiento consiste en frenar la extensión de la mancha dejándola concentrada en una superficie lo más reducida posible. Para ello, puede actuarse de varias maneras:

- Gelificando el producto en los tanques de los buques petroleros mediante aditivos.

- Gelificando de la periferia la mancha de forma que contenga la expansión.

- Por adición de ácidos grasos en la periferia de tal forma que favorezcan la retracción de la mancha y elimine las fuerzas de expansión.

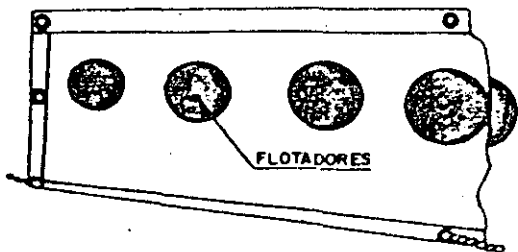
b) Confinamiento de la mancha.

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 unos ciertos máximos ya que, como se puede comprender, la acción de los vientos, el oleaje y las corrientes pueden desbordar las barreras instaladas.

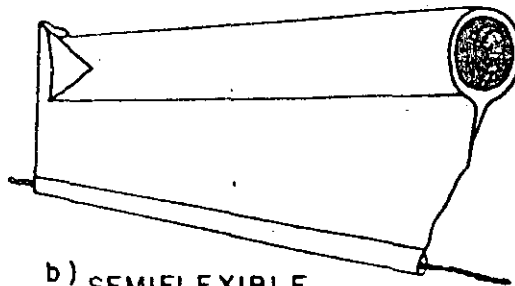
Las barreras pueden dividirse en barreras físicas y barreras neumáticas.

Dentro de las barreras físicas cabe distinguir las variantes según la rigidez de la estructura. Numerosas patentes han desarrollado tipos rígidos, semi-flexibles. En general todos los sistemas constan de una cortina o placa de 0,5 a 4 m de altura, que ejerce la función de barrera y de un soporte flotante (boyas, tubos, etc).

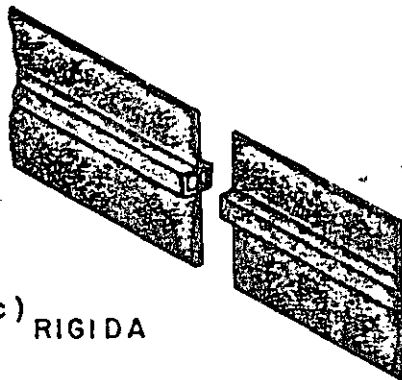
Barreras físicas



a) FLEXIBLE



b) SEMIFLEXIBLE



c) RIGIDA

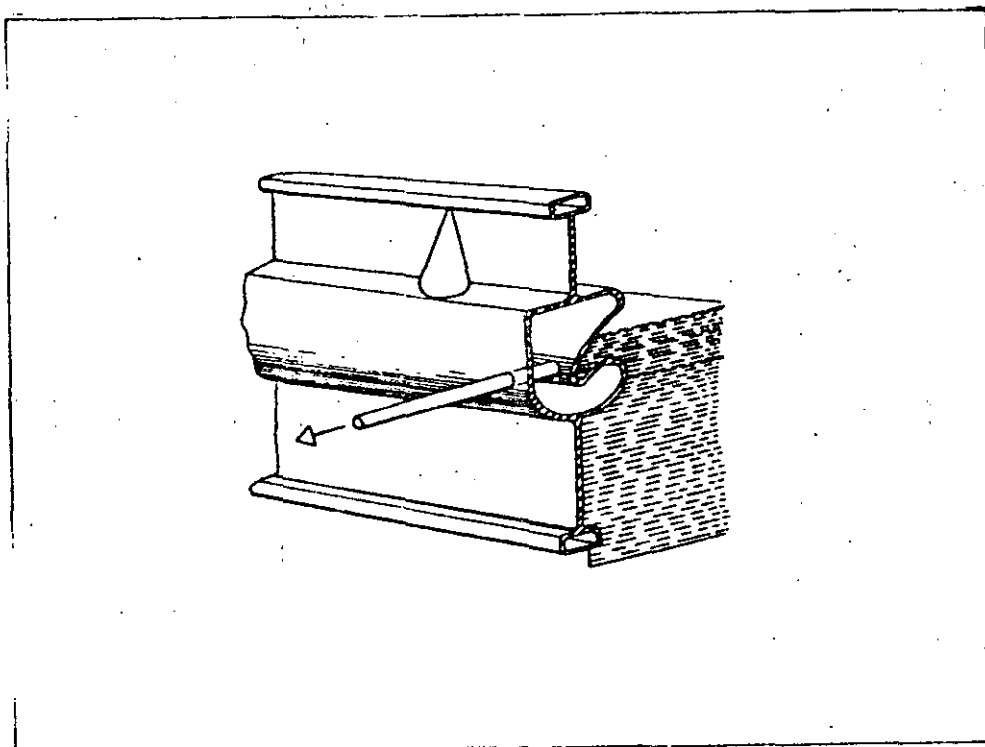
La barrera se compone por la unión de sucesivos módulos de tamaño limitado (3 a 5 m de longitud) lo que hace más fácil su puesta en servicio y almacenamiento. Se estima que en este tipo de barreras la parte sumergida ha de ser cuatro veces mayor que la emergida para retener de forma óptima la mancha de petróleo.

Las barreras neumáticas consisten en provocar una cortina de burbujas ascendentes por medio del aire insuflado a través de un tubo agujereado que se coloca en el fondo. Las ventajas de este método estriban en su escasa interferencia al paso de los navíos, pero a cambio es poco apta

para condiciones un poco elevadas de corrientes y vientos.

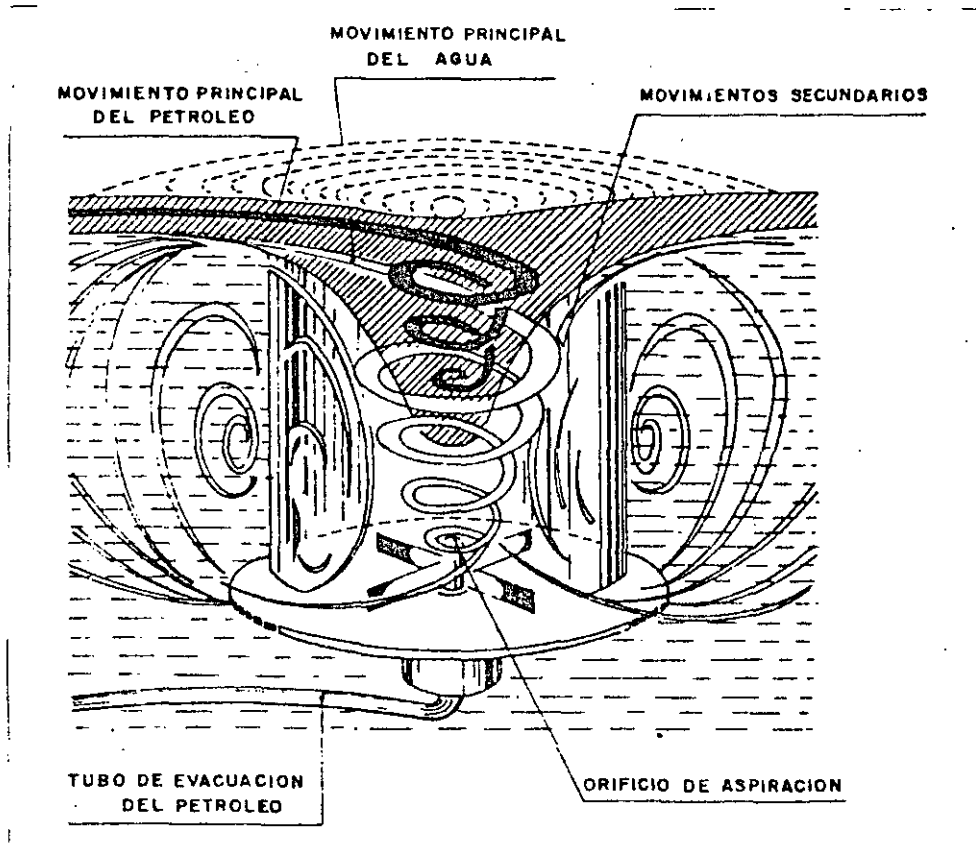
c) Bombeo del petróleo de la mancha.

La succión o extracción del petróleo directamente desde el mar necesita, para conseguir rendimientos aceptables, un dispositivo previo que agrupe la mancha y aumente su espesor. Los dispositivos ideados al respecto difieren poco de las barreras físicas normales si bien algunas están dotadas de conductos de recepción de la capa de petróleo.



Otro concepto de retenedor es el del navío anti-polución, que abre su -  
cascó longitudinalmente para atrapar la mancha de petróleo. El buque -  
proyecto de Technocean mide 100 m de eslora y desplaza 17.000 t per-  
mitiendo un rendimiento de 400 m<sup>3</sup>/h de petróleo separado.

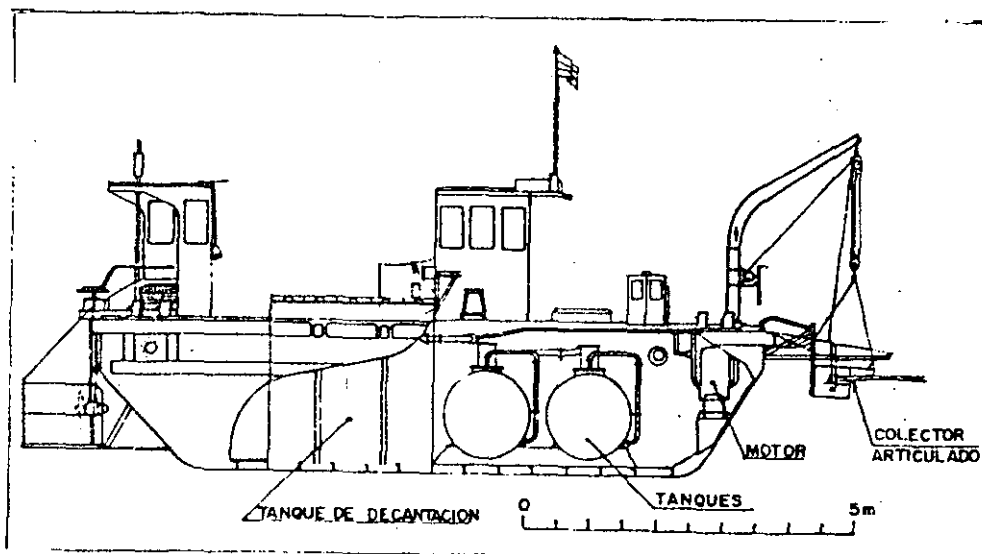
La aspiración del petróleo requiere también una separación previa del -  
agua con la que está mezclado. Los sistemas usuales están basados bien  
en dispositivos que aprovechan la mayor densidad del agua o bien por -  
procedimientos mecánicos de separación.



## Separador mecánico del petróleo.

En zonas portuarias la limpieza de manchas se hace más factible dada la mayor tranquilidad de las aguas. En la mayoría de los casos el procedimiento empleado se basa en la operación con una embarcación autopropulsada que recoge, separa y almacena el petróleo vertido. Con ello se evita el empleo de productos que absorben y hunden el petróleo y que deteriorarían el fondo de las dársenas o el uso de detergentes, cuya toxicidad o peligrosidad biológica no lo hace precisamente recomendable.

M. de Wilde (1973) aporta una valiosa experiencia sobre la capacidad y eficacia en la limpieza por medio de pontones autopropulsados dotados de decantadores, depósitos y medios de succión propios en el Puerto de Amberes.



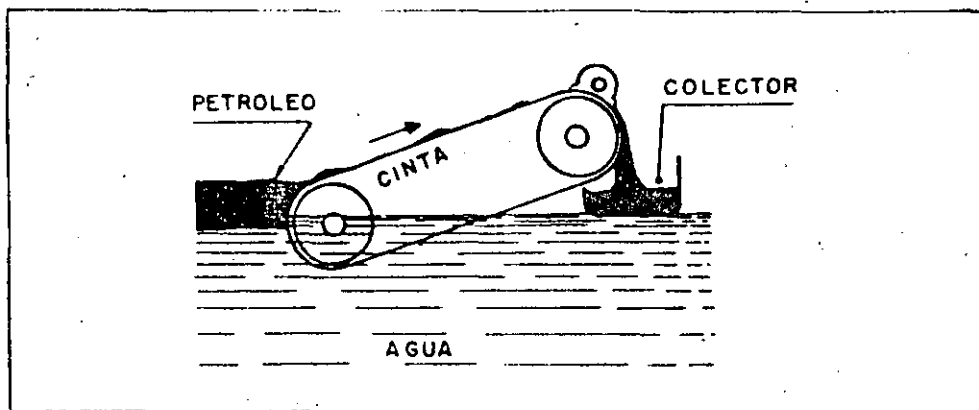
En el año de 1955, en que entró en funcionamiento este servicio de limpieza, se obtuvieron cerca de 300 m<sup>3</sup> de hidrocarburos a partir de --- 8.260 m<sup>3</sup> de mezcla recogida con un índice de eficacia de 1/28. En 1967 un derrame excepcional de petróleo hizo necesaria una actuación especial del servicio con el resultado de recoger 1.219 m<sup>3</sup> de petróleo en el plazo de 12 días con una eficacia superior a 1/2.8.

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. Una vez saturados de petróleo el material puede ser destruido o bien limpiado para posterior uso.

El procedimiento puede llevarse a cabo en forma discontinua con adi--- ción de esponjas de polivinilos, poliuretanos, tejidos, etc., que poste--- riormente y una vez que están empapados de petróleo son recogidos y -- destruidos. También puede hacerse de forma continua mediante rodillos o cintas absorbentes, que son limpiadas automáticamente de la capa de petróleo que han recogido en su fase de contacto con el agua contamina- da. El rendimiento de los sistemas cintinuos, desarrollados a través de varias patentes, varía entre 40 y 180 litros por minuto.





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, caolín, cenizas volcánicas, etc.; teniendo en cuenta que su eficacia aumenta con la superficie de contacto y por lo tanto con la finura granulométrica.

Los dispositivos de pulverización suelen montarse en dos brazos colocados a ambos costados del buque que efectúa la limpieza de la mancha, lo

grándose así una mejor distribución del material y una ampliación considerable de la zona de barrido.

La utilización de este procedimiento, aunque es comparativamente más adecuado para el combate de manchas en mar abierto y su destrucción antes de que llegue a las costas, plantea grandes inconvenientes de tipo ecológico al trasladar la polución de la superficie del agua al lecho oceánico.

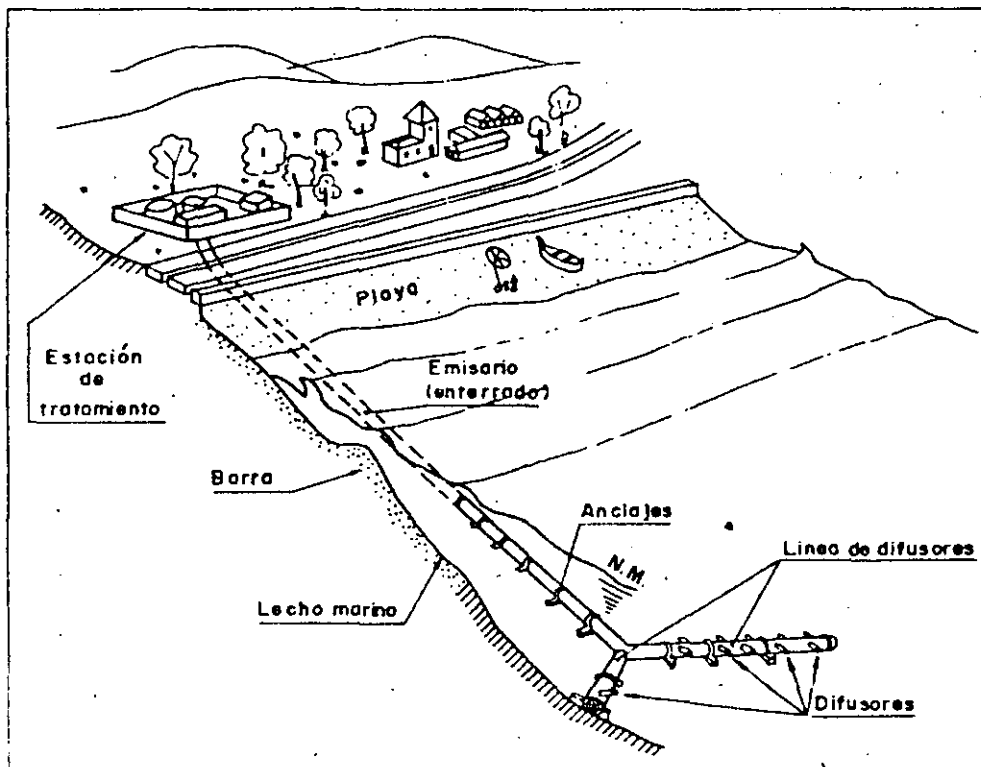
f) Combustión de las manchas .

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.

Como solución se ha intentado la adición a la mancha de sustancias absorbentes que hagan la función de "mecha" (vidrio poroso, sílice molida) o de productos fuertemente inflamables (explosivos, napalm, etc.). Esta última alternativa se utilizó en la lucha contra la polución creada por el accidente del "Torrey Canyon" en las costas de Cornualles, sin que los resultados obtenidos con ello pasaran de muy discretos.

## Emisarios submarinos.

Aunque el concepto puro de emisario submarino se refiere exclusiva--- mente a una conducción que discurre por el fondo marino y que sirve pa ra verter el agua residual en un punto más o menos distante de la costa, en su estudio en este capítulo se va a considerar ligado a un conjunto de instalaciones en tierra que van a completar la acción anti-contaminante en el proceso de vertido.



## Esquemas de un emisario submarino.

El punto de partida del problema ingenieril es la existencia de un caudal, más o menos variable, de aguas o productos residuales con fuerte carga contaminante. La efluente procedencia de estos residuos puede clasificarse en dos grandes grupos:

- Aguas urbanas que a su vez pueden englobar las de tipo residual y las de lluvia si el sistema de alcantarillado es único.
- Aguas industriales procedentes de los vertidos industriales.

Mientras que en el primer grupo pueden considerarse unas características comunes sea cual sea la localización y tipo del núcleo urbano productor del efluente, en las aguas o efluentes industriales los parámetros contaminantes varían enormemente según el tipo de industrias en concreto que lo generen. Así, los valores medios de un efluente urbano oscilan alrededor de los siguientes valores:

Detergentes, 20 p.p.m.	Materia orgánica disuelta, 330 mg/l
D.B.O. , 360 mg/l	Materia inorgánica disuelta, 330 mg/l
E. Coli, 10 /100 m.l.	Materia orgánica en suspensión, 400 mg/l
Sales nutrientes, 30 p.p.m.	Materia inorgánica en suspensión, 200 mg/l

Otras fuentes citan distintos valores:

CONSTITUYENTE	CONCENTRACION , ppm.		
	ALTA	MEDIA	BAJA
SOLIDOS TOTALES	1 200	700	350
Sólidos disueltos	850	500	250
" fijos	525	300	145
" volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión	350	200	100
" fijos	75	50	30
" volátiles	275	150	70
MATERIA DECANTABLE (ml/l)	20	10	5
DBO	300	200	100
DQO	1.000	500	250
NITROGENO (como N)	85	40	20
" orgánico	35	15	8
" amoníaco libre	50	25	12
" nitritos	0	0	0
" nitratos	0	0	0
FOSFORO TOTAL (como P)	20	10	6
" orgánico	5	3	2
" inorgánico	15	7	4
CLORUROS (l)	100	50	30
ALCALINIDAD (l) (como CO Ca)	200	100	50
ACEITES Y GRASAS	150	100	50

Composición Típica de las Aguas Residuales  
Urbanas

Respecto a las aguas industriales, habrá que estudiar, en cada caso, la composición del efluente que se va a verter a través del emisario. A título indicativo, y para obtener un orden de magnitud en la estimación de la calidad del efluente, se pueden utilizar los parámetros y sus límites tolerables.

La relación entre el tipo de industria y la sustancia contaminante, de forma genérica, se puede simplificar en la siguiente matriz.

Contaminantes  
más frecuentes en diferentes  
tipos de industrias

- 1- ACIDOS
- 2- ALCALIS
- 3- RESIDUOS QUIMICOS
- 4- COLOR
- 5- CIANUROS
- 6- DETERGENTES
- 7- ELEVADA TEMPERATURA
- 8- GRASAS
- 9- RESIDUOS QUIMICOS ORGANICOS
- 10- FENOLES
- 11- SOLIDOS
- 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 (tenorio)		X					X	X	X			X	
TEXTILES		X	X	X		X	X	X	X			X	X

Tratamiento previo del efluente.

En cualquier caso, se tomen las medidas que se tomen, la descarga de un líquido impuro en el medio marino supone un acto contaminante contra el que hay que luchar para circunscribirlo, al menos, dentro de límites considerados como tolerables.

Un factor fundamental que define la polución potencial del vertido es la

carga contaminante que tiene el efluente. Parece evidente que cuanto -- más puro, o lo que es lo mismo, menos impuro sea el efluente que se - vierte a través del emisario, menor será la carga polucionante que re- cibe el mar en su zona costera. Teniendo en cuenta entonces la limita- da capacidad de depuración de la zona litoral puede ser conveniente acu- dir a un tratamiento previo del efluente antes de que llegue al emisario\_ submarino que elimine parte de su efecto contaminante.

Los tipos de tratamiento previo aplicables a aguas urbanas son los si- guientes:

a) Tratamiento preliminar:

En general, puede decirse que incluye las siguientes operaciones:

- Rejillas
- Desarenador
- Cámara desgrasadora
- Tanque de aireación.

Con él se trata de eliminar las materias gruesas, las partículas pesadas y los aceites y espumas que lleve el efluente. Las mejoras en la calidad del agua se pueden cifrar en:

D.B.O.	10%
Materias en suspensión	20%
Coliformes	10%

El tratamiento a este nivel se considera casi como imprescindible dado el peligro que puede suponer para el funcionamiento del emisario el paso de sustancias pesadas y de gran tamaño.

b) Tratamiento primario.

Los medios usuales son:

- Tanques de filtrado.
- Tanques de sedimentación.

Consiste, fundamentalmente pues, en una sedimentación que trata de eliminar las partículas finas en suspensión.

Los índices de mejora con este tratamiento pueden oscilar en los siguientes valores:

D.B.O.	30-50%
Materias en suspensión	40-70%
Coliformes	60-75 %



c) Tratamiento secundario.

Su objetivo se centra en la eliminación de la materia orgánica a través de la acción de organismos aerobios que la transforman en materia orgánica.

Los medios empleados usualmente para ello son:

- lechos bacterianos
- fangos activados
- tanques de aireación
- filtros
- estanques de estabilización

Con este tratamiento las tasas de reducción de parámetros contaminantes son:

D.B.O. 75-90%

Materias en suspensión 90-95%

Coliformes 90-95%

d) Tratamiento terciario.

Este tratamiento debe comprenderse como último paso tras haber puesto en práctica los anteriores y va en busca de disminuir la concentración de organismos patógenos, sustancias nutrientes y algunos metales\_ además de mejorar las propiedades físicas del efluente (olor, color).

Los procedimientos utilizados son:

- carbones activos
- cloración
- reactivos químicos diversos.

La mejora de la calidad del efluente sube, con ello, por encima de los\_ índices máximos logrados con el tratamiento secundario. A pesar de - ello la complejidad de su puesta en práctica y el costo de operación hace este tratamiento poco aplicable como medida previa al vertido a través de emisario submarino. Aún la mera cloración reviste ciertos peli\_gros sobre el ecosistema marino que exigen una prudente utilización.

La elección de uno u otro nivel de tratamiento previo vendrá aconseja-- da por las condiciones que se deseen o deban obtener en las zonas litora\_ les a las que afecte el vertido una vez estudiadas las mejoras consigui-- das con el propio emisario.

Además lógicamente, el factor económico ejercerá una presión importante desde el momento que se alcancen los índices de calidad mínimos impuestos por la normativa legal vigente.

Según J.L. Rodríguez Torres el nivel de tratamiento previo deseable es el secundario ya que en caso de fallo del emisario el vertido directo mantiene unas condiciones no excesivamente peligrosas.

Proyecto del emisario submarino.- Para abordar el proyecto de un emisario submarino es necesario establecer los factores de los cuales dependen los diversos parámetros que caracterizan la obra. Una vez determinados será necesario lograr un conocimiento preciso de los mismos en sus condiciones particulares del entorno de la ubicación elegida así como su variación en el tiempo.

Parámetros del emisario.- Los parámetros que deben tenerse en cuenta para el proyecto del emisario son, al menos, los siguientes:

- L. Longitud del emisario.  
Se medirá desde la línea de bajamar (B.M.V.E.).
- n. Número de tubos del emisario.
- ∅. Diámetro de los tubos.
- V. Velocidad del efluente en el emisario.  
No será inferior a 0,8 m/seg.
- M. Material de los tubos y sus características.

C . Cimentación y anclaje de los tubos .

Y. Profundidad del vertido

Se considerará la del difusor más próximo a la costa . No podrá ser inferior a 15 m en bajamar viva equinoccial . En aquellos casos en que no sea posible, a juicio de la Administración, alcanzar económicamente tal profundidad, se estudiará la solución más idónea basándose en alternativas entre grado de depuración y longitud del emisario .

X. Distancia de vertido .

Se tomará la distancia desde el centro de la línea de difusores hasta la costa, en la dirección marcada por la corriente .

b. Longitud de difusores (para tubos con  $\varnothing > 150$  mm) .

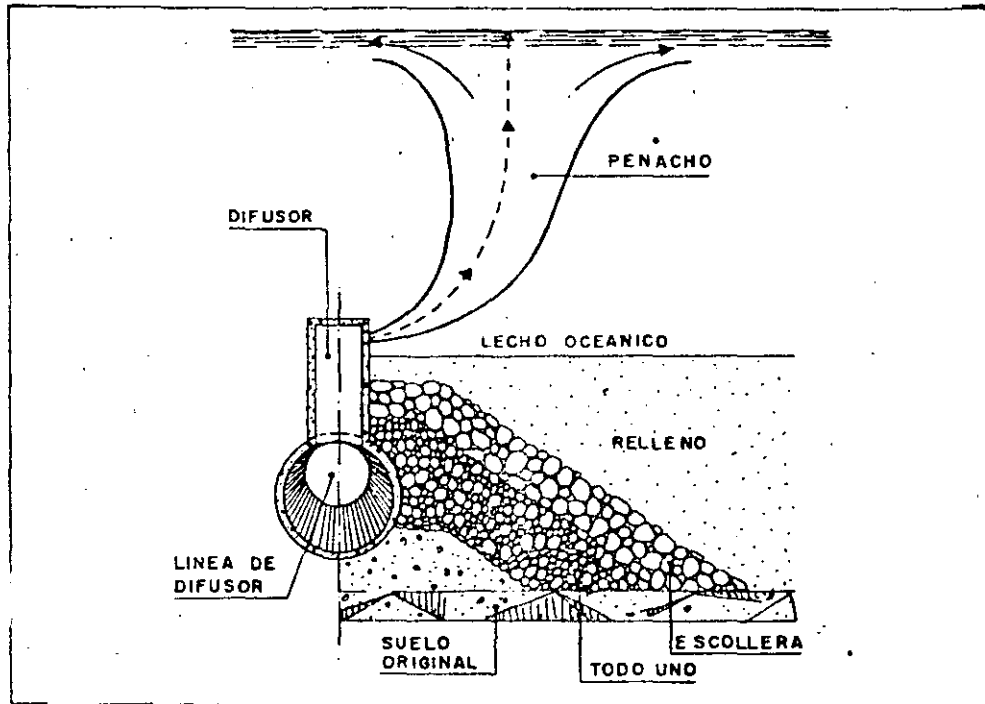
No será inferior al 3% de la longitud del emisario y dispuesta para conseguir la mayor longitud normal a la dirección de la corriente .

Ød. Diámetro de los difusores .

No será inferior a 7,5 cm .

disp. Disposición de los difusores .

Sobre la generatriz superior del tubo o sobre generatrices laterales opuestas y siempre con salida horizontal del chorro .



dd. Distancia entre difusores .

Mínima igual a  $Y/3$  entre difusores consecutivos de una misma generatriz. En todo caso se cumplirá la condición de que las áreas superiores de los penachos contiguos (cuyo diámetro es  $Y/3$ ) no se solapen nunca.

u. Velocidad del efluente en los difusores .

No será superior a 5 m/s .

df. Difusor final

Se dispondrá un difusor final de diámetro máximo doble del de los restantes difusores .

En el caso de tubo sin difusores el diámetro de salida se estudiará de forma a conseguir la mayor dilución inicial.

Std. Sección total de difusores.

La suma de las áreas de las secciones de todos los difusores, incluso el final, no debe ser superior a 0,75 veces la sección inicial del tubo.

Datos necesarios.- Se tendrán en cuenta como mínimo los datos siguientes:

Ne. Naturaleza del efluente.

En los vertidos urbanos y mientras no intervengan otras consideraciones justificadas, se tendrá en cuenta la composición tipo definida en 6.

Para los vertidos industriales se tendrán en cuenta las características propias de cada caso evaluadas a través de análisis -- cualitativos y cuantitativos.

Nh. Número de habitantes.

Su estimación será acorde con el esquema de la red de alcantarillado que desemboque o haya de desembocar en el emisario -- submarino.

Q. Caudal vertido en l/seg.

Para vertidos urbanos se considerará un caudal punta  $Q=7.1/\text{seg.}$  por cada 1,000 habitantes.

Para vertidos industriales se justificará el caudal máximo previsto.

T. Tipo de tratamiento

Se establece como obligatorio para cualquier vertido de carácter urbano el tratamiento preliminar.

En vertidos urbanos próximos a lugares de baño o para poblaciones superiores a 50,000 habitantes deberá contemplarse el establecimiento de un tratamiento primario que en todo caso podrá ser preceptivo cuando la Administración lo juzgue necesario.

Para vertidos urbanos en zonas limitadas o zonas destinadas a cultivos marinos deberá contemplarse el establecimiento de un tratamiento secundario e inclusive terciario que en todo caso podrán ser preceptivos cuando la Administración lo juzgue necesario.

Los efluentes industriales en cuya composición intervengan sustancias nocivas se someterán a un tratamiento que garantice bien la eliminación de tales sustancias previamente al vertido, o bien la reducción de su concentración y cantidad a límites que no produzcan contaminación.

Los efluentes industriales en cuya composición intervengan sustancias moderadamente nocivas u otras, deberán someterse al tratamiento adecuado que garantice la limitación de sus concentraciones a los límites establecidos en cada caso por la Administración.

Salvo casos excepcionales, a juicio de la Administración, las instalaciones de tratamiento no deberán ubicarse en el dominio público.

Nf y Pm. Naturaleza del fondo y perfil submarino.

Se realizará una descripción del fondo a lo largo del perfil longitudinal, de forma que se indiquen:

- Materiales que forman el fondo, hasta una profundidad que permita el estudio de una adecuada cimentación.
- Variaciones de perfil de equilibrio como consecuencia de la dinámica marina.
- Elementos singulares de perfil como barras, cañones submarinos y otros.

Con los datos anteriores se confeccionará un plano detallado del perfil longitudinal.

Vi. Vientos.



Se acompañará al estudio la rosa de los vientos de la zona con expresión de sus direcciones, intensidades y frecuencias.

O. Oleaje.

Se determinará la dirección de los máximos temporales y la profundidad y distancia a la costa a que se produce la línea de rotura para los mismos.

C. Corrientes

Para vertidos importantes o para aquellos casos en que la Administración así lo juzgue necesario, se realizará un estudio de corrientes en que se pongan de manifiesto las zonas de vertido más apropiadas.

En caso de vertidos poco importantes, se supondrá la existencia de una corriente superficial, generalmente debida al viento, de 0,15/0,20 m/seg. y cuya dirección se adoptará según los casos siguientes:

a) En el caso general, coincidente con la que forma  $30^\circ$  hacia tierra con la dirección del viento más frecuente.

b) Si el emisario se encuentra cercano a una zona de baños o a un establecimiento de cultivos marinos (es decir, a una distancia inferior a su longitud) la dirección vendrá marcada por la recta que une el extremo del emisario con el más cercano a él

de la zona en cuestión.

c) Si el emisario se proyecta a través de una zona de baños o de cultivos marinos, la dirección a adoptar vendrá dada por la mínima distancia a dichas zonas.

Uz. Uso de la zona

El uso de la zona alcanzable por la disposición del emisario se clasificará según los siguientes tipos:

- a) Zona de baño
- b) Zona de cultivos marinos
- c) Zonas limitadas
- d) Zonas especiales
- e) Otras zonas.

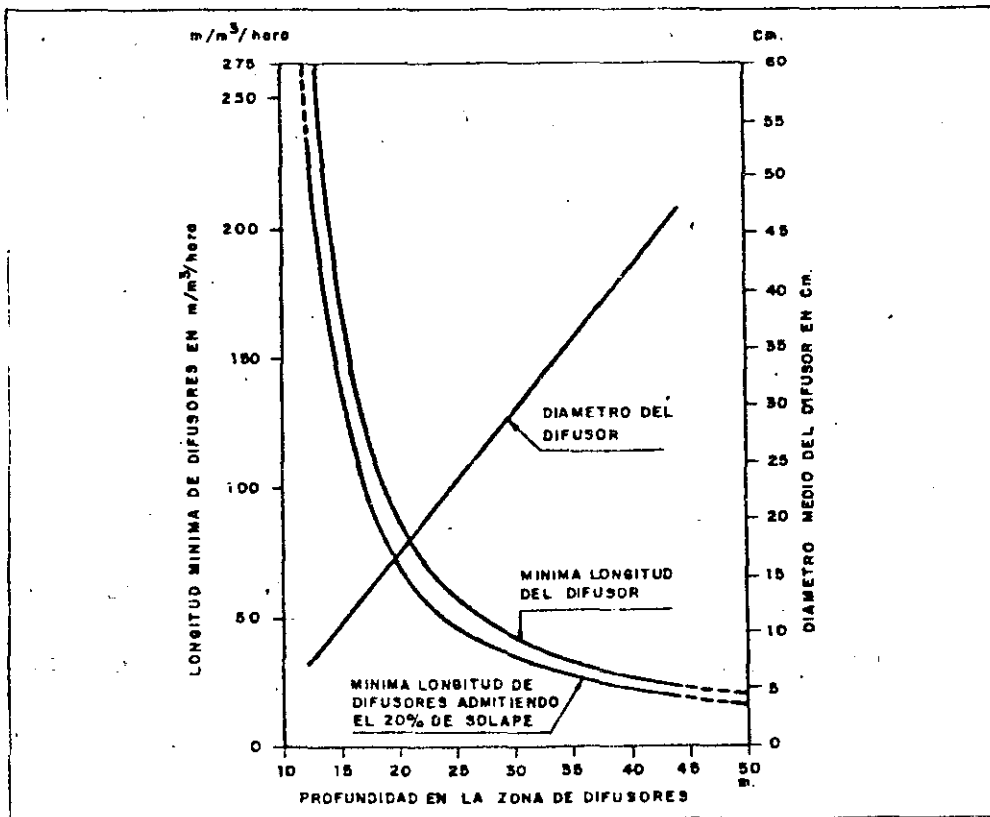
Se hará constar necesariamente la existencia previa de cualquier otro emisario en la zona y los datos que permitan establecer su naturaleza y características.

Fc. Forma de la costa

Se deberá tener en cuenta la forma de la costa con el fin de establecer su influencia sobre los fenómenos de dilución del efluente, acompañando un plano a escala suficiente para apreciar los posibles efectos.



res puede obtenerse su longitud y su sección tanto en el caso de que no se admita solape de los penachos como en el que se admita un 20%.



Esta curvas están desarrolladas para el supuesto de que los chorros se produzcan horizontalmente en el seno de un fluido homogéneo de densidad diferente.

e) Comprobación de resultados.

Determinados todos los parámetros físicos del emisario resta compro-

bar si el vertido con él logrado cumple con todos los índices de calidad establecidos. Para esta comprobación se examina la variación del contenido bacteriológico del agua desde el efluente hasta los diversos puntos o zonas costeras del entorno.

El funcionamiento del emisario, contemplado en su acción de depuración, se puede descomponer en tres fases:

1) Dilución inicial.

Se efectúa al mezclarse el efluente que sale del difusor con el agua del medio marino, creándose un penacho de anchura creciente según se aproxima a la superficie y que se eleva hacia ella por diferencia de densidades. Se ejerce por tanto verticalmente desde el difusor hasta la superficie del agua.

El cálculo de la dilución lograda se puede estimar de acuerdo con la fórmula de Cederwall:

$$D = 0,54 F \left( 0,38 \frac{Y}{d \cdot F} + 0,68 \right)^{5/3}$$

donde:

$$F = \text{número de Froude} = \frac{V}{\sqrt{0,27d}}$$

v = velocidad del efluente en los difusores en m/seg

d = diámetro del difusor en m

Y = profundidad de vertido en m

Se puntualiza que esta dilución deberá alcanzar un valor no inferior a 150.

La progresión del chorro hacia la superficie puede verse, en algunas zonas, frenada por una barrera de gradiente de temperatura del agua del mar, llamada termoclina. Esta barrera que evita mientras existe la llegada del efluente a la superficie supone una forma utilizable de "ocultar" la contaminación, ya que ésta queda atrapada en grandes bolsas a ciertas profundidades. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que la termoclina es un fenómeno que puede no mantenerse a lo largo del tiempo y "romperse" por efecto de oleajes o corrientes, dejando entonces escapar una gran cantidad de contaminante que se ha ido almacenando durante tiempo atrás con los efectos perniciosos que es fácil suponer.

## 2) Dilución por dispersión horizontal.

Esta acción se ejerce por mezcla con el agua del mar según se va propagando horizontalmente el chorro que ha emergido a la superficie del agua y se aleja del punto de vertido.

Se contemplan dos casos:

a) Si la descarga se produce por un solo punto (solamente admitida para emisarios de tubo único de diámetro inferior a 150 mm).

En este caso el valor de la dispersión horizontal se puede hallar aplicando la fórmula de Pearson.

$$D = \frac{3,65 \times h \times \sqrt{K \cdot V \cdot X}}{Q}$$

siendo:

Q = caudal total del efluente en m<sup>3</sup>/h

V = velocidad de la corriente en m/h

X = distancia de recorrido en m

b = diámetro superior del penacho, igual a Y/3 en m

K = coeficiente de difusión horizontal en el punto de descarga, igual a 1,63 b<sup>4/3</sup>

h = espesor superior del penacho, igual a

Q. D<sub>1</sub>

\_\_\_\_\_, en m, con objeto de no sobrepasar los límites en que parece desarrollarse el fenómeno físico, es aconsejable no utilizar valores de h superiores a Y/3.

b) Descarga lineal.

T : el tiempo requerido para una reducción del 90% en la concentración bacteriana, en horas. (Norma española: 1,5 h para el Mediterráneo y 2,0 h en el Atlántico).

La dilución total, por tanto, será para procesos normales a la resultante  $D1 \times D2$  mientras que para procesos bacteriológicos será  $D1 \times D2 \times D3$ .

Ingeniería del emisario.- A continuación se hace un análisis somero pero muy didáctico de los aspectos ingenieriles de un emisario, por lo que parece oportuna su transcripción literal, a continuación.

Materiales.-

- Naturaleza.

Los materiales a emplear pueden dividirse en tres grandes grupos:

- a) Materiales metálicos, entre los que se encuentran el acero, la fundición y el palastro revestido.
- b) Hormigón armado y pretensado.
- c) Fibrocemento y materiales ligeros, fundamentalmente plásticos.



Condiciones para la elección.- La elección del material viene condicionada especialmente por tres factores:

- a) Resistencia a la corrosión, ya sea del agua del mar, del efluente o de corrientes galvánicas.
- b) Resistencia a las sollicitaciones mecánicas, debidas a las olas, las corrientes, la subpresión o las tracciones de puesta en obra.
- c) Su adaptabilidad al terreno, función de su peso, de sus posibilidades de ensamblaje y del número y tipo de juntas.

Selección de materiales.-

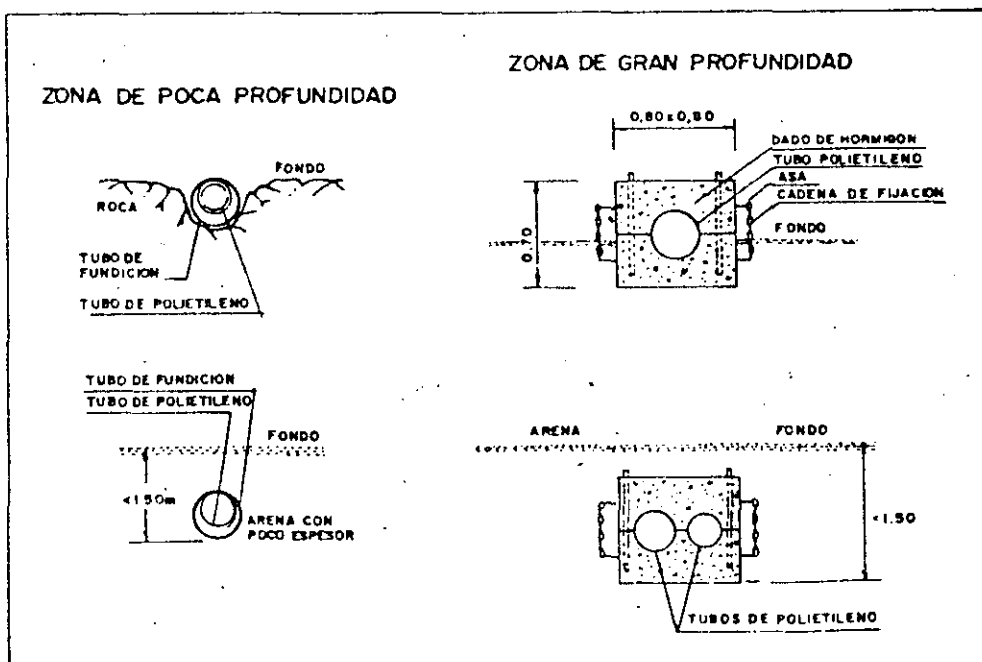
- a) Los materiales metálicos son adecuados para fondos rocosos, duros y desiguales, pero son muy sensibles a la corrosión, siéndolo menos la fundición.

La tubería de acero permite un lanzamiento fácil muy de considerar para el caso de tener que alcanzar grandes profundidades; pero precisa de una protección catódica.

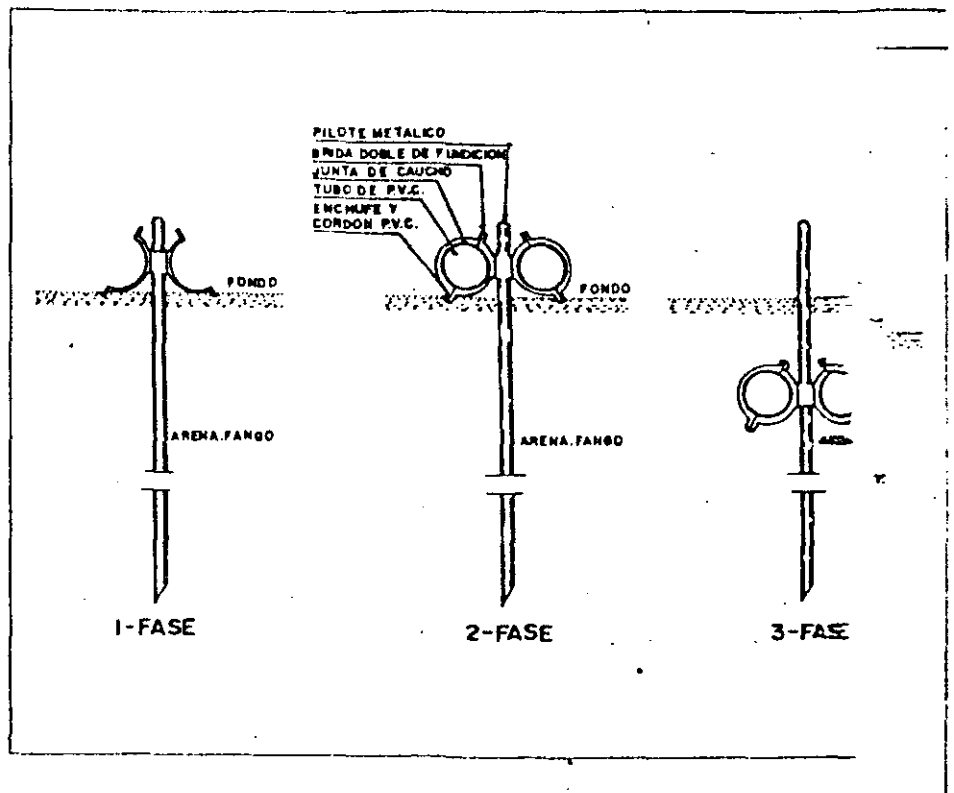
La tubería de fundición, cuyo costo de adquisición es elevado, se emplea en su textura gris para pequeños diámetros y en su textura maleable pa-

Disposición de la tubería.-

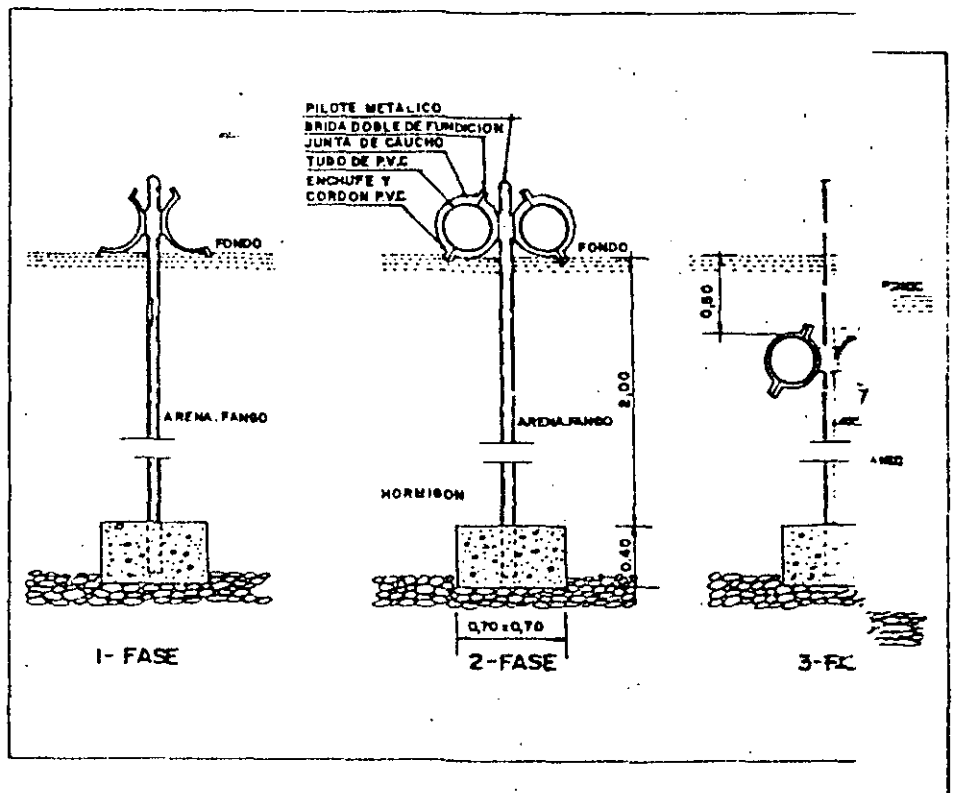
- a) Depositada simplemente, cuando el fondo es firme y el tubo tiene las características adecuadas de peso y resistencia
- b) Enterrada y sin anclar, cuando reuniendo características adecuadas de peso y resistencia, el fondo no es lo suficientemente firme.
- c) Enterrada y anclada, cuando se da el caso anterior sin el peso y la resistencia debidos.
- d) Sin enterrar y anclada, para suelos intermedios y cuya falta de resistencia se suple con soportes adecuados (caso del Pilotaje)



-Fases de cimentación por pilote enterrado



-Fases de cimentación por pilote y anclaje enterrado



Resistencia a las solicitaciones.- Para resistir las solicitaciones de la dinámica marina, la tubería debe ir enterrada hasta alcanzar 10 m de profundidad de agua en el Mediterráneo y 15 m en el Atlántico.

Las zanjas en material suelto deben calcularse con taludes del orden de 1:5 y a veces protegerlas con tablestacado recuperable en zonas no muy profundas. Hay que tener en cuenta que estas zanjas dragadas pueden cerrarse con mucha rapidez. El espesor de cubrición debe oscilar entre un mínimo de 1 m y un máximo de 4 m dependiendo de las características y movilidad de los fondos. Se rellenan con el mismo material del fondo, grava u hormigón sumergido.

Cuando en zonas poco profundas y muy batidas no haya posibilidad de mantener zanjas abiertas en arena se debe recurrir a cimentar la tubería sobre pilotaje no superficial.

El enterrar la tubería es costoso, a veces del orden del valor del tubo y no exime en ocasiones de tener que lastrar o anclar la tubería, siendo además costosas las reparaciones. Por otra parte la tubería no enterrada es muy vulnerable a las solicitaciones externas, tales como las producidas por redes y anclas.

El peso de la tubería debe estar relacionado con la estabilidad del fondo

de forma que la tubería tienda a enterrarse; así la densidad del conjunto teniendo en cuenta el lastre, será  $\geq 1,25$  en fangos y  $\geq 2,5$  en arena gruesa.

Este peso debe cumplir la condición.

$$f \times \Sigma (P-V) > H$$

siendo (P) el peso, (V) las fuerzas verticales, (H) las fuerzas horizontales y (f) el coeficiente de rozamiento, para que la tubería no precise de anclaje, suponiendo estable el fondo. Entre las fuerzas (H) se encuentran las debidas a arrastres y empujes de olas y corrientes.

En el caso de tuberías de palastro revestido exteriormente con hormigón y para prever un colapso de este material, se calcula la estabilidad del tubo teniendo en cuenta sólo el material metálico.

Construcción.- La construcción del emisario depende fundamentalmente de la clase de materiales, los medios disponibles y las características de la costa en tierra.

Se emplean dos procedimientos:

Colocación tubo a tubo.- La colocación tubo a tubo, en el caso de grandes diámetros y material muy pesado (hormigón), se realiza cuando no hay profundidades excesivas, mediante el procedimiento del pantalán de acompañamiento. Para profundidades grandes se utilizan las plataformas en sus múltiples variedades.

Colocación continua.- La colocación continua, utilizada generalmente para emisarios sin juntas, reviste varias formas:

a) Por tracción desde el mar.

La tracción desde el mar, mediante una barcaza-cabrestante anclada, precisa de una zona apropiada en tierra y de una resistencia adecuada del tubo. Si existen grandes profundidades y el estado del mar es malo, se combinará con la flotación sumergida, llevando el tubo por el fondo, en ligero contacto con él, para eliminar resistencias y guiarlo mejor.

b) Por flotación.

El método de flotación se empleará con material ligero lanzado el tubo desde tierra y guiándolo en el mar con una ligera tracción. Si el estado del mar empeora, se procederá a hundir el tubo y a reflotarlo en el momento propicio para seguir la operación. Se empleará preferentemente

en aguas protegidas y para tuberías muy largas.

c) Por carrete desde barcaza.

El método del carrete se empleará bobinando sobre éste una tubería muy flexible y de pequeño diámetro y largándola paulatinamente desde una -- barcaza.

d) Por lanzamiento desde barcaza

En el método del lanzamiento desde una barcaza, las soldaduras se realizarán en la barcaza, y ésta, desplazándose mar adentro, irá dejando -- caer la tubería en forma de S (por eso se llama método). Se empleará es pecialmente para material de acero y grandes profundidades.

En todos estos métodos debe cuidarse especialmente del guiado y posi-- cionado del tubo empleándose especialmente el método de rayos laser pa-- ra marcar alineaciones largas.

También debe tenerse especial cuidado en alcanzar amplios radios de curvatura para no someter la tubería a esfuerzos indebidos.



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

CONTAMINACION Y EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS  
MARITIMO-PESQUEROS

Ing. Pedro García Camacho

NOVIEMBRE, 1985.



## INDICE

## INTRODUCCION.

## I. CARACTERISTICAS DE CALIDAD EN AGUAS

- 1.1. Físicas
- 1.2. Químicas
- 1.3. Biológicas
- 1.4. Parámetros de calidad

## II. NORMAS DE CALIDAD PARA AGUAS COSTERAS EN FUNCION DE SUS USOS. LEGISLACION MEXICANA RESPECTIVA.

- 2.1. Cultivo de marisco
- 2.2. Recreación
- 2.3. Explotación especies de escama.

## III. FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS COSTERAS.

- 3.1. De tierra firma
- 3.2. De actividades marinas
- 3.3. Del aire

IV. EFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS MARITIMO-PESQUEROS.

- 4.1. Orgánica
- 4.2. Bacteriológica
- 4.3. Plaguicidas
- 4.4. Metales pesados
- 4.5. Otros

V. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACION EN OBRAS MARITIMO-PORTUARIAS.

- 5.1. Obras marítimo-portuarias
- 5.2. Medidas preventivas

Terminología.

Bibliografía .

INTRODUCCION

Tomando en cuenta, que contaminación es una palabra ya muy usual y que muchas veces ni idea se tiene de lo que es o si se tiene idea - también muchas veces hay confusiones sobre tipos, efectos, causas, etc. que al respecto se hable, se principiará por dar la definición - de lo que desde el punto de vista legal es CONTAMINACION.

"Contaminación": es la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen -- o molesten la vida, salud y bienestar humano, la flora y la fauna; o - degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, - de los recursos de la nación en general o de los particulares.

Como se observa de la definición, puede haber contaminación del - aire, agua, suelo y alimentos y a partir de estos elementos y subs - tancia habrá efectos sobre el hombre, la flora y la fauna. Tales - efectos dependerán del tipo de contaminante y de aquí puede haber - contaminación por sustancias tóxicas, materia orgánica, inorgáni - ca, bacteriológica, radioactiva, por temperatura, etc.

Por ser un tema muy amplio el aspecto contaminación y de acuerdo - a los objetivos planteados en este curso de Desarrollo Costero, se - expondrá brevemente algunas generalidades sobre la contaminación - de las aguas marinas costeras ya que éstas son a final de cuentas - las receptoras de todo tipo de contaminantes vertidos a un río que -

tarde o temprano desemboca al mar o contaminantes vertidos en forma directa a tales zonas costeras. Estos lugares es donde los Técnicos Marítimo-Portuarios tienen que diseñar obras de cualquier tipo y que el aspecto contaminación debe ser contemplado muy seriamente en el proyecto y construcción de tales obras.

## I. CARACTERISTICAS DE CALIDAD DE AGUAS

Cualquier tipo de agua, ya sea de mar, estuario, río, lago, laguna, presa, residual, etc. tiene ciertas características que al final de cuentas son las que dan la calidad de la misma.

Estas características se determinan por medio de análisis realizados sobre el agua en cuestión; pudiendo ser éstos físicos, químicos y biológicos. Ahora bien, para evaluar estas características, se realizan ciertos análisis específicos, que comparados con los parámetros mismos de calidad, ya establecidos darán la calidad de una agua.

A continuación se darán las principales características de cualquier tipo de agua desde el punto de vista físico, químico y biológico.

### 1.1. Características físicas

Las principales características físicas son: sólidos - en sus formas sedimentables, flotantes, disueltos y suspendidos, color, olor y temperatura.

### 1.2. Características químicas

En estas características se distinguen los grupos siguientes:

Substancias orgánicas, tales como carbohidratos, proteínas, grasas y aceites; detergentes, fenoles y plaguicidas orgánicas.

Substancias inorgánicas, tales como substancias ácidas o alcalinas, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, nutrientes de nitrógeno y fósforo; sulfatos; compuestos tóxicos, a base de cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro; cantidades de algunos metales pesados, níquel, manganeso, plomo, cobre, fierro, zinc y mercurio. Substancias gaseosas tales como, nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, metano, cloro y ozono.

### 1.3. Características biológicas

En estas características, quedan incluidos los miembros de los tres reinos de microorganismos siguientes:

- . Reino animal

Los miembros representativos son Rotíferos y Crustáceos.

- . Reino vegetal

En éste, los miembros representativos, son los musgos y helechos.

- . Reino protista

Es el reino mas importante, desde el punto de vista de contaminación, los miembros representativos son: protozoarios, hongos, algas y bacterias.

Ahora bien, dentro de todos los miembros pertenecientes a las bacterias, cabe distinguir al grupo coliforme, donde la especie mas importante es *Escherichia Coli*. La presencia de este microorganismo es una muestra biológica, alimento o agua es indicativo de contaminación bacteriológica; esto es, que "pueden" existir otros organismos que "puedan" causar enfermedades.

#### 1.4. Parámetros de calidad

El uso que puede tener una agua marina, dulce o estuarina es muy amplio, pudiendo ser: consumo humano, industrial, recreación, navegación, acuacultura, etc. Dependiendo de dicho uso, el agua tendrá que cumplir con ciertos estándares o parámetros de calidad ya establecidos para cada uso y que están en función de las características físicas químicas y biológicas ya mencionadas anteriormente; ahora bien, si por cualquier motivo, las normas de calidad son rebasados en su concentración máxima, se podrá decir que no sirve para el uso que se le destinaría o que está contaminada por equis substancia.

El cuadro 1 muestra las características físicas químicas y biológicas; además, los parámetros con los que mide cada característica. A continuación se definirán los parámetros mas importantes.

CARACTERISTICAS DE CALIDAD Y PARAMETROS DE MEDICION

CARACTERISTICAS		PARAMETROS DE MEDICION	UNIDAD
F I S I C A S		Turbiedad Color Sólidos (II formas) Temperatura	U T U C mg/l * °C
Q U E M I C A S	ORGANICAS	D B O D Q O S A A M Grasas y Aceites Nutrientes Plaguicidas	mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l
	INORGANICAS	pH Cloruros Dureza Metales Pesados Plaguicidas	- mg/l mg/l * mg/l mg/l
	G A S E S	Oxígeno Disuelto Metano Acido Sulfhídrico	mg/l mg/l mg/l
B I O L O G I C A S		Coliformes Totales Coliformes Fecales	N°Org. por 100 ml

\* Ver definiciones



## Definiciones de algunos parámetros de calidad

## 1.- Sólidos Sedimentables.

Es todo tipo de material presente en un líquido, que al dejar en reposo al mismo, dicho material, por acción de la gravedad tiende a sedimentarse en el fondo. Se expresa en ml/l.

## 2.- Sólidos Flotantes.

Es todo el material que flota en la superficie de un líquido y que queda retenido en una malla de 3 mm de claro libre cuadrado. Se reporta presente o ausente.

## 3.- Sólidos Totales Totales

Es la suma de los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos totales y son los que permanecen como residuo de una muestra de agua sujeta a secado y a 103 - 105 °C.

## 4.- Sólidos Disueltos Totales

Es el material que forma parte de una agua en forma de aniones y cationes y que consiste principalmente de sales inorgánicas. También se conocen como sólidos filtrables.

5.- Sólidos suspendidos totales

Son las partículas que no se disuelven, que son visibles en el agua y que se eliminan por filtración.

6.- Sólidos volátiles

Es el material orgánico que se volatiliza a los 600°C. Por lo tanto tendremos:

- . Sólidos totales volátiles
- . Sólidos disueltos volátiles
- . Sólidos suspendidos volátiles

7.- Sólidos fijos

Es el material que permanece como residuo en la muestra calcinada a 600°C. Por lo tanto tendremos:

- . Sólidos totales fijos
- . Sólidos disueltos fijos
- . Sólidos suspendidos fijos

8.- Demanda Bioquímica de Oxígeno (D B O)

Es la cantidad de oxígeno necesaria por los microorganismos para degradar la materia orgánica por procesos biológicos.

## 9.- Demanda Química de Oxígeno (D Q O)

Es la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar o degradar la materia orgánica por procesos químicos.

## 10.- Substancias Activas al Azul de Metileno (S A A M)

Son las substancias que causan espumas y que son extractables con el Azul de Metileno; pertenecen a este grupo los detergentes.

## 11.- Grasas y Aceites.

Este término, se aplica a una gran variedad de substancias orgánicas extractables, de una solución acuosa por hexano; pertenecen a este grupo hidrocarburos, esterres, aceites, mantecas, ceras y ácidos grasos de bajo peso molecular.

## 12.- Nutrientes

Se aplica principalmente a los elementos que actúan como fertilizantes en el fitoplancton y organismos vegetales superiores.

Los principales son: fósforo y nitrógeno en forma de fosfatos y nitratos respectivamente.

## 13.- Plaguicidas

Substancias orgánicas e inorgánicas que se usan pa-

ra matar, inhibir o repeler plagas. Dependiendo de la plaga por repelar tomará el nombre: insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas, -- etc.

14.- Potencial Hidrógeno

Condición ácida o alcalina de una substancia; su escala es 0-14. El 7 es neutro; abajo de 7 es ácido; arriba de 7 es alcalino.

15.- Dureza

Es una característica del agua, debida principalmente al contenido de carbonatos y sulfatos; ocasionalmente a nitrato y cloruros, calcio, magnesio y hierro, que hace que se gaste mas jabón en las operaciones de limpieza.

16.- Cloruros

Compuesto cuyo principal radical es el ioncloruro

Cl:

17.- Metales pesados

Grupo de metales que están en forma disuelta en el agua y en ciertas concentraciones resultan ser muy tóxicos para los sistemas biológicos. Entre éstos tenemos el mercurio, plomo, zinc, níquel, cadmio, cromo y arsénico.

## II.- NORMAS DE CALIDAD PARA AGUAS COSTERAS EN FUNCION DE SUS USOS

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas, publicado en el Diario Oficial en 1973, no contemplaba las aguas costeras. Fue hasta 1976 cuando se le hacen al Reglamento las adiciones necesarias en tal forma, que cualquier descarga de aguas residuales vertida, ya sea a un río, estuario o costa, sea regulada de acuerdo a los parámetros máximos tolerables y en función del uso que tenga el cuerpo receptor.

A continuación, se discuten brevemente las principales normas de calidad, especificadas en aguas costeras para los usos de cultivo de mariscos, recreación y explotación de especies de escama.

En el anexo 6 b, se muestran las normas para aguas costeras en función de sus usos.

### 2.1. Cultivo de Mariscos

Este punto, se refiere al agua costera cuyo uso es el cultivo de mariscos (almeja, ostión, pata de mula, abulón, camarón, etc.) que sean de consumo directo por el hombre sin previa cocción y otros usos de acuacultura.

Las aguas residuales industriales, son el resultado de la utilización de agua, principalmente en operaciones de enfriamiento y procesos industriales específicos.

Existe una gran gama de industrias dentro de las grandes necesidades que tiene el hombre, éstas son:

- a). Industrias del vestido, tales como textiles, tenerías y lavanderías.
- b). Industrias alimenticias y drogas, tales como: conservas alimenticias, cerceverías, ingenios, productos farmacéuticos, pesqueros, cafetalerías, panaderías, agua, etc.
- c). Industrias de los materiales, tales como: papel, acero, productos metalizables, aceites, hule, vidrio, etc.
- d). Industrias químicas, tales como: ácidos, detergentes, explosivos, plaguicidas, fertilizantes, plásticos, resinas, etc.
- e). Industrias energéticas, tales como: plantas de energía, plantas de energía atómica y obtención del carbón mineral.

Los tipos de contaminación que originan las industrias de los grupos descritos pueden ser de todos los tipos habidos y por haber; para nuestros fines, distinguiremos los siguientes:

## 1). Contaminación orgánica:

Es aquella provocada por hidrocarburos, grasas y aceites, proteínas, carbohidratos, azúcares, etc.

Los parámetros de medición de este tipo de contaminación son: DBO; DQO, grasas y aceites; nitrógeno, fósforo, SAAM, etc.

## 2). Contaminación bacteriológica

Es aquella provocada por microorganismos que causan enfermedades tales como: rickettsias, protozoarios, virus, bacterias y hongos.

El parámetro indicativo de este tipo de contaminación, es número más probable de coliformes fecales; NMP expresado en organismos por 100 ml.

## 3). Contaminación por sustancias tóxicas.

Es aquella provocada por plaguicidas (insecticidas, herbicidas, rodenticidas, etc.); metales pesados, mercurio, plomo, cadmio, zinc, etc.); detergentes, determinados como SAAM (sustancias activas al azul de metileno).

## 4). Contaminación por sólidos disueltos.

Es la provocada por los aniones, bicarbonato,

22 La forma en que todos estos contaminantes llegan al agua, es debido al viento y a la lluvia, esta última, realizando un lavado superficial y debido a los escu--  
rrimientos, tarde o temprano llegan a un cuerpo de agua, cau--  
sándole al mismo, en forma directa, contaminación orgánica,  
bacteriológica, por sustancias tóxicas y por sólidos di--  
sueltos.

### 3.2. De actividades marinas

Las principales fuentes de contaminación que originan las actividades marinas son:

- 1.- Descargas desde embarcaciones
- 2.- Contaminación intencional y accidental causada por embarcaciones.
- 3.- Explotación de recursos minerales del subsuelo marino.

Las descargas desde embarcaciones son princi--  
palmente aguas de los sanitarios y residuos líquidos y só--  
lidos de la elaboración de alimentos; desechos industria--  
les y materiales de dragado.

La contaminación, tanto intencional, como ac--  
cidental, es debida principalmente a hidrocarburos.

La intencional, debido a operaciones de deslas--  
tre, que llevan a cabo las embarcaciones que transportan hi--  
drocarburos; además, vertimientos de lubricantes que usan  
los motores de las embarcaciones.



La accidental es la originada, por accidentes a barcos que transportan hidrocarburos y otras sustancias nocivas.

En la explotación de recursos minerales se originan principalmente hidrocarburos, gases, minerales y cascajos.

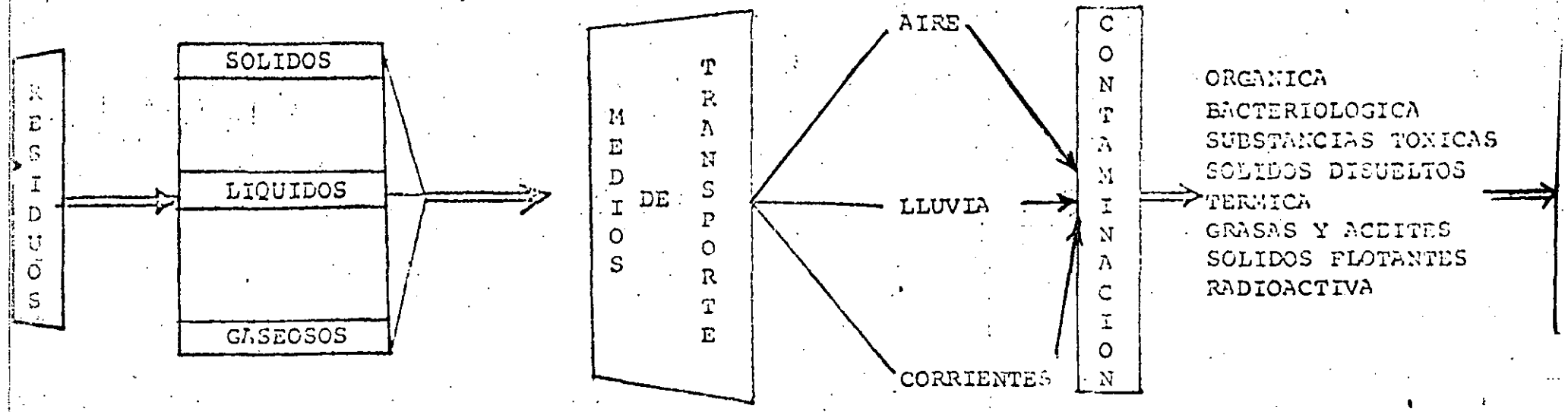
Ahora bien, de todos los residuos líquidos y sólidos provenientes de estas actividades marinas, la contaminación que en México se presenta por lo general en todas las zonas costeras es la debida a grasas y aceites. Los otros tipos de contaminación, tales como orgánica, bacteriológica, etc. son inapreciables debido a las fuentes provenientes de tierra firme y aire.

### 3.3. Del aire

El aire, más que fuente de contaminación, es un medio de transporte de compuestos y partículas volátiles originados en tierra firme y transportados por el mismo a los cuerpos de agua. Son ejemplos los productos de combustión tanto de industrias, como de vehículos y plaguicidas usados en la agricultura, para matar o repeler plagas dañinas a los cultivos.

En el caso de los plaguicidas, la forma de

ACION DE LAS AGUAS COSTERAS



IV.- EFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS  
MARTIMO PESQUEROS

Los efectos de la contaminación sobre los recursos marítimo pesqueros, son en la siguiente forma:

Efecto Directo.- Cuando un equis contaminante es vertido a un cuerpo de agua, la acción de dicho contaminante es directo sobre el mismo, degradando su calidad; además, como todo cuerpo de agua es un ecosistema, tendrá también un efecto directo sobre los microorganismos, flora y fauna existente en dicho cuerpo.

Efecto Indirecto.- Cuando el mismo cuerpo de agua es utilizado para uso potable, industrial, agrícola, etc. el efecto de la contaminación del mismo, es indirecto sobre el hombre, animales y plantas que usen tal agua.

A continuación veremos los efectos directos sobre el agua y pesca e indirectos sobre el hombre de los tipos de contaminación que ya conocemos.

Cabe, aclarar que los efectos especificados son en términos generales, tanto en tipo de contaminación, como en agua y pesca.

4.1. Contaminación Orgánica

4.1.1. Efectos sobre el agua:

- Abate el oxígeno disuelto
- Causa color y turbiedad
- Crea olores e imparte sabores

#### 4.1.2. Efectos sobre la pesca

- Un pez necesita como mínimo 4 mg/l de oxígeno disuelto y como este es abatido por la contaminación orgánica estos pueden llegar a morir - si además, se conjuntan otras condiciones dañinas para los peces.

#### 4.1.3. Efectos sobre el hombre

- El efecto que, causa una agua con contaminación orgánica es antiestético esto es, dependiendo del uso, no es muy agradable nadar, beber o pasear en un tipo de agua con color, olor y sabor.

### 4.2. Contaminación Bacteriológica

#### 4.2.1. Efectos sobre el agua

- En este caso el efecto es ecológico; esto es, aumentará el contenido de microorganismos que consumirán del agua oxígeno y materia orgánica y podrá desequilibrar la cadena alimenticia existente en dicho ecosistema.

#### 4.2.2. Efectos sobre la pesca

- Efecto benéfico  
Por ser los peces un eslabón superior en la cadena alimenticia, los microorganismos servirán de alimento a los peces.
- Efecto dañino

Los microorganismos patógenos (que causan enfermedad) les podrán causar enfermedades a los peces.

#### 4.2.3. Efectos sobre el hombre.

Los riesgos que corre el hombre al usar un tipo de agua contaminada bacteriológicamente son:

- Enfermedades por microorganismos patógenos cólera, disentería, fiebre tifoidea, hepatitis, gastroenteritis, etc.
- Enfermedades parasitarias Amibiocis, ascariasis, triquinosis, etc.
- Enfermedades producidas por vectores transmisores.

#### 4.3. Contaminación por Plaguicidas

Los plaguicidas, sustancias orgánicas e inorgánicas que se usan para matar, repeler o inhibir plagas desde el punto de vista contaminación son muy peligrosos pues con su carácter de no biodegradables llegan a permanecer mucho tiempo en la naturaleza. Los grupos de plaguicidas que se distinguen y su persistencia en la naturaleza son:

##### • Plaguicidas Organoclorados

Son compuestos de baja solubilidad, son muy persistentes y permanecen sin cambio alguno en la naturaleza por muchos años; ejemplo DDT, Aldrin, Heptacloro, etc.

técnicos preparados, industrialización tecnificada, etc.)

no cumplen ni con lo mínimo exigido en dicha legislación.

De acuerdo a lo anterior la tabla 5.2 muestra las obras marítimo-portuarias, fuentes contaminantes y medidas que se deben contemplar en cualquier proyecto de tales obras recomendadas por este autor.

TABLA 5.2.

OBRAS MARITIMO-PORTUARIAS, TIPOS DE CONTAMINACION GENERADAS Y MEDIDAS DE PREVENCION.

TIPO DE OBRA	TIPOS DE CONTAMINACION	MEDIDAS PREVENTIVAS
a). - Protección y abrigo escolleras, - espigones, rompeolas, etc.	Ninguna "perjudicial" ( Modifican Condiciones Naturales )	Zona de depósito del material dragado (no en lugares ostrícolas y de acuicultura)
b). - Mejoramiento Ecológico	Modifican Condiciones Naturales	Un excelente diseño de las obras de protección y cuidados en el depósito de material dragado .
c). - Puertos Turísticos	1). - Aguas Residuales - Orgánica, bacteriológica 2). - Residuos Sólidos - Basuras	Sistemas de recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales y residuos sólidos de barcos y de la población.
d). - Puertos Industriales	1). - Aguas Residuales - Todos los tipos de contaminación 2). - Residuos Sólidos - Basuras y Residuos industriales	- Cada industria su sistema de tratamiento y disposición. - Reciclo de aguas y subproductos y modificaciones en procesos. - Tratamiento a las aguas residuales de los municipios conurbados en la zona.
e). - Puertos Pesqueros	1). - Aguas Residuales - Orgánica, bacteriológica 2). - Residuos Sólidos - Basuras	- Tratamientos conjuntos (DCCA) - Industrialización de basuras y/o rellenos sanitarios.

TERMINOLOGIA

- AGUA COSTERA** . Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fije el derecho internacional; las aguas marinas interiores; y las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanentemente o intermitentemente con el mar.
- AGUA RESIDUAL** . Es el líquido de composición variada -- proveniente de usos municipal, industrial comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otro índole, ya sea pública o privada, y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.
- BASURAS** . Son los residuos sólidos no provenientes de la industria resultantes de las actividades de las personas o de los municipios.
- COLIFORMES** . Grupo de bacterias que viven en el intestino de los organismos de sangre caliente y que se toman como indicadores de contaminación bacteriológica.
- DESCARGA** . Es el conjunto de aguas residuales que se vierten o disponen en algún cuerpo de agua.
- ESTUARIO** . Es el tramo de río en su desembocadura -- con el mar bajo la influencia de mareas, y que se limita en su longitud hasta la zona donde la concentración mínima de cloruros es de 250 mg/l.
- I. P. I.  
INFORME PRELIMINAR  
DE INGENIERIA** . Es el documento técnico, que los responsables de las descargas deben presentar ante las autoridades respectivas, en los términos del Reglamento, para Prevenir y Controlar la Contaminación de las aguas, en lo que se refiere al control de la contaminación por la descarga de aguas residuales respectiva.



## CADENA ALIMENTICIA

Conjunto de organismos que aseguran, sucesivamente, la transferencia de sustancias dentro de los ciclos biogeoquímicos en un medio terrestre o acuático. El primer eslabón son los organismos productores; el segundo por los consumidores de primer orden; el tercero consumidores de segundo orden y como último los microorganismos descomponedores que, aseguran la degradación de la materia orgánica.

## FACULTATIVO

Microorganismo cuyas funciones vitales las puede efectuar en presencia o ausencia de oxígeno libre.

## T90

Tiempo que tardan en "desaparecer" el noventa por ciento de los microorganismos que se descargan en una agua de mar. Las principales causas de "desaparición" son; dilución, sedimentación y muerte.

## BENTONICO

Organismo que vive en el fondo de un río, lago, laguna, estuario o mar.

## PLANCTON

Conjunto de organismos microscópicos pertenecientes al reino animal (zooplancton) y vegetal (fitoplancton) que flotan o marchan a la deriva pasivamente en las aguas.

## PROTISTO

Denominación bajo la que se incluye todos los organismos monocelulares, vegetales y animales.

## FITOPLANCTON

Término que designa todos los organismos del reino vegetal presentes en el plancton.

## ZOOPLANCTON

Conjunto de organismos no fotosintético que se encuentra en el plancton.

## SALINIDAD

Es la cantidad de sólidos disueltos totales que estén presentes en el agua de mar.

## ABLANDAMIENTO

Es el proceso que consiste en remover ciertas sustancias minerales, causantes de dureza en el agua, principalmente los compuestos de calcio y magnesio.

## ABSORCION

Es la retención de una sustancia dentro del cuerpo de otra.

## ADSORCION

Es la acción de adherirse los sólidos disueltos, coloidales o finamente divididos, sobre la superficie de cuerpos sólidos con los que encuentran el contacto.

## AERACION

Es la acción de poner en contacto íntimo el aire y el agua.

## AEROBIO

Microorganismo cuyas funciones vitales las efectúa en presencia de oxígeno libre.

## AUTOPURIFICACION

Es el proceso natural de purificación en un cuerpo de agua, por el cual la ma

teria orgánica se estabiliza y el oxígeno disuelto regresa a su concentración normal.

#### MEDIOS DE CULTIVOS

Son caldos nutritivos específicos para análisis bacteriológicos por medio de los cuales se detecta un microorganismo.

## BIBLIOGRAFIA

- |   |      |   |
|---|------|---|
| 1. - Diario Oficial<br>11 Enero         | 1982 | Decreto. Ley Federal de<br>Protección al Ambiente -   |
| 2. - Diario Oficial<br>27 Enero         | 1984 | Decreto. Adiciones Reformas<br>a la Ley Federal de Protec -<br>ción al Ambiente                           |
| 3. - S.S.A. - SARH                      | 1983 | Reglamento para Prevenir y<br>Controlar la Contaminación<br>de aguas.                                     |
| 4. - APHA, AWWA y                       | 1980 | Standard Methods for the -<br>Examination of Water and -<br>Wastewater.                                   |
| 5. - Riley y Chester                    | 1978 | Introduction to marine chemis -<br>try. Academic Press  |
| 6. - Fair, Geyer y Okun                 | 1971 | Abastecimiento de agua, tra -<br>tamiento y remoción de aguas<br>residuales. LYMUSA WILEY.<br>Tomo I y II |
| 7. - Turk, Turk y Wites                 | 1973 | Ecología, Contaminación y -<br>Medio Ambiente. Editorial -<br>Interamericana.                             |
| 8. - López P.                           | 1975 | El Medio Ambiente en México.<br>Fondo de Cultura Económica -  |
| 9. - OCMI.<br>Inglaterra<br>(2-XI-1973) | 1973 | Convenio Internacional para -<br>prevenir la contaminación por<br>buques. OCMI.                           |



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

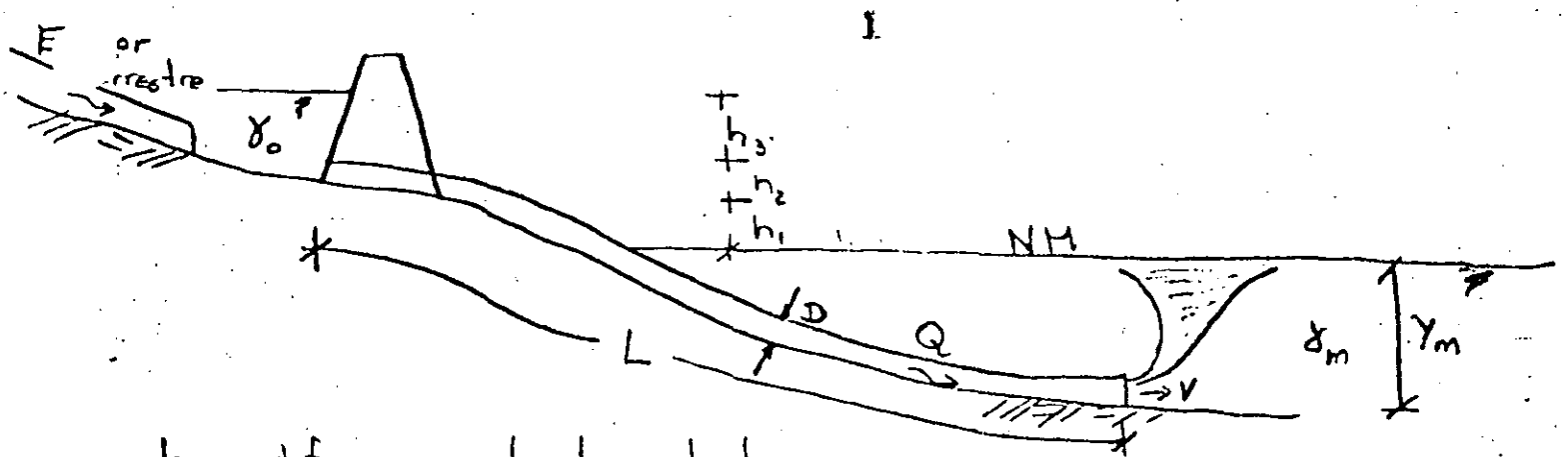
EMISORES SUBMARINOS

Ing. Pedro García Camacho

Ing. Antonio Moreno Gómez

NOVIEMBRE, 1985.

# Funcionamiento Hidraulico



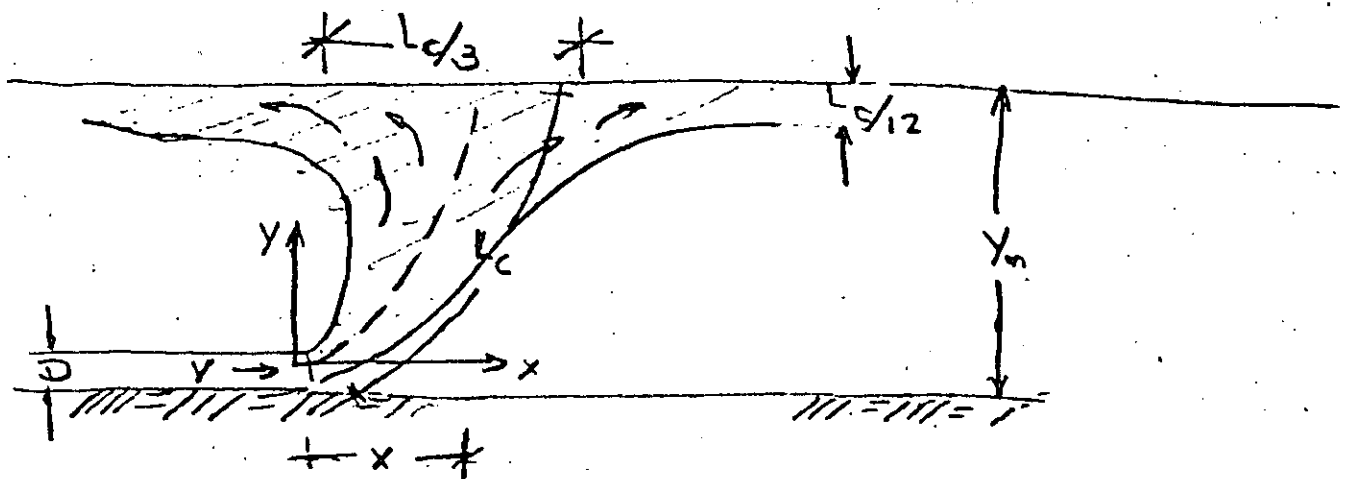
$h_1$  = diferencia de densidades

$$\gamma_0 y_1 = \gamma_m y_m ; y_1 = \frac{\gamma_m}{\gamma_0} y_m ; h_1 = y_1 - y_m$$

$h_2$  = carga de velocidad =  $\frac{V^2}{2g}$

$h_3$  = perdidas por friccion =  $\frac{fL}{D} \frac{V^2}{2g}$

## Caracteristicas del Chorro



Curva central:  $x = \sqrt[3]{V^2 D y_m}$

Cuando:  $\frac{y_2}{x} > \frac{1}{3}$   $L_c = y_2 + (0.8a)^{3/2} - \frac{0.1685 a^2}{\sqrt[3]{y_2}}$

Cuando:  $\frac{y_2}{x} < \frac{1}{3}$   $L_c = x \left[ 1 + 0.9 \frac{y_2}{x} \right]^2$

$$a = \sqrt[3]{V^2 D}$$

- Dilucion

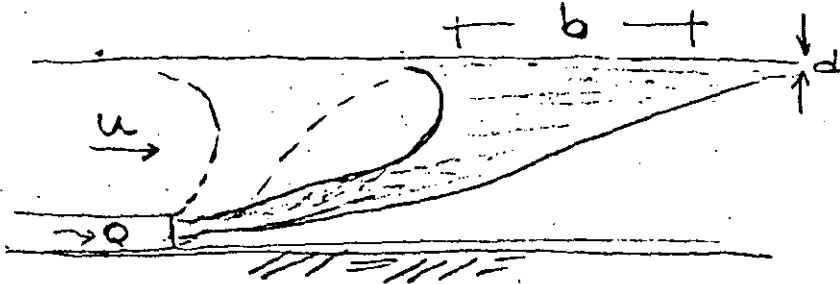
- Dilucion inicial

2

$$D_0 = 0.54 F \left[ 0.39 \frac{Y}{D \cdot F} + 0.68 \right]^{5/3}$$

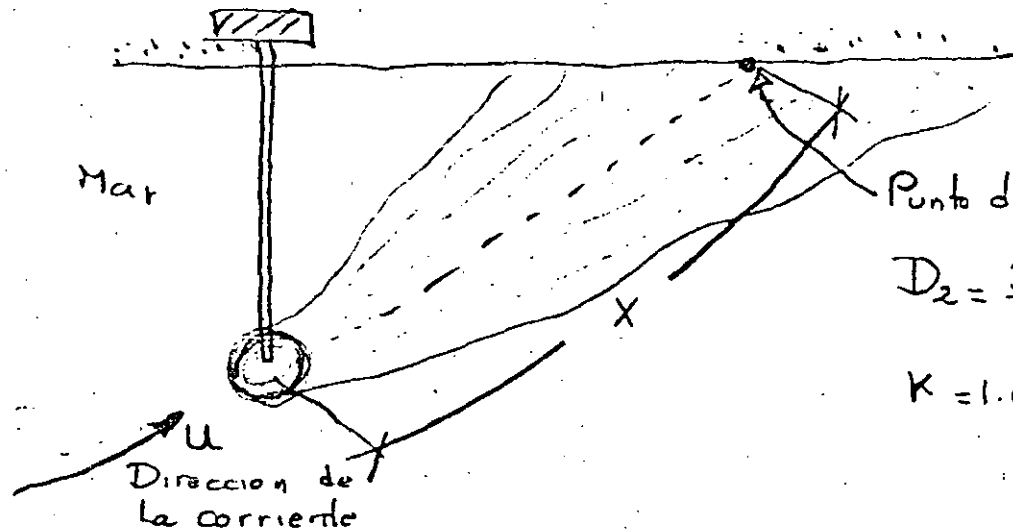
$$F = \frac{V}{\sqrt{0.27 D}}$$

- Dilucion por corriente



$$D_1 = \frac{u B d}{Q}$$

- Dilucion por dispersion horizontal



$$D_2 = \frac{3.65 \cdot d \cdot \sqrt{K \cdot u \cdot x}}{Q}$$

$$K = 1.63 b^{4/3} \quad \text{coef de difusividad}$$

- Dilucion por mortandad bacteriologica

$$D_3 = 10^{t/T_{90}}$$

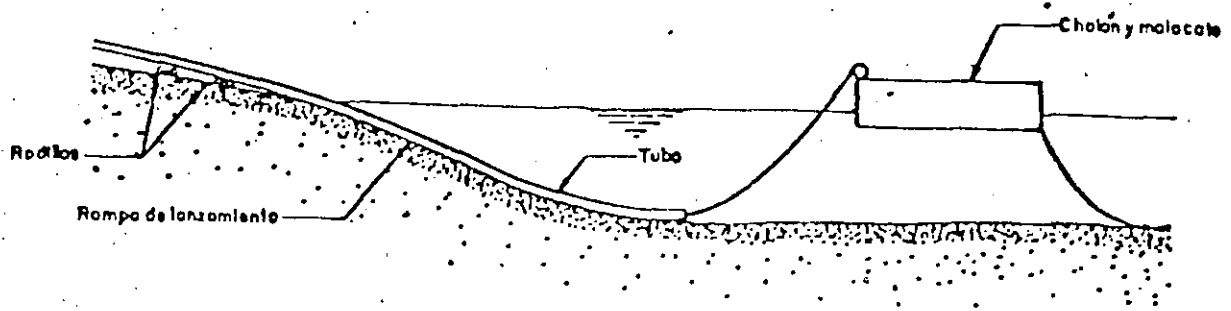
$$t = \frac{x}{u}$$

$T_{90}$  = tiempo en que muere el 90% de las bacterias

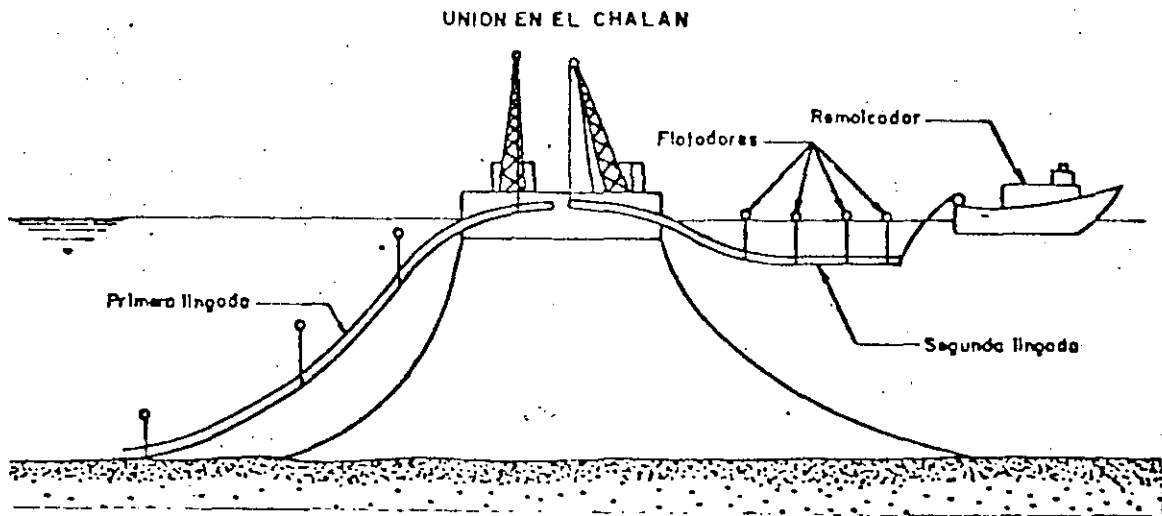
$$D_T = D_0 \times D_1 \times D_2 \times D_3$$

# Tendido

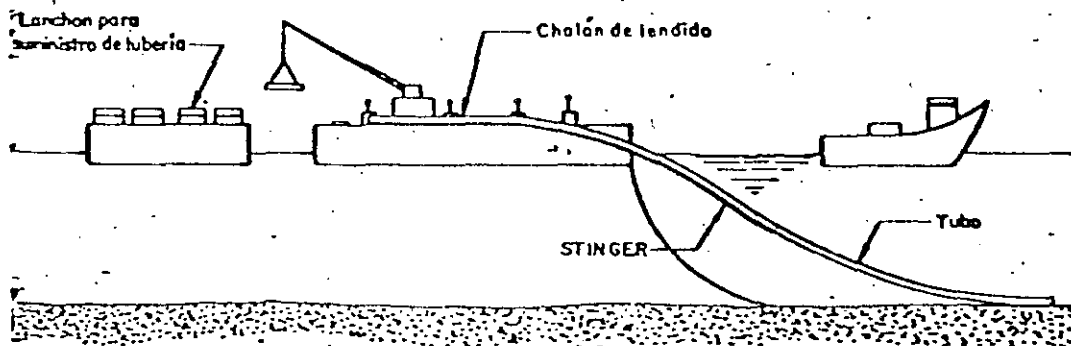
3



## TECNICA DE TENDIDO POR FLOTACION



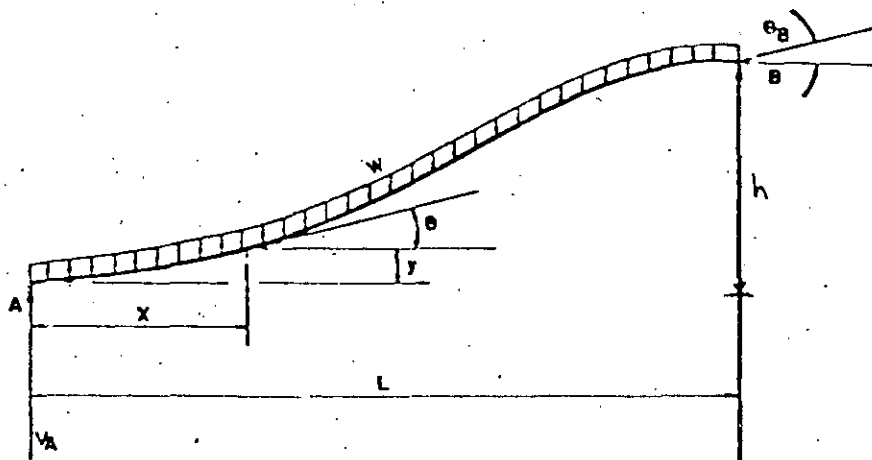
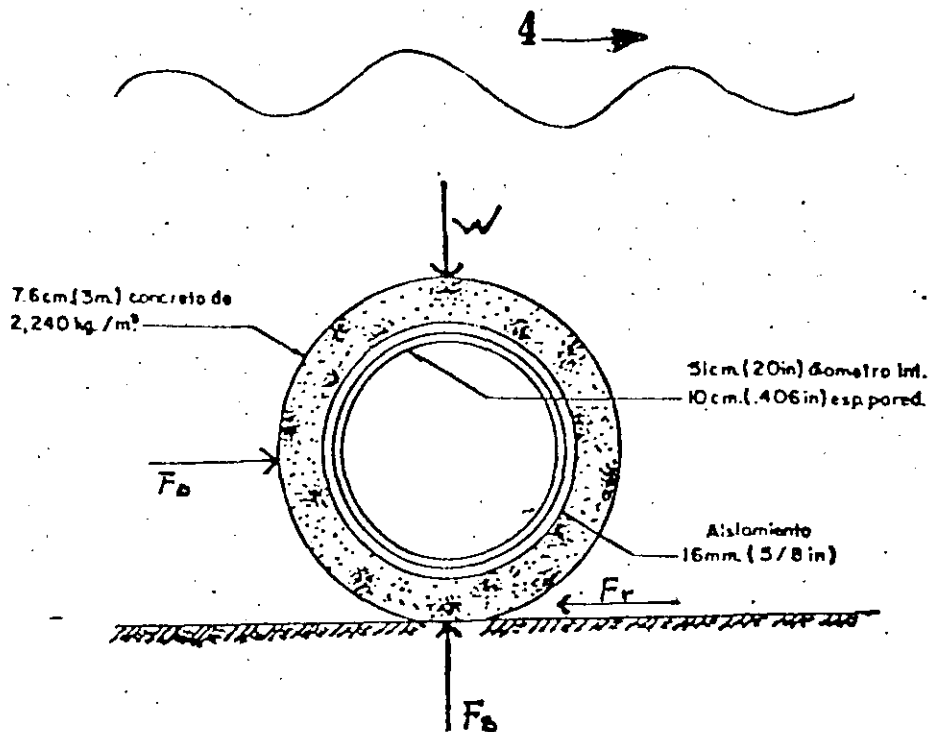
## TECNICA DE TENDIDO DE REMOLQUE POR EL FONDO O TIRON



## TENDIDO DE TUBERÍAS SUBMARINAS POR EL METODO DE CHALAN O BARCAZA DE TENDIDO Y SISTEMA DE FIJACION DE LA BARCAZA



# Elementos Estructurales



El método de boyancia negativa para el lanzamiento de una tubería se ajusta estrechamente a una viga con carga uniformemente repartida, sujeta en el extremo superior y de longitud infinita, el extremo inferior descansa en una superficie a nivel.

$$L^4 - \frac{4EI L^2}{WR_B} - \frac{24EI h}{W} = 0$$

$$M = \frac{EI}{R_B} \left( \frac{x}{L} - 1 \right) + \frac{Wx}{2} (L-x)$$

$$\frac{dM}{dx} = \frac{EI}{R_B L} - \frac{WL}{2} - Wx = 0$$

$$x = \frac{L}{2} + \frac{EI}{R_B L W}$$

Nomenclatura:

$E$  = Módulo de elasticidad

$I$  = Momento de inercia

$R_B$  = Radio de curvatura

$M$  = Momento



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

A N E X O 1

LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE (Enero 1982)

REFORMAS Y ADICIONES (Enero 1982)

NOVIEMBRE, 1985.

# SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

## 1

Decreto por el que se Reforman, Adicionan y Derogan diversas disposiciones de la Ley Federal de Protección al Ambiente.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.—Presidencia de la República.

MIGUEL DE LA MADRID HURTADO, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes, sabed:

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

### DECRETO:

"El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, decreta:

**SE REFORMAN, ADICIONAN Y DEROGAN DIVERSAS DISPOSICIONES DE LA LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE.**

"ARTICULO PRIMERO.—Se reforman los artículos 7o., 8o., 10, 11, 14, 16, 29, 33, 41, 54, 55, 58, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 73, 74, 75 y 77 de la Ley Federal de Protección al Ambiente para sustituir la denominación de "Secretaría de Salubridad y Asistencia" por la de "Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología":

"ARTICULO SEGUNDO.—Se reforman y adicionan los artículos 1o., 2o., 3o., 4o., 5o., 6o., 9o., 12, 13, 15, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 56 y 76 de la Ley Federal de Protección al Ambiente para quedar como sigue:

"ARTICULO 1o.—Las disposiciones de esta Ley son de orden público e interés social, rigen en todo el territorio nacional y tienen por objeto establecer las normas para la conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del medio ambiente, de los recursos que lo integran, y para la prevención y control sobre los contaminantes y las causas reales que los originan."

"ARTICULO 2o.—Son supletorias de esta Ley, la Ley General de Salud, la Ley Federal de Aguas, la Ley General de Asentamientos Humanos, la Ley de Sanidad Filopecuaria de los Estados Unidos Mexicanos y los demás ordenamientos en materia de suelo, subsuelo, agua, aire, flora y fauna."

"ARTICULO 3o.—Serán motivo de prevención y control por parte del Ejecutivo Federal, los contaminantes y sus causas, cualesquiera que sean su procedencia y origen, que en forma directa o indirecta dañen o degraden los ecosistemas, los recursos o bienes de la Nación, o la salud de la población, o el paisaje."

"ARTICULO 4o.—Para los efectos de esta Ley se considera:

**AMBIENTE:** El conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, físicos, químicos y biológicos, que propicien la existencia, transformación y desarrollo de organismos vivos.

**PREVENCION:** La disposición anticipada de medidas para evitar daños al ambiente.

**PROTECCION:** El conjunto organizado de medidas y actividades tendientes a lograr que el ambiente se mantenga en condiciones propicias para el desarrollo pleno de los organismos vivos.

**APROVECHAMIENTO:** El uso o explotación racional de recursos y bienes naturales.

**CONSERVACION:** La aplicación de las medidas necesarias para preservar el medio ambiente y los recursos naturales, sin afectar su aprovechamiento.

**CONTAMINACION:** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos, que perjudique o resulte nocivo a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad de la atmósfera, del agua, del suelo o de los bienes y recursos naturales en general.

**CONTAMINANTE:** Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora o fauna o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad.

**CONTROL:** La vigilancia, inspección y aplicación de medidas para la conservación del ambiente o para reducir y, en su caso, evitar la contaminación del mismo.

**ECOSISTEMA:** La unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y sobre el ambiente en un espacio determinado.

**MEJORAMIENTO:** El acrecentamiento de la calidad del ambiente.

**RESTAURACION:** Conjunto de medidas y actividades tendientes a la modificación renovadora, de aquellas partes del ambiente en las cuales se manifieste un grado de deterioro tal, que represente un peligro para la conservación de los ecosistemas.

**ORDENAMIENTO ECOLOGICO:** El proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo en el territorio nacional, de acuerdo con sus características potenciales y de aptitud,

tomando en cuenta los recursos naturales, las actividades económicas y sociales, y la distribución de la población, en el marco de una política de conservación y protección de los sistemas ecológicos.

**IMPACTO AMBIENTAL:** La alteración del ambiente ocasionada por la acción del hombre o la naturaleza.

**MANIFESTACION DEL IMPACTO AMBIENTAL:** El documento mediante el cual se da a conocer con base a estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial de un proyecto y la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

**MARCO AMBIENTAL:** La descripción del ambiente físico actual, incluyendo entre otros, los aspectos socioeconómicos del sitio o sitios en donde se pretenda llevar a cabo un proyecto de obras y sus áreas de influencia y en su caso, una predicción de las condiciones ambientales futuras si no se realizara el proyecto.

"ARTICULO 50.—La aplicación de esta Ley compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, la cual estará facultada para:

I.—Establecer los criterios y procedimientos de conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del medio ambiente para el ordenamiento Ecológico del territorio nacional, y los criterios ecológicos para el uso y destino de los recursos naturales.

II.—Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y sus causas;

III.—Realizar programas por sí misma y coordinadamente con otras dependencias, entidades e instituciones del sector público, social o privado, para la realización de las actividades a que se refieren las fracciones anteriores;

IV.—Fijar los niveles permisibles de las emisiones contaminantes de fuentes fijas y móviles, así como los de inmisión en los ecosistemas, tomando en cuenta la opinión de las dependencias competentes, de conformidad con el Reglamento respectivo.

V.—Recopilar, revisar, intercambiar e integrar la información relacionada con la contaminación del medio ambiente y de los recursos que lo integran y su control, en coordinación con organismos públicos o privados, nacionales o internacionales;

VI.—Realizar y fomentar investigaciones y promover programas para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación del medio ambiente y de los recursos que lo integran;

VII.—Las demás que le señalen este ordenamiento y otras disposiciones.

Bajo la coordinación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología intervendrán las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Salubridad y Asistencia, así como las demás dependencias del Ejecutivo Federal en el ámbito de sus respectivas competencias.

Los gobiernos de los Estados y de los Municipios auxiliarán en caso necesario, a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en el cumplimiento y aplicación de esta Ley.

"ARTICULO 60.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, deberá emitir las normas técnicas de ordenamiento ecológico del territorio de acuerdo con la política ambiental, a las que deberán sujetarse los proyectos de las obras sobre desarrollo urbano, parques nacionales, zonas de reserva y refugios de fauna silvestre y de especies migratorias, refugios pesqueros, áreas industriales y de trabajo y zonificación en general.

Las dependencias del Ejecutivo Federal, dentro del ámbito de su competencia y de conformidad con las normas técnicas que emita la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, deberán estudiar, planear, programar, evaluar y calificar los proyectos o trabajos sobre desarrollo urbano, parques nacionales, zonas de reservas y refugios de flora y fauna silvestres y especies migratorias, refugios pesqueros, áreas industriales y de trabajo y zonificación en general, cuidando de la conservación del paisaje urbano y natural, fomentando conforme a las disposiciones aplicables, la descentralización de los asentamientos humanos y de la industria para prevenir los problemas inherentes a la contaminación ambiental.

"ARTICULO 90.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en los términos de lo dispuesto por esta Ley, desarrollará programas tendientes a mejorar la calidad del aire, de las aguas, del medio marino, del suelo y del subsuelo, así como aquellas áreas cuyo grado de contaminación se considere peligroso para la salud pública, la flora, la fauna y los ecosistemas."

"ARTICULO 12.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, previa la opinión de las dependencias competentes cuando proceda, pondrá al Ejecutivo Federal la expedición de las disposiciones conducentes para:

a).—Localizar, clasificar y evaluar los tipos de fuentes de contaminación, señalando las normas y procedimientos técnicos a los que deberán sujetarse las emanaciones, emisiones, descargas, depósitos, servicios, transportes y, en general, cualquier actividad que degrade o dañe el ambiente, o los recursos y bienes propiedad del Estado y los particulares;

b).—Determinar las medidas y procesos adecuadas para la prevención, control y abatimiento de la contaminación ambiental, promovi-

ciando el uso, aprovechamiento y desarrollo de la tecnología nacional;

c).—Prevenir y controlar la contaminación ambiental ocasionada por la exploración, explotación, producción, transporte, importación, exportación, almacenamiento, comercialización, tenencia, uso y destino final de energéticos, minerales, sustancias químicas y cualesquiera otros productos que por su naturaleza puedan causar o causen contaminación del ambiente;

d).—.....

e).—.....

f).—Establecer normas y políticas de ordenamiento ecológico en aquellas áreas en las que, para el establecimiento de programas de desarrollo, resulte necesario y de primordial importancia mitigar los efectos adversos en el medio ambiente; y

g).—Crear los organismos necesarios, con la estructura y funciones que el propio Ejecutivo les asigne, conforme a las finalidades que persigue esta Ley."

"ARTICULO 13.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, con base en los estudios y las investigaciones del caso, propondrá al Ejecutivo Federal la expedición de decretos que declaren la localización, extensión y características de las áreas o regiones que requieran la protección, mejoramiento, conservación y restauración de sus condiciones ambientales, mediante la acción articulada de las autoridades competentes. Las declaratorias que al efecto se expidan deberán inscribirse en el Registro Público de la Propiedad que corresponda.

Los decretos que contengan dichas declaratorias señalarán las bases para que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología celebre los convenios y acuerdos de coordinación con los gobiernos de los estados y municipios, y los de concertación e inducción con los grupos sociales o con los particulares interesados, para la consecución de los fines de este artículo.

Todo acto, contrato o convenio que contravenga lo que en las mencionadas declaratorias se establezca será nulo de pleno derecho."

"ARTICULO 15.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología promoverá ante las Secretarías de Salubridad y Asistencia, Comercio y Fomento Industrial, Agricultura y Recursos Hidráulicos, Hacienda y Crédito Público y Comunicaciones y Transportes, según corresponda, la imposición de las restricciones necesarias en materia de importación, exportación, producción, transformación o procesamiento, transporte, tenencia, uso y disposición final de sustancias contaminantes o peligrosas para el medio ambiente."

"ARTICULO 16.—Para efectos de esta Ley serán consideradas como fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos:

I.—Las naturales, que incluyen volcanes, incendios forestales no provocados por el hombre, ecosistemas naturales o parte de ellos en proceso de erosión por acción del viento, pantanos, y otras semejantes;

II.—Las artificiales, entre las que se encuentran:

a).—Las fijas, que incluyen fábricas o talleres en general, instalaciones nucleares, termoeléctricas, refinarias de petróleo, plantas elaboradoras de cemento, fábricas de fertilizantes, fundiciones de hierro y acero, siderúrgicas, baños, incineradores industriales, comerciales, domésticos y los de servicio público y cualquier otra fuente análoga a las anteriores;

b).—Las móviles, como plantas móviles de emergencia generadoras de energía eléctrica, plantas móviles elaboradoras de concreto, vehículos automotores de combustión interna, aviones, locomotoras, barcos, motocicletas y similares; y

c).—Diversas, como la incineración, quema a cielo abierto de basura y residuos peligrosos o potencialmente peligrosos, uso de explosivos o cualquier tipo de combustión que produzca o pueda producir contaminación."

"ARTICULO 19.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología estará facultada para:

I.—Establecer los procedimientos para prevenir y controlar la contaminación atmosférica; y

II.—Fijar, previa opinión de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, los niveles de las emisiones contaminantes de fuentes fijas y móviles, así como de la inmisión, de acuerdo con el Reglamento respectivo."

"ARTICULO 21.—Se prohíbe descargar, sin su previo tratamiento, en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminantes, aceites, materias radiactivas o cualquier otra sustancia dañina a la salud de las personas, a la flora, a la fauna o a los bienes. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en coordinación con las de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Salubridad y Asistencia dictará las normas para el uso o aprovechamiento de las aguas residuales y la primera fijará las condiciones de vertimiento en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de aguas, así como para infiltrarlas en terrenos, de conformidad con la

## SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA

*Ley Federal de Protección al Ambiente:*

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.—Presidencia de la República.

**JOSE LOPEZ PORTILLO**, *Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, a sus habitantes subco:*

Que el H. Congreso de la Unión se ha servido dirigirme el siguiente

## DECRETO

"El Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, decreta:

LEY FEDERAL DE PROTECCION  
AL AMBIENTE

## CAPITULO PRIMERO

*Disposiciones Generales*

**ARTICULO 1o.**—Las disposiciones de esta Ley rigen en todo el Territorio Nacional, son de orden público e interés social, y tienen por objeto la protección, mejoramiento, conservación y restauración del ambiente, así como la prevención y control de la contaminación que lo afecte.

**ARTICULO 2o.**—Son supletorios de esta Ley, el Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley Federal de Aguas, la Ley General de Asentamientos Humanos, la Ley de Sanidad Fitoperuaria de los Estados Unidos Mexicanos y los demás ordenamientos en materia de suelos, subsuelos, aguas, aire, flora y fauna.

**ARTICULO 3o.**—Será motivo de prevención y control por parte del Ejecutivo Federal, los contaminantes y sus causas, cualquiera que sea su procedencia u origen, de la forma directa o

indirecta, dañen o degraden los ecosistemas y la salud de la población.

**ARTICULO 4o.**—Para efectos de esta Ley se considera:

**AMBIENTE:** El conjunto de elementos naturales, artificiales o inducidos por el hombre, físicos, químicos y biológicos, que propicien la existencia, transformación y desarrollo de organismos vivos.

**PROTECCION:** El conjunto organizado de medidas y actividades tendientes a lograr que el ambiente se mantenga en condiciones propicias para el desarrollo pleno de los organismos vivos.

**APROVECHAMIENTO:** El uso o explotación racional de recursos y bienes naturales.

**CONSERVACION:** Las medidas necesarias para preservar el ambiente y los recursos naturales.

**CONTAMINACION:** La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudique o resulte nocivo a la vida, la salud y el bienestar humano a la flora y la fauna o degraden la calidad del aire, del agua, del suelo o de los bienes y recursos en general.

**CONTAMINANTE:** Toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía térmica, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

**CONTROL:** La vigilancia, inspección y aplicación de medidas para la conservación del am-

ambiente o para reducir y, en su caso, evitar la contaminación del mismo.

**ECOSISTEMA:** La unidad básica de interacción de los organismos vivos entre sí y sobre el ambiente en un espacio determinado.

**MEJORAMIENTO:** El acrecentamiento de la calidad del ambiente.

**RESTAURACION:** Conjunto de medidas y actividades tendientes a la modificación renovadora de aquellas partes del ambiente en las cuales se manifieste un grado de deterioro tal que represente un peligro para la conservación de los ecosistemas.

**PREVENCION:** La disposición anticipada de medidas para evitar daños al ambiente.

**ARTICULO 5o.**—La aplicación de esta Ley compete al Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Salubridad y Asistencia del Consejo de Salubridad General.

En coordinación con la Secretaría de Salubridad y Asistencia y de conformidad con su respectiva competencia intervendrán en la aplicación de esta Ley la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en materia de prevención y control de la contaminación de las aguas y los suelos; la Secretaría de Marina, en la protección ambiental del medio marino, cuando el origen de la contaminación no provenga desde tierra, las Secretarías de Patrimonio y Fomento Industrial, Trabajo y Previsión Social y la de Comercio, en materia de prevención y control de la contaminación por actividades industriales y comerciales; la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, en aspectos de desarrollo urbano y obras públicas; la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con relación a las vías generales de comunicación y el Departamento de Pesca, en actividades pesqueras y de acuicultura en general; así como la Secretaría de Educación Pública para la formulación de programas de estudio y de actividades prácticas de iniciación a nivel de Secundarias Técnicas e Institutos Tecnológicos.

Las Dependencias del Ejecutivo Federal, los Gobiernos de los Estados y de los Ayuntamientos auxiliarán, en caso necesario, a la Secretaría

9

de Salubridad y Asistencia en el cumplimiento y aplicación de esta Ley.

**ARTICULO 6o.**—Las Dependencias del Ejecutivo Federal a que se refiere el artículo anterior, dentro del ámbito de su competencia deberán estudiar, planear, programar, evaluar y calificar los proyectos o trabajos sobre desarrollo urbano, parques nacionales, refugios pesqueros, áreas industriales y de trabajo y zonificación en general, fomentando en su caso la descentralización industrial para prevenir los problemas inherentes a la contaminación ambiental.

**ARTICULO 7o.**—Los proyectos de obras públicas o de particulares, que puedan producir contaminación o deterioro ambiental, que excedan los límites mínimos previsibles marcados en los reglamentos y normas respectivas, deberán presentarse a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, para que ésta los revise y pueda resolver sobre su aprobación, modificación o rechazo, con base en la información relativa a una manifestación de impacto ambiental, consistente en las medidas técnicas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales durante su ejecución o funcionamiento.

**ARTICULO 8o.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia fomentará y propiciará programas de estudio, investigaciones y otras actividades técnicas y científicas para desarrollar nuevos sistemas, métodos, equipos y dispositivos que permitan proteger al ambiente, invitando a participar en la solución de este problema a las instituciones de alto nivel educativo, científico y de investigación, a los sectores social y privado y a los particulares en general.

**ARTICULO 9o.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en los términos dispuestos por esta Ley, desarrollará programas tendientes a mejorar la calidad del aire, las aguas, el medio marino, el suelo y subsuelo, los alimentos, así como de aquellas áreas cuyo grado de contaminación se considere peligroso para la salud pública, la flora, la fauna y los ecosistemas.

**ARTICULO 10.**—El Ejecutivo Federal, a través de las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Educación Pública así como de las de-

pendencias y organismos que en cada caso estime convenientes, promoverá el desarrollo de programas docentes e informativos a nivel nacional sobre la significación del problema de la contaminación ambiental, orientando especialmente a la niñez y a la juventud, hacia el conocimiento y acciones tendientes a resolver los problemas ecológicos y proteger el ambiente.

**ARTICULO 11.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia podrá celebrar con ventos con los Gobiernos de los Estados y del Distrito Federal y con los municipios, para coordinar sus actividades a que se refiere el Artículo 10 de esta Ley, a fin de utilizar adecuadamente los servicios del personal de las entidades participantes y alcanzar el mayor rendimiento de los tiempos y recursos económicos de éstas.

**ARTICULO 12.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, previa la opinión de las dependencias competentes cuando proceda, propondrá al Ejecutivo Federal la expedición de las disposiciones conducentes para:

a).—Localizar, clasificar y evaluar los tipos de fuentes de contaminación, señalando las zonas y procedimientos técnicos a los que deberán sujetarse las emanaciones, emisiones, descargas, depósitos, acedidos, transportes y, en general, cualquier actividad que degrade o dañe el ambiente;

b).—Determinar las medidas, procesos y técnicas adecuadas para la prevención, control y abatimiento de la contaminación ambiental, ubicando los dispositivos, instalaciones, equipos y máquinas de uso obligatorio para dicho efecto;

c).—Prevenir y controlar la contaminación ambiental por la explotación, explotación, producción, transporte, composición, almacenamiento, comercialización y el uso y disposición final de energéticos, minerales, sustancias químicas y otros productos que por su naturaleza puedan causar o causen contaminación del ambiente;

d).—Realizar, contratar y ordenar, según corresponda, los estudios, las obras o trabajos, así como implantar medidas inmediatas o inmediatas que sean convenientes para proteger el ambiente;

e).—Proteger la flora y la fauna, especialmente aquellas especies que estén en peligro de extinción o se consideren benéficas para el equilibrio de los ecosistemas, y

f).—Crear los organismos necesarios, con la estructura y funciones que el propio Ejecutivo les asigne, conforme a las finalidades que persigue esta Ley.

**ARTICULO 13.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, con base en los estudios y las investigaciones del caso, propondrá al Ejecutivo Federal las declaratorias sobre la localización, extensión y características de las áreas o regiones que requieran de protección, mejoramiento, conservación y restauración de sus condiciones ecológicas, mediante la acción coordinada de las autoridades competentes. Las declaratorias que al efecto expida deberán publicarse en el *Diario Oficial* de la Federación e inscribirse en el Registro Público que corresponda.

**ARTICULO 14.**—En los casos de contaminación ambiental con repercusiones peligrosas para los ecosistemas o la salud pública, así como para la flora y fauna, la Secretaría de Salubridad y Asistencia dictará y aplicará de inmediato las disposiciones y medidas correctivas que procedan, en coordinación con las autoridades competentes.

**ARTICULO 15.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, promoverá ante las Secretarías de Patrimonio y Fomento Industrial, Agricultura y Recursos Hidráulicos o de Comercio, según corresponda, las restricciones que sean necesarias en materia de importación, producción, tenencia y uso de sustancias nocivas o peligrosas, así como la prohibición de la fabricación, uso o importación de aquellas cuya tenencia, uso o disposición cause contaminación grave o peligrosa al ambiente o a la salud pública.

**ARTICULO 16.**—En aquellas áreas urbanas o rurales, que por sus características, condiciones naturales o accidentales requieran protegerse de la acción de la contaminación, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, promoverá ante las autoridades Federales y Locales competentes la limitación o suspensión, mediante los estudios y justificaciones técnicas o científicas del caso, de la instalación o funcionamiento de industrias, comercios, servicios, desarrollos urbanos o cualquiera otra actividad que pueda causar o incrementar



degradación ambiental y dañar los procesos ecológicos.

## CAPITULO SEGUNDO

### *De la Protección Atmosférica*

ARTICULO 17.—Se prohíbe expeler o descargar contaminantes que alteren la atmósfera o que provoquen o puedan provocar degradación o molestias en perjuicio de la salud humana, la flora, la fauna y, en general, de los ecosistemas.

Tales operaciones sólo podrán realizarse de conformidad con esta Ley y sus Reglamentos.

ARTICULO 18.—Para efectos de esta Ley serán consideradas como fuentes emisoras de contaminantes.

I.—Las naturales que incluyen áreas polvosas de terrenos erosionados o secos, emisiones volcánicas y otras semejantes.

II.—Las artificiales o sean aquellas producidas por la acción humana, entre las que se encuentran:

A).—Fijas como fábricas, talleres, termoeléctricas, instalaciones nucleares, refineries, plantas químicas, construcciones y cualquiera otra análoga a las anteriores;

B).—Móviles como vehículos automotores de combustión interna, aviones, locomotoras, barcos, motocicletas, y similares, y

C).—Diversas como la incineración, quema a la intemperie de basura y residuos, uso de explosivos o cualquier tipo de combustión que produzca o pueda producir contaminación.

ARTICULO 19.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia estará facultada para:

I.—Establecer los procedimientos para prevenir y controlar la Contaminación Atmosférica;

II.—Fijar, previa opinión de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, los niveles de las emisiones contaminantes de fuentes fijas y móviles, así como de la Inmisión, y

III.—Recopilar, revisar, intercambiar e integrar información relacionada con la contaminación atmosférica y su control, en coordinación con organismos públicos o privados, nacionales o internacionales.

ARTICULO 20.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia vigilará las fuentes de contaminación atmosférica para que sus emisiones no rebasen los límites permisibles.

## CAPITULO TERCERO

### *De la Protección de las Aguas*

ARTICULO 21.—Se prohíbe descargar, sin su previo tratamiento, en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas, o infiltrar en terrenos, aguas residuales que contengan contaminantes, desechos, materias radiactivas o cualquier otra sustancia dañina a la salud de las personas, a la flora o a la fauna o a los bienes. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en coordinación con la de Salubridad y Asistencia dictarán las medidas para el uso o el aprovechamiento de las aguas residuales y fijarán las condiciones de vertimiento en las redes colectoras, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas, así como para infiltrarlas en terrenos.

ARTICULO 22.—Las aguas residuales provenientes de usos públicos, domésticos, industriales o agropecuarios que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes, así como los que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y, en general las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

I.—Contaminación de los cuerpos receptores;

II.—Interferencias en los procesos de depuración de las aguas, y.

III.—Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

Para descargar aguas residuales, deberán construirse las obras o instalaciones de tratamiento que determine la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en coordinación con las de Salubridad y Asistencia, de Asentamientos Humanos y

procedimientos a fin de prevenir y controlar la contaminación por energía térmica, ruidos o vibraciones y fijar los límites de tolerancia de dichos contaminantes, así como para vigilar su cumplimiento.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia realizará análisis, estudios, investigaciones y vigilancia con el objeto de localizar el origen o procedencia, naturaleza, grado, magnitud y frecuencia de las emisiones de energía térmica, ruidos o vibraciones para evitar daños a la salud. En coordinación con organismos públicos o privados, nacionales o internacionales, podrá recopilar, revisar, intercambiar e integrar información relacionada con este tipo de contaminación, así como de métodos y tecnología de control y tratamiento de los mismos.

## CAPÍTULO SEPTIMO

### *De la Protección de los Alimentos y Bebidas por Efectos del Medio Ambiente*

ARTICULO 42.—Conforme a las disposiciones de esta Ley, la Secretaría de Salubridad y Asistencia aplicará las normas técnicas y operativas correspondientes y en su caso lo previsto en el Código Sanitario, para vigilar y evitar que los Alimentos y Bebidas naturales o procesados se contaminen o sea alterada su calidad por efectos del ambiente convirtiéndolos en nocivos para la salud.

ARTICULO 43.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia estará facultada para:

I.—Establecer los procedimientos requeridos a fin de prevenir y controlar la contaminación de los alimentos y bebidas en general, así como vigilar el cumplimiento de las normas de calidad sanitaria de alimentos de importación y exportación.

II.—Realizar análisis, estudios, investigaciones y vigilancia, con la finalidad de localizar el origen y procedencia, naturaleza, grado, magnitud, frecuencia y proliferación de contaminantes de los alimentos y bebidas, para evitar daños a la salud.

III.—Fijar límites de tolerancia de contaminantes, así como de otras sustancias que deterioren o alteren la calidad de los alimentos y bebidas.

tanto en la producción de las materias primas que utilicen, como en su proceso de producción, y

IV.—Recopilar, revisar e integrar información relacionada con la contaminación de alimentos y bebidas, así como intercambiar métodos y tecnología para la producción, manejo y tratamiento adecuado de los mismos con organismos públicos y privados, nacionales e internacionales.

ARTICULO 44.—En caso de epidemias o endemias, así como de intoxicaciones originadas por contaminación ambiental de alimentos y bebidas, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, dictará, desde luego, las medidas preventivas y correctivas que estime pertinentes, coordinando al efecto su acción con las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, y con los Gobiernos de los Estados y Ayuntamientos que corresponda, a fin de controlar su propagación.

ARTICULO 45.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, llevará a cabo los programas necesarios para investigar y evaluar la calidad sanitaria de los alimentos y bebidas, en las áreas que a su juicio lo ameriten, para prevenir, controlar y abatir su contaminación en los términos de esta Ley.

## CAPÍTULO OCTAVO

### *De la Protección del Ambiente por Efectos de Radiaciones Ionizantes*

ARTICULO 46.—Queda prohibido llevar a cabo emisiones de radiaciones ionizantes que puedan contaminar el aire, aguas, suelos, flora y fauna, cuando las operaciones que las puedan provocar, se realicen sin ajustarse a las disposiciones legales relativas.

ARTICULO 47.—Las fuentes de radiaciones ionizantes deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir contaminaciones, interferencias en procesos y aprovechamientos, modificaciones y trastornos en el funcionamiento de los ecosistemas.

ARTICULO 48.—La construcción de obras o instalaciones, así como la operación y funcionamiento de las existentes, donde se manejen o uti-

licen fuentes de radiaciones ionizantes que ocasionen o puedan ocasionar contaminación perjudicial a la salud, deberán ajustarse a las normas preventivas y de control que al efecto dicten, el ejercicio de sus respectivas funciones y en forma coordinada las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Patrimonio y Fomento Industrial, esta última por conducto de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

ARTICULO 49.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, vigilarán e intervendrán para que las emisiones de radiaciones ionizantes se efectúen en condiciones que, sin causar daños a la salud, no excedan de los límites permisibles establecidos al efecto.

ARTICULO 50.—La Comisión Nacional de Energía Atómica, Uranio Mexicano y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, a petición de la Secretaría de Salubridad y Asistencia actuarán como auxiliares y asesoras en los casos de emisiones de radiaciones ionizantes.

ARTICULO 51.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, sin perjuicio de las atribuciones que corresponden a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, tendrá facultades para:

I.—Establecer los procedimientos tendientes a prevenir y controlar la contaminación por radiaciones ionizantes;

II.—Realizar análisis, estudios, investigaciones y vigilancia, con el objeto de localizar el origen y procedencia, naturaleza, grado, magnitud o frecuencia de las emisiones de radiaciones ionizantes para evitar daño a la salud;

III.—Fijar los límites de tolerancia de las emisiones de fuentes de radiaciones ionizantes, así como vigilar su cumplimiento para evitar riesgos, y

IV.—Recopilar, revisar e integrar información relacionada con la contaminación por radiaciones ionizantes, así como intercambiar métodos y tecnología de control y tratamiento adecuado de la misma, con organismos públicos y privados, nacionales e internacionales.

10

15

## CAPITULO NOVENO

### De la Inspección y Vigilancia

ARTICULO 52.—El Ejecutivo Federal por conducto de las autoridades a que se refiere el Artículo 5º de esta Ley, realizará la vigilancia e inspección que considere necesarias para el cumplimiento de la misma y de sus reglamentos.

Al respecto, el personal autorizado tendrá acceso a los lugares o establecimientos objeto de dicha vigilancia e inspección.

ARTICULO 53.—Las autoridades a que alude el artículo anterior, estarán facultadas para requerir de las personas físicas o morales toda información que conduzca a la verificación del cumplimiento de las normas prescritas por esta Ley y sus reglamentos.

## CAPITULO DECIMO

### De las Medidas de Seguridad y Sanciones.

ARTICULO 54.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, con base en el resultado de las inspecciones a que se refiere el Artículo 52 de esta Ley, dictará las medidas necesarias para corregir las deficiencias que se hubieren encontrado, notificándolas al interesado y dándole un plazo adecuado para su realización.

ARTICULO 55.—En los casos de peligro inminente para la salud pública y el medio ambiente, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, con base en el Reglamento respectivo ordenará de inmediato como medidas de seguridad, el decomiso y la retención o destrucción de substancias o productos contaminados.

También podrá decretar como medida de seguridad la clausura temporal, parcial o total de la industria o fuente donde se originan la contaminación, fijando término al propietario o responsable para que corrija, a satisfacción de la propia dependencia, las deficiencias o irregularidades. En caso de no hacerlo dentro del plazo concedido, dicha Secretaría, con apoyo en el dictamen técnico correspondiente, decretará la clausura definitiva.

ARTICULO 56.—Las violaciones a los preceptos de esta Ley y sus reglamentos constituye

infracción y serán sancionadas por la Secretaría de Salubridad y Asistencia con una o más de las siguientes sanciones:

I.—Multa por el equivalente de 5 a 10,000 días del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, en el momento de la infracción.

II.—Clausura temporal o definitiva, parcial o total de las fuentes contaminantes.

III.—Arresto hasta por 36 horas.

IV.—Decomiso de objetos contaminantes.

Cuando la gravedad de la infracción lo amerite, la Secretaría de Salubridad y Asistencia promoverá lo conducente ante las autoridades competentes, a efecto del que se proceda a la cancelación de la concesión, permiso, licencia y en general de toda autorización otorgada para operar, funcionar o prestar servicios.

En caso de reincidencia, se podrá imponer hasta dos tantos del importe de la multa, y si la falta fuere grave, decretarse la clausura definitiva.

Por reincidencia se entiende, para los efectos de esta Ley, cada una de las subsiguientes infracciones a una misma disposición legal o reglamentaria, cometidas dentro de los tres años siguientes a la fecha de la resolución en la que se hizo constar la infracción precedente, siempre y cuando esta no fuera desvirtuada.

ARTICULO 57.—La obstrucción de las funciones encomendadas a las autoridades o personal encargado de la aplicación de la presente Ley o la oposición injustificada para impedir que se realice alguna obra o instalación para evitar la contaminación serán sancionadas de acuerdo a lo prescrito por esta Ley y sus reglamentos.

ARTICULO 58.—Turnada un acta de inspección, la unidad administrativa correspondiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, citará al interesado personalmente o por correo certificado con acuse de recibo, para que dentro de un plazo no menor de cinco días hábiles ni mayor de quince, comparezca a manifestar lo que a su derecho convenga, en relación con los hechos asentados en el acta de inspección.

ARTICULO 59.—Una vez oído al presunto infractor o a su representante legal acreditado, y recibidas y desahogadas las pruebas que ofreciere, se procederá a dictar la resolución que corresponda dentro de los treinta días hábiles siguientes.

ARTICULO 60.—En caso de que el presunto infractor no compareciera dentro del plazo fijado por el Artículo 58 de esta Ley, se procederá a dictar en rebeldía, la resolución procedente, la que deberá fundarse y motivarse.

ARTICULO 61.—En los casos de clausura temporal o definitiva, el personal comisionado para ejecutar estas sanciones o medidas de seguridad, procederá a levantar acta detallada de la diligencia, siguiendo para ello los lineamientos generales establecidos para las inspecciones.

ARTICULO 62.—Para la calificación de las infracciones a esta Ley, se tomará en consideración:

I.—La gravedad de la infracción;

II.—Las condiciones económicas del infractor, y

III.—La reincidencia, si la hubiere.

ARTICULO 63.—Las sanciones establecidas en este Capítulo, se impondrán sin perjuicio de otro tipo de responsabilidades que surjan con apoyo en otras disposiciones legales.

## CAPITULO DECIMOPRIMERO

### Del Recurso de Inconformidad

ARTICULO 64.—Las resoluciones dictadas con fundamento en esta Ley y sus reglamentos podrán ser recurridas dentro del término de quince días hábiles siguientes a la fecha de su notificación. El recurso de inconformidad, deberá presentarse por escrito directamente ante el Titular de la Unidad Administrativa de la Secretaría de Salubridad y Asistencia que haya emitido la resolución que se impugna o por correo certificado con acuse de recibo, en cuyo caso se tendrá como fecha de presentación, la del día en que haya sido depositado el recurso correspondiente a la oficina de correos.

ARTICULO 65.—En el escrito se precisará el nombre y domicilio de quien promueve la inconformidad, los agravios que le cause la resolución o acto impugnado y la mención de la autoridad que haya dictado la resolución u ordenado o ejecutado el acto. Al recurso deberán acompañarse, en su caso, los documentos justificativos de la personalidad del promovente, si ésta no se tiene ya acreditada ante las autoridades de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, así como las prue-

bas que se estimen pertinentes y el ofrecimiento de aquellas que deban desahogarse posteriormente.

ARTICULO 66.—En el caso de que el recurrente hubiere ofrecido pruebas, éstas deberán desahogarse dentro de los treinta días siguientes contados a partir de la fecha de su ofrecimiento.

ARTICULO 67.—Transcurrido el término a que se refiere el artículo anterior, la autoridad que hubiere impuesto la sanción u ordenado la medida de seguridad, turnará el expediente con su opinión a la unidad administrativa de la Secretaría de Salubridad y Asistencia que corresponda, para que formule un dictamen jurídico sobre lo actuado.

ARTICULO 68.—Una vez emitido el dictamen, el Secretario de Salubridad y Asistencia confirmará, modificará o revocará la sanción o medida de seguridad, según proceda.

ARTICULO 69.—La interposición del recurso de inconformidad suspenderá la ejecución de la resolución, hasta en tanto ésta se revoque, confirme o modifique.

El interés fiscal en su caso, deberá garantizarse conforme a la ley.

ARTICULO 70.—El Titular de la Secretaría de Salubridad y Asistencia podrá delegar la atribución de resolver los recursos de inconformidad.

## CAPITULO DECIMOSEGUNDO

### *De la Acción Popular*

ARTICULO 71.—Se concede acción popular para denunciar ante la autoridad todo hecho, acto u omisión que genere contaminación.

Si en la localidad no existiere representante de las autoridades a que se refiere el Artículo 5º, de esta Ley, la denuncia se podrá hacer ante la autoridad municipal, la que la remitirá para su atención y trámite a la Secretaría de Salubridad y Asistencia para sus efectos.

ARTICULO 72.—La acción popular para denunciar la existencia de alguna de las fuentes de contaminación a que se refiere la Ley podrá ejercitarse por cualquier persona, bastando para darle

curso, el señalamiento de los datos necesarios que permitan localizar la fuente, así como el nombre y domicilio del denunciante.

ARTICULO 73.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, al recibir la denuncia, identificará debidamente al denunciante y escuchará, en su caso, a la persona a quien pueda afectar el resultado de la misma.

ARTICULO 74.—La Secretaría de Salubridad y Asistencia deberá efectuar las visitas, inspecciones y, en general, las diligencias necesarias para la comprobación de la existencia de la fuente contaminante denunciada, así como su localización y clasificación y la evaluación de la contaminación producida.

Después de realizadas las diligencias que procedan, si fuere necesario, se dictarán las medidas técnicas conducentes y se procederá conforme a lo dispuesto en esta Ley.

ARTICULO 75.—Localizada que sea la fuente de contaminación denunciada por algún particular y después de que se dicten y apliquen las medidas correspondientes, la Secretaría de Salubridad y Asistencia lo hará saber al denunciante, en vía de reconocimiento a su cooperación cívica, enviando copia de la comunicación a las demás autoridades encargadas de la orientación y difusión relativas a la contaminación ambiental, a fin de estimular la cooperación general en estas actividades de interés público.

## CAPITULO DECIMOTERCERO

### *De los Delitos*

ARTICULO 76.—Se impondrá la pena de seis meses a tres años de prisión y multa por el equivalente de 50 a 5,000 días del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, al que intencionalmente o por imprudencia:

I.—Expela o descargue contaminantes peligrosos que deterioren la atmósfera o que provoquen o puedan provocar daños graves a la salud pública, la flora y la fauna:

II.—Descarque, sin su previo tratamiento, en el medio marino, ríos, cuencas, cauces, vasos o demás depósitos de aguas, incluyendo los sistemas de abastecimiento de agua o infiltre en pue-

los o subsuelos, aguas residuales, desechos o contaminantes que causen o puedan causar daños graves a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas, y

III.—Generar emisiones de energía térmica, ruido o vibraciones, que ocasionen graves daños a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas.

**ARTICULO 77.**—Se sancionará con la pena de uno a cinco años de prisión y multa por el equivalente de 100 a 10,000 días del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, para quienes cometan alguno de los siguientes delitos:

I.—Fabricar, almacenar, usar, importar, comercial, transportar o disponer, sin autorización de la Secretaría de Salud y Asistencia, sustancias o materiales contaminantes que causen o puedan causar riesgo o peligro grave a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas;

II.—Contaminar o permitir la contaminación de alimentos o bebidas con expeculaciones para la salud pública; y

III.—Generar emisiones de radiaciones ionizantes que ocasionen graves daños a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas.

**ARTICULO 78.**—Las sanciones a que se refieren los Artículos 76 y 77 de esta Ley, serán sin perjuicio de la responsabilidad civil con motivo de los daños que pudieran causarse.

#### TRANSITORIOS

**ARTICULO PRIMERO.**—Esta Ley entrará en vigor treinta días después de su publicación en el *Diario Oficial de la Federación*.

**ARTICULO SEGUNDO.**—Se abroga la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, de 12 de marzo de 1971 y se derogarán las demás disposiciones que se opongan a la presente Ley.

**ARTICULO TERCERO.**—En tanto el Ejecutivo Federal expida los reglamentos de esta Ley, seguirán aplicándose en lo que no sea contrario, el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 17 de

septiembre de 1971, el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* de 29 de marzo de 1973 y el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 2 de enero de 1976.

México, D. F., a 22 de diciembre de 1981.—  
*Marco Antonio Aguilar Cortés, D.P.—Blas Chumacero Sánchez, S.P.—Silvio Lagos Martínez, D.S.—Luis León Aponte, S.S.—Rúbricas*”.

En cumplimiento de lo dispuesto por la fracción I del artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y para su debida publicación y observancia, expido el presente Decreto en la residencia del Poder Ejecutivo Federal, en la ciudad de México, Distrito Federal a los treinta días del mes de diciembre de mil novecientos ochenta y uno.—*José López Portillo.—Rúbrica.—El Secretario de Salud y Asistencia, Mario Calles López Negrete.—Rúbrica.—El Secretario de Relaciones Exteriores, Jorge Castañeda.—Rúbrica.—El Secretario de la Defensa Nacional, Félix Galván López.—Rúbrica.—El Secretario de Marina, Ricardo Cházaro Lara.—Rúbrica.—El Secretario de Hacienda y Crédito Público, David Ibarra Muñoz.—Rúbrica.—El Secretario de Programación y Presupuesto, Ramón Aguirre Velázquez.—Rúbrica.—El Secretario de Patrimonio y Fomento Industrial, José Andrés de Oteyza.—Rúbrica.—El Secretario de Comercio, Jorge de la Vega Domínguez.—Rúbrica.—El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Francisco Medina Rábago.—Rúbrica.—El Secretario de Comunicaciones y Transportes, Emilio Mújica Montoya.—Rúbrica.—El Secretario de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, Pedro Ramírez Vázquez.—Rúbrica.—El Secretario de Educación Pública, Fernando Solana.—Rúbrica.—El Secretario del Trabajo y Previsión Social, Sergio García Ramírez.—Rúbrica.—El Secretario de la Reforma Agraria, Gustavo Carvajal Moreno.—Rúbrica.—La Secretaría de Turismo, Rosa Luz Alegria.—Rúbrica.—El Jefe del Departamento de Pesca Fernando Rafful Miguel.—Rúbrica.—El Jefe del Departamento del Distrito Federal, Carlos Hank González.—Rúbrica.—El Secretario de Gobernación, Enrique Olivares Santana.—Rúbrica.*



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

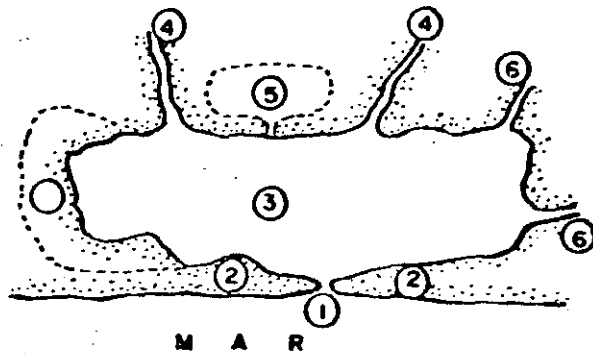
DESARROLLO COSTERO

LAGUNAS COSTERAS

Ing. Héctor López G.

NOVIEMBRE, 1985.

## SISTEMAS ESTUARIOS — LAGUNARIOS

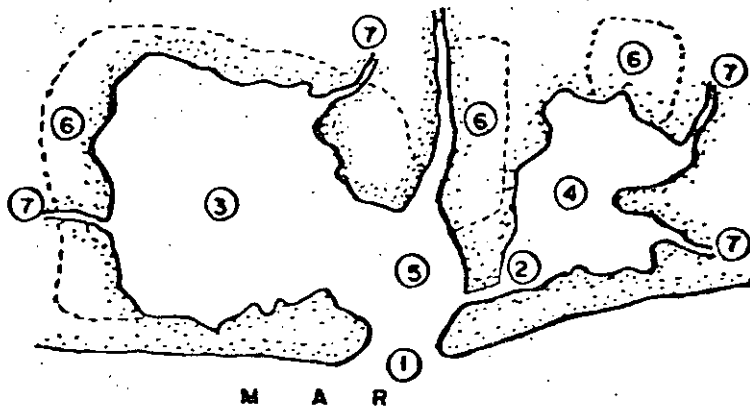


### SISTEMA PREPONDERANTEMENTE LAGUNARIO

- ① CANAL DE COMUNICACION AL MAR
- ② CORDON LITORAL
- ③ VASO PRINCIPAL
- ④ ESCURRIMIENTOS SUPERFICIALES
- ⑤ PLANICIE DE INUNDACION, VASOS SECUNDARIOS Y MARISMAS
- ⑥ ESTEROS (OCACIONALMENTE)



## SISTEMAS ESTUARIOS — LAGUNARIOS

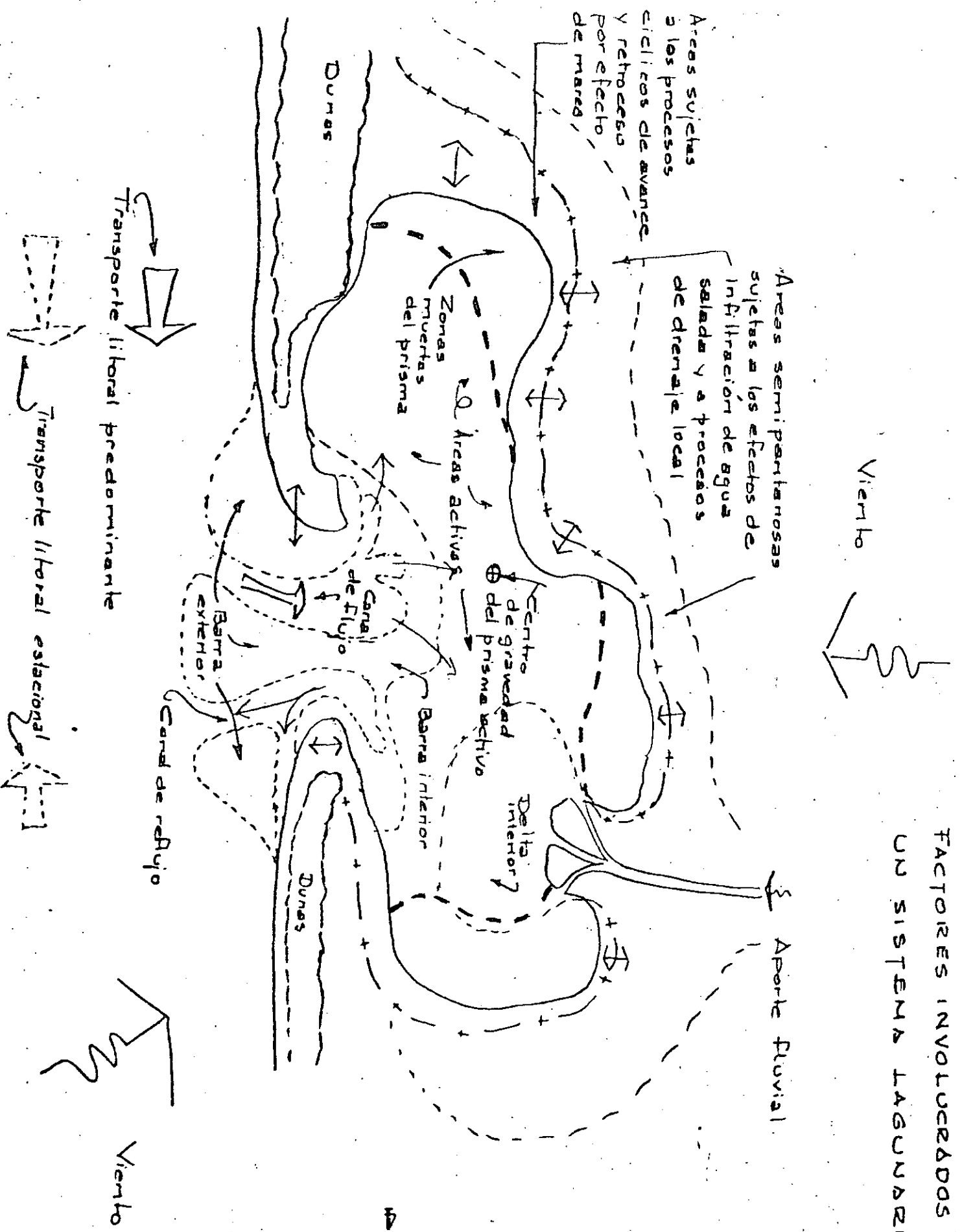


### SISTEMA PREPONDERANTEMENTE FLUVIAL

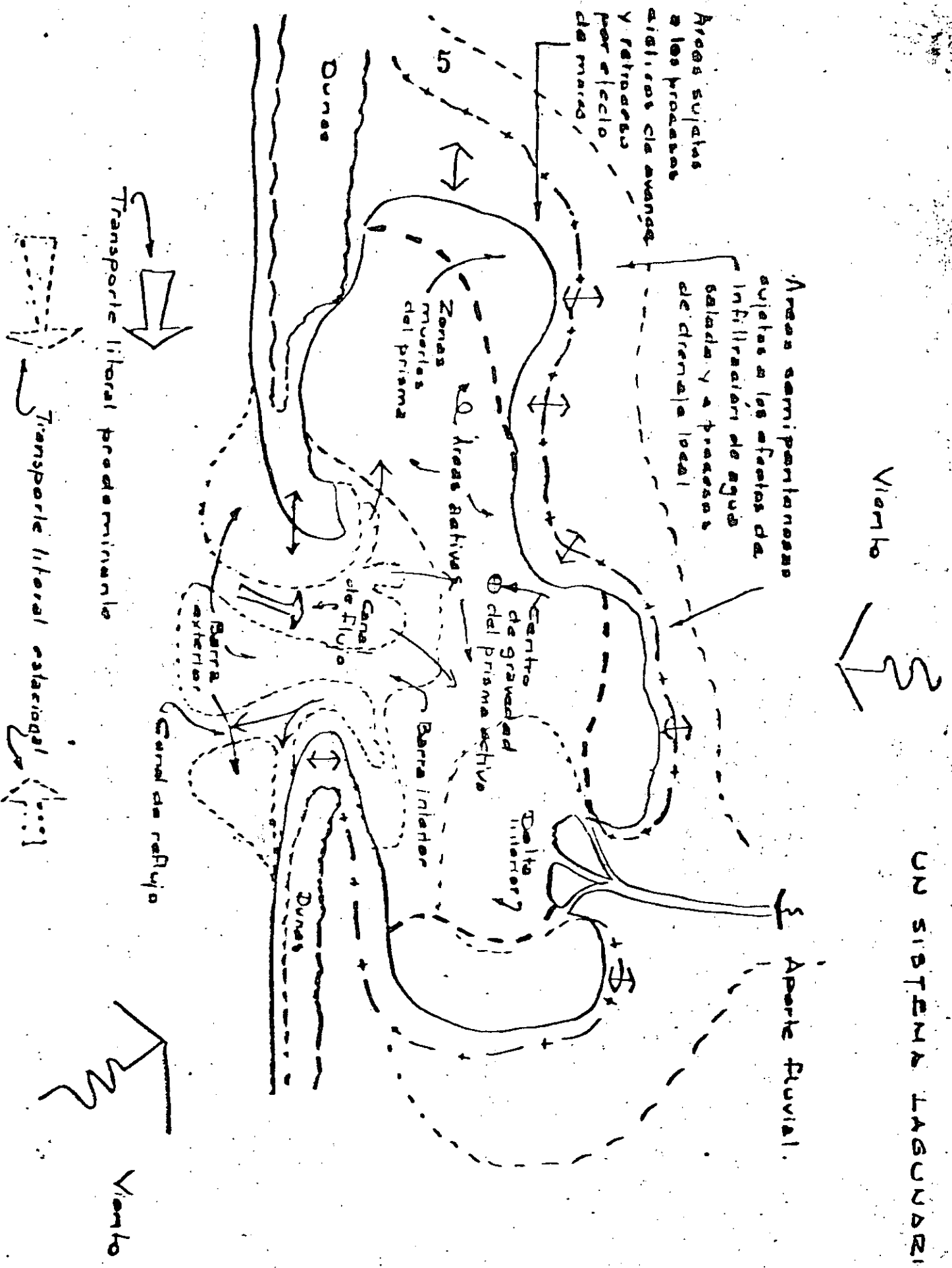
- ① CANAL DE COMUNICACION AL MAR
- ② CANAL LAGUNA — MAR
- ③ LAGUNA INTEGRADA AL ESTUARIO
- ④ LAGUNA SEPARADA DEL RIO
- ⑤ VASO PRINCIPAL, INTEGRADO POR EL RIO Y LAGUNA, SI EXISTE
- ⑥ PLANICIES DE INUNDACION, VASOS SECUNDARIOS Y MARISMAS
- ⑦ ESTEROS (OCASIONALMENTE)



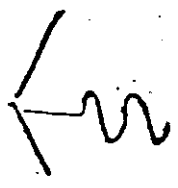
FACTORES INVOLUCRADOS EN UN SISTEMA LAGUNARIO



FACTORES INVOLUCR. OS EN UN SISTEMA LAGUNARIO



Viento



Aporte fluvial.

Transporte litoral predominante

Viento



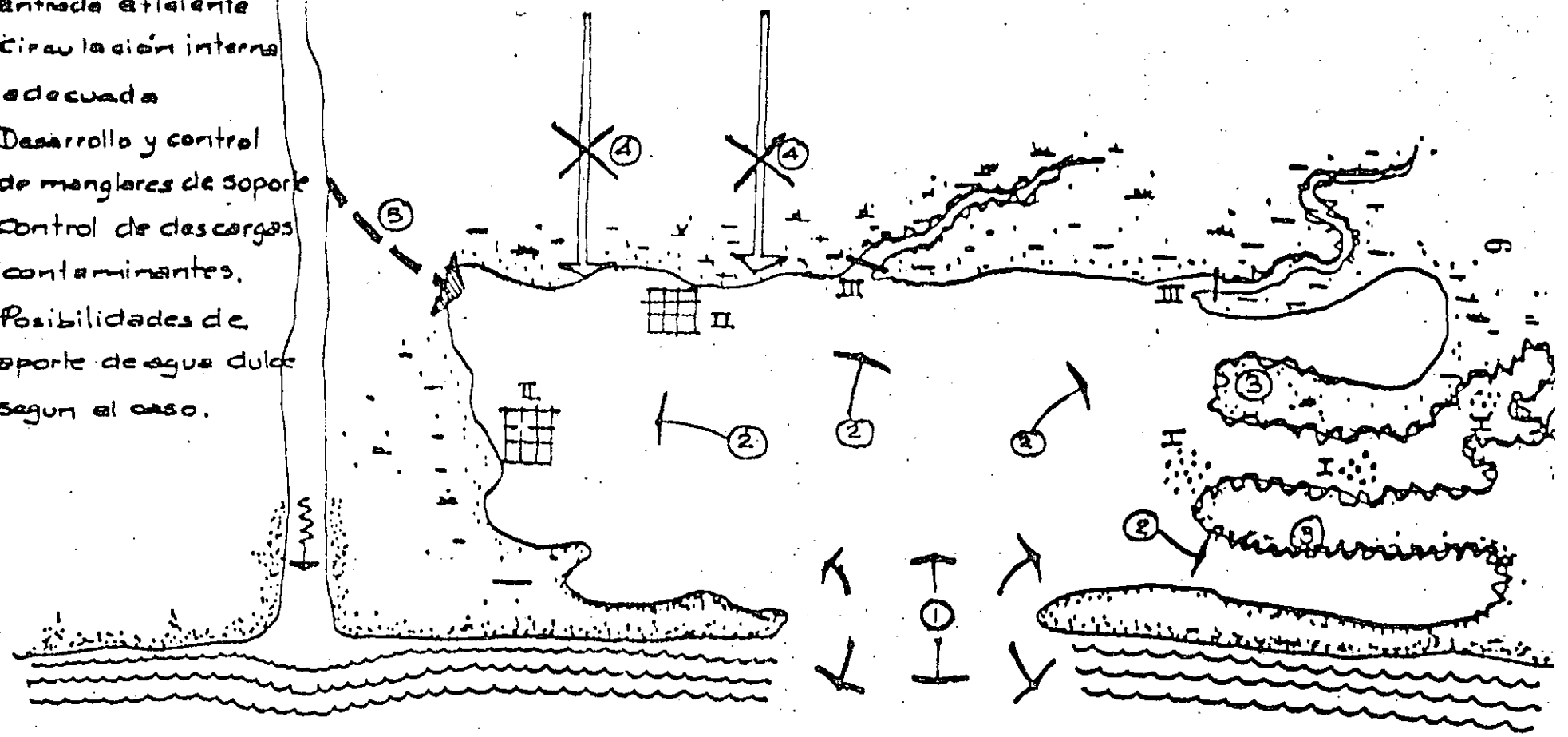
Transporte litoral estacional

# Algunos Tipos de Acuicultura.

- I. Parques ostrícolas
- II. Corrales para peces
- III. Tambakas.

Obras de Mejoramiento Ecológicas

- ① Entrada eficiente
- ② Circulación interna adecuada
- ③ Desarrollo y control de manglares de soporte
- ④ Control de descargas contaminantes.
- ⑤ Posibilidades de aporte de agua dulce según el caso.



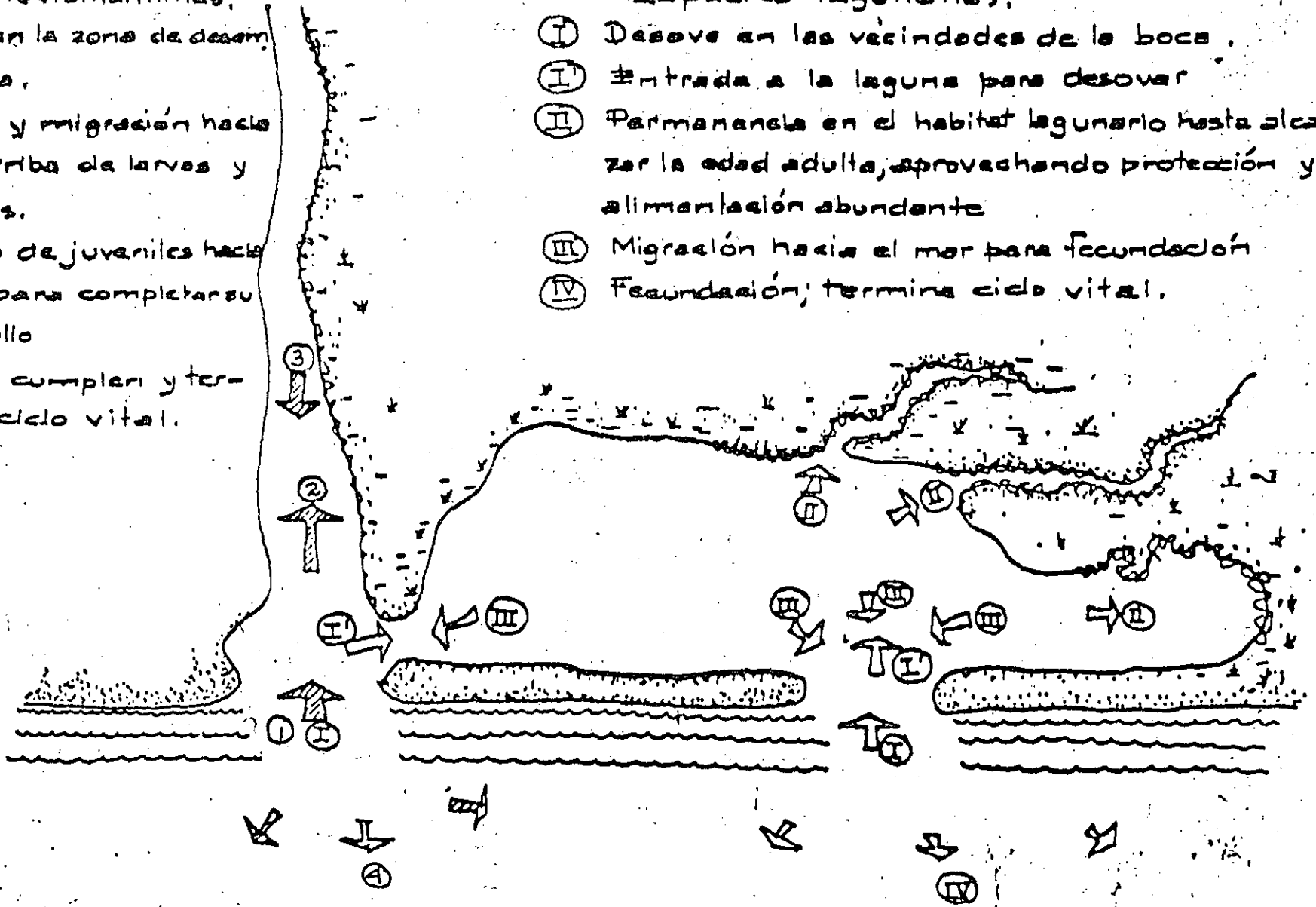
Figura

### Especies Fluviomarítimas.

- ① Desova en la zona de desem-  
bocadura.
- ② Entrada y migración hacia  
aguas arriba de larvas y  
juveniles.
- ③ Retorno de juveniles hacia  
el mar para completar su  
desarrollo.
- ④ Adultos cumplen y ter-  
minan ciclo vital.

### Especies lagunarias.

- ① Desova en las vecindades de la boca.
- ② Entrada a la laguna para desovar.
- ③ Permanencia en el habitat lagunario hasta alcan-  
zar la edad adulta, aprovechando protección y  
alimentación abundante.
- ④ Migración hacia el mar para fecundación.
- ⑤ Fecundación; termina ciclo vital.

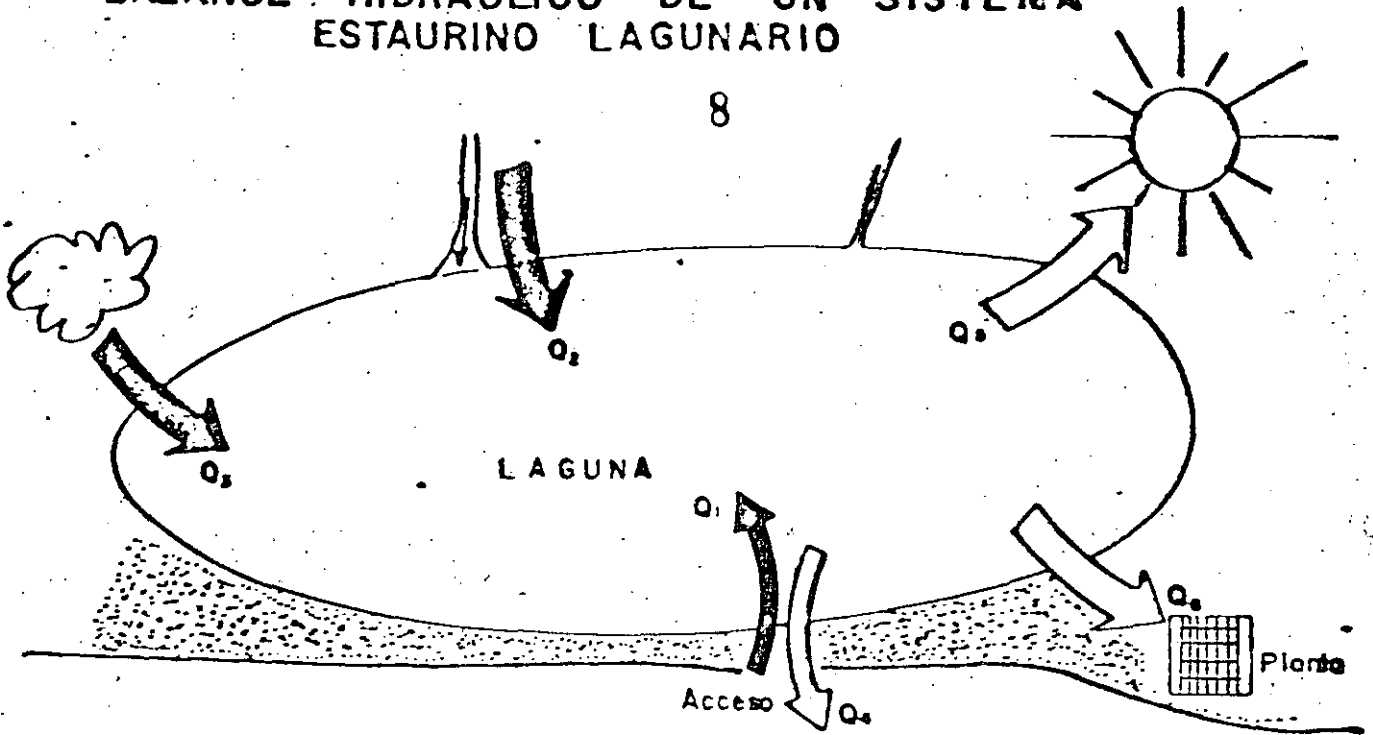


ESQUEMAS DE CICLOS VITALES.

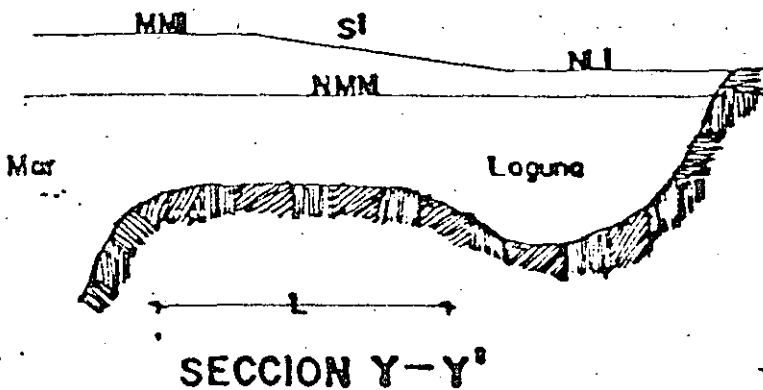
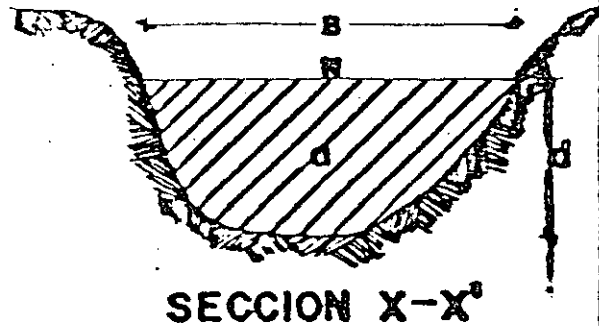
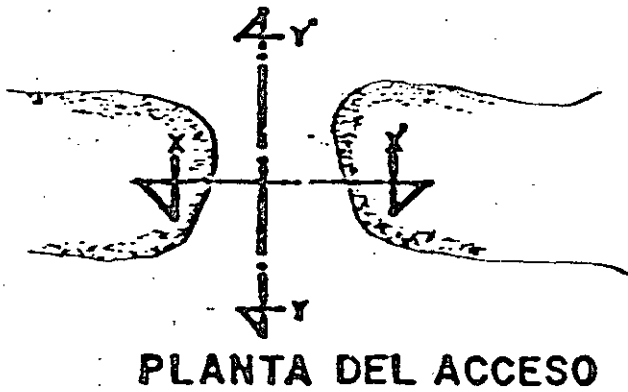
# FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL ACCESO

## BALANCE HIDRAULICO DE UN SISTEMA ESTAURINO LAGUNARIO

8

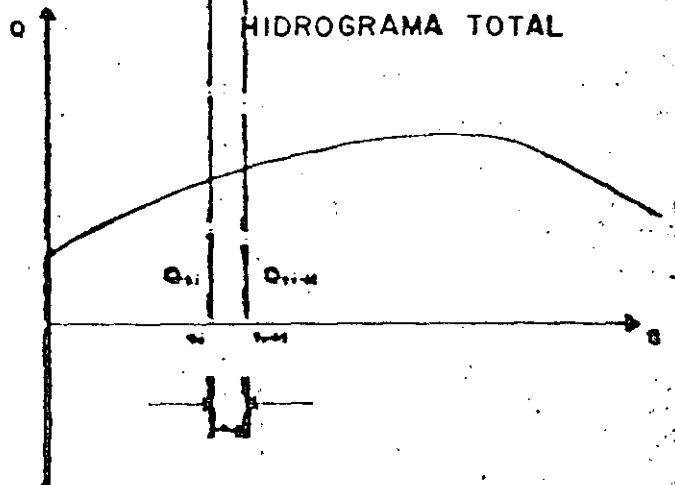
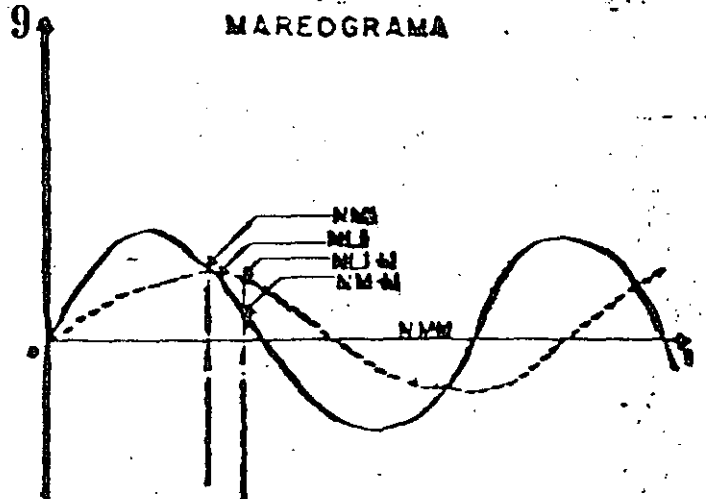
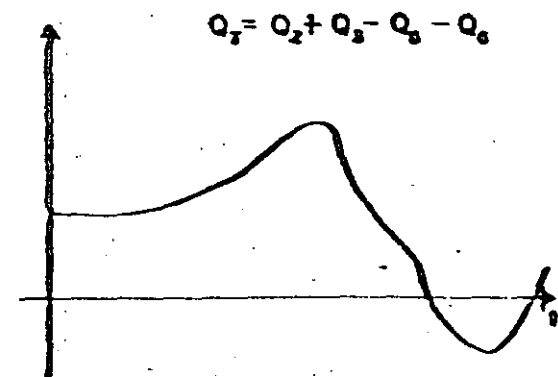
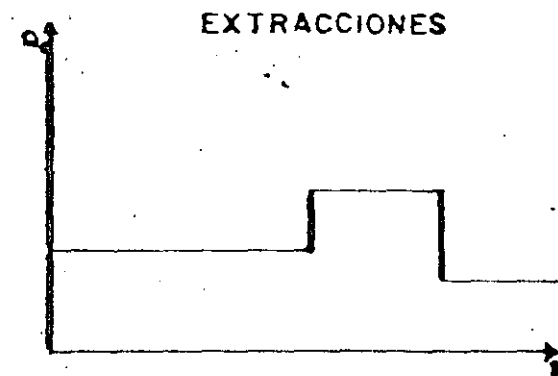
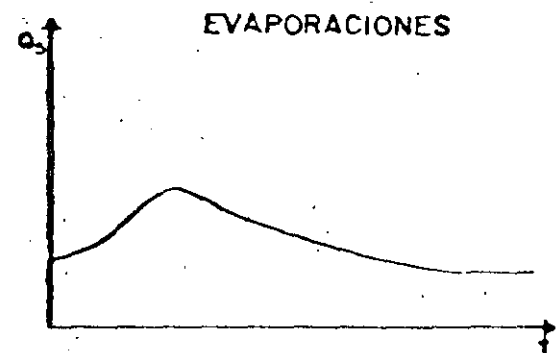
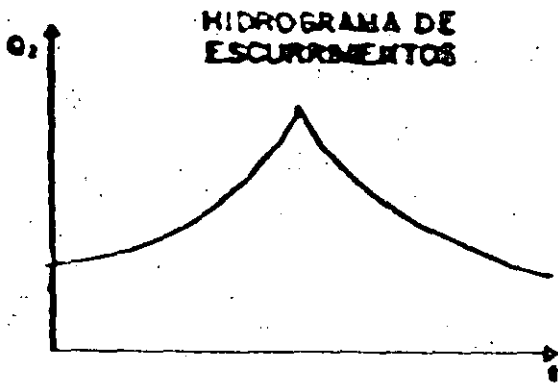


- $Q_1$  = Aportaciones en condiciones de flujo.
- $Q_2$  = Aportaciones por escurrimientos de la cuenca.
- $Q_3$  = Aportaciones por precipitación.
- $Q_4$  = Salidas por condiciones de reflujo.
- $Q_5$  = Salidas por evaporación.
- $Q_6$  = Salidas por extracción de planta u otro sistema.



### Variables

- A = Area de la laguna.
- L = Longitud del canal de acceso
- $N_{Mi}$  = Nivel del mar en el instante i
- $N_{Li}$  = Nivel de la laguna en el instante i
- a = Area de la sección transversal
- $S_i$  = Pendiente hidráulica
- r = Radio hidráulico
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning



En el instante  $i$   
 $\Delta h_i$  conduce en la laguna  
 $\Delta h_i$  del mareograma

$$S_i = \frac{\Delta h_i - \Delta h_i}{L}$$

$$V_i = \frac{1}{n} r^{2/3} S_i^{1/2} \quad Q_{mi} = V_i A$$

$$Q_i = Q_{mi} + Q_{ri} \quad \Omega_i = Q_i \Delta t$$

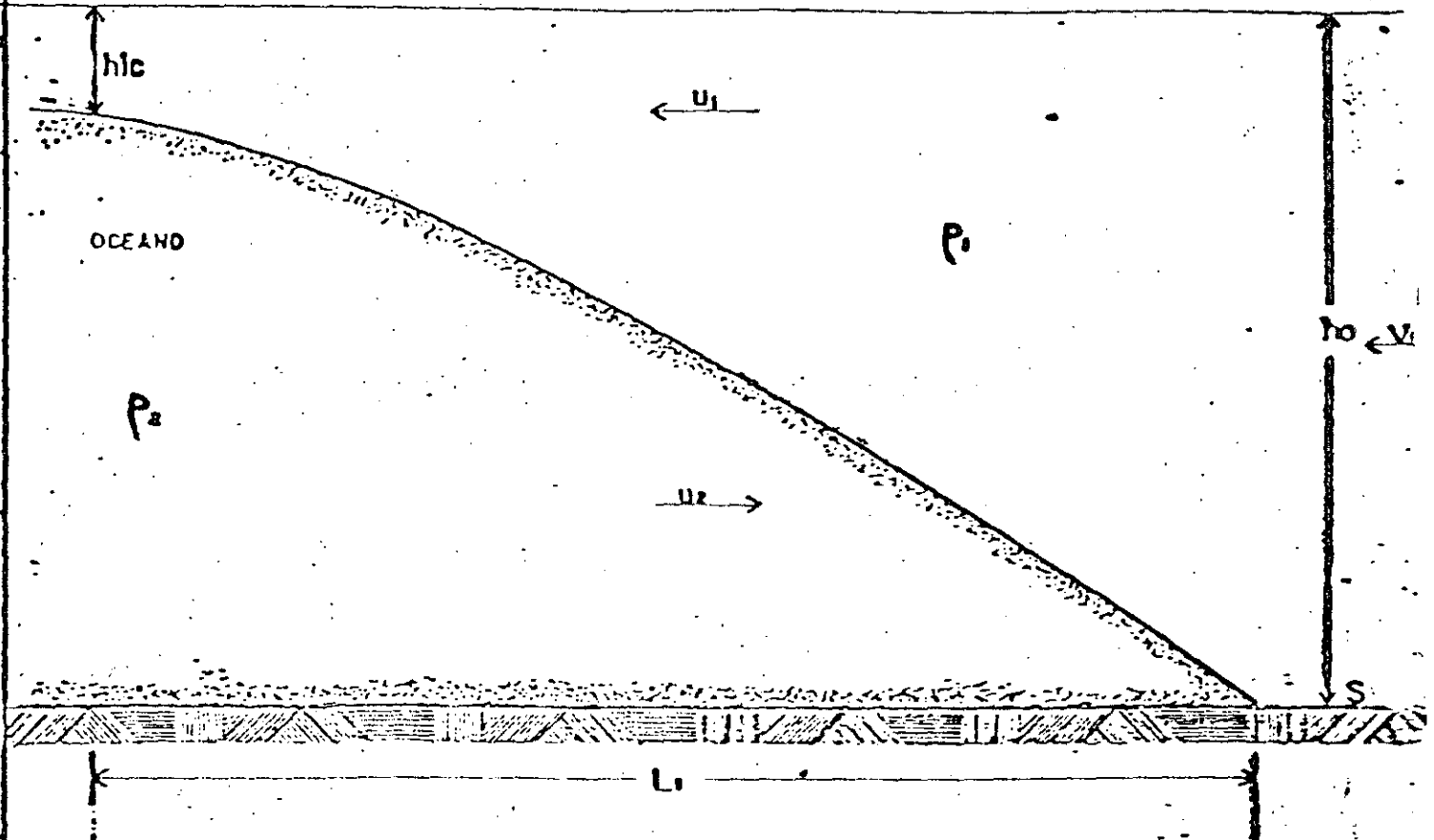
$$\Delta N h_i = \frac{\Omega_i}{A} \quad N h_{i+1} = N h_i + \Delta N h_i$$

$N h_{i+1}$  - del mareograma



# CRITERIO DE KEULEGAN

10



$$\frac{L1}{ho} = 1.061 (R)^{1/4} (F_o)^{-3/2}$$

$$R = \frac{V_a ho}{\nu} ; F_o = \frac{V_a}{\sqrt{g ho}} ; V_a = \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho_m} g ho}$$

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

$$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$$

$$h1c = \frac{g^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho_m} g}$$

$$\rho_2 = \frac{\gamma}{g}$$

$$\rho_1 = 105 \text{ O.T.H.}$$

$$\rho_2 = 102 \text{ O.T.H.}$$

$$R = \frac{g}{\nu}$$

$$\nu = 0.087 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

nomenclatura

- $V_a$  = velocidad densimetrica
- $\nu$  = viscosidad cinematica
- $\rho$  = densidad del fluido
- $\Delta \rho$  = diferencia de densidades



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

DETERMINACION DE OLAS EXTREMAS

ING. LUIS SALINAS QUINARD

NOVIEMBRE, 1985.

## Determinación de olas extremas

Cuando se diseña una estructura para resistir la acción del oleaje, es importante predecir el estado del mar más severo al cual la estructura puede estar expuesta. Las estadísticas ordinarias que tratan con las propiedades de datos aleatorios dispersos alrededor de un valor central no son muy útiles cuando se está especialmente interesado en el comportamiento de valores que están localizados lejos del medio, como sucede cuando se trata de predecir las características de olas extremas. Para este fin se necesita un conjunto de métodos estadísticos -- especialmente diseñados para tratar la ocurrencia de eventos raros más bien que de las desviaciones normales.

### Distribuciones asintóticas de Gumbel

Las distribuciones de probabilidades de los valores extremos de una variable han sido estudiados por varios matemáticos, en especial Gumbel, que hizo la primer recolección de las técnicas. El núcleo del trabajo de Gumbel es un conjunto de tres distribuciones asintóticas, de éstas la primera (algunas veces llamada de distribución Fisher-Tippett Tipo 1) ha sido usada extensamente en predicciones meteorológicas.

Devenport ha hecho una defensa de su adopción, como un método estandar de análisis en Canada. Bell lo ha usado para analizar registros de viento en Hong Kong. Wittingham lo ha usado en el estudio de vientos extremos en Australia. Court analizó velocidades de viento en 25 localidades en los Estados Unidos, y ha encontrado una buena concordancia entre la teoría y la observación. Estas son simplemente unas pocas referencias. La primera distribución asintótica ha sido también aplicada a olas y al movimiento de barcos, y a intensidades de esfuerzos

torno de/ diseño largos:

$$T_1 = -T_d \ln(1-R)$$

donde R es el riesgo. Para períodos de retorno de diseño largos y bajos riesgos

$$T_d = T_1/R$$

Como ejemplo considerese el caso para el cual los valores de rango más altos de altura de ola ( $i = 1$  a  $10$ ) están anotados en la Tabla 5-2 y para los cuales se obtienen los siguientes valores:

Número de observaciones,  $N = 100$

Altura media de la ola  $x_N = 5.80$  ft

Desviación estandar,  $\sigma_N = 1.46$  ft

Variancia,  $\sigma_N^2 = 2.12$  ft<sup>2</sup>

La tabla indica también los valores de la variable reducida -- "y" que corresponde a cada punto de datos, la gráfica se da en la figura 5-2.

La pendiente es

$$a = (\pi/\sqrt{6})/1.46 = 0.88$$

La moda es

$$u = 5.80 - 0.5772/0.88 = 5.14 \text{ (ft)}$$

La línea de valores extremos esperados es :

$$x = 5.14 + y/0.88 \text{ (ft)}$$

y

$$a\sqrt{N} = (0.88) (10) = 8.8$$

Las bandas de confianza para la distribución de puntos de datos están calculadas en la tabla 5-2. Las bandas de confianza para el valor extremo son:

(a) Una desviación estandar (68.3% de confianza)

$$x = 1.140/0.88 = 1.29 \text{ (ft)}$$

(b) Dos desviaciones estandar (confianza de - - 95.5%)

$$x = 3.07/0.88 = 3.49 \text{ (ft)}$$

Tabla 5-2

Valores de rango más altos de altura de ola

Orden $i$	Altura de ola $x$ (ft.)	Probabilidad		Viable reducida $-k[-k(p)]$
		$p$ $(N-i)/N$	$-\ln(p)$	
1	10.4	.99	0.01005	4.61
2	9.2	.98	0.02020	3.91
3	8.8	.97	0.03046	3.49
4	8.6	.96	0.04082	3.20
5	8.6	.95	0.05129	2.97
6	8.2	.94	0.06188	2.78
7	8.2	.93	0.07257	2.62
8	8.0	.92	0.08338	2.48
9	7.8	.91	0.09431	2.36
10	7.8	.90	0.10536	2.25

Los períodos de retorno están dibujados para el valor de la variable reducida dado por

$$y = \ln(T_r - 1/2)$$

La figura 5-2 se interpreta como sigue: hay una confianza de 50% de que una altura de ola de 10.36 ft no será excedida en un período de retorno de 100 años. Esta confianza se incrementa a 68.3% para una altura de ola de 11.65 ft y a 95.5% para una altura de 13.85 ft.

Considérese una estructura diseñada para una vida útil de 100 años. Si el riesgo de exceder una altura de ola máxima es 10%, el período de retorno es:

$$T_d = \frac{100}{\ln(1-0.1)} = 949 \text{ años}$$

En este caso

$$y = 6.86$$

Hay una confianza de 50% en un riesgo de 10% de exceder una altura de ola de

$$\bar{x} = 5.14 + 6.86/0.88 = 12.94 \text{ ft}$$

Esta confianza se incrementa a 68.3% para una altura de ola de:

$$12.94 + 1.29 = 14.23 \text{ ft}$$

y a 95.5% para alturas de ola de:

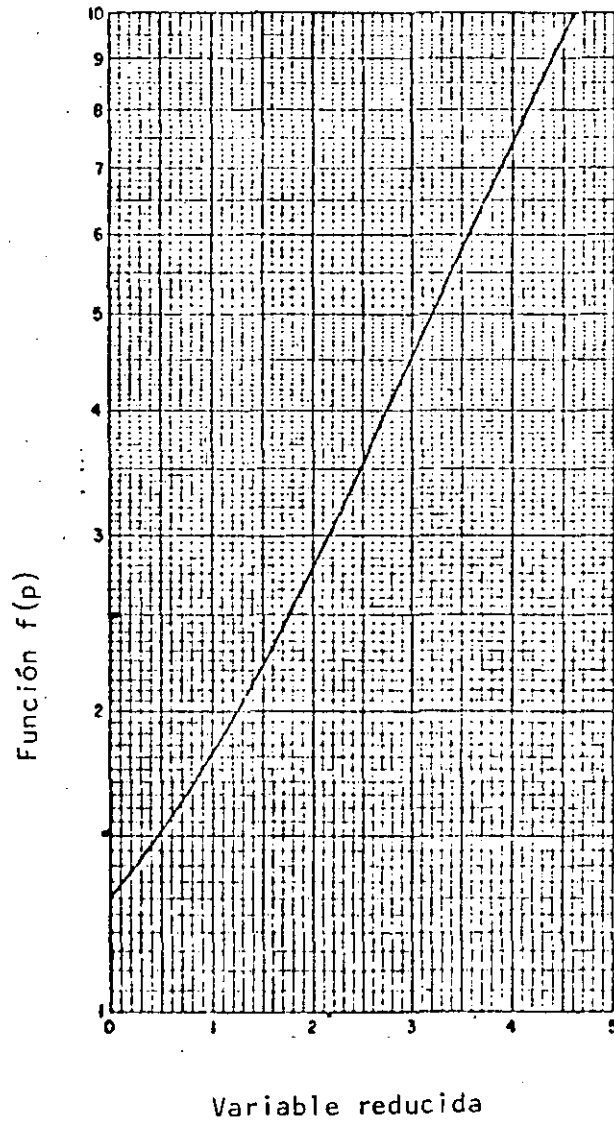
$$12.94 + 3.49 = 16.43 \text{ ft}$$

Referencias:

## REFERENCES

1. Bell, G. J. "Surface Winds in Hong Kong Typhoons." U.S.-Asian Weather Symposium, February 1961.
2. Court, A. "Wind Extremes as Design Factors," *Journal of the Franklin Institute*, 256 (1953), 39.
3. Davenport, A. G. "Wind Loads on Structures," Tech. Paper No. 88, Division of Building Research, Ottawa, March, 1960.
4. Gumbel, E. J. *Statistics of Extremes*. New York: Columbia Univ. Press, 1958.
5. Jasper, N. H. "Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and of Wave-induced Ship Stresses and Motions with Engineering Applications." *Trans. Society of Naval Architects and Marine Engineers*. (New York, 1956), pp. 375-432.
6. Whittingham, H. E. "Extreme Wind Gusts in Australia," Commonwealth of Australia, Bureau of Meteorology, Bulletin No. 46, 1964.

FIGURA 5.1





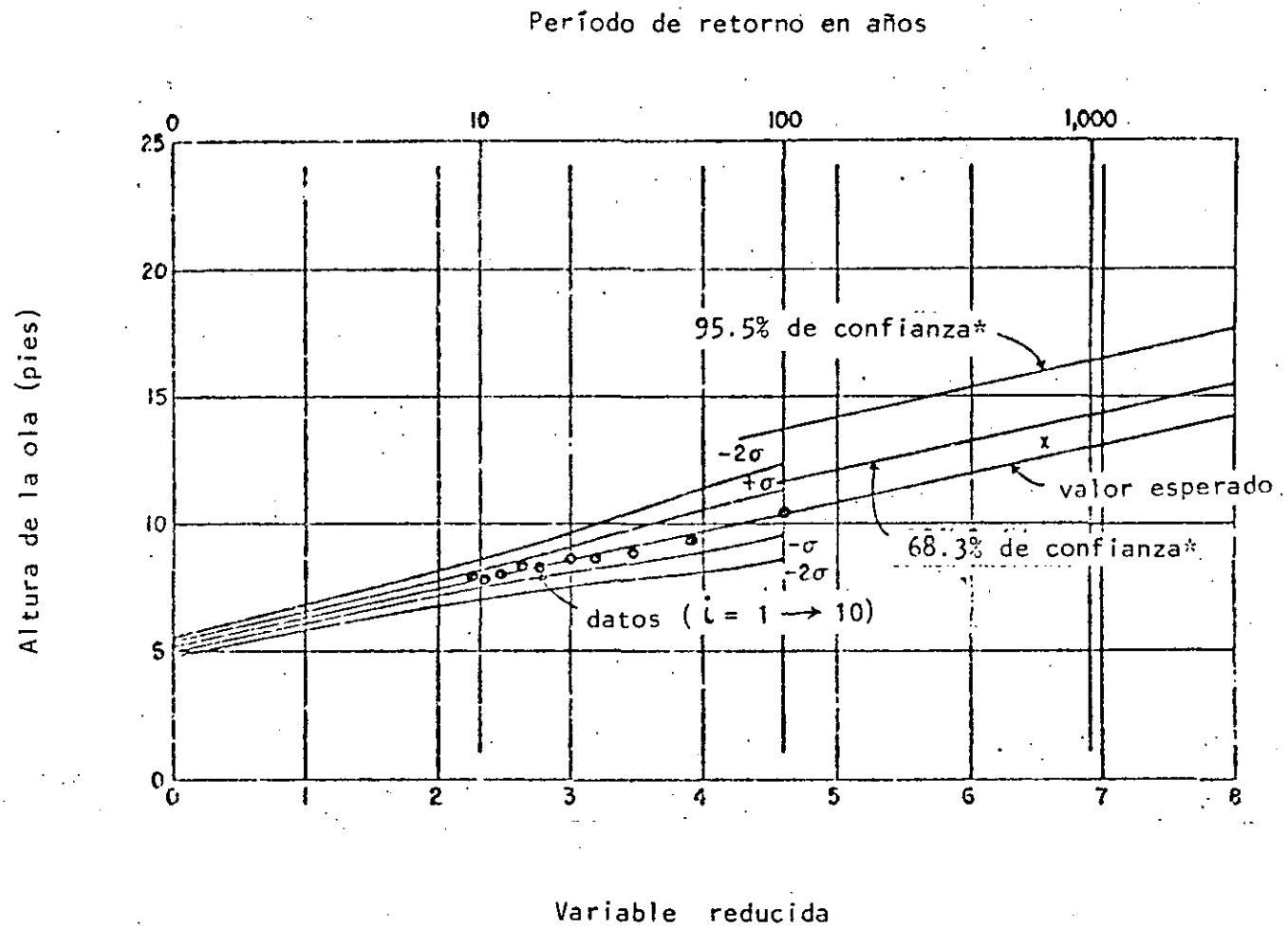
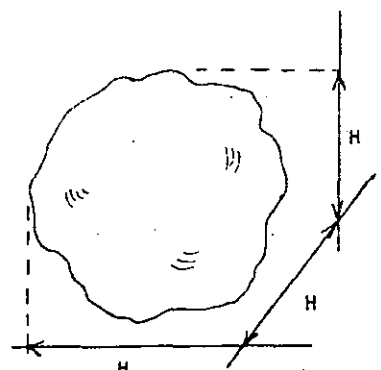
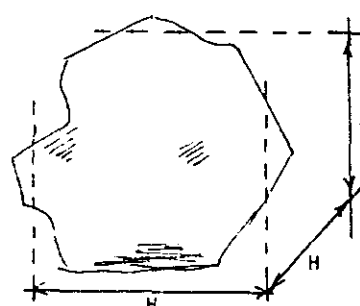
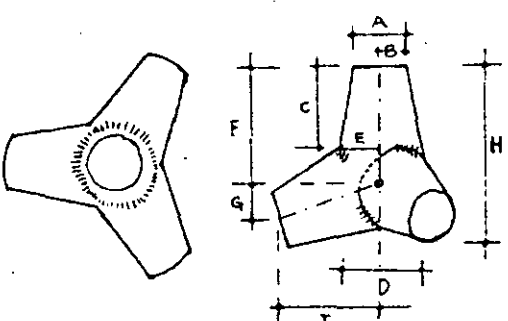
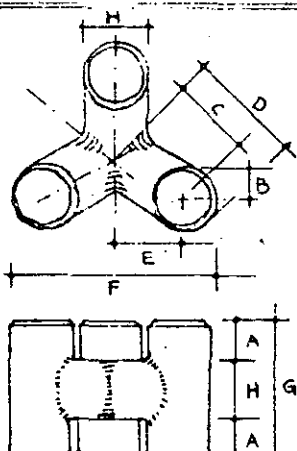
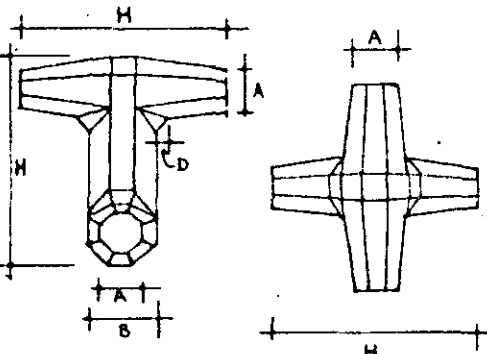
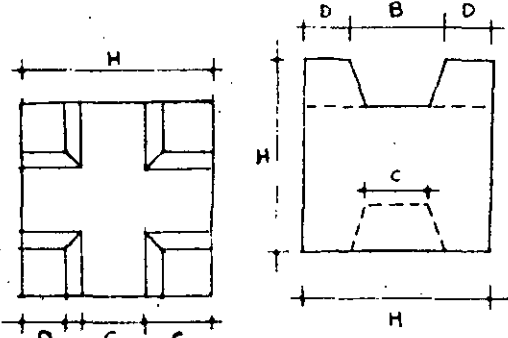


Fig. 5.2

\* confianza de que la altura de la ola no rebase esos valores

ELEMENTO CONSTITUTIVO DE LA CORAZA	DIMENSIONES APROX. DEL ELEMENTO EN FUNCION DE SU PESO				N° CAPAS	COLOCACION	VALORES K <sub>D</sub> (SIN DAÑO)					COEFICIENTE DE CAPA Y POROSIDAD												
	PESO	H*	VOLUMEN	DIMENSION			TRONCO		MORRO			K <sub>Δ</sub>	P (%)											
							OLA ROMP.	NO ROMP.	OLA ROMP.	NO ROMP.	TALUD COT θ													
ROCA REDONDA 	5000	1.26	H <sup>3</sup> (prom.)	A	2	AL AZAR	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3	1.02	38											
	7500	1.45		B																				
	10000	1.60		C																				
	12500	1.72		D																				
	15000	1.83		E																				
	17500	1.93		F																				
	20000	2.01		G																				
	25000	2.17		I																				
	Para n = 1, K = 1.02 y Peso esp. de la roca = 2.6 Ton/m <sup>3</sup>																							
	ROCA ANGULOSA 	5000		1.43										H <sup>3</sup> (prom.)	A	1	AL AZAR	2.9	2.9	2.3	1.5 a 3	1.15	37	
7500		1.64	B																					
10000		1.80	C																					
12500		1.94	D																					
15000		2.06	E																					
17500		2.17	F																					
20000		2.27	G																					
25000		2.45	I																					
Para n = 1, K = 1.15 y peso esp. de la roca = 2.6 Ton/m <sup>3</sup>																								
TETRAPODOS 		5000	1.98	0.280 H <sup>3</sup>	A	2	AL AZAR	7.2	8.3	5.5	6.1	2.0	1.04		50									
	7500	2.35	B																					
	10000	2.59	C																					
	12500	2.78	D																					
	15000	2.96	E																					
	17500	3.12	F																					
	20000	3.26	G																					
	25000	3.51	I																					
	Concreto ciclópeo: 2.3 Ton/m <sup>3</sup>																							

ELEMENTO CONSTITUTIVO DE LA CORA	DIMENSIONES APROXIMADAS DEL ELEMENTO EN FUNCIONES DE PESO				Nº CAPAS	COLOCACION	VALORES $K_D$ (SIN DAÑO)					COEFICIENTE DE CAPA Y POROSIDAD													
	PESO	H <sup>2</sup>	VOLUMEN	DIMENSION			TRONCO		MORRO		TALUD	K	P (%)												
							OLA ROMP.	NO ROMP.	OLA ROMP.	NO ROMP.				COT θ											
TRIBAR 	5000	0.69	6.48 H <sup>3</sup>	A	0.5 H	2	AL AZAR	9.0	10.4	7.8	8.5	2.0	1.02	54											
	7500	0.80		B	0.5 H																				
	10000	0.88		C	1.25 H																				
	12500	0.94		D	1.75 H																				
	15000	0.00		E	1.08 H																				
	17500	1.05		F	3.16 H																				
	20000	1.10		G	2.0 H																				
	25000	1.19		I																					
	* Aproximadamente (para fines de ante proyecto)																								
	DOLOS 	5000		2.39	0.16 H <sup>3</sup>										A	0.20 H	2	AL AZAR	22.0	25.0	15.0	16.5	2.0	1.00	63
7500		2.73	B	0.32 H																					
10000		2.01	C																						
12500		3.24	D	0.057 H																					
15000		3.44	E																						
17500		3.62	F																						
20000		3.79	G																						
25000		4.08	I																						
CUBO MODIFICADO 		5000	1.41	0.781 H <sup>3</sup>		A		2	AL AZAR	6.8	7.8	4.0	5.0	1.5	1.10	47									
		7500	1.61			B	0.502 H																		
	10000	1.77	C		0.335 H																				
	12500	1.91	D		0.249 H																				
	15000	2.03	E																						
	17500	2.14	F																						
	20000	2.23	G																						
	25000	2.41	I																						

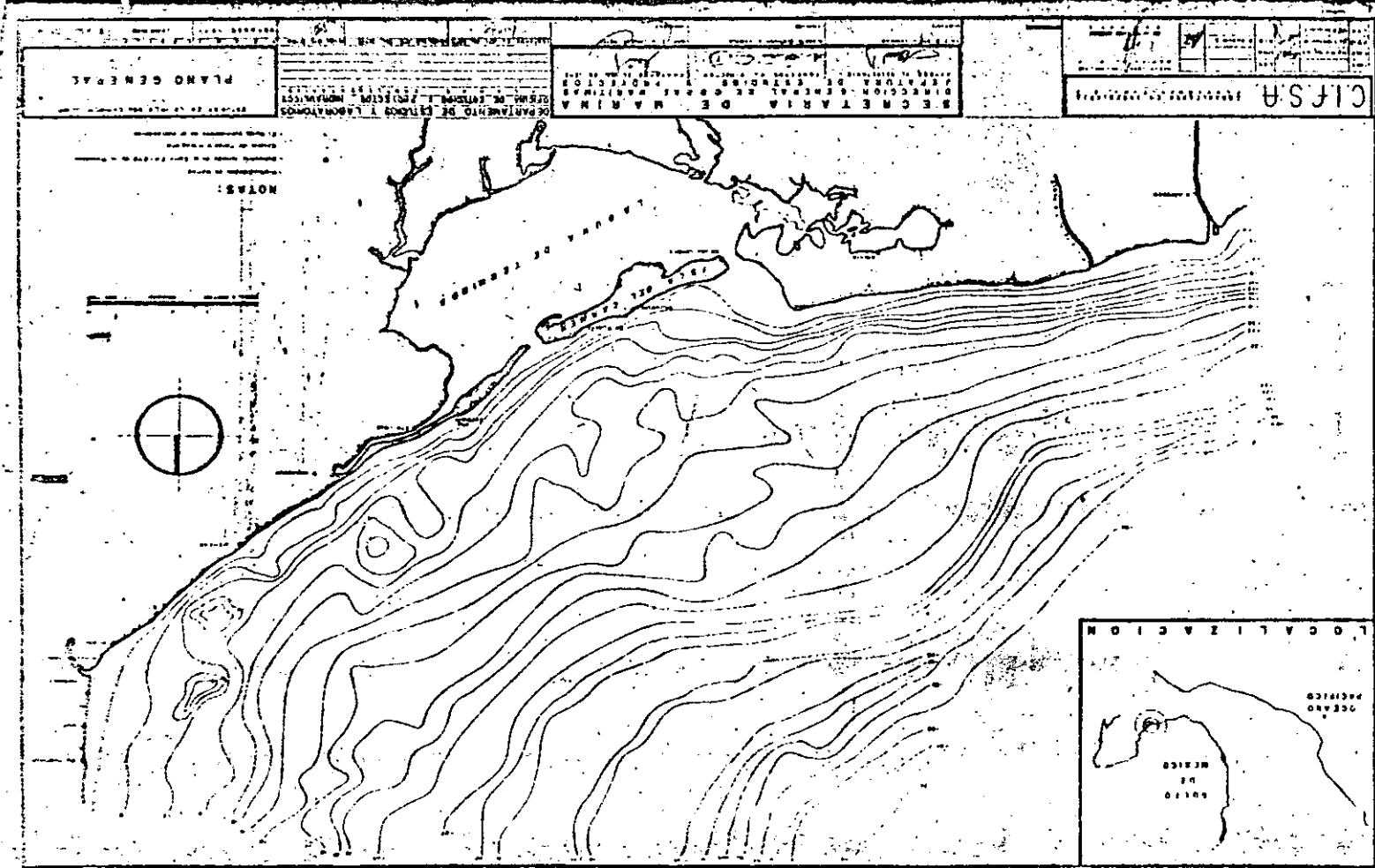


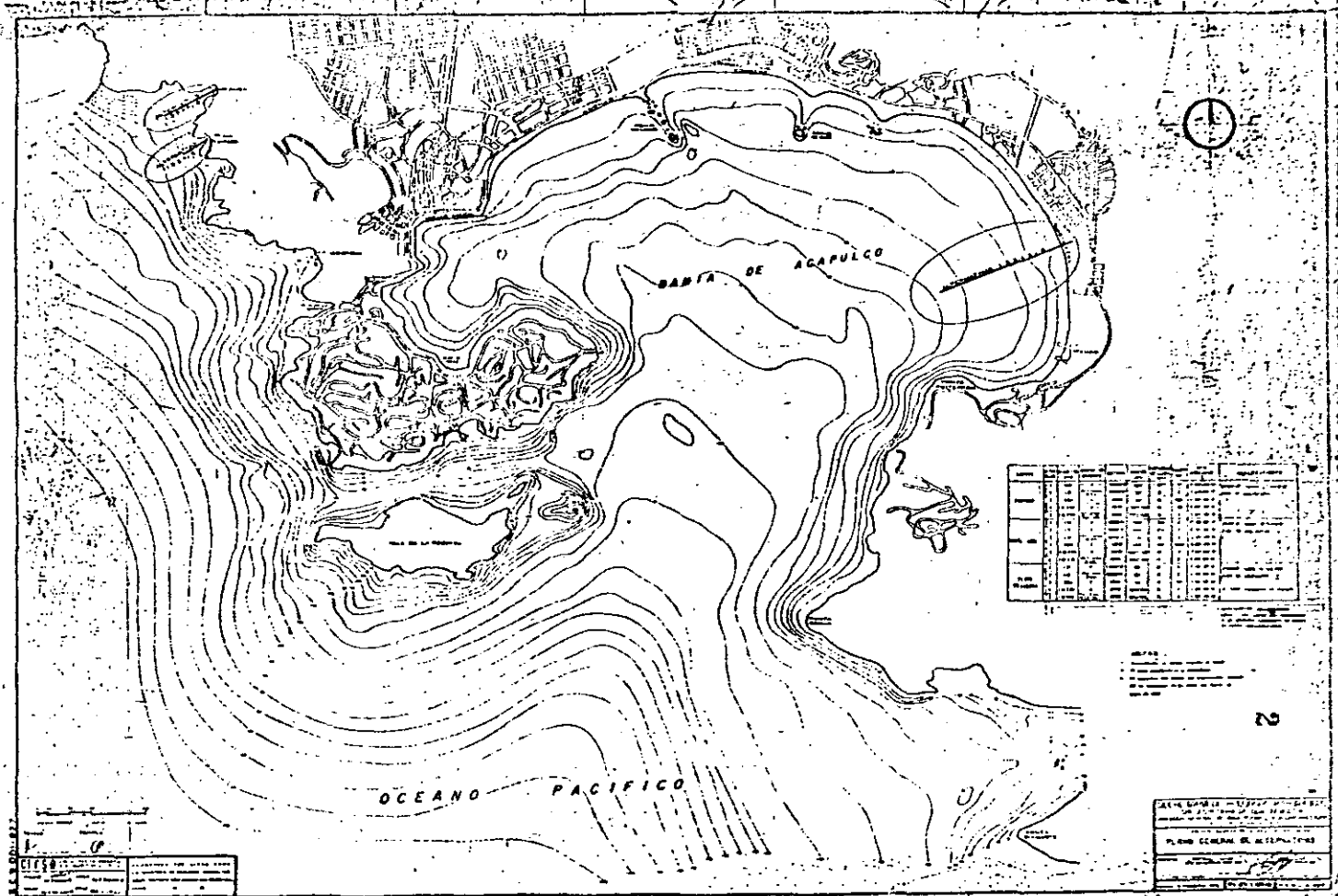
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

TEMA: CASOS PRACTICOS.

NOVIEMBRE, 1985.



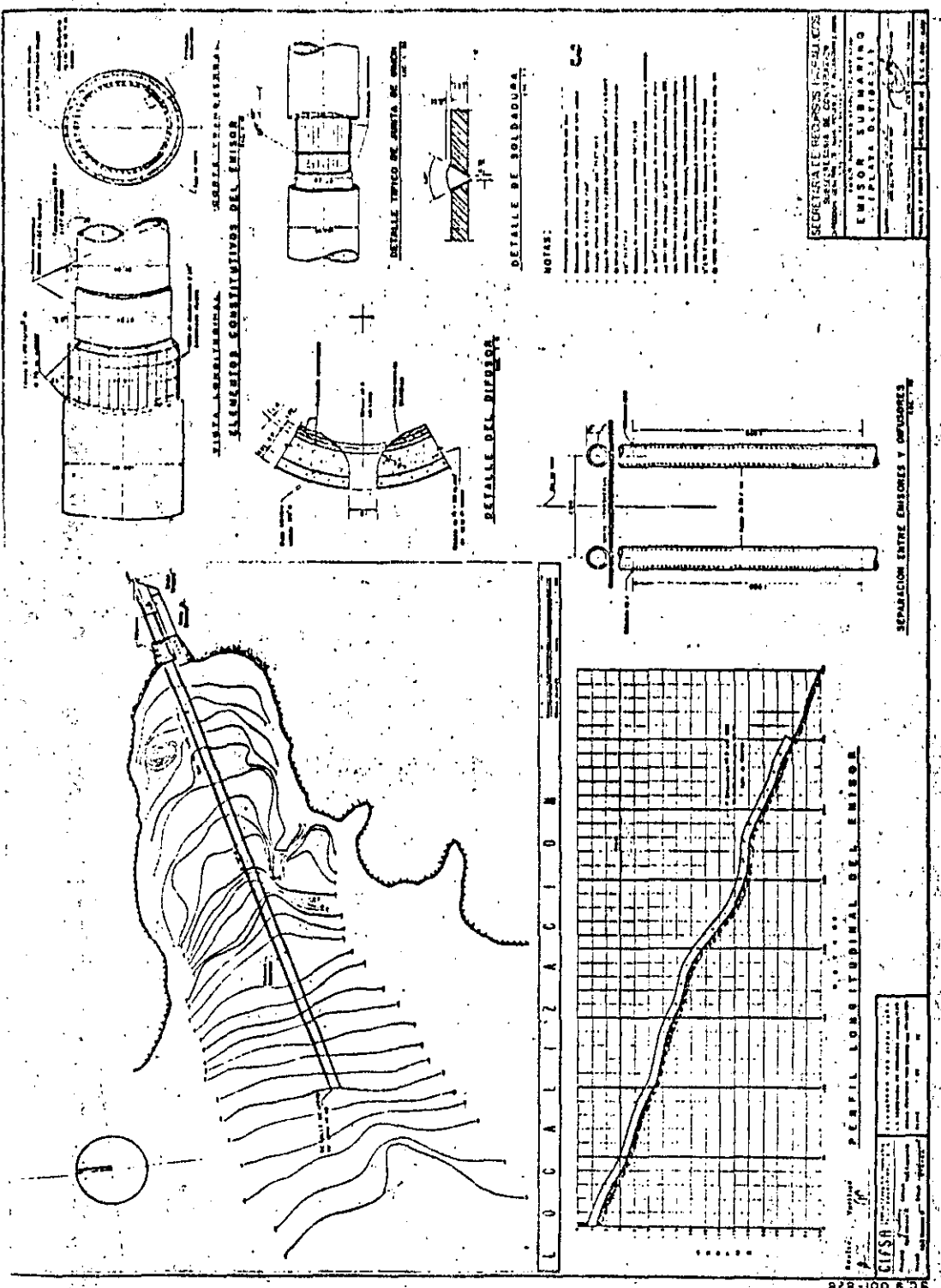


CIESA  
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
 DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA  
 DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA DE LA ZONA NOROCCIDENTAL  
 DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA DE LA ZONA OCCIDENTAL  
 DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA DE LA ZONA CENTRAL  
 DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA DE LA ZONA ORIENTAL

Altura	Color	Simbol
0	Verde	—
100	Verde claro	—
200	Verde	—
300	Verde oscuro	—
400	Verde muy oscuro	—
500	Azul verdoso	—
600	Azul claro	—
700	Azul	—
800	Azul oscuro	—
900	Azul muy oscuro	—
1000	Negro	—

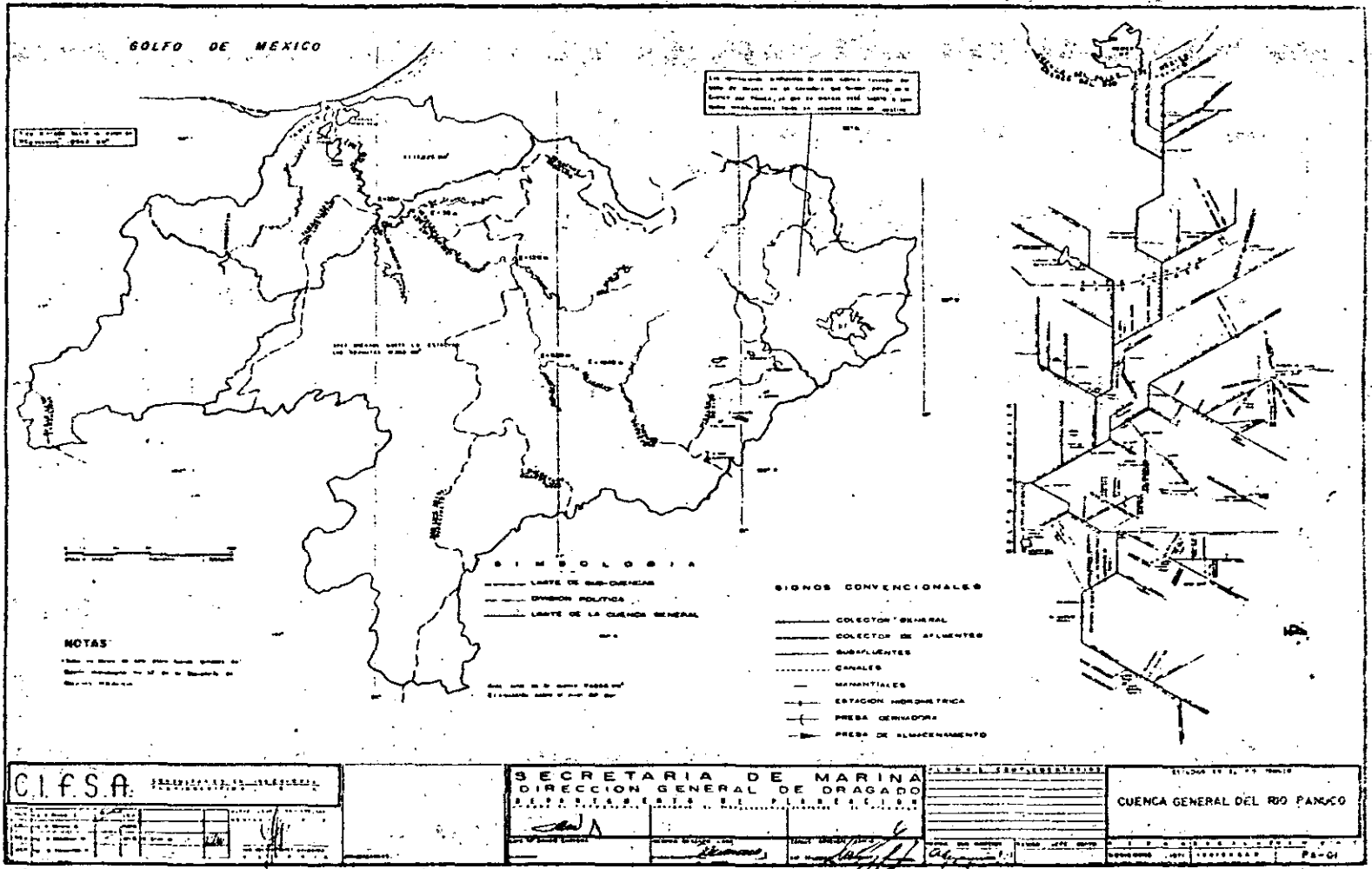
ALIC. 10.111 - 10/11/1957  
 PLANO GENERAL DE ACAPULCO  
 1:50,000

2



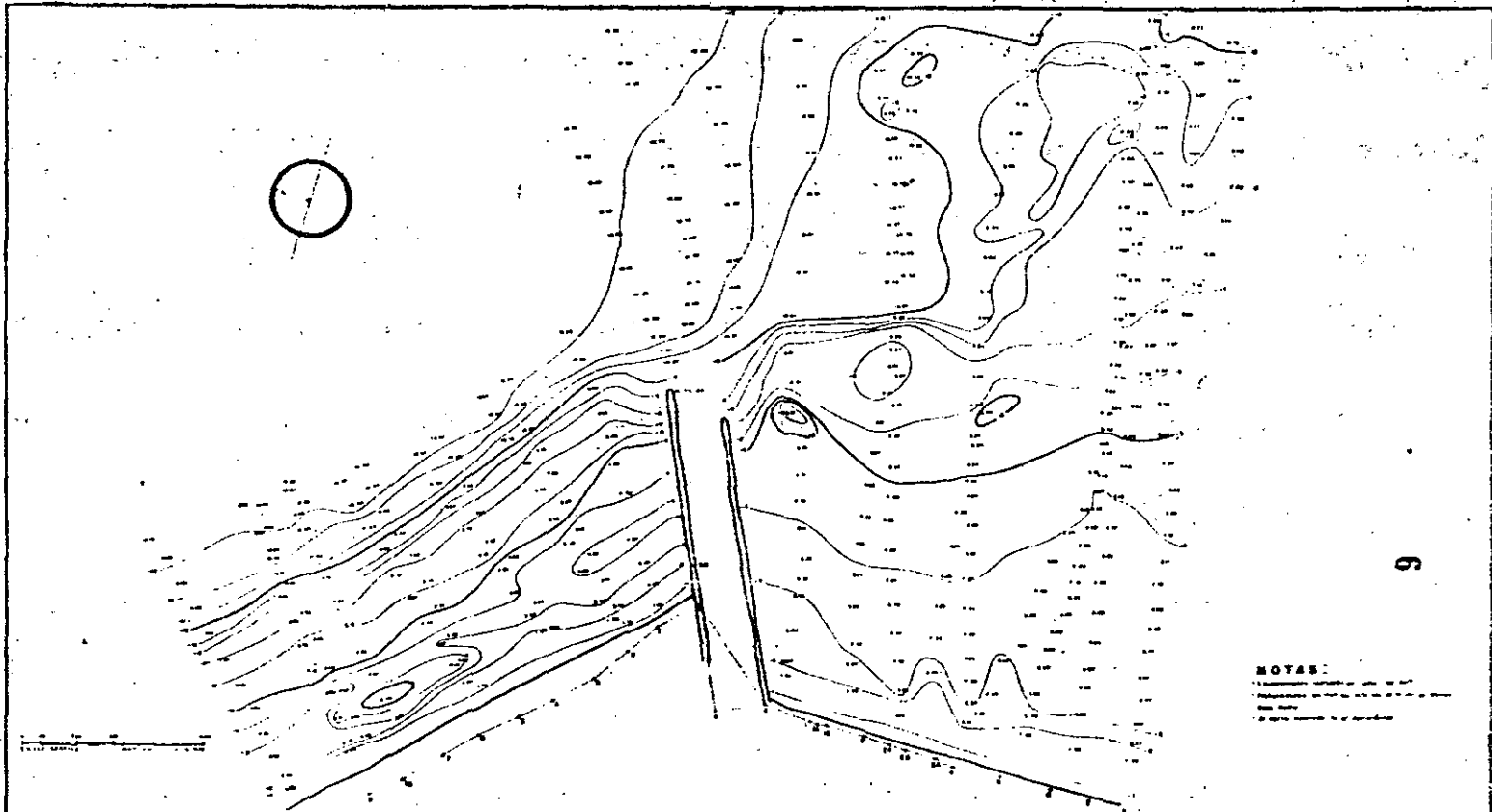
SECRETARIA DE PROYECTOS MECANICOS  
 SUBCOMANDO EN JEFE FUERZA ARMADA ARGENTINA  
 EMISOR SUBMARINO  
 ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA

9-9 901-828  
 C.I.S.A.  
 PERFIL LONGITUDINAL DEL EMISOR









9

NOTAS:  
 - Líneas sólidas: batimetría  
 - Líneas punteadas: batimetría  
 - Líneas de puntos: batimetría

C.I.F.S.A.

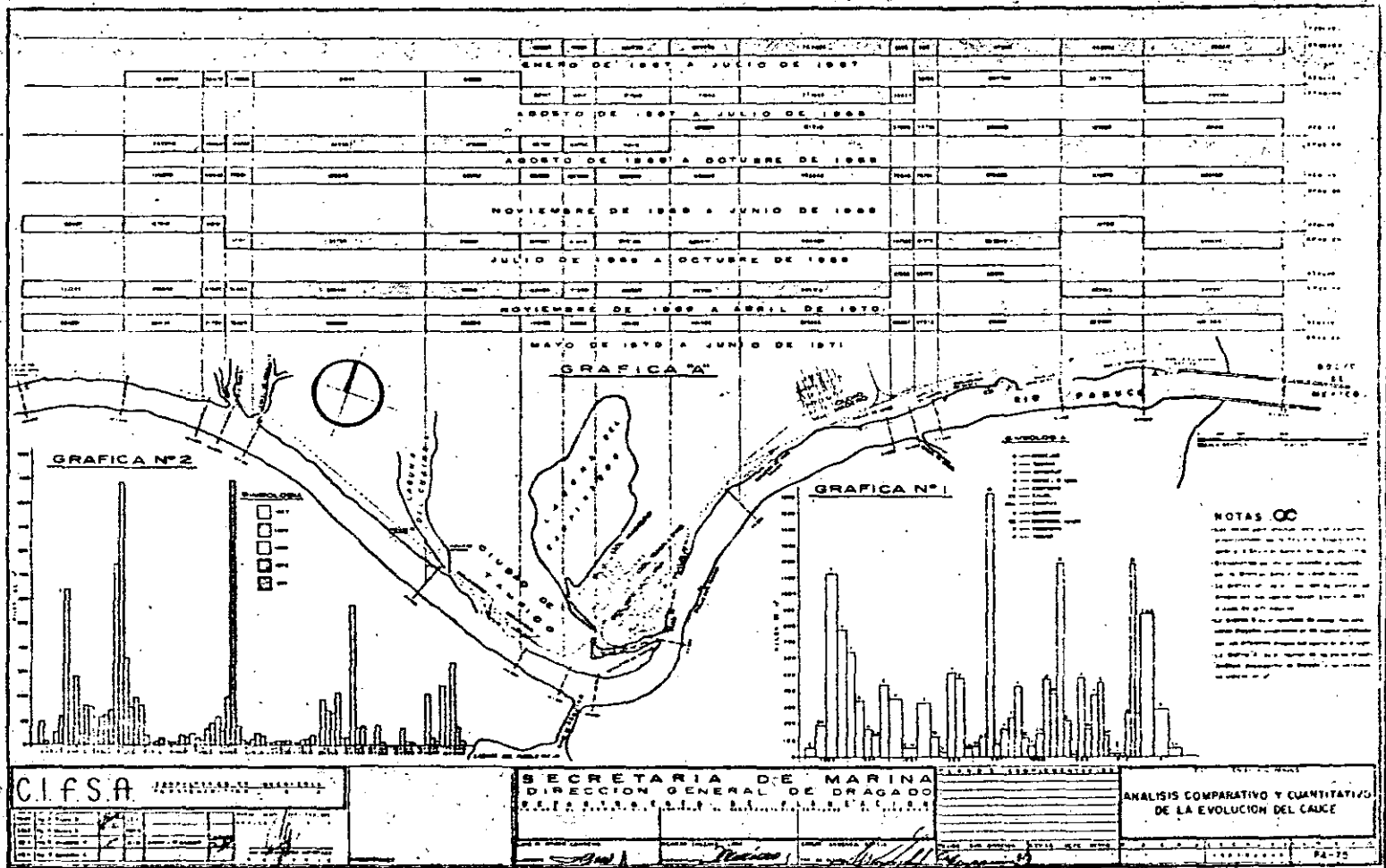

SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE DRAGADO



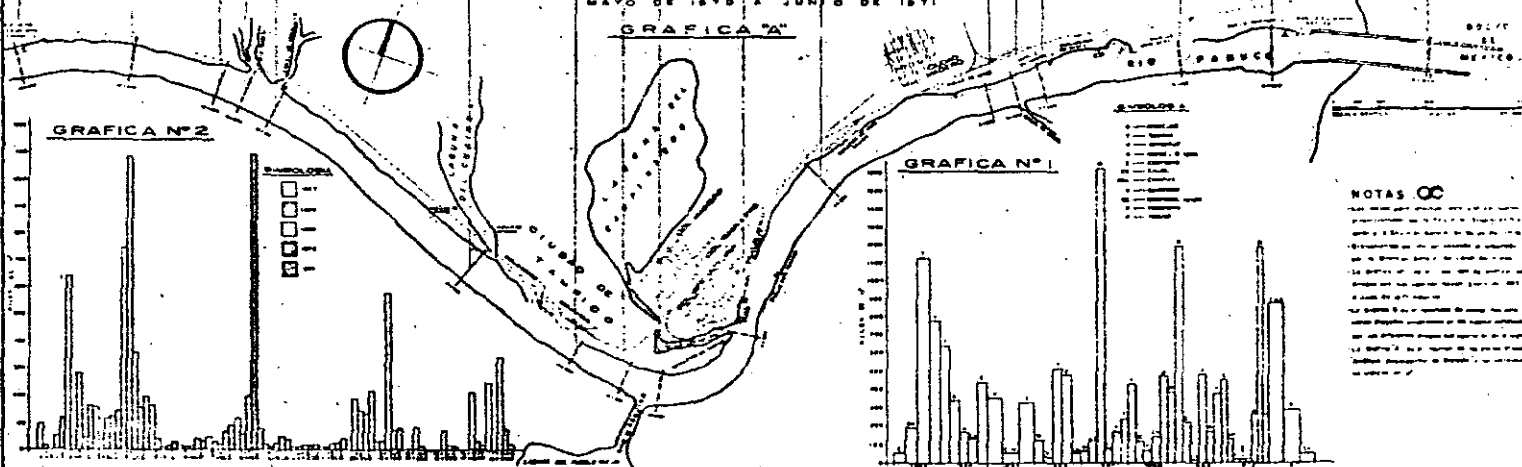
LEVANTAMIENTO BATIMETRICO  
 FRENTE MARITIMO  
 JULIO DE 1971

PA-02





ENERO DE 1967 A JULIO DE 1967											
ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											



C.I.F.S.A.									
ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE DRAGADO  
ESTACIONES DE MEDICION DEL CAUCE DEL RIO PASADIZO

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

ANALISIS COMPARATIVO Y CUANTITATIVO  
DE LA EVOLUCION DEL CAUCE

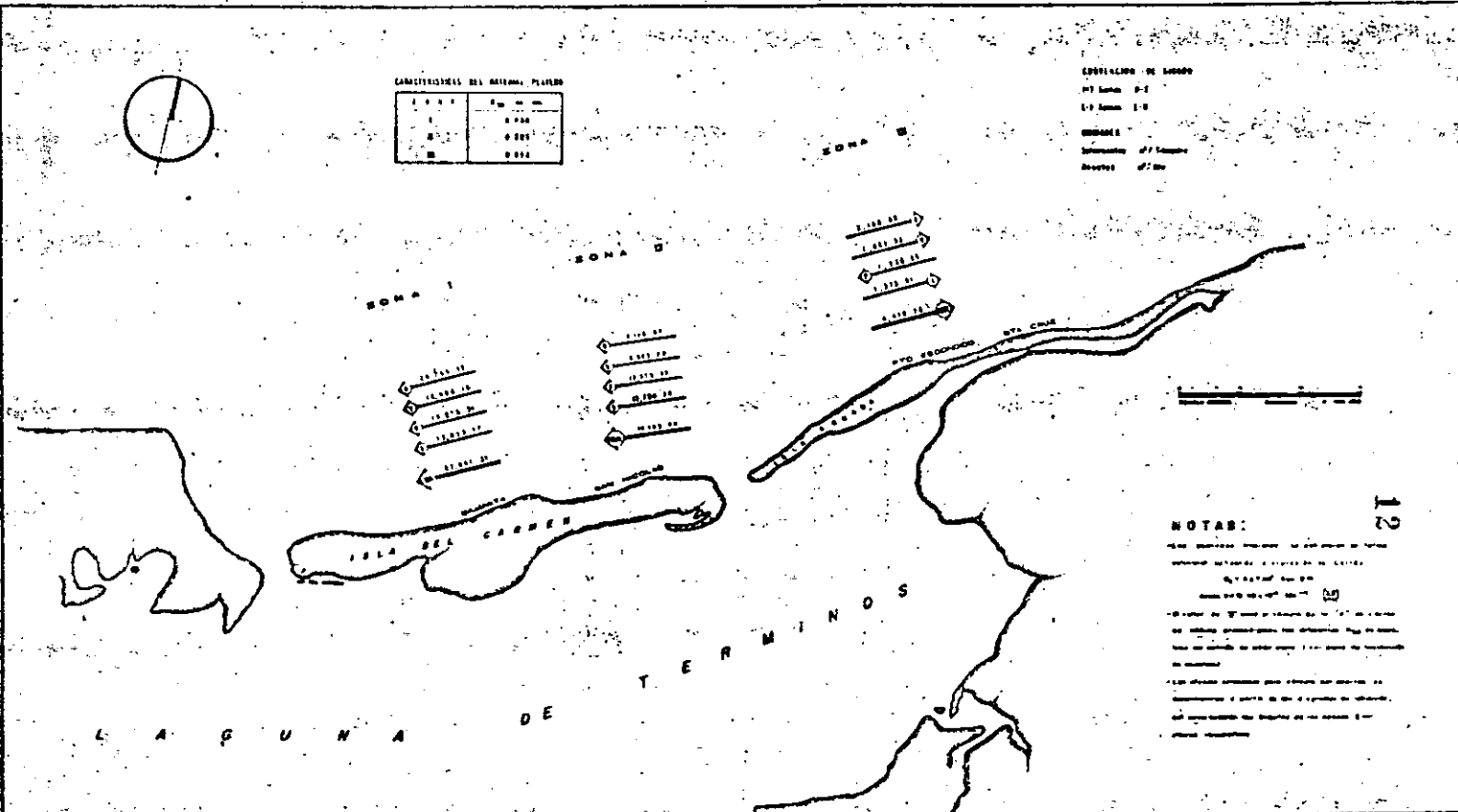




**CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO PLAYERO**

1	0.000
2	0.000
3	0.000
4	0.000

**ESCALADO DE LONGOS**  
 1:1 escala 0-1  
 1:1 escala 1-10  
**UNIDADES**  
 Longitud: m / Kilómetros  
 Área: m<sup>2</sup> / Ha



**NOTAS:**

1. Este estudio fue realizado en el mes de Julio de 1974.
2. El estudio fue realizado en el mes de Julio de 1974.
3. El estudio fue realizado en el mes de Julio de 1974.
4. El estudio fue realizado en el mes de Julio de 1974.
5. El estudio fue realizado en el mes de Julio de 1974.

12

**C.I.F.S.A.**

Compañía Interamericana de Estudios y Laboratorios

Caracas, Venezuela

**SECRETARIA DE MARINA**

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS MARITIMOS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

Oficina de Estudios y Proyectos

Caracas, Venezuela

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS**

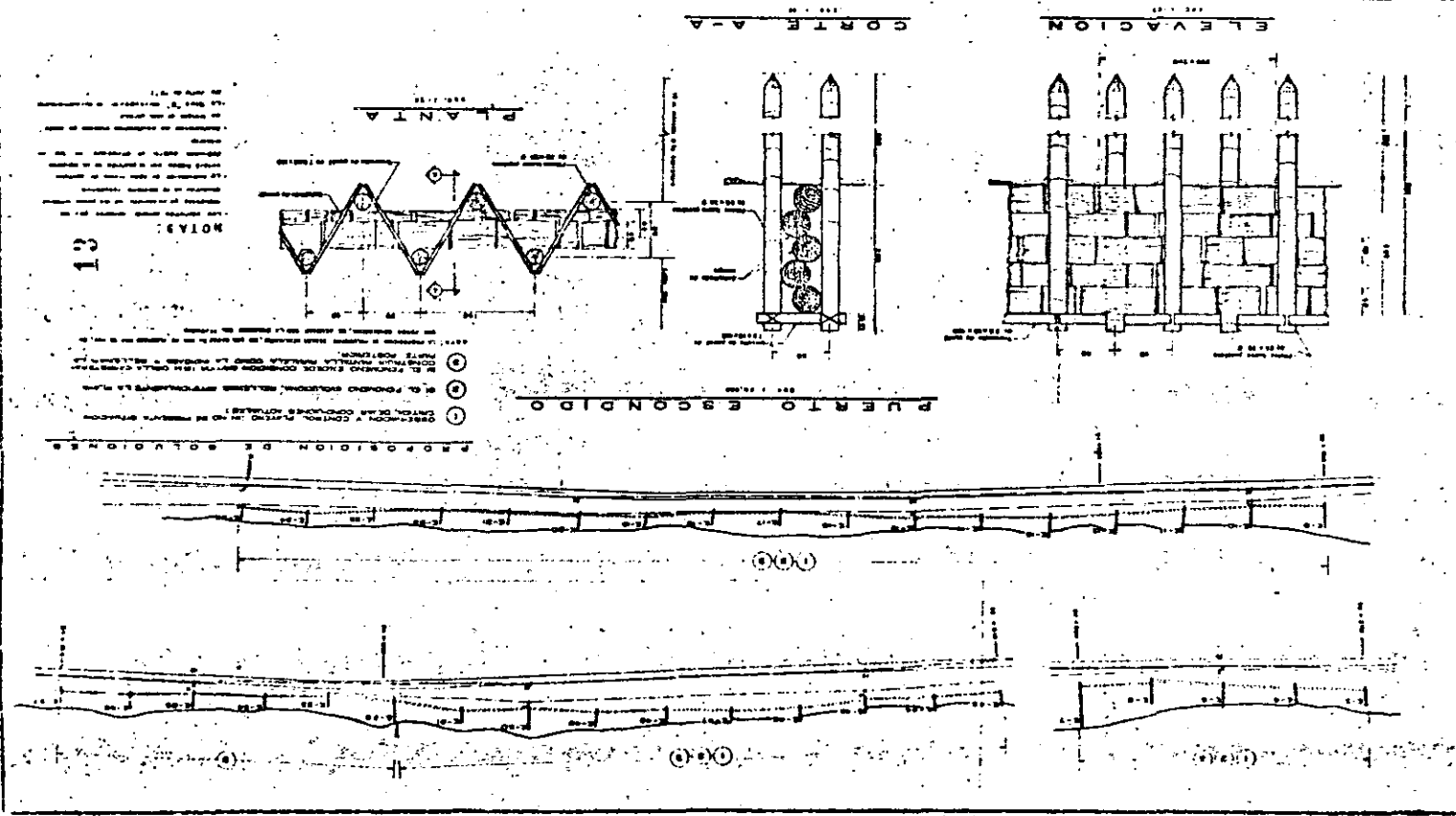
Oficina de Estudios y Proyectos

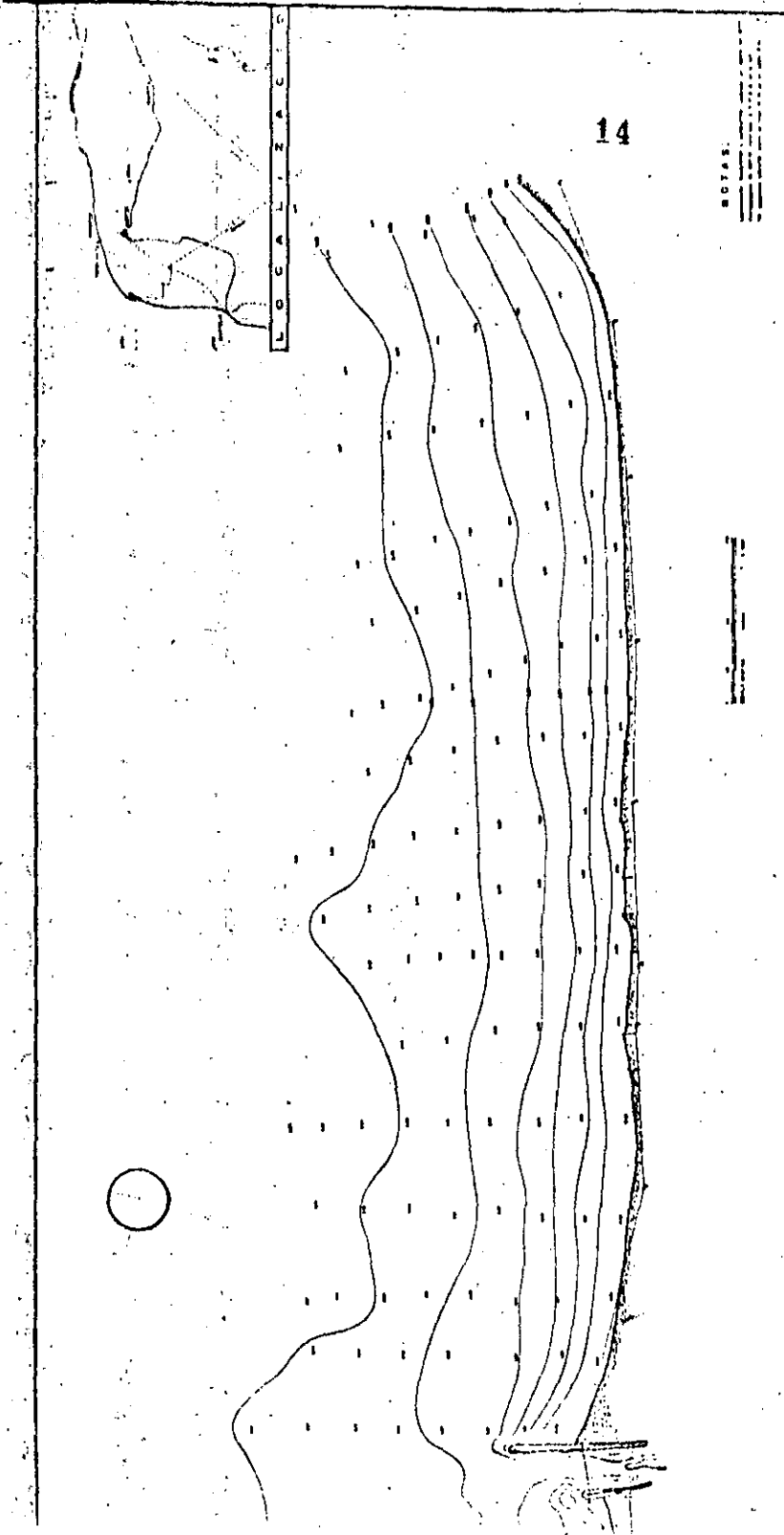
Caracas, Venezuela

**TENDENCIAS GENERALES DE ACARREO LITORAL**

Caracas, Venezuela

<b>PUERTO ESCONDIDO</b> <b>OBRAS DE PROTECCION EN</b>	No. de Proyecto: 107	No. de Hoja: 1	No. de Volumen: 1	No. de Edición: 1	No. de Aprobación:	No. de Registro:	No. de Expediente:
	No. de Aprobación:	No. de Expediente:	No. de Expediente:	No. de Expediente:	No. de Expediente:	No. de Expediente:	No. de Expediente:
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS SECCION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS S. E. C. I. S. T. A. R. I. A. D. E. M. I. N. I. S. T. R. I. A. S. DIRECCION GENERAL DE OBRAS DE PROTECCION DIRECCION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS							
<b>C.I.S.T.A.</b>							





L O C A L I Z A C I O N

14

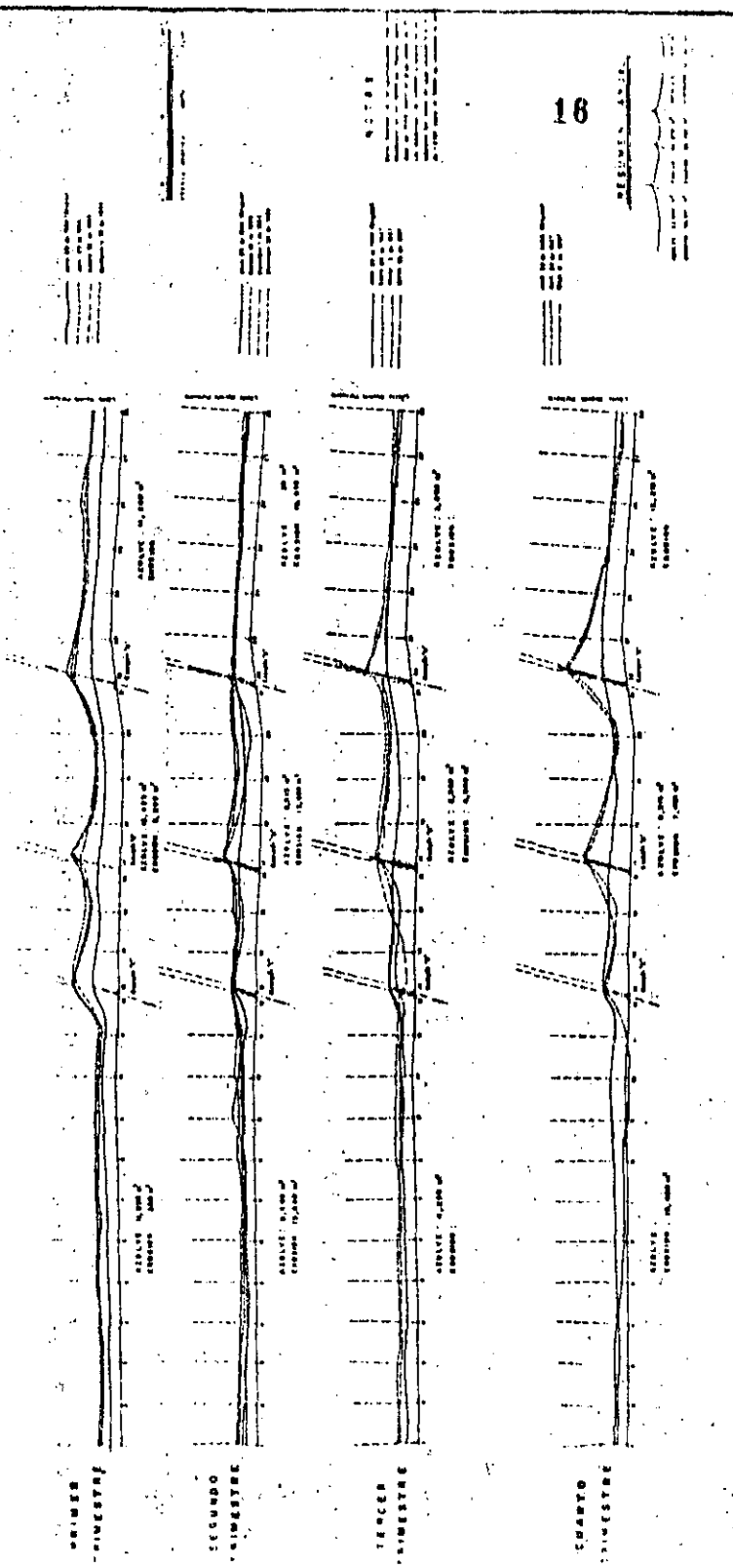
NOTAS:

<p>SECRETARIA DE MARINA DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS MARITIMOS</p>	<p>SECRETARIA DE MARINA DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS MARITIMOS</p>	<p>SECRETARIA DE MARINA DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS MARITIMOS</p>	<p>SECRETARIA DE MARINA DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS MARITIMOS</p>
---	---	---	---



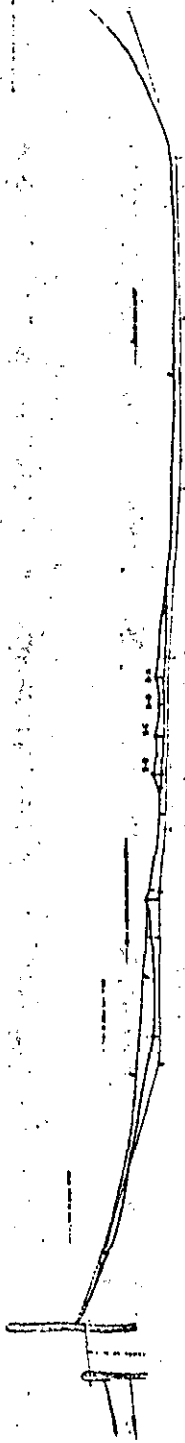


ZONA AL OESTE DE ESPIONDES ZONA AL ESTE DE ESPIONDES

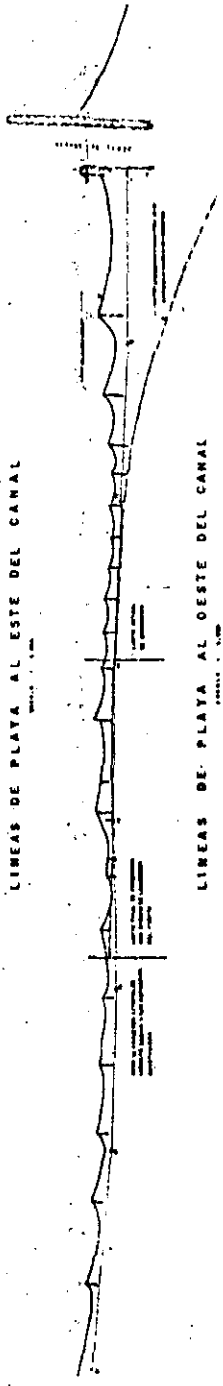


SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA MARITIMA  
 DIRECCION GENERAL DE NAVEGACION Y COMERCIO MARITIMO  
 DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y OBRAS PORTUARIAS  
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS MARITIMOS

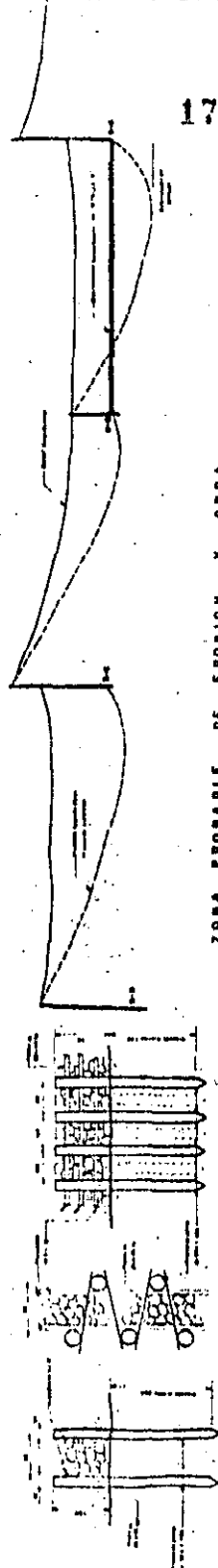
SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 DIRECCION GENERAL DE INGENIERIA MARITIMA  
 DIRECCION GENERAL DE NAVEGACION Y COMERCIO MARITIMO  
 DIRECCION GENERAL DE PUERTOS Y OBRAS PORTUARIAS  
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS MARITIMOS



LINEAS DE PLAYA AL ESTE DEL CANAL



LINEAS DE PLAYA AL OESTE DEL CANAL



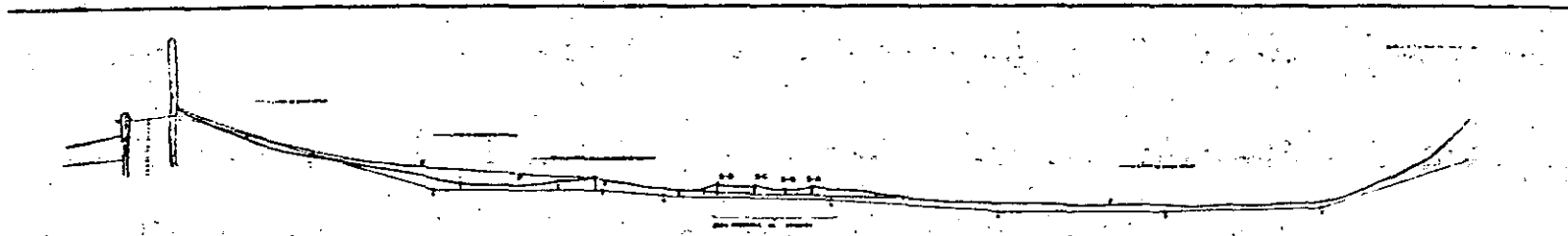
ZONA PROBABLE DE EROSION Y OBRA MARGINAL DE PROTECCION PROPUESTA

PLANETA

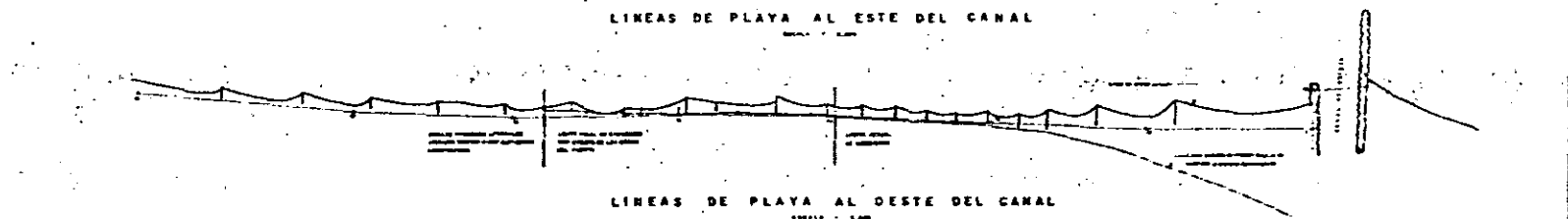
DETALLE 'X'

NOTAS:

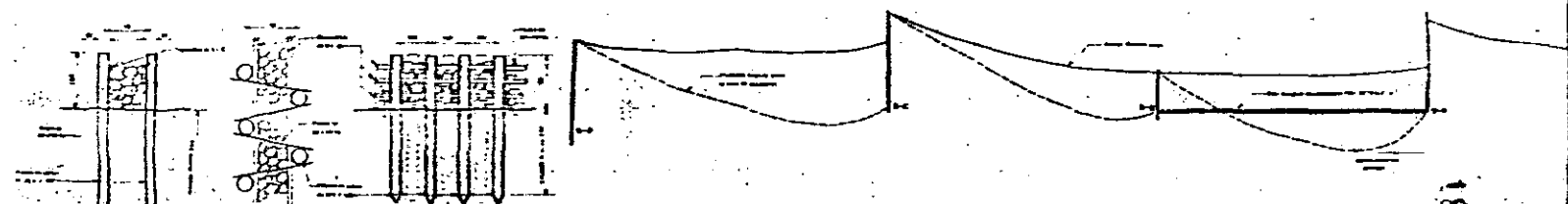
<b>C.I.F.S.A.</b> INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y FUNDACIONES AV. BOLIVAR, 1000 - PUERTO RICO, VENEZUELA	<b>SECRETARIA DE MARINA</b> DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS AV. BOLIVAR, 1000 - PUERTO RICO, VENEZUELA	PROYECTO:
		FECHA:
ESTUDIO DE PROTECCION DE LA PLAYA Y PROYECTO DE PROTECCION MARITIMA		NOTAS:
ESTUDIO DE PROTECCION DE LA PLAYA Y PROYECTO DE PROTECCION MARITIMA		ESCALA:
ESTUDIO DE PROTECCION DE LA PLAYA Y PROYECTO DE PROTECCION MARITIMA		AUTORIA:
ESTUDIO DE PROTECCION DE LA PLAYA Y PROYECTO DE PROTECCION MARITIMA		APROBACION:
ESTUDIO DE PROTECCION DE LA PLAYA Y PROYECTO DE PROTECCION MARITIMA		FECHA DE APROBACION:



LINEAS DE PLAYA AL ESTE DEL CANAL



LINEAS DE PLAYA AL OESTE DEL CANAL



ZONA PROBABLE DE EROSION Y OBRA

MARGINAL DE PROTECCION PROPUESTA

NOTAS:

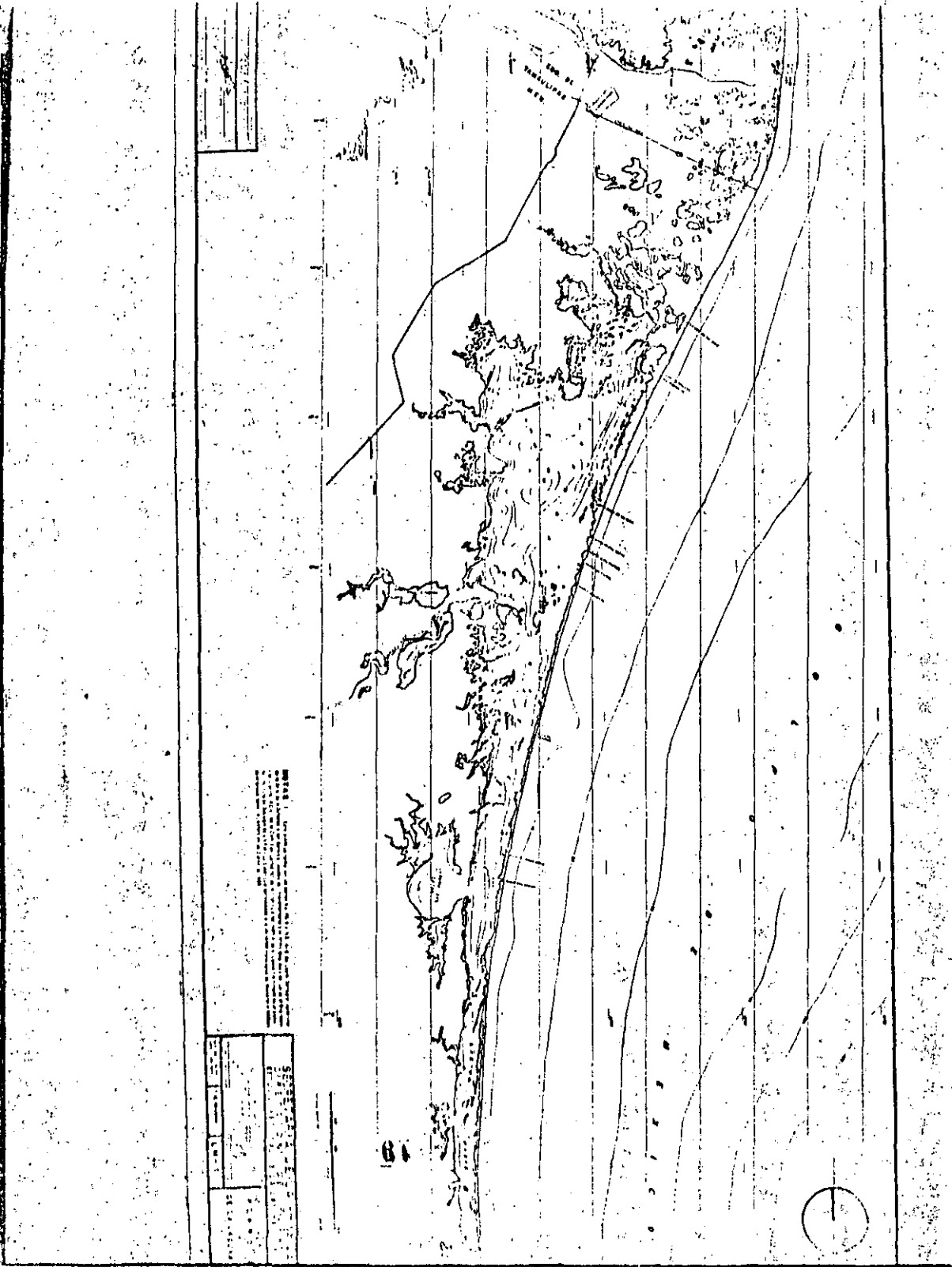
81

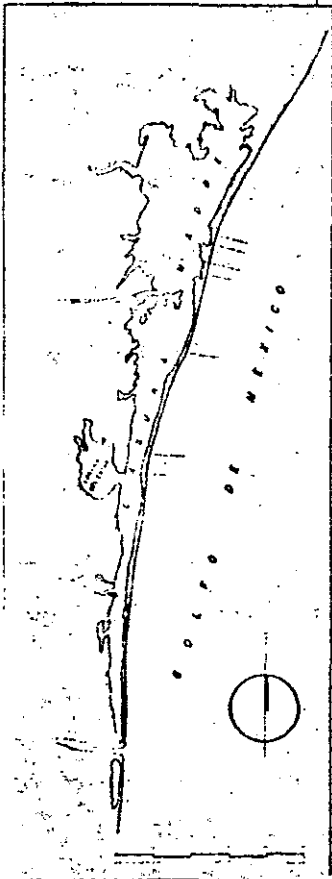
**C.I.F.S.A.** CONSULTORES EN INGENIERIA  
 S.A. DE CAPITAL VARIADO

**SECRETARIA DE MARINA**  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

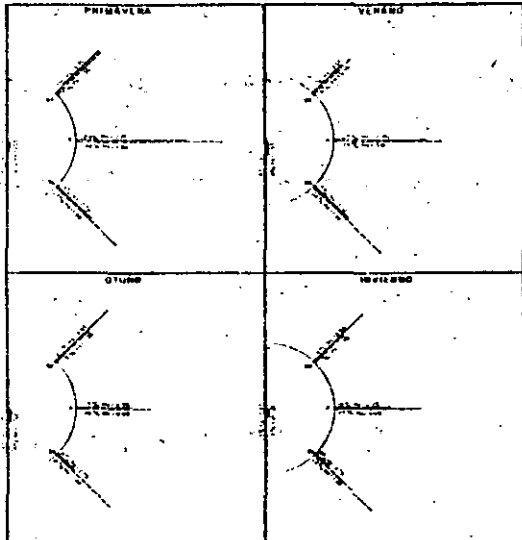
PROYECTO DE OBRAS DE PROTECCION DE LA PLAYA DEL CANAL DE LA ZONA DE LA BAHIA DE SAN CARLOS, P.R.

PREDICCIONES DE LINEA DE PLAYA Y PROTECCION PROPUESTA





**OLEAJES ESTACIONALES**

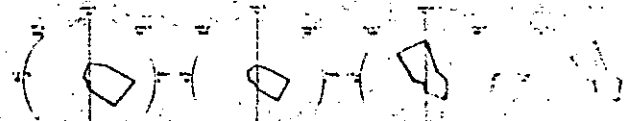


Escala: 1:100000  
 Fuente: Observatorio de Aguas y Mareas de San Sebastián  
 Elaborado por el Servicio de Hidrografía Naval

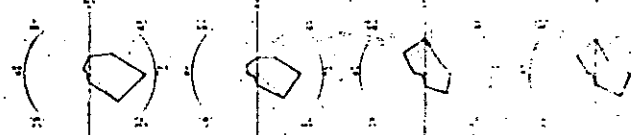
**NOTAS:**

1. Se han representado los oleajes de mayor frecuencia y fuerza.  
 2. Se han representado los oleajes de mayor frecuencia y fuerza.  
 3. Se han representado los oleajes de mayor frecuencia y fuerza.  
 4. Se han representado los oleajes de mayor frecuencia y fuerza.

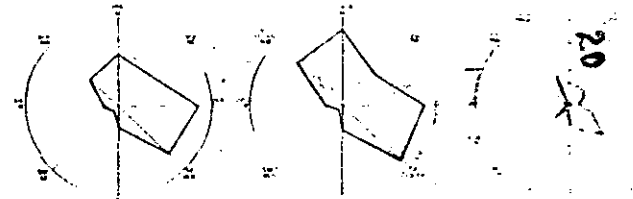
**VIENTOS**



**DIAGRAMAS DE ESTACIONALES**



**FRECUENCIAS (en por ciento) ESTACIONALES**

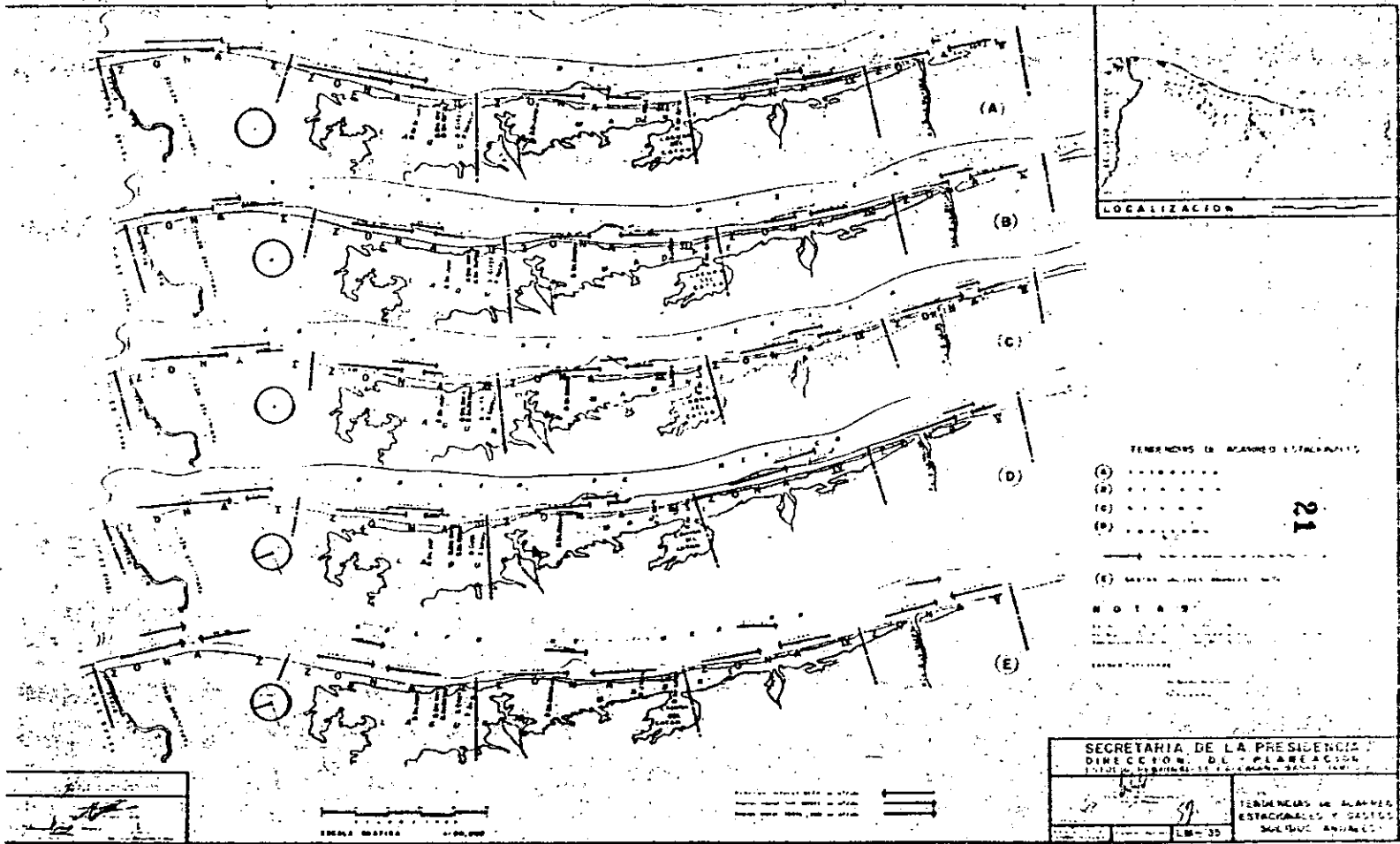


**RESUMEN ANUAL  
 DIAGRAMAS DE VIENTOS**

SECRETARÍA DE LA PREVISIÓN  
 DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICA Y CLIMATOLOGÍA  
 CENTRO DE ESTADÍSTICA Y CLIMATOLOGÍA  
 MONTEVIDEO

ESTADÍSTICA ESTACIONAL

20



- TERRANOS EN ALIVADO ESTACIONADO
- (A) .....
  - (B) .....
  - (C) .....
  - (D) .....

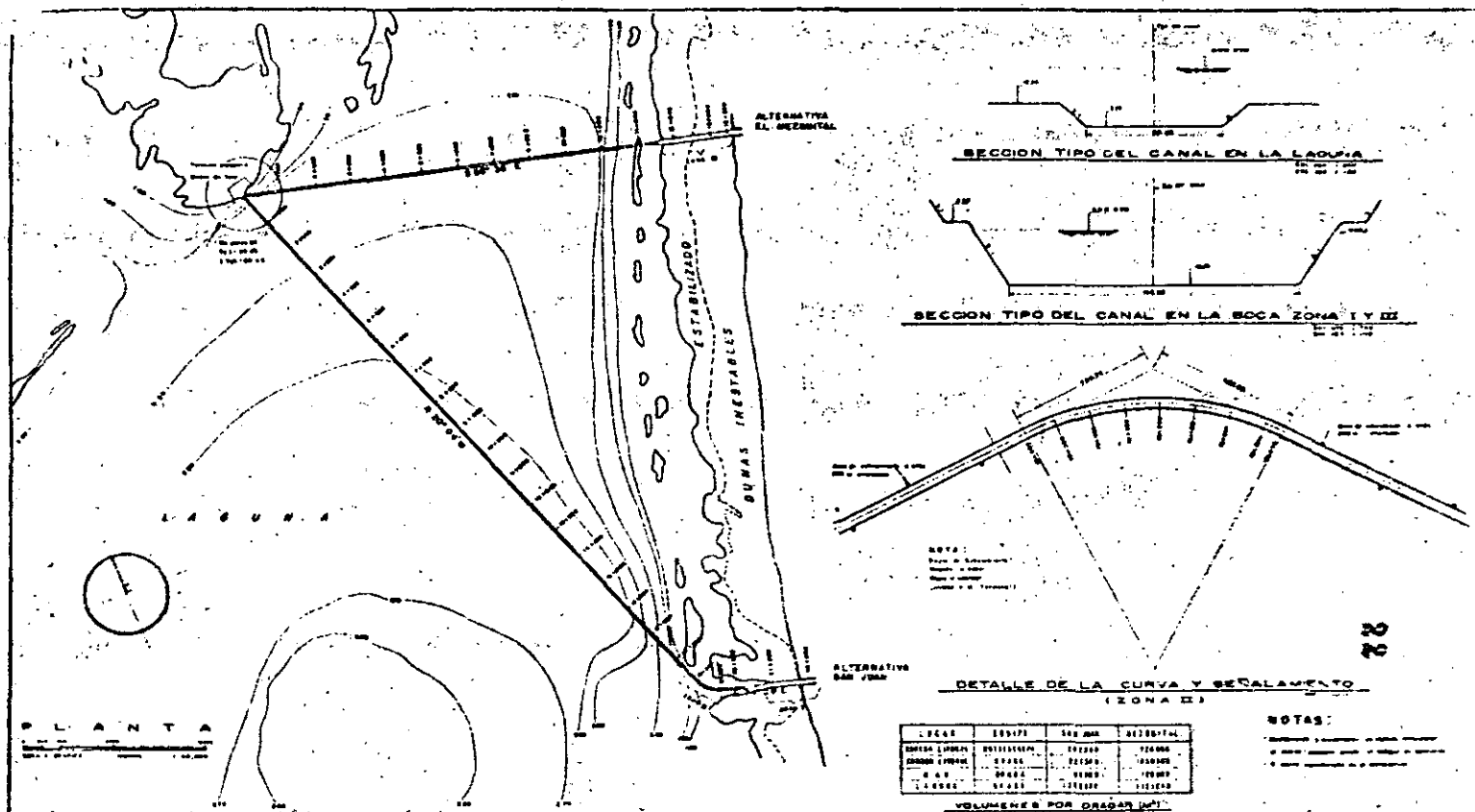
21

- ESTRUCTURAS
- (E) .....

SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA  
DIRECCION DE PLANEACION  
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS

TERRANOS EN ALIVADO ESTACIONADO  
ESTRUCTURAS

LM-35



**C.I.F.S.A.**

SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS  
 OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS MARITIMOS

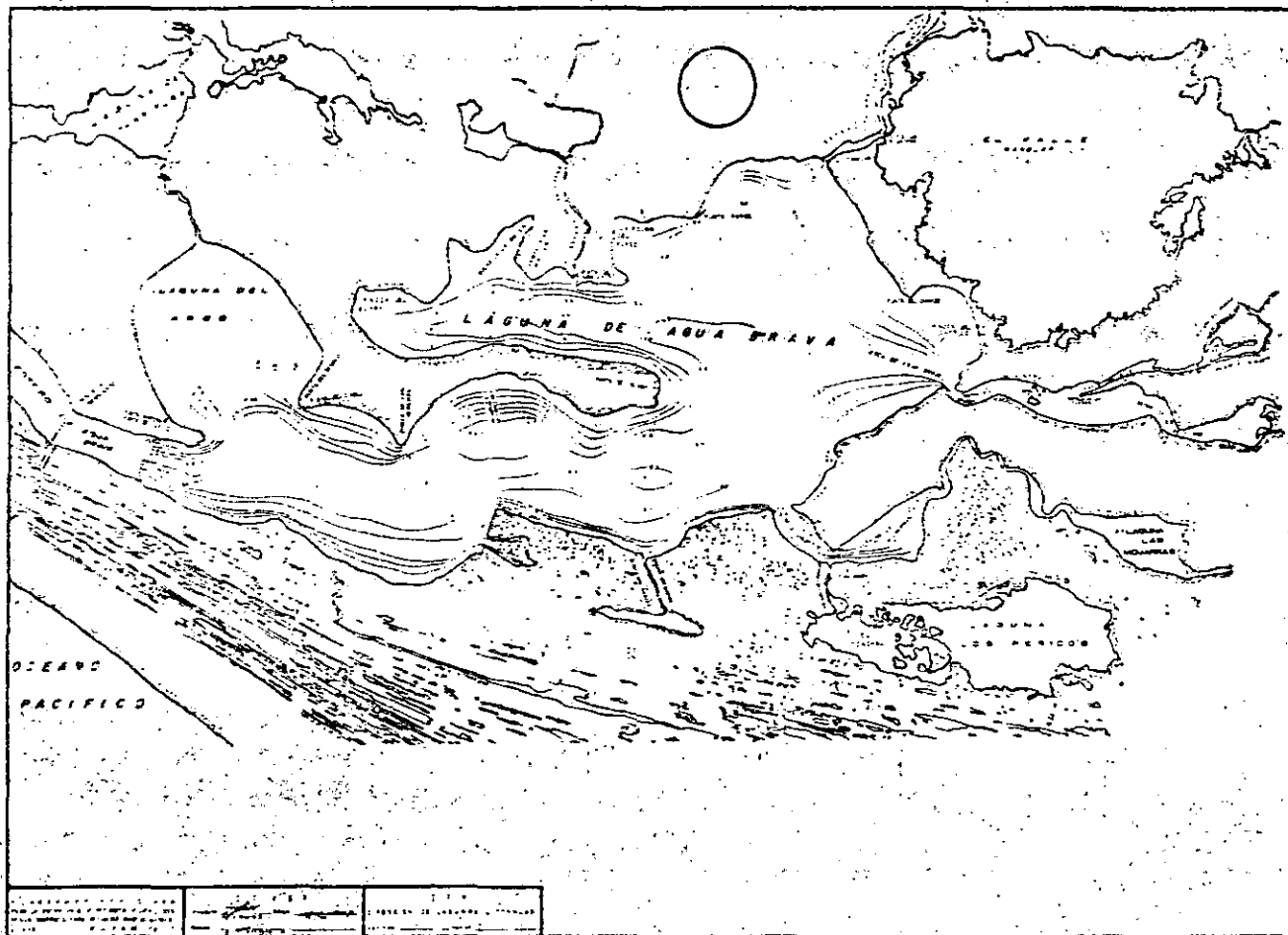
CRAL EN LA LAGUNA

USO	ESTADO	SIG. MAR.	RESERVA
ESTADO LIBRE	ESTABILIZADO	100000	100000
ESTADO ESTABLE	ESTABILIZADO	100000	100000
ESTADO ESTABLE	ESTABILIZADO	100000	100000

VOLUMENES POR DRAGAJE (M³)

NOTAS:





NOTAS

- .....
- .....
- .....
- .....

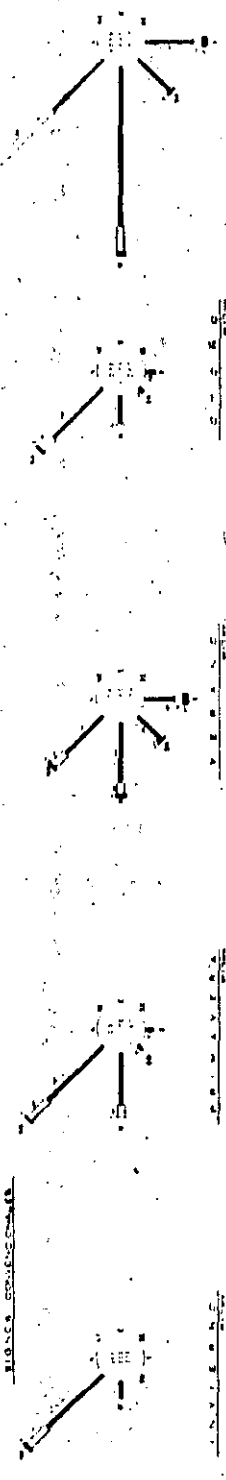
23



MORAS DE ACCION DEL CLEJE LOCA



MORAS DE ACCION DEL CLEJE DISTANTE



24

NOTAS:

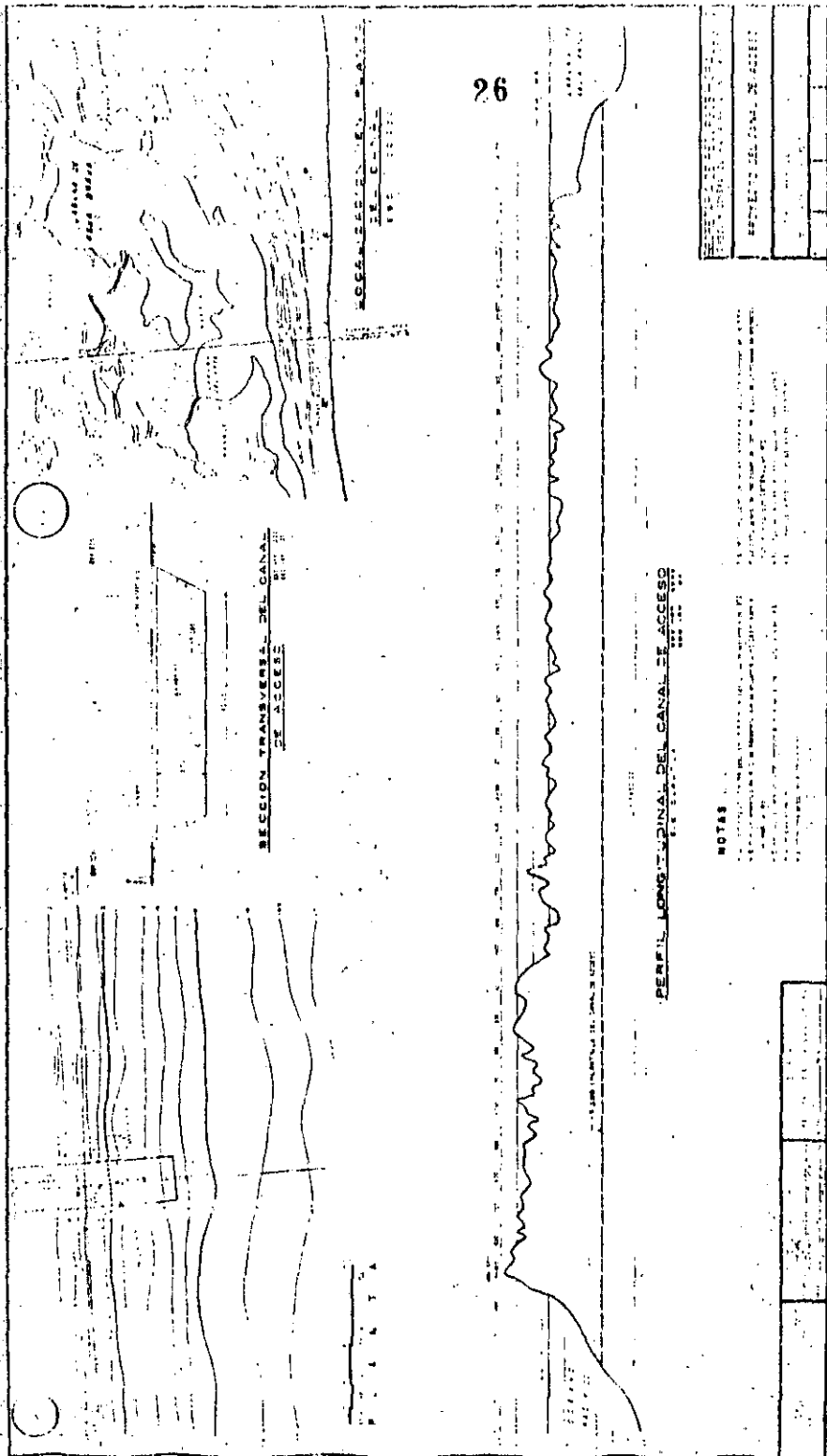
O L E A J U E



V I E N T O S

DATOS DE CLEJE Y VIENTOS



NOTAS

1. El perfil longitudinal del canal de acceso se ha tomado en el punto de mayor profundidad del canal.

2. El perfil transversal del canal de acceso se ha tomado en el punto de mayor profundidad del canal.

3. El perfil longitudinal del canal de acceso se ha tomado en el punto de mayor profundidad del canal.

4. El perfil transversal del canal de acceso se ha tomado en el punto de mayor profundidad del canal.

PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL DE ACCESO

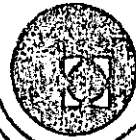
1:1000  
 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

PROYECTO	
FECHA	
ENCARGADO	
REVISADO	
APROBADO	

PROYECTO	
FECHA	
ENCARGADO	
REVISADO	
APROBADO	







**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS  
RESIDUALES

ING. PEDRO GARCIA CAMACHO

DICIEMBRE 1985

## TEMA X

### SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES.

Las aguas residuales municipales e industriales son la principal fuente de contaminación de las aguas costeras. La única alternativa de solución, si se desea prevenir y controlar la contaminación por estas fuentes es la construcción de sistemas de tratamiento para dichas efluentes de aguas residuales.

En estos tratamientos, se realizan operaciones y procesos unitarios con los cuáles se remueven los contaminantes hasta un cierto grado de eficiencia.

Por otro lado y para ubicarnos en la realidad y comprender el porqué no se construyen todas las plantas de tratamiento requeridas, mencionaremos los factores siguientes:

- a). Costo de las plantas. Para tratar  $1 \text{ m}^3/\text{seg}$  de aguas residuales, precios septiembre de 1985, a nivel primario - cuesta 900 millones de pesos, a nivel secundario 3000 millones de pesos. El Distrito Federal genera aproximadamente  $50 \text{ m}^3/\text{seg}$  de aguas residuales.



- b). Faltan técnicos capacitados en la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.
- c). Crisis económica del país.
- d). Prioridades de atención tales como: alimentos, empleo, educación, etc. etc. y Ecología.

Independientemente de lo anterior y para darnos una idea de estos sistemas, a continuación describiremos los existentes a nivel mundial; en que consiste cada uno y su aplicación en México. El Cuadro 10.1 muestra los sistemas disponibles para remover cualquier contaminante de las aguas residuales.

Asimismo, como no detallaremos aspectos de diseño, solo mencionaremos que los tratamientos se realizan en estanques cuyo dimensionamiento básico esta en función del gasto por tratar ( $m^3/\text{seg}$ ) y del tiempo de retención (seg) en el estanque.

#### 10.1. Tratamientos preliminares

Estos tratamientos, básicamente se emplean para "acondicionar" las aguas residuales en lo referente a acidez,

alcalinidad y concentración de contaminantes. Su aplicación es mas bien para las aguas residuales industriales cuyo pH y concentración son muy variadas.

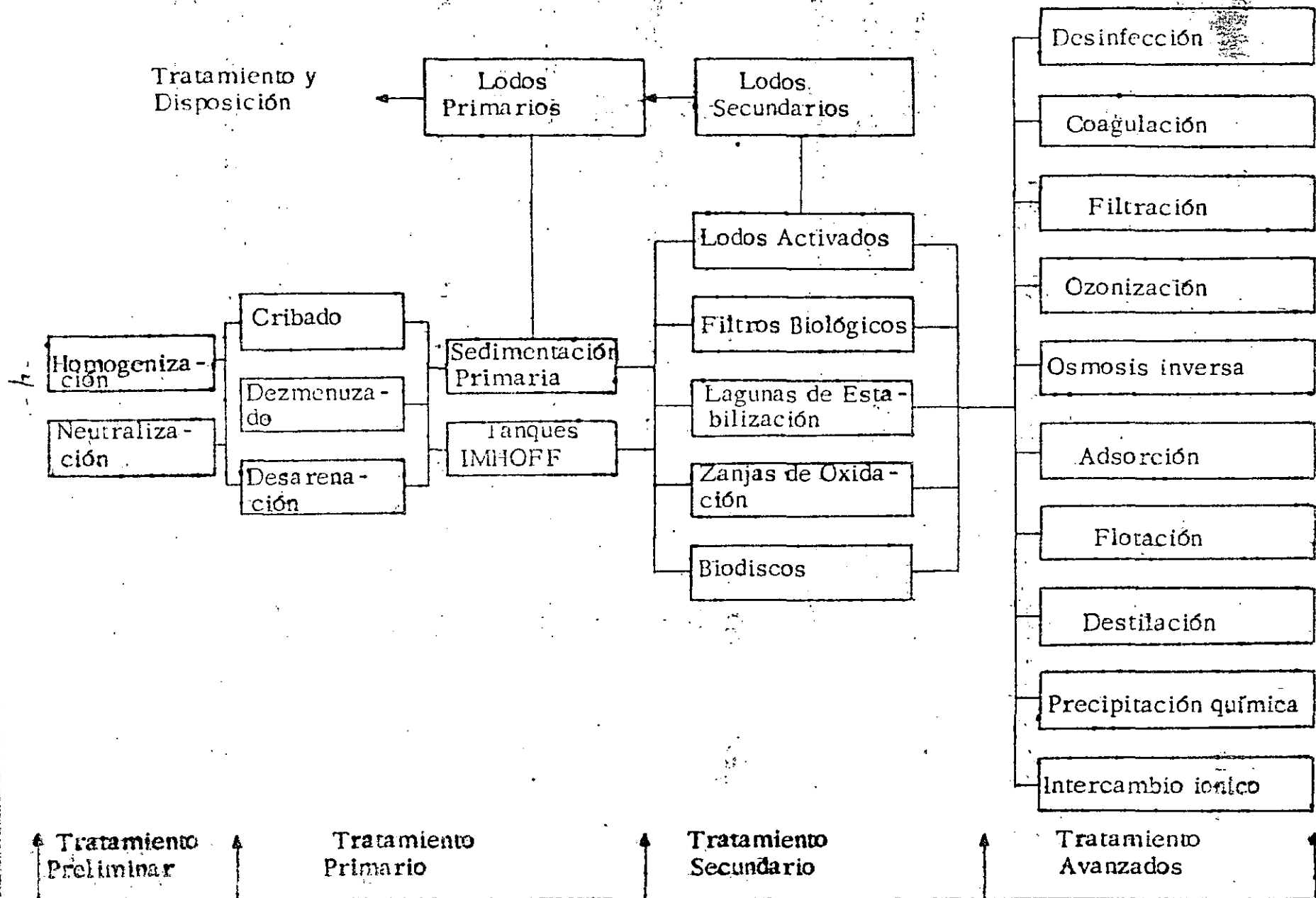
Los tratamientos clasificados en este rubro son:

- a). Neutralización. - Se emplea para una agua muy ácida o alcalina; se neutraliza a un pH igual a 7, que es neutro y permite cualquier tratamiento posterior mas eficiente.
- b). Homogenización.

Este tratamiento se emplea para uniformizar la concentración de un equis contaminante. Ejemplo la  $DBO_5$  en un Rastro que se realizan las operaciones de matanza, eviscerado y lavado; las aguas residuales tienen valores diferentes en  $DBO_5$  y a una planta de tratamiento se debe enviar una concentración promedio.

Por lo general esta operación se realiza en un tanque donde se almacenan las aguas residuales, el cual debe de estar aerado por cualquier sistema, con el fin de que no se presenten condiciones sépticas.

CUADRO 10.1  
SISTEMAS DE TRATAMIENTO EXISTENTES PARA AGUAS RESIDUALES



## 10.2. Tratamiento primario

Las operaciones y materiales que se remueven en este tratamiento son:

**Cribado.** - Se utiliza para remover materia flotante. Consiste en barras horizontales y verticales que se colocan antes del canal desarenador.

**Dezmenuzado.** - Se utiliza para triturar materia orgánica y mejorar posteriormente la eficiencia en el proceso biológico.

**Desarenación.** - Se remueven arenas, con el fin de que los sistemas de bombeo y otros equipos no sufran daños.

**Sedimentación primaria.** - Se remueven sólidos sedimentables, por acción de la gravedad, ya que solo se deja en reposo el agua en un estanque por 2 horas aproximadamente.

En esta operación los sólidos sedimentados pasan a formar parte de lo que se conoce como lodos primarios, subproducto de una planta de tratamiento que debe ser tratado y dispuesto adecuadamente como se explica en el inciso 10.5.

Asimismo en esta operación se remueven natas y grasas.

En este tratamiento primario se incluyen los cárcamos de bombeo y el dispositivo de medición de caudal que por lo general se emplea un medidor Parshall.

### 10.3. Tratamiento Secundario

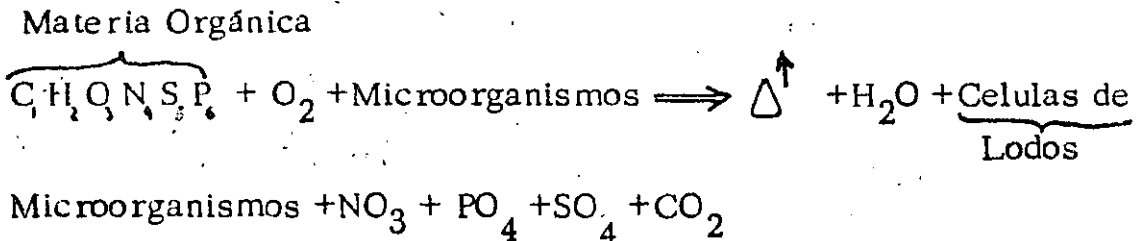
Son sistemas que se emplean para "remover" materia orgánica, uno de los principales contaminantes de las aguas residuales. La remoción de esta materia orgánica se realiza por procesos biológicos que resultan ser los más económicos, aunque se puede remover por procesos químicos, pero son más caros y quedan clasificados, como avanzados.

El parámetro, con el cual se diseñan estos sistemas es con la Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) que por definición es la "CANTIDAD DE OXIGENO REQUERIDO POR LOS MICROORGANISMOS, PARA ESTABILIZAR, DEGRADAR, - - OXIDAR O TRANSFORMAR LA MATERIA ORGANICA, POR PROCESOS BIOLÓGICOS".

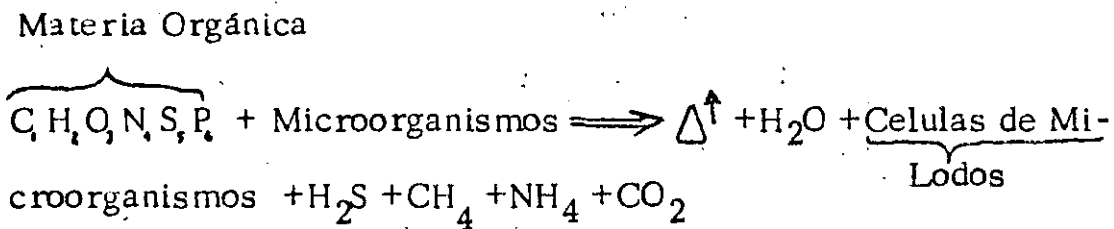
Dependiendo de la forma en que a los microorganismos se

les suministra el oxígeno, los sistemas trabajaran en condiciones aerobias o anaerobias. Las ecuaciones bioquímicas son:

En condiciones aerobias:



En condiciones anaerobias:



Como se observa en condiciones aerobias los productos resultantes son "Lodos" (celulas de microorganismos) y nutrientes (NO<sub>3</sub> y PO<sub>4</sub>); en condiciones anaerobias los productos son mas ofensivos: acido sulfhídrico, gas metano y amoniaco.

Con base en lo anterior los sistemas de tratamiento biológicos son los siguientes:

a). Lodos activados

En un estanque, las aguas residuales son aereados por difusión o por medios mecánicos, los microorganismos toman el oxígeno de la atmosfera. Después de un tiempo de aereación que fluctua entre 4-8 horas pasan a una sedimentación secundaria donde se separan por gravedad los lodos (celulas) y el agua sin materia orgánica.

El agua tratada, por ser rica en nutrientes se emplea para riego de áreas verdes o recarga de acuíferos, lagos artificiales o uso industrial que así lo permita.

De 179 plantas a nivel municipal detectadas en el País el 40% son por este tipo de sistema.

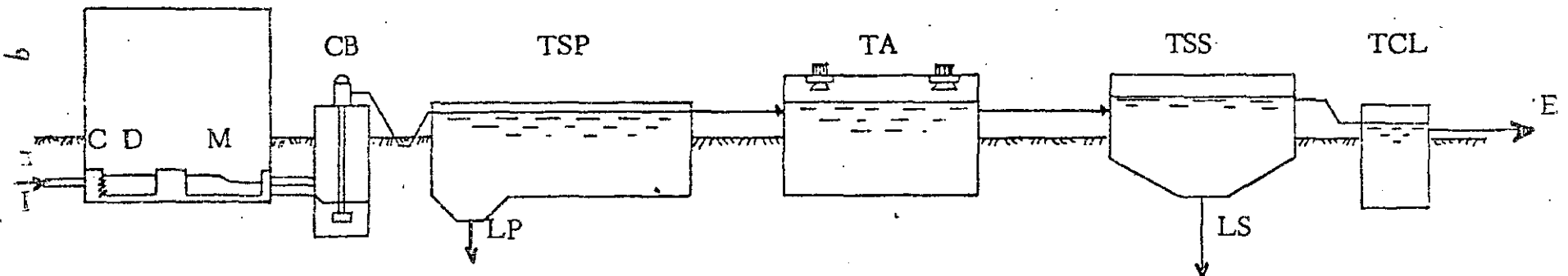
El Distrito Federal cuenta con 8 plantas de este tipo y el efluente se emplea principalmente para riego de áreas verdes. Ver figura 10.3.1.

b). Lagunas de estabilización

Son grandes estanques donde el agua se deja en reposo, durante 15 a 30 días. Existen lagunas aerobias - - - -

FIGURA 10.3.1.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS



I - Influyente

C - Cribado

D - Desarenador

M - Medidor Parshall

CB - Carcamo de Bombeo

TSP - Sedimentación Primaria

TA - Tanques aerados

LP - Lodos Primarios

TSS - Sedimentación  
Secundaria

LS - Lodos  
Secundarios  
TCL - Clora-  
ción.

E - Efluente



(profundidad 90 cm); anaerobias (profundidad 5 m) y facultativas (3m profundidad) o las aereadas mecánicamente, donde se disminuye el tiempo de retención a 10 días.

Su construcción es muy común para poblaciones menores a 100 000 habitantes y en México existen aproximadamente unas 110 plantas de este tipo y el efluente se usa para riego agrícola. Ver Figura 10.3.2.

c). Filtros Biológicos

En un medio filtrante (roca, canto rodado, madera, bambu, esferas de plastico, etc.) se asperja el agua residual y se infiltra en el medio donde bacterias adheridas al medio degradan la materia orgánica presente en el agua, en condiciones aerobias, ya que el aire circula por el medio filtrante.

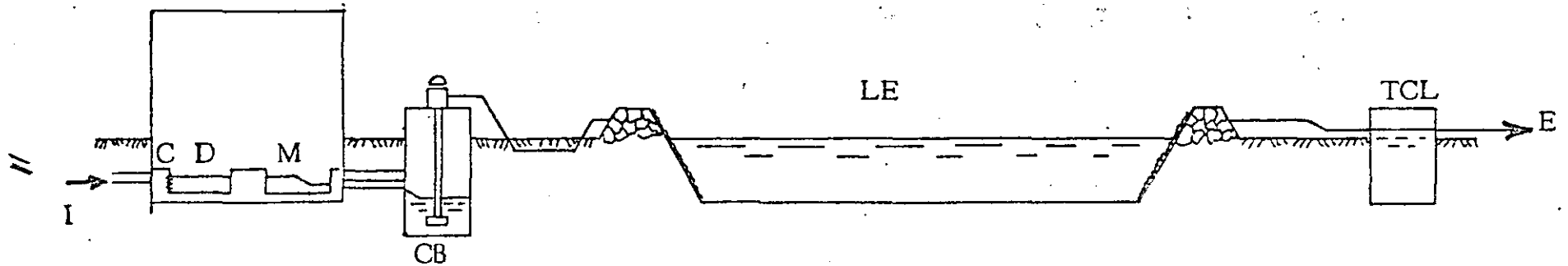
Cuenta también con un estanque de sedimentación.

Se emplea para pequeños gastos y altas cargas orgánica, ejemplo: rastros y empacadoras de alimentos.

Ver Figura 10.3.3.

FIGURA 10.3.2.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION



I - Influyente

C - Cribado

D - Desarenador

CB - Cárcamo de Bombeo

M - Medidor Parshall

LE - Laguna de Estabilización

TCL - Cloración

E - Efluente

d). Zanjas de Oxidación

A semejansa de lo que ocurre naturalmente en un río -- aquí el proceso se realiza en un canal a manera de pista de hipódromo.

Con un cepillo de paletas se impulsa el agua y adquiere una velocidad y agitación para que el aire que requieren las bacterias sea de la atmósfera.

Requiere también de sedimentación secundaria y los lodos deben tratarse como se especifica en el inciso 10.5.

Ver figura 10.3.4.

e). Biodiscos

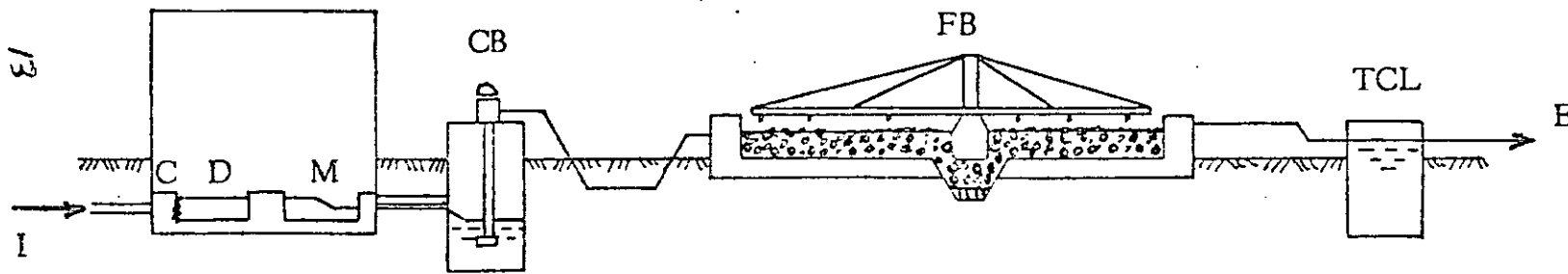
En un cilindro se empacan materiales sintéticos en franjas. Gira en un estanque con aguas residuales, el agua residual penetra al medio y como esta girando se aerea, adsorbiendo las bacterias oxígeno de la atmósfera. Requiere también sedimentación secundaria.

En Ciudad Universitaria existe una planta de este tipo.

La figura 10.3.5. muestra este tipo de sistema.

FIGURA 10.3.3.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UN FILTRO BIOLÓGICO



I - Influyente

C - Cribado

D - Desarenación

M - Medidor Parshall

CB - Cárcamo de Bombeo

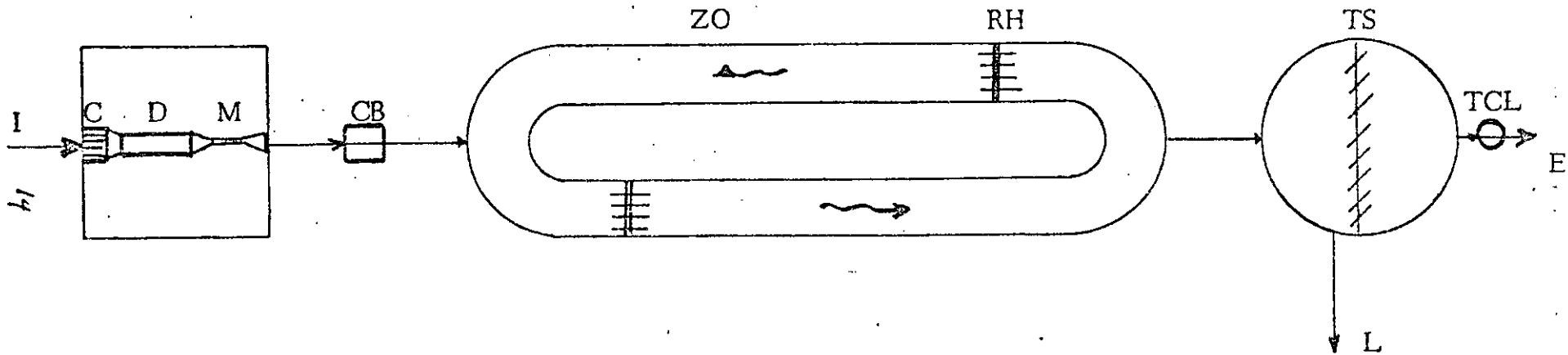
FB - Filtro Biológico

TCL - Cloración

E - Efluente

FIGURA 10.3.4.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA ZANJA DE OXIDACION



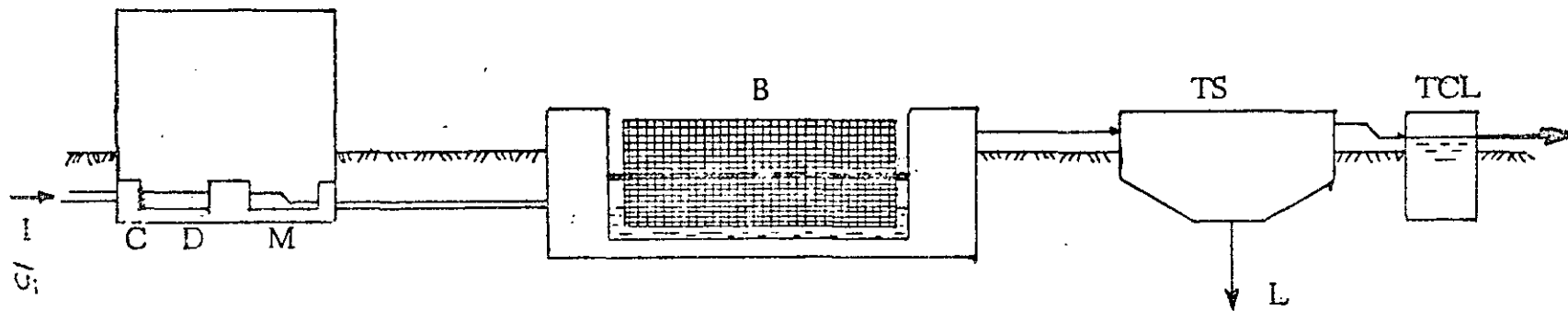
I - Influyente  
C - Cribado  
D - Desarenación  
M - Medidor Parshall  
CB - Carcamo de Bombeo

ZO - Zanja de Oxidación  
RH - Rotor horizontal  
TS - Tanque Sedimentador  
E - Efluente

L - Lodos  
TCL - Cloración

FIGURA 10.3.5.

DIAGRAMA DE FLUJO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO CON BIODISCOS



- |                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| I - Influyente           | TCL - Cloración |
| C - Cribado              | L - Lodos       |
| D - Desarenador          |                 |
| M - Medidor Parshall     |                 |
| B - Biodisco             |                 |
| TS - Tanque Sedimentador |                 |

#### 10.4. Tratamientos avanzados

Con este tipo de sistemas se puede lograr que cualquier tipo de agua residual se convierta en potable o de una mejor calidad.

Los sistemas y materiales que remueven son:

##### a). Desinfección

Se emplea para matar bacterias patógenas y por regla el agua tratada a nivel secundario debe pasar por este proceso. El cloro es la sustancia mas económica y empleada en la actualidad en México.

##### b). Coagulación

Con sustancias tales como sulfato de Aluminio o Cloruro ferrico se adsorben particulas coloidales y materia organica y después por sedimentación son removidos los floculos.

##### e) Filtración

Se realiza en lechos de arena y grava y sirve para remover

bacterias y partículas en suspensión. Una vez agotado el gradiente de filtración, se lava el filtro a contra flujo.

d). Ozonización

El Ozono tiene un poder oxidante muy fuerte, por tal motivo se emplea para matar bacterias y como oxida materia orgánica remueve color y algunos olores con el agua.

e). Osmosis inversa

Se utiliza para remover sólidos disueltos. Se usan membranas y altas presiones en este sistema. Es un método común para desalar aguas y muy costoso.

f). Adsorción

El carbón activado tiene la característica de adsorber olores y partículas que causan color. Con base en lo anterior, el carbón se empaca en columnas y por filtración en dicho medio se lleva a cabo tal operación.

g). Flotación

Este método se emplea para remover natas, películas de



grasas y aceites y sólidos en suspensión. Consiste en difundir minúsculas burbujas de aire en un estanque y recolectar las natas superficialmente.

h). Destilación

Es un método común para desalar aguas utilizando los fenómenos de evaporación y condensación.

a). Precipitación Química

Se emplea para remover dureza en una agua. Las partículas que causan dureza como el Calcio y Magnesio reaccionan químicamente con la cal hidratada o con el Carbonato de Sodio formando un precipitado el cual se extrae en forma de lodo para su tratamiento.

j). Intercambio Ionico

Se emplea para remover dureza y cualquier elemento contaminante. Basta colocar un medio filtrante cuyos iones sean de la carga contraria al elemento que se desea remover.

La industria que requiere concentraciones de sólidos disueltos bajas.

## 10.5. Manejo de subproductos en las plantas de tratamiento

Como se explicó al inicio de este tema, en la sedimentación primaria, se originan lodos que contienen los sólidos sedimentables removidos en esa operación .

En el caso de los tratamientos biológicos, parte de la materia orgánica usada como alimento por los microorganismos es transformada a mas células de microorganismos, esto es, se reproducen y llega un momento dado que se tienen que extraer y es lo que se conoce como lodos secundarios.

Estos lodos primarios y/o secundarios dispuestos en forma cruda a las zonas costeras, causan contaminación orgánica y bacteriológica, por lo cual es necesario que se manejen, traten y dispongan adecuadamente.

En términos generales los lodos contienen un 97% de agua y 3% de sólidos, por lo cual, los métodos de tratamiento basicamente consisten en una DIGESTION y DESHIDRATACION de los mismos.

Con la digestión se pretende transformar la materia orgánica presente en los lodos y disminuir el contenido de --

microorganismos patógenos por la cadena alimenticia -- que se lleva a cabo en la digestión.

En la deshidratación, se disminuye el contenido de agua - en los lodos hasta hacerlos manejables en forma semisólida.

El cuadro 10.5. muestra los diferentes métodos y técnicas que existen a nivel mundial para el manejo, tratamiento y disposición de los lodos resultantes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Con relación a la DISPOSICION DE LODOS EN AGUAS -- COSTERAS, cabe mencionar que países como Inglaterra, Francia, Holanda y EEUU desde hace unos 20 años disponen en el mar los lodos de sus plantas por medio de emisores submarinos, previa estabilización química, térmica o biológica.

México en las zonas costeras puede adoptar esta técnica pero es muy importante la previa estabilización de tales lodos. Otra técnica a nivel mundial y que trata de desplazar a la mencionada es la disposición líquida de los lodos en suelos y terrenos de cultivo.

CUADRO 10.5 (CONTINUACION)

OPERACION O PROCESO UNITARIO	M E T O D O	F U N C I O N E S
Disposición Final	Emisor Submarino	Dilución en el -- Mar
	Asperción en Te-- rrenos	Mejoramiento sue los
	Composteo	Reuso en Agricul- tura
	Rellenos Sanitarios	Adecuada disposi- ción.

CUADRO 10.5

METODOS DE TRATAMIENTO PARA LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.

OPERACION O PROCESO UNITARIO		METODO	FUNCIONES
Preliminar		Mezclado	Homogenizar Lodos - Primario y secundario
		Almacenado	
Concentrado o Espesamiento		Por Gravedad	Reducir Contenido de Agua
		Por Flotación	
		Centrifugación	
ESTABILIZACION	Química	Oxidación con- Cloro	Controlar microorga- nismos y olores
		Estab.con Cal	
	Termica	Termico	Reducir Volumen
	Biológica	Digestion Anaerobia	-Estabilizar materia orgánica  - Destruir microor- ganismos patógenos.
		Digestión Aerobia	
		Lagunas	
		Tanques IMHOFF	
Acondicionamiento		Químico	Mojarar la Deshidra- tación posterior
		Elutriación	
		Termico	
Deshidratación		Filtración por vacío	-Remover agua -Reducir volumen y peso -Convertir lodos a sólidos.
		Centrifugación	
		Filtros Prensa	
		Lechos de Seca- do	
		Lagunamiento	
		filtros banda hor.	
Secado Termico		Secado Rapido	- Remover agua - Esterilizar lodos
		Secado Rotatorio	
		En hogar multiple	
Reducción Termica		Incineración	- Remover agua -Destruir sólidos
		Lechos Fluvidi- zado	
		Incineración con basuras	
		pirolisis	



**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

CONTAMINACION COSTERA

Ing. Pedro García Camacho

NOVIEMBRE, 1985

# CONTAMINACION DE LAS AGUAS COSTERAS

## CONTENIDO

### INTRODUCCION

- I. CARACTERISTICAS DE CALIDAD Y PARAMETROS DE MEDICION PARA AGUAS.
  - 1.1. Físicas
  - 1.2. Químicas
  - 1.3. Biológicas
  - 1.4. Parámetros de medición de calidad
  - 1.5. Tipos de contaminación
  
- II. NORMAS DE CALIDAD EXIGIDAS EN LA LEGISLACION MEXICANA EN FUNCION DE USOS, PARA AGUAS ESTUARINAS Y COSTERAS.
  - 2.1. Aguas estuarinas
  - 2.2. Aguas costeras
  
- III. FUENTES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS ESTUARINAS Y COSTERAS Y TIPOS DE CONTAMINACION QUE PROVOCAN.
  - 3.1. De tierra firme

3.2. De actividades marinas

3.3. Del Aire

3.4. Fuentes naturales

#### IV. EFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS - - MARITIMO-PESQUEROS Y SER HUMANO

4.1. Efectos directos

4.2. Efectos indirectos

4.3. Efectos de los diferentes tipos de contaminación

#### V. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL DE LA CONTAMINA- CION DE LAS AGUAS COSTERAS.

5.1. Acciones preventivas

5.2. Acciones de control

5.3. Programas y acciones a nivel nacional

#### BIBLIOGRAFIA Y LITERATURA DE CONSULTA



## INTRODUCCION

3

Tomando en cuenta, que contaminación es una palabra ya muy usual y que muchas veces ni idea se tiene de lo que es o si se tiene idea - también muchas veces hay confusiones sobre tipos, efectos, causas, etc. que al respecto se hable, se principiará por dar la definición - de lo que desde el punto de vista legal es CONTAMINACION.

"Contaminación": es la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos, que perjudiquen -- o molesten la vida, salud y bienestar humano, la flora y la fauna; o - degraden la calidad del aire, del agua, de la tierra, de los bienes, - de los recursos de la nación en general o de los particulares.

Como se observa de la definición, puede haber contaminación del - aire, agua, suelo y alimentos y a partir de estos elementos y substancia habrá efectos sobre el hombre, la flora y la fauna. Tales - efectos dependerán del tipo de contaminante y de aquí puede haber - contaminación por sustancias tóxicas, materia orgánica, inorgáni- ca, bacteriológica, radioactiva, por temperatura, etc.

Por ser un tema muy amplio el aspecto contaminación y de acuerdo - a los objetivos planteados en este curso de Desarrollo Costero, se - expondrá brevemente algunas generalidades sobre la contaminación - de las aguas marinas costeras ya que éstas son a final de cuentas - las receptoras de todo tipo de contaminantes vertidos a un río que -

tarde o temprano desemboca al mar o contaminantes vertidos en forma directa a tales zonas costeras. Estos lugares es donde los Técnicos Marítimo-Portuarios tienen que diseñar obras de cualquier tipo y que el aspecto contaminación debe ser contemplado muy seriamente en el proyecto y construcción de tales obras.

## TEMA I

### CARACTERISTICAS DE CALIDAD Y PARAMETROS DE MEDICION PARA AGUAS .

Cualquier tipo de agua, ya sea de mar, estuario , río, lago, laguna, presa, residual, etc. tiene ciertas características que al final de cuentas son las que dan la calidad de la misma .

Estas características se determinan por medio de análisis realizados sobre el agua en cuestión; pudiendo ser éstos físicos, químicos y biológicos. Ahora bien, para evaluar estas características, se realizan ciertos análisis específicos, que comparados con los parámetros mismos de calidad, ya establecidos darán la calidad de una agua.

A continuación se darán las principales características de cualquier tipo de agua desde el punto de vista físico, químico y biológico.

#### 1.1. Características físicas

Las principales características físicas son: sólidos en sus formas sedimentables, flotantes, disueltos y suspendidos, color, olor y temperatura.

1.2. Características químicas

En estas características se distinguen los grupos siguientes:

Substancias orgánicas, tales como carbohidratos, proteínas, grasas y aceites; detergentes, fenoles y plaguicidas orgánicos.

Substancias inorgánicas, tales como substancias ácidas o alcalinas, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, nutrientes de nitrógeno y fósforo; sulfatos; compuestos tóxicos a base de cobre, plomo, plata, cromo, arsénico y boro; cantidades de algunos metales pesados, níquel, manganeso, plomo, cobre, hierro, zinc y mercurio. Substancias gaseosas tales como, nitrógeno, oxígeno, bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, metano, cloro y ozono.

1.3. Características biológicas

En estas características, quedan incluidos los miembros de los tres reinos de microorganismos siguientes:

- Reino animal

Los miembros representativos son Rotíferos y Crustáceos.

- Reino vegetal

En éste, los miembros representativos, son los musgos y helechos.

- Reino protista

Es el reino mas importante, desde el punto de vista contaminación, los miembros representativos son: protozoarios, hongos, algas y bacterias.

Ahora bien, dentro de todos los miembros pertenecientes a las bacterias, cabe distinguir al grupo coliforme, donde la especie mas importante es Escherichia Coli. La presencia de este microorganismo en una muestra biológica, alimento o agua es indicativo de contaminación bacteriológica; esto es, que "pueden" existir otros organismos que "puedan" causar enfermedades.

#### 1.4. Parámetros de medición de calidad

El uso que puede tener una agua marina, dulce o estuarina es muy amplio, pudiendo ser: consumo humano, industrial, recreación, navegación, acuicultura, etc. Dependiendo-

de dicho uso, el agua tendrá que cumplir con ciertos estándares o parámetros de calidad ya establecidos para cada uso y que están en función de las características físicas químicas y biológicas ya mencionadas anteriormente; ahora bien, si por cualquier motivo, las normas de calidad son rebasados en su concentración máxima, se podrá decir que no sirve para el uso que se le destinaría o que está contaminada por equis substancia.

El cuadro 1 muestra las características físicas químicas y biológicas; además, los parámetros con los que mide cada característica. A continuación se definirán los parámetros mas importantes.

## DEFINICIONES DE ALGUNOS PARAMETROS DE CALIDAD

### 1.- Sólidos Sedimentables.

Es todo tipo de material presente en un líquido, que al dejar en reposo al mismo, dicho material, por acción de la gravedad tiende a sedimentarse en el fondo. Se expresa en ml/l .

### 2.- Sólidos Flotantes.

CUADRO 1

CARACTERISTICAS DE CALIDAD Y PARAMETROS DE MEDICION

CARACTERISTICAS		PARAMETROS DE MEDICION	UNIDAD
FISICAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbiedad</li> <li>- Color</li> <li>- Sólidos ( 11 formas)</li> <li>- Temperaruta</li> </ul>	U T U C  mg/l * °C
QUIMICAS	ORGANICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- D B O<sub>5</sub></li> <li>- D Q O</li> <li>- S A A M</li> <li>- Grasas y Aceites</li> <li>- Nutrientes de N y P</li> <li>- Plaguicidas</li> </ul>	mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l mg/l
	INORGANICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pH</li> <li>- Cloruros</li> <li>- Dureza</li> <li>- Metales Pesados</li> <li>- Salinidad</li> <li>- Plaguicidas</li> </ul>	-- mg/l mg/l *  mg/l mg/l
	GASES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxígeno Disuelto</li> <li>- Metano</li> <li>- Acido Sulfhídrico</li> </ul>	mg/l mg/l mg/l
BIOLOGICAS		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coliformes Totales</li> <li>- Coliformes Fecales</li> </ul>	N°Org. por 100 ml

\* Ver definiciones

Es todo el material que flota en la superficie de un líquido - y que queda retenido en una malla de 3 mm de claro libre - cuadrado. Se reporta presente o ausente.

3.- Sólidos Totales Totales

Es la suma de los sólidos suspendidos totales y los sólidos - disueltos totales y son los que permanecen como residuo - de una muestra de agua sujeta a secado a 103 - 105 °C.

4.- Sólidos Disueltos Totales

Es el material que forma parte de una agua en forma de - - aniones y cationes y que consiste principalmente de sales - inorgánicas. También se conocen como sólidos filtrables.

5.- Sólidos Suspendidos Totales

Son las partículas que no se disuelven, que son visibles en el agua y que se eliminan por filtración.

6.- Sólidos Volátiles

Es el material orgánico que se volatiliza a los 600 °C. - por lo tanto tendremos:

- Sólidos totales volátiles
- Sólidos disueltos volátiles
- Sólidos suspendidos volátiles

//

#### 7.- Sólidos Fijos

Es el material que permanece como residuo en la muestra calcinada a 600 °C. Por lo tanto tendremos:

- Sólidos totales fijos
- Sólidos disueltos fijos
- Sólidos suspendidos fijos

#### 8.- Demanda Bioquímica de Oxígeno ( D B O<sub>5</sub> )

Es la cantidad de oxígeno necesaria por los microorganismos para degradar la materia orgánica por procesos biológicos.

#### 9.- Demanda Química de Oxígeno ( D Q O )

Es la cantidad de oxígeno necesario para estabilizar o degradar la materia orgánica por procesos químicos.

#### 10.- Sustancias Activas al Azul de Metileno ( S A A M )



Son las sustancias que causan espumas y que son extractables con el Azul de Metileno; pertenecen a este grupo los --  
detergentes. 12

11.- Grasas y Aceites.

Este término, se aplica a una gran variedad de sustancias orgánicas extractables, de una solución acuosa por hexano; pertenecen a este grupo hidrocarburos, esterres, aceites, mantecas, ceras y ácidos grasos de bajo peso molecular.

12.- Nutrientes

Se aplica principalmente a los elementos que actúan como fertilizantes en el fitoplancton y organismos vegetales superiores.

Los principales son: fósforo y nitrógeno en forma de fosfatos y nitratos respectivamente.

13.- Plaguicidas

Substancias orgánicas e inorgánicas que se usan para matar, inhibir o repeler plagas. Dependiendo de la plaga por repelar tomará el nombre: insecticidas, herbicidas, fungicidas

nematocidas, etc.

14.- Potencial Hidrógeno

13

Condición ácida o alcalina de una sustancia; su escala es -  
0-14. El 7 es neutro; abajo de 7 es ácido; arriba de 7 es -  
alcalino.

15.- Dureza

Es una característica del agua, debida principalmente al --  
contenido de carbonatos y sulfatos; ocasionalmente a nitra-  
to y cloruros, calcio, magnesio y hierro, que hace que se  
gaste mas jabón en las operaciones de limpieza.

16.- Cloruros

Compuesto cuyo principal radical es el ion cloruro Cl.

17.- Metales pesados

Grupo de metales que están en forma disuelta en el agua y -  
en ciertas concentraciones resultan ser muy tóxicos para -  
los sistemas biológicos. Entre éstos tenemos el mercurio,  
plomo, zinc, níquel, cadmio, cromo y arsénico.

## 1.5. Tipos de Contaminación.

14

Una vez descritas las características físicas, químicas y biológicas; así como los parámetros de medición se describirá a continuación los tipos de contaminación, sustancias que la provoca y principales parámetros con los que se podría detectar y evaluar el tipo de contaminación de que se trate.

### 1).- Contaminación orgánica

Es aquella provocada por hidrocarburos, grasas y aceites, proteínas, carbohidratos, azúcares, y plaguicidas orgánicos

Los parámetros de medición de este tipo de contaminación son:  $DBO_5$ , DQO, grasas y aceites; nitrógeno, fósforo, SAAM y plaguicidas orgánicos.

### 2).- Contaminación bacteriológica

Es aquella provocada por microorganismos que causan enfermedades tales como: rickettsias, protozoarios, virus, bacterias y hongos.

El parámetro indicativo de este tipo de contaminación, es el

número mas probable de coliformes fecales; NMP expresado en organismos por 100 ml.

3).- Contaminación por sustancias tóxicas.

Es aquella provocada por plaguicidas ( insecticidas, herbicidas, rodenticidas, etc. ); metales pesados ( mercurio, -- plomo, cadmio, zinc, etc.); detergentes, determinados como SAAM ( Sustancias activas al azul de metileno). Se detecta el parámetro específico de la sustancia tóxica .

4).- Contaminación por sólidos disueltos.

Es la provocada por los aniones bicarbonato, sulfato, cloruro y nitrato; además, por los cationes, calcio, magnesio, estroncio, fierro y manganeso.

Recordando, los parámetros de medición de este tipo de -- contaminación son: dureza, cloruros, fierro, manganeso y salinidad.

5).- Contaminación térmica.

Es aquella provocada por aguas calientes, se determina -- por medio de la temperatura; este tipo de contaminación -- afecta a otros parámetros tales como; pH, oxígeno disuelto,

organismos, etc.

6).- Contaminación radioactiva.

Es aquella originada por la explotación y segregación de --  
materiales radioactivos, plantas de energía nuclear, inves-  
tigación y actividades militares. En nuestro país este ti-  
po de contaminación es prácticamente nula, a pesar de la -  
construcción de la Nucleoeléctrica de laguna verde y los --  
accidentes con materiales radioactivos, como el caso de la  
varilla contaminada en Chihuahua.

## NORMAS DE CALIDAD EXIGIDAS EN LA LEGISLACION MEXICANA EN FUNCIÓN DE USOS, PARA AGUAS ESTUARINAS Y COSTERAS.

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas, publicado en el Diario Oficial en 1973, no contemplaba las -- aguas estuarinas ni costeras. Fue hasta 1976 cuando se le hacen - al Reglamento las adiciones necesarias, en tal forma, que cualquier descarga de aguas residuales vertida, ya sea a un estuario o costa, - sea regulada de acuerdo a los parámetros máximos tolerables y en función del uso que tenga el cuerpo receptor.

A continuación, se discuten brevemente las principales normas de - calidad, especificadas en aguas estuarinas y costeras en función de - sus usos.

### 2.1. Aguas Estuarinas

Aquí cabe la pena definir lo que es un ESTUARIO desde el punto de - vista de esta materia.

"Es el tramo de río en su desembocadura con el mar, que tiene in - fluencia de las mareas y que ésta limitado en longitud donde la con -

centración de cloruros sea de 250 mg/l durante los gastos de estiaje de agua dulce del río".

Los usos que puede tener el agua de un estuario son:

- E I Explotación de moluscos para consumo directo.
- E II Recreación, contacto primario.
- E III Explotación pesquera.
- E IV Navegación.

La tabla 2.1 y sus anexos muestran las normas de calidad exigidas -- para estuarios en función de sus usos.

De los usos y características de calidad, cabe discutir brevemente - la clase E I "Explotación de moluscos para consumo directo".

El ostión, almeja, pata de mula, etc. son organismos filtradores y por lo general de consumo directo, esto es, sin una previa cocción, por tal motivo la norma mas estricta es en lo que refiere a bacterias coliformes ( 70 org/100ml, para evitar enfermedades gastrointestinales) ; grasas y aceites (ausencia en película visible) y metales pesados (no son biodegradables y son bioacumulativos).

CLASIFICACION DE LAS AGUAS DE ESTUARIOS EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD

TABLA No. 2.1

CLASE	USOS	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
		pH	Temperatura, (°C)	O.D. mg/l	Bacterias Coliformes NMP Organismos/100 ml.	Aceites y Grasas.	Sólidos Disueltos	Turbiedad (U.T.J.)	Color, Olor y Sabor.	Nutrientes Nitrogeno y Fósforo	Materia Sedimentable	Sustancias Tóxicas.
		LIMITE MAXIMO	LIMITE MAXIMO	LIMITE MAXIMO								
E I	Explotación de moluscos para consumo directo y todos los demás usos.	6.5 a 8.5	C.N. +2.5 (a)	4.0	70 Promedio.	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i) Ausente	(j)
E II	Recreación (contacto primario) y cualquier otro uso excepto E I	6.5 a 8.5	C.N. +2.5 (a)	IDEM	200 Fecales.	(d)		(f)	(g)	(h)	IDEM	(j)
E III	Explotación pesquera y cualquier otro uso excepto los anteriores.	6.5 a 8.5	C.N. +2.5 (a)	IDEM	10,000 promedio mensual	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	IDEM	(j)
E IV	Navegación y cualquier otro uso excepto los anteriores.	5.0 a 9.0		3.0		(d)						

1.- Los valores de la tabla se refieren a las aguas fuera de las zonas de mezcladas (k) excepto el correspondiente a temperatura.

pH Potencial Hidrógeno U.T.J. Unidades de turbiedad Jackson O.D. Oxígeno disuelto NMP. Numero más mg/l Miligramos por litro. CN. Condiciones Naturales. \* C Grados Centígrados.



ANEXO DE LA TABLA No. 2.1

20

- (a) Medida en la superficie de la zona mezclado (k).
- (b) No más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá exceder de 2000 coliformes fecales
- (c) Ningún valor deberá exceder de 20,000 coliformes totales.
- (d) Ningún aceite o producto de petróleo debe ser descargado en cantidades que:
- I) Pueda ser detectado como una película visible, o
  - II) Pueda causar manchas en peces y/o organismos invertebrados, o
  - III) Forme depósitos de lodos aceitosos en la costa, ribera o en el fondo del cuerpo receptor, o
  - IV) Se vuelva tóxico.
- (e) No deberán hacerse cambios en la geometría de la cuenca o en las entradas de agua dulce, que puedan causar cambios permanentes en los patrones de comportamiento de la isohalina de  $\pm 10\%$  de la variación natural.
- (f) Se aplicarán los siguientes límites:
- |            |   |
|------------|---|
| C.N.+ 5%   | si la turbiedad natural está entre 0y 50 U.T.J. |
| C.N. + 10% | " " " " " " 50y 100 "                           |
| C.N. + 20% | " " " " es mayor o igual que 100 U.T.J.         |
- (g) No deberá descargarse ningún efluente con estas características, a menos que se haya demostrado que no es perjudicial a la flora y fauna acuática ni impida el uso óptimo del cuerpo receptor.
- (h) No debe existir en cantidades tales que puedan provocar hiperfertilización.
- (i) Cualquier desecho susceptible de sedimentarse y que pueda ocasionar consumo de oxígeno, opacidad, o interferencia a los organismos bentónicos en su respiración o nutrición.

(j) Se seguirá el siguiente criterio, para asignar de acuerdo con la tabla letra A las concentraciones máximas permisibles de las descargas:

Se deberá determinar mediante bioensayos, el límite - medio de tolerancia de 96 hrs., de preferencia se harán bioensayos con flujo continuo, utilizándose la etapa de vida más sensible de las especies de importancia ecológica o económica, con los siguientes factores de aplicación.

$$\frac{1}{100}$$

Para plaguicidas y metales

$$\frac{1}{100}$$

Para sulfatos

$$\frac{1}{100}$$

Para todas las demás sustancias tóxicas

(k) La zona de mezclado para cada descarga - será de 1/3 del área y/o volumen en la sección considerada. Aqué - lla se aplicará hasta 2/3 del área y/o volumen, siempre y cuando - las características de la descarga y del cuerpo receptor así como - del número de descargas localizadas en la vecindad de la zona de - mezclado así lo permitan. En todos los casos deberá quedar en el estuario una zona de paso libre para especies migratorias no menor que 1/3 del área y/o volumen en la sección considerada.

La Tabla A resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamentación y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

TABLA A

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN ESTUARIOS.

Arsénico	1.00 como As. mg/l
Cadmio	0.01 "
Cobre	0.05 "
Cromo Hexavalente	0.01 "
Mercurio	0.005 "
Plomo	0.1 "
Fenoles	0.1 "
Substancias activas al azul de metileno (detergentes)	0.5 "
Níquel	0.1 "
Zinc	10 "
Cianuro	0.02 "
Sulfuros	0.5 "
Fluoruros	1.5 "
Amoniaco	0.8 "
Cresoles	1.5 "

PLAGUICIDAS.

Aldrin	0.0004	mg/l
BHC	0.02	"
Clordano	0.02	"
Endrin	0.002	"
Heptacloro	0.002	"
Lindano	0.002	"
D.D.T.	0.006	"
Dieldrin	0.003	"
Endosulfan	0.002	"
Metoxiclor	0.04	"
Perthane	0.03	"
TDE	0.03	"
Toxafeno	0.03	"
Coumaphos	0.02	"
Dursban	0.03	"
Fenthion	0.0003	"
Naled	0.03	"
Paratlon	0.01	"
Ronnel	0.05	"
Arsenicales	0.01	"
Naturales	0.10	"
Carbamatos	0.10	"
Derivados de 2, 4 - D	0.10	"
Derivados 2, 4, 5 - T	0.10	"
Compuestos de ácido ftálico	0.10	"
Derivados de triazina	0.10	"
Derivados de urea	0.10	"

23

## 2.2 Aguas Costeras

24

Por definición una AGUA COSTERA es: "El agua del mar patrimonial en la extensión y términos que fije el derecho internacional; - las aguas marinas interiores y las de las lagunas y esteros que se comuniquen permanentemente o intermitentemente con el mar".

Los usos que puede tener el Agua Costera son:

- C 1 Cultivo de mariscos para consumo directo y áreas de acuacultura.
- C 2 Recreación contacto primario
- C 3 Usos recreativos sin contacto primario
- C 4 Explotación pesquera de especies de escama.

La tabla 2.2 y sus anexos muestran las normas de calidad exigidas para las aguas costeras en función de sus usos.

Asimismo, de estos usos y características de calidad, cabe volver a mencionar el cultivo de mariscos y las normas mas estrictas en lo que se refiere a bacterias coliformes, para evitar contaminación

bacteriológica, grasas y aceites, para evitar malos sabores y toxicidad por estas sustancias y los metales pesados y plaguicidas que los pueden bioacumular los moluscos.

26

**TABLA No. 2.2 CLASIFICACION DE LAS AGUAS COSTERAS EN FUNCION DE SUS USOS Y CARACTERISTICAS DE CALIDAD\***

CLASE	USO	(1) pH	(2) Temperatura (°C)	(3) O.D. mg/l Limite mínimo	(4) Bacterias Coliformes NMI* Organismos/ 100 ml	(5) Grasas y Aceites	(6) Transpa- rencia.	(7) Color Olor y sa- bor.	(8) Materia Flotante	(9) Substancias Tóxicas.
C1	Cultivo de mariscos para consumo directo, y áreas de acuicultura y todos los demás usos	CN+03	CN+10% (b)	90% de CN (c)	La concentración media deberá ser 70 (f)	(j)	(k)	(m)	Ausente	(n)
C2	Recreación con contacto primario y todos los demás usos excepto C1	CN+03	CN+10% (b)	90% de CN (d)	Menor de 1000 (g)	(j)	(k)	(m)	Ausente	(n)
C3	Usos recreativos sin contacto primario y todos los demás usos excepto los anteriores.	CN+04	CN+10% (b)	90% de CN (d)	Menor que 2000 (h)	(j)	(l)	(m)	Ausente	(n)
C4	Explotación pesquera de especies de escama y todos los demás usos excepto los anteriores.	CN+04	CN+10% (b)	90% de CN (d)	La concentración media mensual será 10,000(i)	(j)	(l)	(m)	Ausente	(n)

\* Dichas características deberán obtenerse de muestras que permitan representar el área afectada por las aguas residuales, fuera de la zona inicial de mezclado (a)

pH Potencial Hidrógeno  
O.D. Oxígeno Disuelto  
N.M.P. Número más probable

C.N Condiciones Naturales  
°C Grados Centígrados  
mg/l Miligramos por litro.

(a) Se considerará como zona de mezclado en aguas costeras al volumen adyacente al sitio de descarga en el cual se mezclan las aguas residuales con las aguas costeras debido al momentum de descarga y a la diferencia en densidades.

(b) Nunca podrá exceder de 32°C.

(c) Nunca deberá ser menor que 4.0 mg/l

(d) Nunca deberá ser menor que 3.0 mg/l

(e) Nunca deberá ser menor que 5.0 mg/l

(f) No más del 10% del total de las muestras en un período mensual deberá exceder de 230/100 ml.

(g) No más del 20% del total de las muestras mes (5 muestras por lo menos) deberá exceder de 1000/100 ml; ni ninguna muestra simple tomada durante un período verificativo de 48 hrs., debe exceder de 10'000/100 ml.

(h) No más del 20% del total de las muestras deberá exceder el valor considerado en un período mensual. Ni en un período verificativo de 48 hrs., podrá exceder de 10'000/100 ml.

(i) No más del 20% del total de las muestras deberá exceder de 10'000/100 ml en un período mensual, ni ninguna excederá de 20'000/100 ml.

(j) Ningún aceite o producto de petróleo debe ser descargado en cantidades que:

- I. Pueda ser detectado como una película visible, o
- II. Pueda causar manchas en peces y/o organismos invertebrados, o
- III. Forme depósitos de lodo aceitosos en la costa o en el fondo del cuerpo receptor, o
- IV. Se vuelva tóxico.

(k) La media mensual de este parámetro no podrá disminuirse en más de una desviación estándar de la media determinada en el mismo período para los niveles naturales. 28

(l) La media mensual de este parámetro no podrá disminuirse más de una y media veces la desviación estándar, de la media determinada durante el mismo período para los niveles naturales.

(m) No deberá descargarse ningún efluente con estas características a menos que se haya demostrado que no es perjudicial para el desarrollo de la vida acuática, la apariencia física o el uso óptimo del cuerpo receptor.

(n) Se seguirá el siguiente criterio, para señalar de acuerdo con la tabla número las concentraciones máximas permisibles de las descargas.

Se deberá determinar mediante bioensayos el límite medio de tolerancia, de 96 hrs. (TLm<sub>96</sub>). De preferencia se harán bioensayos con flujo continuo, utilizándose la etapa de vida más sensible de las especies de importancia ecológica o económica, con el siguiente factor de aplicación.

$$\frac{1}{20}$$

Para todas las sustancias tóxicas

Cuando debido a la supervivencia de las especies no sea posible determinar el TLm<sub>96</sub> se deberá calcular mediante la expresión:

$$TLm_{96} = \frac{170}{\log(100-S)}$$

Donde:

S = porcentaje de supervivencia para el 100% de desecho.

La Tabla B resume algunas de las sustancias tóxicas que de acuerdo con la información disponible se encuentran bajo reglamento y estudio en varias partes del mundo.

Los valores de las sustancias de esta tabla no son limitativos y están sujetos a modificación de acuerdo con el futuro avance tecnológico.

TABLA B

VALORES MAXIMOS PERMISIBLES DE SUBSTANCIAS TOXICAS EN AGUAS COSTERAS

Arsénico	0.1 como As. mg/l	
Cadmio	0.001	"
Cobre	0.005	"
Cromo hexavalente	0.001	"
Mercurio	0.0005	"
Plomo	0.001	"
Fenoles	0.001	"
Substancias activas al azul de metileno (detergentes)	0.001	"
Níquel	0.005	"
Zinc	0.01	"
Cianuro	0.001	"
Amoniaco	0.1	"

PLAGUICIDAS

Aldrin	0.04	ug/l
BHC	2.0	"
Clordano	2.0	"
Endrin	0.2	"
Heptacloro	0.2	"
Lindano	0.2	"
D.D.T.	0.6	"
Dieldrin	0.3	"
Endosulfán	0.2	"
Metoxiclor	4.0	"

perthane	3.0	ug/l	30
TDE	3.0	"	
Toxafeno	3.0	"	
Coumaphos	2.0	"	
Dursban	3.0	"	
Fenthion	0.03	"	
Naled	3.0	"	
Parathion	1.0	"	
Ronnel	5.0	"	
Arsenicales	10	"	
Naturales	10	"	
Carbamatos	10	"	
Derivados de 2, 4-D	10	"	
Derivados de 2, 4, 5-T	10	"	
Compuestos de ácido ftálico	10	"	
Derivados de traizina	10	"	
Derivados de area	10	"	



## FUENTES DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS ESTUARINAS Y COSTERAS Y TIPOS DE CONTAMINACION QUE PROVOCAN

El hombre produce una gran diversidad de contaminantes, muchos de los cuales llegan al medio acuático directa o indirectamente. Los materiales orgánicos en su mayoría se descomponen por procesos biológicos normales; otros como plaguicidas orgánicos, materiales inorgánicos, metales pesados, etc. son muy persistentes. Estos contaminantes persistentes llegan al mar por diversos mecanismos de transporte, tales como: transporte de sólidos por ríos, descargas directas a ríos y océanos; descargas desde buques; transporte por aire y lluvia. La importancia relativa de estos diversos mecanismos de transporte depende del carácter y origen del contaminante.

A continuación se tratan las principales fuentes y tipos de contaminación de las aguas costeras, haciendo la aclaración que las fuentes contaminantes de los estuarios, por lo general, son las mismas de las aguas costeras, salvo las propiamente originadas en mar abierto.

### 3.1 De tierra firme

Las principales fuentes de contaminación provenientes de tierra firme son:

32

- 3.1.1. Aguas residuales industriales
- 3.1.2. Aguas residuales municipales
- 3.1.3. Residuos sólidos provenientes de las industrias y municipios.
- 3.1.4. Escurrimientos y drenes agrícolas.

3.1.1. Las aguas residuales industriales, son el resultado de la utilización de agua, principalmente en operaciones de enfriamiento y procesos industriales específicos.

Existe una gran gama de industrias dentro de las grandes necesidades que tiene el hombre, éstas son:

- a) Industrias del vestido, tales como textiles, tenerías y lavanderías.
- b) Industrias alimenticias y drogas, tales como:  
conservas alimenticias, cerceverías, ingenios, productos farmacéuticos, pesqueros, cafetaleros, panaderías-agua, etc.

- c) Industrias de los materiales, tales como: papel, acero, productos metalizados, aceites, hule, vidrio, etc. 33
- d) Industrias químicas, tales como las que producen: ácidos, detergentes, explosivos, plaguicidas, fertilizantes, plásticos, resinas, etc.
- e) Industrias energéticas, tales como: plantas de energía - termoeléctricas, plantas de energía atómica, carboeléctricas y geotérmicas.

Los tipos de contaminación que originan las industrias de los grupos descritos son:

- Contaminación Orgánica
- Contaminación Bacteriológica
- Contaminación Térmica
- Contaminación por sustancias tóxicas
- Contaminación por grasas y aceites
- Contaminación radioactiva.
- Contaminación por sólidos flotantes, suspendidos o disueltos.

3.1.2. Las aguas residuales municipales son el resultado de la utilización de agua por los municipios para fines de limpieza, bebida, preparación de alimentos y riego de áreas verdes .

Los tipos de contaminación que originan las aguas residuales municipales son principalmente contaminación orgánica, bacteriológica, por sólidos disueltos y por grasas y aceites .

3.1.3. Los residuos sólidos provenientes de las industrias y municipios son basuras o desperdicios, origen de las actividades propias de los mismos; entre los materiales que forman los residuos sólidos municipales tenemos: materia orgánica, papel, trapo, vidrio, plástico, hueso, cartón y chatarra. Los residuos sólidos industriales son de una gama muy amplia y los podemos clasificar básicamente en inertes; peligrosos y potencialmente peligrosos .

Todos estos materiales por lo general son dispuestos al aire libre causando efectos antiestéticos, transmisores de enfermedades y se agrava mas el problema, pues algunos de estos residuos sólidos no son biodegradables -

o si lo son, el proceso es muy lento. Entre éstos, des- 35  
tacan los modernos envases desechables de lata, vidrio,  
cartón ahulado, plástico y hules. Asimismo los indus-  
triales con metales pesados y otras sustancias toxicas.

#### 3.1.4. Escurrimientos y drenes agrícolas.

La agricultura es otra fuente de contaminación de rele-  
vancia, ya que ésta genera residuos de animales, mate-  
rial orgánico cuyo  $DBO_5$  es cinco veces mayor que la pro-  
ducida por el hombre; material de erosión en forma de -  
sales inorgánicas, sólidos suspendidos y minerales di--  
versos; microorganismos, fertilizantes y plaguicidas.

La forma en que todos estos contaminantes llegan al agua  
es debido al viento y a la lluvia, esta última, realizando-  
un lavado superficial y debido a los escurrimientos, tar-  
de o temprano llegan a un cuerpo de agua, causándole al  
mismo, en forma directa, contaminación orgánica, bac-  
teriológica, por sustancias tóxicas y por sólidos disucl-  
tos.

#### 3.2. De actividades marinas

Las principales fuentes de contaminación que originan las actividades marinas son:

- 3.2.1. Descargas desde embarcaciones
- 3.2.2. Contaminación intencional y accidental causada por embarcaciones
- 3.2.3. Explotación de recursos minerales del subsuelo marino

3.2.1. Las descargas desde embarcaciones son principalmente aguas de los sanitarios y residuos líquidos y sólidos de la elaboración de alimentos; desechos industriales y materiales de dragado.

3.2.2. La contaminación, tanto intencional, como accidental, es debida principalmente a hidrocarburos.

La intencional, debido a operaciones de deslatre, que -- llevan a cabo las embarcaciones que transportan hidrocarburos; además, vertimientos de lubricantes que usan los motores de las embarcaciones.

La accidental es la originada, por accidentes a barcos - que transportan hidrocarburos y otras sustancias nocivas.

3.2.3. En la explotación de recursos minerales se originan principalmente hidrocarburos, gases, minerales y cascajos.

37

Ahora bien, de todos los residuos líquidos y sólidos provenientes de estas actividades marinas, la contaminación que en México se presenta por lo general en todas las zonas costeras es la debida a grasas y aceites. Los otros tipos de contaminación, tales como orgánica, bacteriológica, etc. son inapreciables debido a las fuentes provenientes de tierra firme y aire.

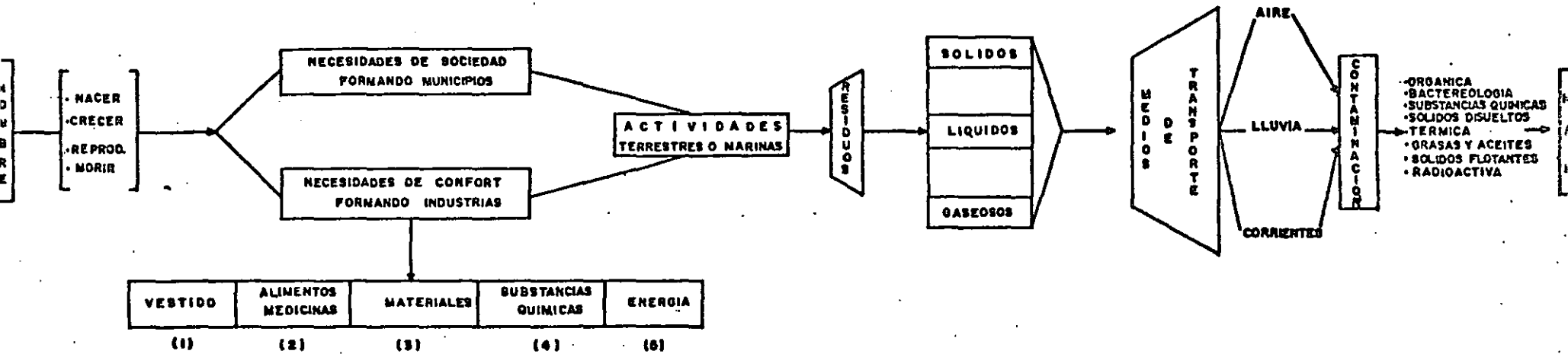
### 3.3. Del aire

El aire, más que fuente de contaminación, es un medio de transporte de compuestos y partículas volátiles originados en tierra firme y transportados por el mismo a los cuerpos de agua. Son ejemplos los productos de combustión tanto de industrias, como de vehículos y plaguicidas usados en la agricultura, para matar o repeler plagas dañinas a los cultivos.

En el caso de los plaguicidas, la forma de aplicarlos en los cultivos sería un factor predominante en la cantidad de plaguicida que llegue a los cuerpos de agua.

C U A D R O - 31

FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS COSTERAS





### 3.4. Fuentes de Contaminación Naturales

Los fenómenos naturales viento, lluvia, por tormentas y huracanes; temperatura, erupciones volcánicas, fenómenos biológicos y muerte de organismos vivos en un cuerpo de agua pueden alterar la calidad de agua en un estuario o agua costera. La forma en que puede suceder y tipos de contaminación sería:

Viento.- Arrastrando partículas contaminantes y partículas sólidas al agua. Ejemplos; plomo de las emisiones gaseosas y arenas de dunas a canales de navegación, azolvandolos.

Temperatura.- Incrementa la evaporación, concentrando mas las sales e interviene en la concentración del O.D. ; microorganismos y pH.

Erupciones Volcanicas.- En un momento dado, una erupción volcánica, por las cenizas, gases y otras sustancias destruyen la flora y fauna de un cuerpo de agua cercano al lugar.

Lluvia.- Este fenómeno es benéfico, para el caso del aire, porque lo limpia de partículas en suspensión, pero en el caso del agua arrastra al cuerpo de agua dichas partículas ya sea

en forma directa o en escorrentías, ocasionando turbiedad y color principalmente.

40

Fenómenos Biológicos.- En las aguas costeras de nuestro país se ha llegado a presentar el fenómeno conocido como "MAREA - ROJA". Este, es el crecimiento excesivo de un organismo perteneciente al zooplancton, del grupo "DINOFLAGELADOS" que generan una sustancia muy tóxica para los peces y los mata en grandes cantidades.

Ha la fecha no se ha podido determinar cual es la causa de dicho fenómeno, ya que es muy esporádico y no definida su presencia.

El cuadro 3.1. muestra un diagrama de las fuentes de contaminación de las aguas costeras.

## EFFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS MARI- TIMO PESQUEROS Y SER HUMANO.

Los efectos de la contaminación sobre los recursos marítimo pesque  
ros, son en la siguiente forma:

### 4.1. Efectos Directos.

Cuando un equis contaminante es vertido a un cuerpo de agua, -  
la acción de dicho contaminante es directo sobre el mismo, de de  
gradando su calidad; además, como todo cuerpo de agua es un-  
ecosistema, tendrá también un efecto directo sobre los microor  
ganismos, flora y fauna existente en dicho cuerpo.

### 4.2. Efectos Indirectos.

Cuando el mismo cuerpo de agua es utilizado para uso potable,  
industrial, agrícola, etc. el efecto de la contaminación del mis  
mo, es indirecto sobre el hombre, animales y plantas que - -  
usen tal agua.

A continuación veremos los efectos directos sobre el agua y pesca -

e indirectos sobre el hombre de los tipos de contaminación que ya --  
conocemos . 42

Cabe, aclarar que los efectos especificados son en términos genera-  
les, tanto en tipo de contaminación, como en agua y especies biológi-  
cas .

#### 4.3. Efectos de los diferentes tipos de contaminación

##### 4.3.1. Contaminación Orgánica

###### a) Efectos sobre el agua:

- Abate el oxígeno disuelto
- Causa color y turbiedad
- Crea olores e imparte sabores

###### b) Efectos sobre la pesca

- Un pez necesita como mínimo 4 mg/l de oxígeno di-  
suelto y como este es abatido por la contaminación  
orgánica estos pueden llegar a morir si además, se  
conjuntan otras condiciones dañinas para los peces.

c) Efectos sobre el hombre

43

- El efecto que, causa una agua con contaminación orgánica es antiestético esto es, dependiendo del uso, no es muy agradable nadar, beber o pasear en un tipo de agua con color, olor y sabor.

4.3.2. Contaminación Bacteriológica

a) Efectos sobre el agua

- En este caso el efecto es ecológico; esto es, aumentará el contenido de microorganismos que consumirán del agua oxígeno y materia orgánica y podrá desequilibrar la cadena alimenticia existente en dicho ecosistema.

b) Efectos sobre la pesca

- Efecto benéfico  
Por ser los peces un eslabón superior en la cadena alimenticia, los microorganismos servirán de alimento a los peces.
- Efecto dañino

Los microorganismos patógenos ( que causan enfer- 44  
medad ) les podrán causar enfermedades a los peces .

c) Efectos sobre el hombre

Los riesgos que corre el hombre al usar un tipo de agua conta-  
minada bacteriológicamente son:

- Enfermedades por microorganismos patógenos cólera, - -  
disentería, fiebre tifoidea, hepatitis, gastroenteritis, etc.
- Enfermedades parasitarias  
Amibiiasis, ascariasis, triquinosis etc.
- Enfermedades producidas por vectores transmisores .

El cuadro 4.3.1. resumen los organismos y enfermedades que pueden  
ser transmisibles .

4.3.3. Contaminación por Plaguicidas

CUADRO 4.3.1

ORGANISMOS Y ENFERMEDADES QUE PUEDEN SER TRANSMISIBLES POR AGUAS CONTAMINADAS BACTERIOLOGICAMENTE

ORGANISMO	ENFERMEDAD	45
A).- BACTERIAS		
- SALMONELLA TYPHI	FIEBRE TIFOIDEA	
- VIBRIO CHOLERAEE	COLERA	
- SHIGELLA	DISENTERIA BACILAR	
- SALMONELLA PARATYPHY	PARATIFOIDEA	
- CLOSTRIDIUM	SEPTICEMIA	
- VIBRIO PARAHEMOLITICO	GASTROENTERITIS	
B).- VIRUS		
- POLIOVIRUS	POLIOMIELITIS	
- COXSAKIE A Y B	MENINGITIS ASEPTICA	
- ECHOVIRUS	ERUPCIONES EN LA PIEL Y ENTERITIS.	
- HEPATITIS	HEPATITIS	
C).- PARASITOS		
- ENTAMOEBA HISTOLYTICA	AMIBIACIS	
- SCHISTOZOMA	BILHARZIA	
- ASCARIS LUMBRICOIDES	ASCARIDIASIS	
- TAENIA	TAENIASIS	
- ANCHYLOSTOMA	ANQUILOSTOMIASIS	
- TRICHURIS TRICHURIA	TRICOCEFALIASIS	
D).- OTROS		
- BACILO ANTRHACIS	ANTRAX	
- BRUSELLA	BRUCELOSIS	
- MYCOBACTERIUM T.	TUBERCULOSIS	

NOTAS:

- \* 1 Persona elimina al día = 100 gr de materia fecal
- \* 1 gr =  $500 \times 10^6$  org. coliformes fecales
- \* 1 Persona enferma fiebre tifoidea arroja  $8 \times 10^6$  S. Typhi/gramo
- \* Las aguas residuales de una población de 500 000 hab. contienen  $3 \times 10^6$  de organismos /ml

Los plaguicidas, sustancias orgánicas e inorgánicas que se usan pa 46  
ra matar, repelar o inhibir plagas desde el punto de vista contamina  
ción son muy peligrosos pues con su carácter de no biodegradables -  
llegan a permanecer mucho tiempo en la naturaleza. Los grupos de  
plaguicidas que se distinguen y su persistencia en la naturaleza son:

- Plaguicidas Organoclorados

Son compuestos de baja solubilidad, son muy persistentes  
y permanecen sin cambio alguno en la naturaleza por mu-  
chos años; ejemplo DDT, Aldrin, Heptacloro, etc.

- Plaguicidas Organo Fosforados

Son compuestos menos persistentes que los anteriores, ejem-  
plos: Paratión y Malatión.

- Plaguicidas a base del ion Carbaril

Los carbamatos son empleados principalmente como herbicidas  
y son de baja persistencia en la naturaleza.



#### 4.3.4. Contaminación por Metales Pesados

47

Como ya se dijo anteriormente, los metales pesados no son degradable y son bioacumulativas, la mayoría de ellos son de origen industrial

Los metales pesados mas importantes en términos de efectos sobre los sistemas biológicos naturales son: mercurio, cobre, plomo, cadmio, cromo, zinc, níquel y arsénico.

La producción mundial de éstos es grande y es evidente que dicha producción de elementos está en aumento y que, a su debido tiempo, serán acarreados al mar.

##### a) Efectos sobre agua, pesca y hombre

Todos los metales pesados son tóxicos para todos los eslabones de un sistema biológico, tienen efecto acumulativo en los organismos, donde se mantienen por largos períodos, y actúan como un veneno acumulativo.

Mencionaremos algunos casos de envenenamiento sucedidos en el mundo para tener una mejor idea sobre este problema. Envenenamiento en Japón de 111 gentes por consumir peces y crustáceos en la bahía de Minamata, cuyas aguas

estaban contaminadas por las descargas de una industria -  
que utilizaba mercurio.

48

Lagos de Suecia y costas del mar Báltico se han contaminado por mercurio en forma tal que se ha prohibido la venta de pescado capturado en las mismas.

Contaminación por plomo de sedimentos marinos en varias partes del mundo.

Especies marinas superiores (pinguinos y focas) en las costas de Alaska y Washington, contaminados con plomo, mercurio, cadmio y zinc.

Cromo hexavalente en el agua potable de Lecheria, Estado de México.

Como se ve el problema es de pensarse, el hombre es uno de los últimos eslabones, por lo tanto uno de los mas afectados.

Efectos sobre el hombre, podemos decir sólo uno; los metales pesados actúan sobre el sistema nervioso central y al actuar sobre éste; todo tipo de complicaciones podemos esperar.

#### 4.3.5 Contaminación térmica

49

Este tipo de contaminación originada por descargas de aguas residuales calientes, tiene una ingerencia definitiva en la autopurificación de un cuerpo de agua y en la biota existente en el mismo.

Abate el oxígeno disuelto y como se sabe el oxígeno es básico en la autopurificación y para la vida acuática.

Además, interfiere en la concentración de otros parámetros de calidad de agua.

#### 4.3.6. Contaminación radioactiva

Este tipo de contaminación es prácticamente nula en nuestro país; por lo cual no ahondaremos sobre el tema.

#### 4.3.7. Contaminación por sólidos disueltos

Este tipo de contaminación originada por aniones y cationes en forma de sales inorgánicas causan dureza en un agua y provocan condiciones indeseables para los usos industrial, municipal, agricultura y acuacultura.

Los riesgos que puede correr la persona que consume - - 50  
aguas con este tipo de contaminación son: fluorosis, enfer-  
medades cardiovasculares, hipertensión, etc.

#### 4.3.8. Contaminación por grasas y aceites

Es sin duda, este tipo de contaminación, una de las mas --  
extensivas en nuestro país; no existe un lugar costero (con  
embarcaciones) que no esté presente esta contaminación.

Su origen es debido principalmente al vertimiento intencio-  
nal y accidental de lubricantes y combustibles por las em-  
barcaciones que transportan o usan dichos hidrocarburos -

Los efectos que causa esta contaminación son los siguientes:

- Mancha orillas y se deposita en el fondo
- Inhibe la reaeración y la fotosíntesis
- Mancha los organismos y en algunos peces y plantas acuáticas es tóxico.
- Destruye la vegetación provocando posteriormente - erosión.
- Disminuye áreas recreacionales
- En grandes capas y concentraciones hay peligro de - incendios.

El cuadro 4.3.2. resume los efectos de los diferentes tipos de conta-  
minación en aguas y especies biológicas.

CUADRO 4.3.2

EFFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS MARITIMO PESQUEROS

TIPO CONTAMINACION	E F E C T O S - ( + )	
	A G U A S	ESPECIES PESQUERAS
ORGANICA	1.- Abaten O. D. 2.- Provoca color, turbiedad y malos olores	1.- Asfixia por ausencia de O. D. 2.- Beneficios por alimento
BACTERIOLOGICA	1.- Aumenta el contenido de microorganismos; causando desequilibrios.	1.- Causan enfermedades los microorganismos patógenos 2.- Los no patógenos son parte de la cadena alimenticia
PLAGUICIDAS	1.- Aumenta el contenido orgánico e inorgánico	1.- Tóxico 2.- Bioacumulativo
METALES PESADOS	1.- Aumenta el contenido mineral del agua	1.- Tóxico 2.- Bioacumulativo
TERMICA	1.- Abate O. D. 2.- Volatiliza e interfiere en otros Parámetros	1.- Les causa problemas metabólicos 2.- Les causa quemaduras- muerte
GRASAS Y ACEITES	1.- Interfiere en la reaeración inhibiendo la autopurificación 2.- Interfiere en la fotosíntesis	1.- Tóxico 2.- Mancha peces
SOLIDOS DISUELTOS	1.- Causan dureza, salinidad, turbiedad, color y sabor 2.- Causa hiperfertilización	1.- Enfermedades cardiovasculares 2.- Interfieren en el metabolismo
RADIOACTIVA	1.- Causan radioactividad	1.- Efectos acumulativos en celulas causando efectos mutagénicos

(+) Los efectos aquí especificados son en términos generales, tanto en grupo de contaminantes, como en agua y pesca .

## MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE CONTROL DE LA CONTAMINACION- DE LAS AGUAS COSTERAS.

Cabe mencionar que la solución a problemas de contaminación, desde el punto de vista técnico debe ser contemplado en una forma interdisciplinaria y desde el punto de vista político debe de existir una concientización muy amplia al respecto en Autoridades, Industriales y pueblo.

Ahora bien, en México existen problemas graves de contaminación - contados y existe además, una Legislación Ambiental muy joven, esto es desde el año de 1971.

Una gran parte de los actores en estos fenómenos de contaminación - ni idea tienen de tal legislación y los que tienen idea por ciertos fenómenos ( educación, sistema político, técnicos preparados, industrialización tecnificada, etc. ) no cumplen ni con lo mínimo exigido en dicha legislación.

Con base a lo anterior, a continuación se describen algunas medidas de prevención y control que deberían realizarse, pero la situación económica del país no lo permite.

5.1. Acciones preventivas

54

a).- Municipios e Industrias.

La verdadera acción preventiva para controlar la contaminación del agua, por un asentamiento humano y/o industrial es que desde la etapa de planeación de su construcción, se construyan los sistemas de recolección, conducción y tratamiento de los residuos líquidos y sólidos.

b) Obras marfimo-portuarias

Para nuestros fines distinguiremos los siguientes tipos de obras:

Cabe aclarar que en la siguiente clasificación no se incluyen obras en mar abierto para la explotación de los fondos marinos, ya que son otro problema.

a) Obras de protección y abrigo.

(Escolleras, espigones, rompeolas, etc.)

b) Obras para mejoramiento ecológico y condiciones hidráulicas (Dragados).

c) Puertos turísticos

55

d) Puertos Industriales

e) Puertos pesqueros

Las obras tipo a y b a pesar de que se modifican "condiciones naturales" podemos decir que no se generan problemas de contaminación y lo único recomendable es hacia los dragados y en lo que se refiere a la zona donde se descargará el material dragado lugar que debe cumplir con algunos requisitos de corrientes, dispersión mareas etc. con el fin de que los materiales mas finos no afecten zonas pesqueras y/o zonas de recreación.

Las obras c, d y e son las que si generan problemas graves de contaminación y es donde como mínimo si se tienen que contemplar medidas preventivas para el control de la contaminación ambiental. La tabla 5.1. resumen dichas medidas de prevención.

## 5.2. Acciones de control

Se debe realizar una acción de control cuando no se - - -



TABLA 5.1

OBRAS MARITIMO-PORTUARIAS, TIPOS DE CONTAMINACION GENERADAS Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

TIPO DE OBRA	TIPOS DE CONTAMINACION	MEDIDAS PREVENTIVAS
a). - Protección y abrigo escolleras, - espigones, rompeolas, etc.	Ninguna "perjudicial" ( Modifican Condiciones Naturales )	Zona de depósito del material dragado (no en lugares ostrícolas y de acuicultura)
b). - Mejoramiento Ecológico	Modifican Condiciones Naturales	Un excelente diseño de las obras de protección y cuidados en el depósito de material dragado .
c). - Puertos Turísticos	1). - Aguas Residuales - Orgánica, bacteriológica 2). - Residuos Sólidos - Basuras	Sistemas de recolección, tratamiento y disposición de las aguas residuales y residuos sólidos de barcos y de la población.
d). - Puertos Industriales	1). - Aguas Residuales - Todos los tipos de contaminación 2). - Residuos Sólidos - Basuras y Residuos Industriales	- Cada industria su sistema de tratamiento y disposición. - Reciclo de aguas y subproductos y modificaciones en procesos. - Tratamiento a las aguas residuales de los municipios conurbados en la zona.
e). - Puertos Pesqueros	1). - Aguas Residuales - Orgánica, bacteriológica 2). - Residuos Sólidos - Basuras	- Tratamientos conjuntos ( SRCCA ) - Industrialización de basuras y/o rellenos sanitarios.

realizaron las medidas de prevención. En México es el caso y estamos hasta cierto punto privilegiados porque otros países han desarrollado la tecnología requerida para controlar o al menos aminorar los efectos de las fuentes contaminantes de las aguas costeras. 52

Por el momento para el país, las soluciones son muy costosas y se debe trabajar para adecuar la tecnología, a este respecto, de otros países para el nuestro.

En el tema IX y X se describen las técnicas y métodos disponibles para tratar y disponer adecuadamente los residuos líquidos y sólidos que generan los asentamientos humanos e industriales y que son la principal fuente de contaminación de las aguas costeras.

### 5.3. Programas y acciones a nivel nacional.

A continuación describiremos los programas y acciones que la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) lleva a cabo en materia de prevención y control de la contaminación de las Aguas Costeras. Cabe la pena mencionar que la SEDUE, por el momento es la Dependencia rectora al respecto.

Los programas son:

58

5.3.1. Programa Nacional de Sistemas de Control de la Contaminación del Agua.

5.3.2. Programa de Acciones Concertadas.

5.3.3. Programa de Regulación de Aguas Residuales Municipales .

5.3.4. Programa de Normas y Vigilancia.

5.3.1. Programa Nacional de Sistemas de Control de la Contaminación del Agua.

Este programa es una estrategia de control de la contaminación del agua, establecida por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología para lograr el máximo aprovechamiento del agua en los diferentes usos a los que le destinan la población e industrias, mediante el establecimiento de sistemas de tratamiento conjuntos, que permitan dar la solución a los problemas de contaminación del agua de for

ma regional.

59

Con relación a las zonas costeras se han determinado como críticas los lugares siguientes, para su atención inmediata:

Ensenada, B.C.; Acapulco, Gro.; Coatzacoalcos-Minatitlán, Ver.; Veracruz, Ver.; Lázaro Cárdenas, Mich.; Altamira, Tamps.; Guaymas-Empalme, Son.; Mazatlán, Sin y Estuario del Río Pánuco, Tamps.

Actualmente esta terminado Mazatlán, Sin. y próximo a -- construirse el de Lázaro Cárdenas, Mich. y Estuario del - Río Pánuco, Tamps.

### 5.3.2. Programa de Acciones concertadas.

La industria paraestatal es una de las principales fuentes contaminantes de los cuerpos de agua del país; por tal motivo la SEDUE ha firmado convenios de coordinación con:

- PEMEX
- AZUCAR, S. A.
- FERTIMEX

Y proximo a firmarsé con SIDERMEX.

Asimismo se tiene firmado un convenio con la Secretaría - 60  
de Marina y en forma coordinada con la S.C.T. se llevan  
acciones de prevención y control en los Puertos Industria-  
les de Lázaro Cárdenas, Mich. y Altamira, Tamps.

### 5.3.3. Programa de Regulación de Aguas Residuales Municipales

A la fecha se han detectado un total de 179 plantas de tra-  
tamiento para aguas residuales municipales en el país. -  
Con este programa se pretende rehabilitar las que no fun-  
cionan, partiendo de un diagnóstico; se da apoyo y asesoría  
al municipio en la operación y construcción de nuevas plan-  
tas.

Asimismo la SEDUE promueve la impartición de cursos de  
capacitación a operadores de plantas de tratamiento.

### 5.3.4. Programa de Normas y Vigilancia

Con este programa se registran las descargas de aguas re-  
siduales que se vierten en las zonas costeras; se clasifican  
las aguas costeras y se fijan condiciones particulares de -  
descarga.

Por otro lado se atienden quejas sobre contaminación del -  
agua, se realizan visitas de inspección, se sanciona y se - 61  
efectúan verificaciones de cumplimiento.

Asimismo en este programa queda incluido el monitoreo de  
la calidad del agua y la actualización y adecuación de Leyes  
y Reglamentos.

## BIBLIOGRAFIA Y LITERATURA DE CONSULTA

62

AUTOR	AÑO	TITULO Y EDITORIAL
1. APHA,AWWA	1980	Standar Methods for the examination of water and waste-water.
2. E. FERNANDEZ A.	1975	Documento Técnico.Contaminación microbiológica . ONU-FAO. Lima, Perú
3. FAIR GEYER Y OKUN	1971	Abastecimiento de Agua. Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Tomo I y II. Lymusa Wiley.
4. GOLDBERG E.E.	1972	A Guide To Marine Pollution. Gordon and Breach.
5. G. J. KNIGH	1956	An Investigation of The Efficacy of Submarine outfall disposal of sewage and sludge.State of California
6. METCALF Y EDDY	1972	Wastewater Engineering. Mc Graw Hill
7. NEMEROW N.L.	1971	Liquid Waste of industry. Addison Wesley.
8. PEARSON	1960	Waste Disposal in the Marine Environment. Pergamon Press.
9. PELCZAR Y REID	1965	Microbiologia. Mc Graw Hill
10. PODER EJECUTIVO DE LA FEDERACION	1984	Adiciones y modificaciones a la Ley Federal de Protección al Ambiente, publicada el 11-II-82 en el Diario Oficial.
11. PODER EJECUTIVO DE LA FEDERACION	1976	Adiciones y modificaciones al Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas, publicado el 29-III-73 en el Diario Oficial

AUTOR	AÑO	TITULO Y EDITORIAL 63
12. PORTILLO M.	1975	El medio ambiente en México Fondo de Cultura Económica.
13. RILEY Y CHESTER	1978	Introduction to marine Chemis- try. Academic Press.
14. SARH-CIECCA	1973	Manual de Técnicas de Mues- treo y Análisis de Campo - - Edision Privada.
15. TURK, TURK Y WPCF	1980	Ecología, contaminación y - Medio Ambiente. Editorial - Interamericana.

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "DESARROLLO COSTERO" IMPARTIDO EN ESTA  
DIVISION DEL 25 DE NOVIEMBRE AL 6 DE DICIEMBRE DEL PRESENTE AÑO.

- 1.- AGUILAR LOPEZ SERGIO ARTURO  
COMISION NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS  
COORDINADOR TECNICO  
AV. BAJA CALIFORNIA No. 255-8o. PISO  
COL. HIPODROMO CONDESA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
584-34-36  
AV. COPILCO No. 162 EDIF. 29-503  
COL. COPILCO UNIVERSIDAD  
DELEGACION COYOACAN  
04340 MEXICO, D.F.  
550-69-80
- 2.- ALDAZABA VELEZ TAURINO  
DECFI, UNAM  
CANAL DE SAN JUAN No. 172-304  
EDIF. zab.
- 3.- ANAYA HERNANDEZ J. ANTONIO  
DIREC. DE DRAGADO S. C. T.  
CALCULISTA  
PROVIDENCIA No. 807-6o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-66-24  
P. ARRIAGA L 537 M. 20 A  
DELEGACION TLAHUAC  
13220 MEXICO, D.F.
- 4.- BARRON BELMONTES SALVADOR  
COMISION NACIONAL COORDINADORA PUERTOS
- 5.- CASTORENA DAVIS J.J. JAVIER  
PROMOTORA PUNTA SAN BASILIO, S. A.  
VICEPRESIDENTE  
JUAREZ No. 9  
23880 LORETO, B.C.S.  
30278  
BAJIO No. 369-7  
COL. HIPODROMO CONDESA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06170 MEXICO, D.F.  
574-42-19
- 6.- ESPINOZA LOPEZ ROBERTO  
S. C. T. D. G. O. M.  
ING. PROYECTISTA  
PROVIDENCIA No. 807-2o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
523-28-15 y 523-73-67  
ALHAMBRA No. 219-3  
COL. PORTALES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03300 MEXICO, D.F.  
532-17-45
- 7.- GARCIA GARCIA SALATIEL  
S. C.T.  
CALCULISTA  
PROVIDENCIA No. 807-2o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-73-67  
LAZARO CARDENAS No. 4  
AÑO DE JUAREZ  
DELEGACION IZTAPÁLAPA  
523-73-67
- 8.- GARCIA MENDOZA JOSE GERARDO  
S. C.T. D. G. O. M.  
OFNA. DE MEC. DE SUELOS  
INGENIERO ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-73-67  
PLAYA ICACOS No. 78  
COL. REFORMA IZTACCIHUATL  
DELEGACION IZTACALCO  
08810 MEXICO, D.F.  
579-21-01



- 9.- GARCIA NICOLAS FELICIANO  
S. C. T.
- 10.- HERNANDEZ VALIE LUIS RUBEN  
DIR. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
INGENIERO PROYECTISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
08310 MEXICO, D.F.  
523-73-67
- 11.- LEON PALOMINO MARIA TERESA  
DIREC. GRAL. OPERAC. Y DESARR.  
PORTUARIO  
JEFE DEPTO. PLANEACION PORTUARIA  
MIRAFLORES No. 245  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION CUAUHEMOC  
567-20-20
- 12.- LOPEZ AVILES ROBERTO  
INST. CIENCIAS DEL MAR  
EST. MAZATLAN  
ESTUDIANTE  
EXPLANADA DE LA AZADA S/N
- 13.- LUNA MC. GREGOR P. VIRGILIO  
S. C. T. DIREC. GRAL. OBRAS MARIT.  
ANALISTA ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807-1er. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-27-36
- 14.- MARTINEZ MEDINA E. GABRIEL  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS SCT  
JEFE DE SECCION  
PROVIDENCIA No. 801-4o. PISO  
COL. DEL VALLE
- 15.- MARTINEZ ROJAS J. JESUS  
BUFETE INDUSTRIAL  
ING. JEFE DE SECCION  
MORAS No. 850  
COL. DEL VALLE  
658-58-99 ext. 1472-1475
- 16.- MEJIA REYNA SAMUEL  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS SCT  
ARQUITECTO PROYECTISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
523-23-15
- EMILIO CARRANZA No. 102  
DELEGACION MAGDALENA CONTRERAS  
10910 MEXICO, D.F.  
568-44-67
- INVERNADERO No. 279  
DELEGACION AZCAPOTZALCO  
02800 MEXICO, D.F.  
556-17-79
- AV. UNIVERSIDAD No. 2074-9-3  
COL. COPILCO C.U.  
DELEGACION COYOACAN  
04360 MEXICO, D.F.
- EDIF. 3 DEPTO. "L" UNIDAD NARVARTE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03020 MEXICO, D.F.  
696-68-12
- INSURGENTES SUR No. 240-21  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06400 MEXICO, D.F.
- CALLE FCO. VILLA LOTE 13 MZ. 5  
COL. STA. MARTHA ACATITLA  
DELEGACION IZTAPALAPA  
09510 MEXICO, D.F.
- AMORES No. 223-5  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
523-30-45

17.- MENESES GARCIA MANUEL  
S.C.T. D.G.O.M.  
INGENIERO ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
687-76-80

POPOCATEPETL No. 64  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07500 MEXICO, D.F.  
796-36-34

18.- MOLINA SEVILLA PEDRO ANTONIO

DILIGENCIAS No. 153 C-401  
SAN PEDRO MARTIR  
DELEGACION TLALPAN  
14650 MEXICO, D.F.  
655-88-06

19.- MORAN OLVERA RAUL  
COMISION NACIONAL COORDINADORA  
DE PUERTOS  
ANALISTA TECNICO  
CUERNAVACA No. 5  
COL. CONDESA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06140 MEXICO, D.F.  
563-87-11

JOSE E. SANTOS 1 PTE  
NAUCALPAN DE JUAREZ, EDO. DE MEXICO  
244-03-48

20.- MUÑOZ ROSALES GUILLERMO  
S. C. T.  
PROYECTISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-27-26

AV. STA. LUCIA 12  
COL. O. DEL C.  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01400 MEXICO, D.F.  
680-16-44

21.- ORTIZ CADENA FROYLAN  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS S.C.T.  
INGENIERO ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807-4o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-45-38

SABINO No. 60 DEPTO. 13  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06400 MEXICO, D.F.  
541-12-33

22.- ORTIZ LEYVA OSCAR  
S. C. T.  
JEFE DE OFICINA  
MIRAFLORES No. 243  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
02100 MEXICO, D.F.  
680-20-20

LINDAVISTA No. 379  
EDO. DE MEXICO  
797-63-63

23.- RAMIREZ DE LA CRUZ JESUS ANTONIO

MEDICINA No. 65  
COL. COPILCO EL ALTO  
DELEGACION COYOACAN  
04360 MEXICO, D.F.

- 24.- RAMOS Y JIMENEZ JOSE LUIS  
SECRETARIA DE MARINA  
CALZADA DE LA VIRGEN S/N  
SAN PABLO TEPETLAPA  
TLALPAN  
PENNSYLVANIA No. 191-102  
COL. NAPOLES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03810 MEXICO, D.F.  
536-42-43
- 25.- RAZO DELGADO JOSE GUADALUPE  
ING. Y PROCESAMIENTO ELECTRONICO  
JEFE DE GRUPO  
SAN LORENZO No. 153  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
Q3100 MEXICO, D.F.  
559-15-32  
CALLE 20 No. 130  
COL. GUADALUPE PROLETARIA  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07670 MEXICO, D.F.  
392-23-89
- 26.- REYES PIZANO ADOLFO  
UNAM  
PROFESOR  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
AV. SALOMON No. 542  
DELEGACION ATZCAPOTZALCO  
02060 MEXICO, D.F.  
561-03-64
- 27.- ROSADO ECHENAVE XAVIER  
COMISION NACIONAL COORDINADORA PTOS.  
DELEGADO COORDINADOR  
INSURGENTES SUR No. 617-1er. PISO  
COL. NAPOLES  
542-16-22  
3a. PTE. TAPACHULA CHIS.  
624-46
- 28.- SALASTORREA RENGELL LUIS D.  
DIREC. INVESTIGACIONES OCEANOGRAFICAS  
DIRECTOR  
HERMOSILLO No. 16-4o. PISO  
COL. ROMA SUR  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
584-33-35  
PLESA 163-3  
SAN JERONIMO  
DELEGACION MAGDALENA CONTRERAS  
10200 MEXICO, D.F.  
595-76-26
- 29.- VAZQUEZ RUIZ CARLOS  
S.C.T. DIREC. GRAL. DESARR. TEC.
- 30.- VELAZQUEZ SANCHEZ ROLANDO  
COMISION NAC. COORDINADORA PUERTOS  
COORDINADOR DE ANALISTA  
DIREC. GRAL SISTEMAS PORTUARIOS  
COL. HIPODROMO CONDESA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
584-34-78  
MIGUEL ANTUNEZ 8  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11350 MEXICO, D.F.  
396-34-40
- 31.- VILLALOBOS LOPEZ JULIO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS S.C.T.  
INGENIERO ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807-  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-28-15  
MUSTLE No. 59  
COL. VICTORIA DE LAS DEMOCRACIAS  
DELEGACION AZCAPOTZALCO  
02810 MEXICO, D.F.  
523-28-15

32.- VILLANUEVA HERNANDEZ EDUARDO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
PROYECTISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-27-26

BAJA CALIFORNIA No. 373-15  
DELEGACION CUAUHEMOC  
06170 MEXICO, D.F.

33.- ZAPIEN GUERRERO JOSE ROBERTO  
S.C.T.