

DIRECTORIO DE PROFESORES DEL CURSO: DESARROLLO COSTERO 1984

1.           ING. DANIEL CERVANTES CASTRO  
              DIRECTOR GENERAL  
              CONSULTORES EN INGENIERIA FLUVIOMARITIMA, S.A.  
              PETEN NO. 543  
              COL. NARVARTE  
              MEXICO, D.F.  
              575 25 11
  
2.           ING. HECTOR LOPEZ GUTIERREZ (COORDINADOR)  
              DIRECTOR GENERAL DE SISTEMAS PORTUARIOS  
              COMISION NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS  
              SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
              BAJA CALIFORNIA NO. 255-A 8° PISO  
              COL. HIPOBROMO CONDESA  
              MEXICO, D.F.  
              574 58 83
  
3.           ING. AGUSTIN CORICHI FLORES  
              575 25 11
  
4.           ING. ALFREDO CELIS COLIN  
              GERENTE DE ESTUDIOS Y PROYECTOS  
              CIPSA CONSULTORES  
              PETEN 543  
              MEXICO, D.F.  
              523 14 04
  
5.           ING. EDUARDO SAUCEDO DUEÑAS
  
6.           ING. LUIS SALINAS QUINARD
  
7.           ING. JOSE L. MURILLO BAGUNDO  
              DIRECTOR DE PUERTOS COMERCIALES  
              COMISION NACIONAL COORDINADORA DE PUERTOS  
              BAJA CALIFORNIA NO. 255 A 8° PISO  
              COL. H. CONDESA  
              MEXICO, D.F.  
              584 35 38
  
8.           ING. ANTONIO MORENO GOMEZ
  
9.           ING. PEDRO GARCIA CAMACHO



DESARROLLO COSTERO NOVIEMBRE - DICIEMBRE 1984 .

Fecha	Profesor	Horario	Profesor
Noviembre 26	APROVECHAMIENTO LITORAL		
	El Concepto de Aprovechamiento Litoral. Problemática	17 a 21 h	Ing. Héctor López Gutiérrez Ing. Daniel Cervantes Castro Ing. Agustín Corichi Flores
Noviembre 27	EL ENTORNO FISICO		
	Información básica sobre oleaje. Formación, propagación y efectos.	17 a 21 h	Ing. Luis Salinas Quinard Ing. Eduardo Saucedo Dueñas
Noviembre 28	SISTEMAS PLAYEROS		
	Sistemas playeros y obras costeras	17 a 21 h	Ing. Alfredo Célis Colín Ing. José Luis Murillo Bagundo
Noviembre 29	SISTEMAS ESTUARINOS		
	Obras Costeras	17 a 21 h	Ing. Héctor López Gutiérrez Ing. Antonio Moreno Gómez
	Estuarios, desembocaduras y accesos costeros		
Noviembre 30	CONTAMINACION COSTERA		
	Descargas costeras municipales e industriales	17 a 21 h	Ing. Antonio Moreno Gómez Ing. Pedro García Camacho
	Descargas térmicas y procesos de mezclado		
Diciembre 3	OBRAS PLAYERAS DE PROTECCION		
	Carretera Champotón - Ciudad del Carmen	17 a 21 h	Ing. Héctor López Gutiérrez Ing. Alfredo Célis Colín
	Puerto de Yukalpetén		

FECHA	TEMA	Horario	Profesor
Diciembre 4	ESTUARIOS Y DESEMBOCADURAS Desembocadura del río Pánuco Desembocadura del río Balsas	17 a 21 h	Ing. Héctor López Gutiérrez Ing. Daniel Cervantes Castro
Diciembre 5	ACCESOS COSTEROS Laguna Camaronera	17 a 21 h	Ing. Héctor López Gutiérrez Ing. Antonio Moreno Gómez Ing. Daniel Cervantes Castro
Diciembre 6	EMISORES Y OBRAS DE TOMA MARINA Emisores de aguas negras de Acapulco y Mazatlán Obra de toma de Manzanillo	17 a 21 h	Ing. Agustín Corichi Flores  Ing. Luis Salinas Quinard
Diciembre 7	MESA REDONDA CEREMONIA DE CLAUSURA		

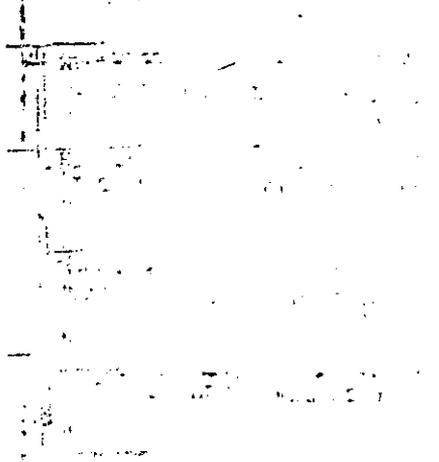
# EVALUACION DEL PERSONAL DOCENTE

E

**CURSO:** DESARROLLO COSTERO

**FECHA:** Del 26 de noviembre al 7 de diciembre 1984.

		DOMINIO DEL TEMA	EFICIENCIA EN EL USO DE AYUDAS AUDIO VISUALES	MANTENIMIENTO DEL INTERES. (COMUNICACION CON LOS ASISTENTES, AMENIDAD, FACILIDAD DE EXPRESION).	PUNTUALIDAD
<b>CONFERENCISTA</b>					
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. ALFREDO CELIS COLIN				
7.	ING. JOSE LUIS MURILLO BAGUNDO				
8.	ING. ANTONIO MORENO GOMEZ				
9.	ING. PEDRO GARCIA CAMACHO				
edcs. <b>ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10</b>					



10/10/10/10/10

10/10/10/10/10

10/10/10/10/10

10/10/10/10/10

10/10/10/10/10

10/10/10/10/10

# EVALUACION DE LA ENSEÑANZA

SU EVALUACION SINCERA NOS AYUDARA A MEJORAR LOS PROGRAMAS POSTERIORES QUE DISEÑAREMOS PARA USTED.

TEMA	ORGANIZACION Y DESARROLLO DEL TEMA	GRADO DE PROFUNDIDAD LOGRADO EN EL TEMA	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO EN EL TEMA	UTILIDAD PRACTICA DEL TEMA
APROVECHAMIENTO LITORAL				
EL ENTORNO FISICO				
SISTEMAS PLAYEROS				
SISTEMAS ESTUARINOS				
CONTAMINACION COSTERA				
OBRAS PLAYERAS DE PROTECCION				
ESTUARIOS Y DESEMBOCADURAS				
ACCESOS COSTEROS				
EMISORES Y OBRAS DE TOMA MARINA				
MESA REDONDA				

ESCALA DE EVALUACION: 1 a 10

## EVALUACION DEL CURSO

3

CONCEPTO		EVALUACION
1.	APLICACION INMEDIATA DE LOS CONCEPTOS EXPUESTOS	
2.	CLARIDAD CON QUE SE EXPUSIERON LOS TEMAS	
3.	GRADO DE ACTUALIZACION LOGRADO CON 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 CON EL CURSO	

ESCALA DE EVALUACION DE 1 A 10

1. ¿Qué le pareció el ambiente en la División de Educación Continua?

MUY AGRADABLE	AGRADABLE	DESAGRADABLE

2. Medio de comunicación por el que se enteró del curso:

PERIODICO EXCELSIOR ANUNCIO TITULADO DI VISION DE EDUCACION CONTINUA	PERIODICO NOVEDADES ANUNCIO TITULADO DI VISION DE EDUCACION CONTINUA	FOLLETO DEL CURSO

CARTEL MENSUAL	RADIO UNIVERSIDAD	COMUNICACION CARTA, TELEFONO, VERBAL, ETC.

REVISTAS TECNICAS	FOLLETO ANUAL	CARTELERA UNAM "LOS UNIVERSITARIOS HOY"	GACETA UNAM

3. Medio de transporte utilizado para venir al Palacio de Minería:

AUTOMOVIL PARTICULAR	METRO	OTRO MEDIO

4. ¿Qué cambios haría usted en el programa para tratar de perfeccionar el curso?

---



---



---

5. ¿Recomendaría el curso a otras personas?

SI	NO

6. ¿Qué cursos le gustaría que ofreciera la División de Educación Continua?

---

---

7. La coordinación académica fue:

EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA

8. Si está interesado en tomar algún curso intensivo ¿Cuál es el horario más conveniente para usted?

LUNES A VIERNES DE 9 A 13 H. Y DE 14 A 18 H. (CON COMIDAS)	LUNES A VIERNES DE 17 A 21 H.	LUNES, MIERCOLES Y VIERNES DE 18 A 21 H.	MARTES Y JUEVES DE 18 A 21 H.

VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 14 H.	VIERNES DE 17 A 21 H. SABADOS DE 9 A 13 Y DE 14 a 18 H.	O T R O

9. ¿Qué servicios adicionales desearía que tuviese la División de Educación Continua, para los asistentes?

---

---

10. Otras sugerencias:

---

---

---



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

DESARROLLO COSTERO

SISTEMAS ESTUARIOS

NOVIEMBRE, 1984.

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

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.

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 éscurrimientos 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;

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 estuarias 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.

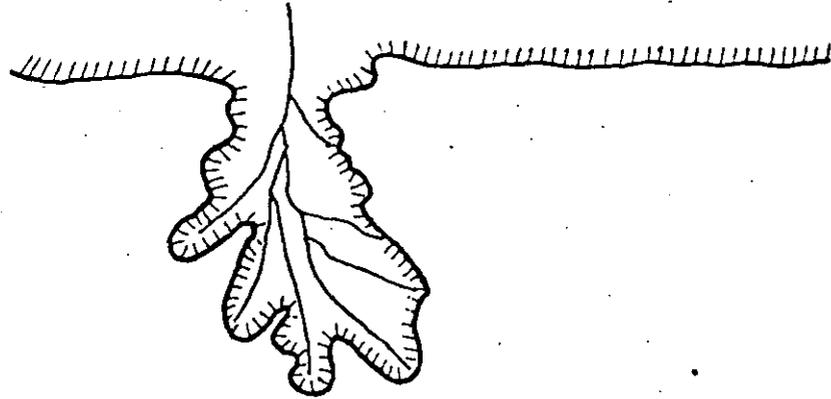


FIG. No. 1 Delta sin la presencia de oleaje.

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 comúnmente 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-

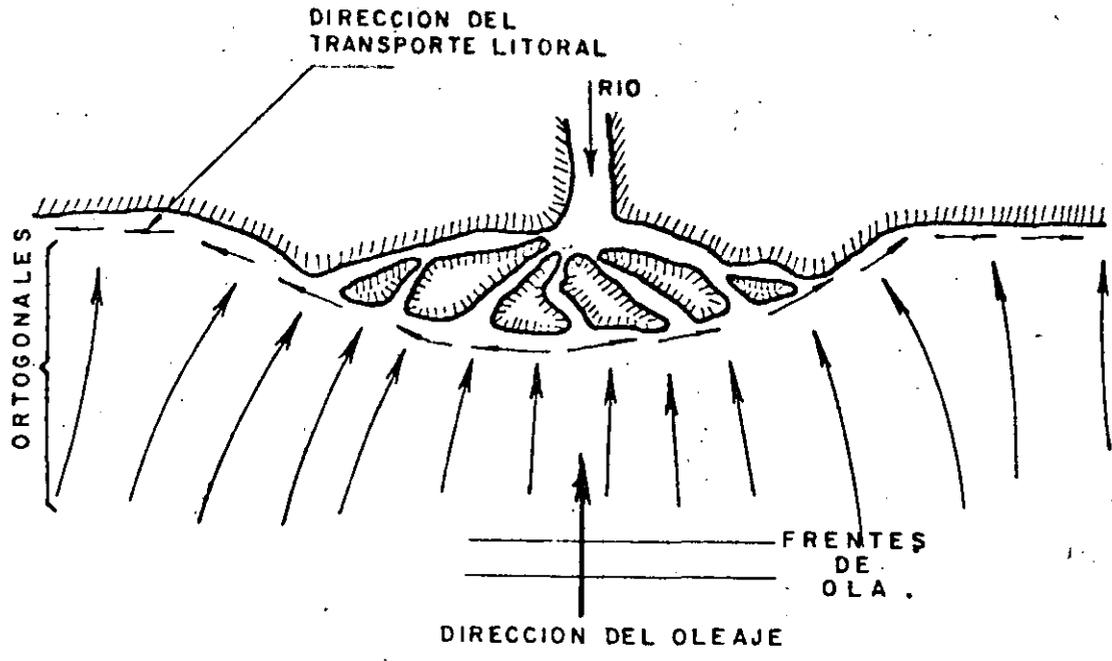


FIG. 2.- Delta tipo Pata de Pájaro.

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 escu-rrimientos).
- 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.

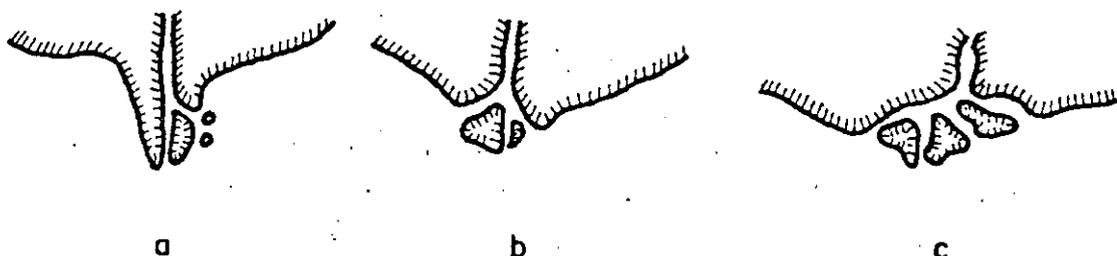


FIG. 2.- Influencia del aporte de sedimento.

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.

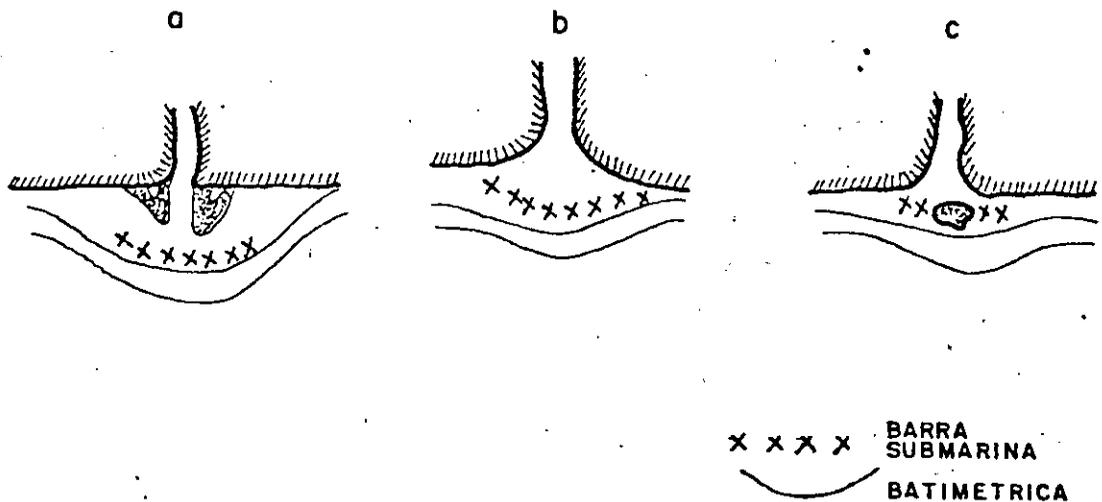


FIG. 4.- Influencia de las Corrientes por Marea

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.

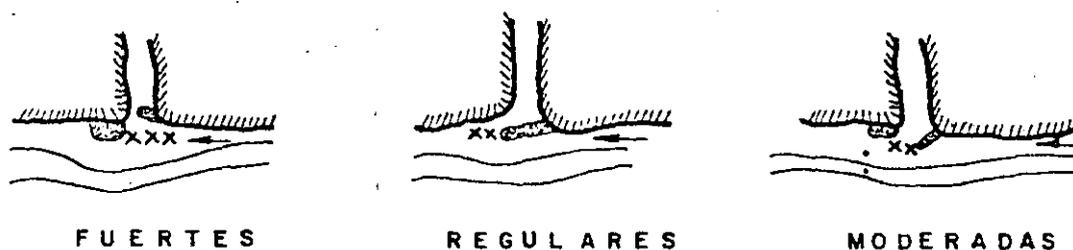


Fig. 5.- Influencia de las fuerzas de distribución

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.

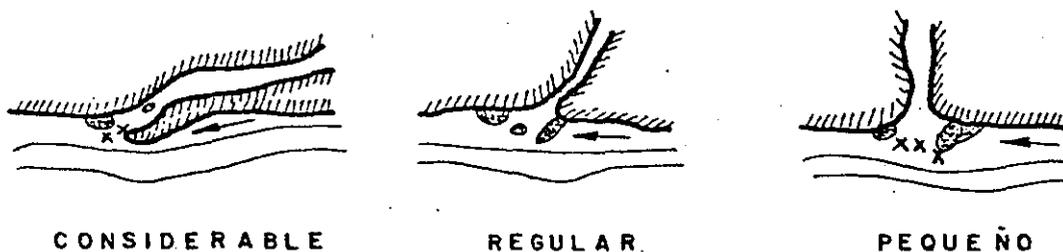


Fig. 6.- Influencia del Transporte Litoral

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 reflujo de marea (vaciante) 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 positivamente (Na, K, etc.) y neutralizan los iones cargados negativamente de las partículas de limo provocando la floculación (ver figura 7).

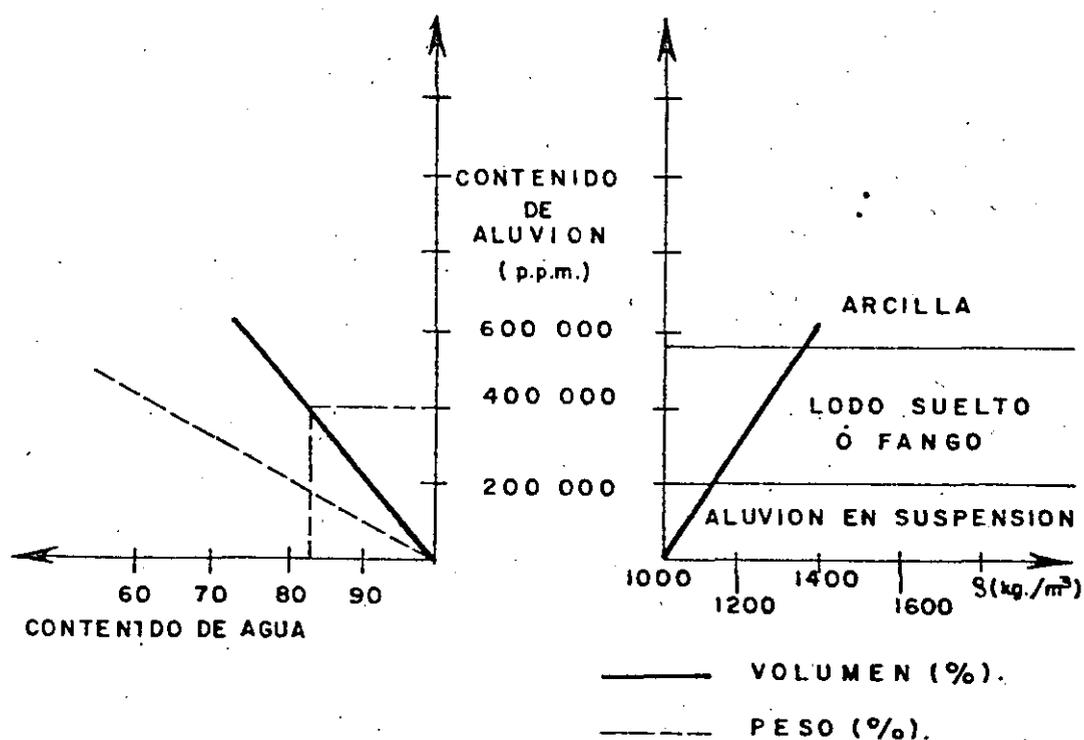


FIG. 7.- Nomenclatura de acuerdo con la concentración de aluvión.

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).

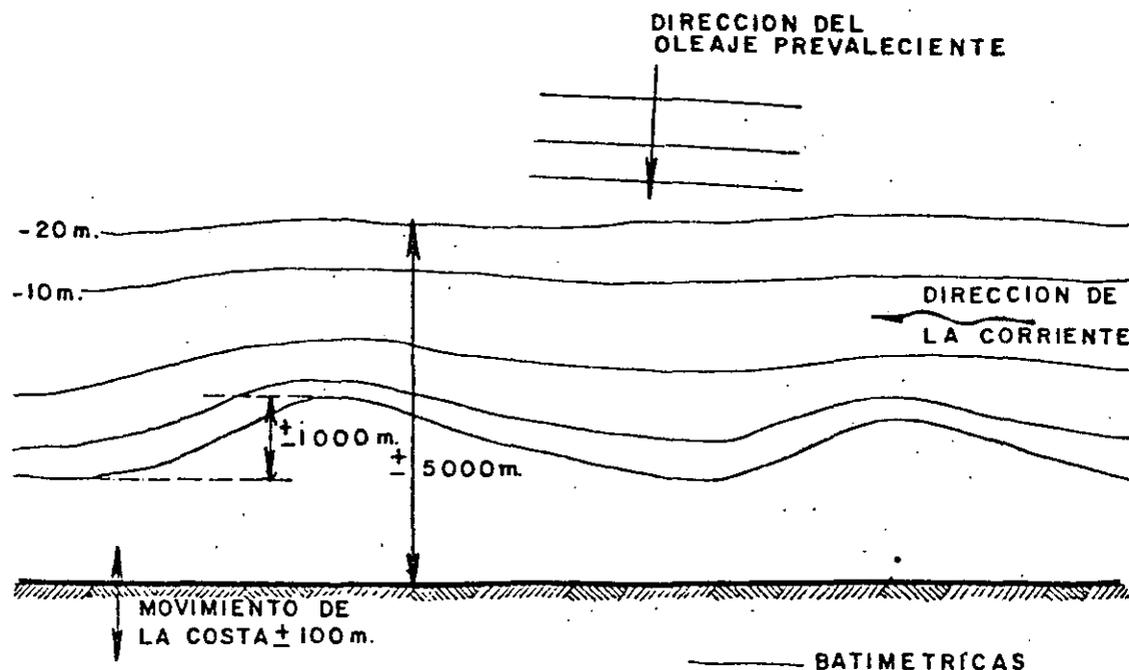


FIG. 8.- Ondas de Fango

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.

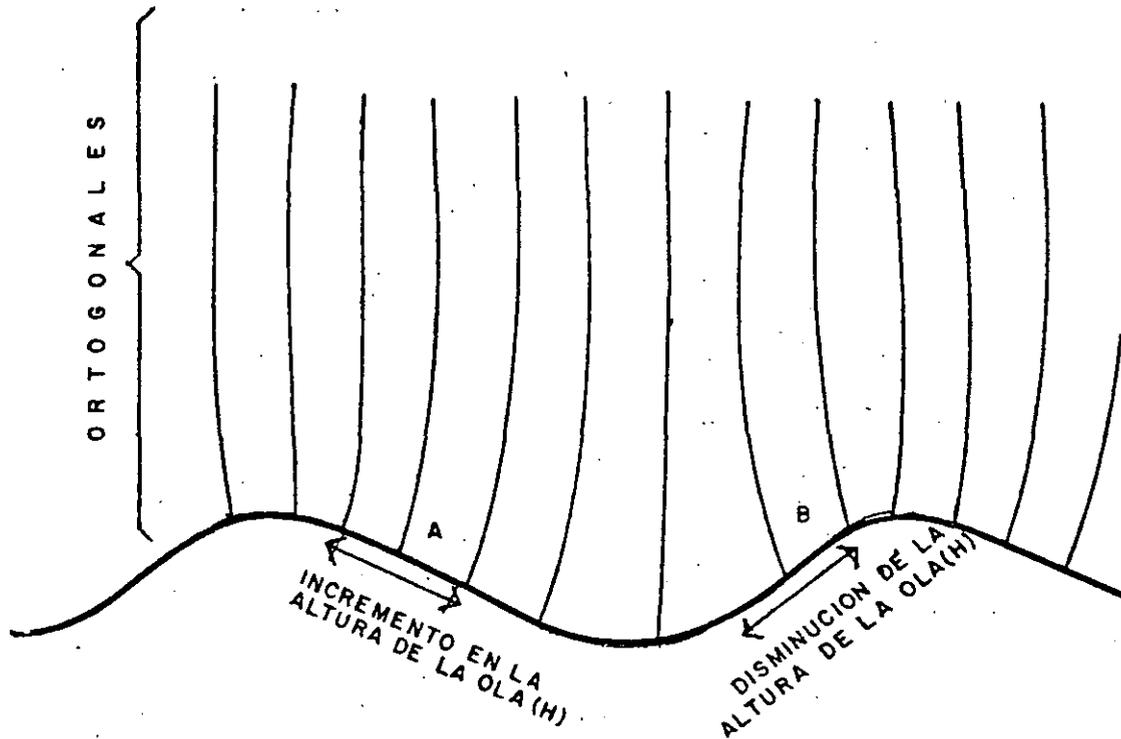


FIG. No.9.- Mecanismo de Transporte de las Ondas de Fango

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 refluo 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.

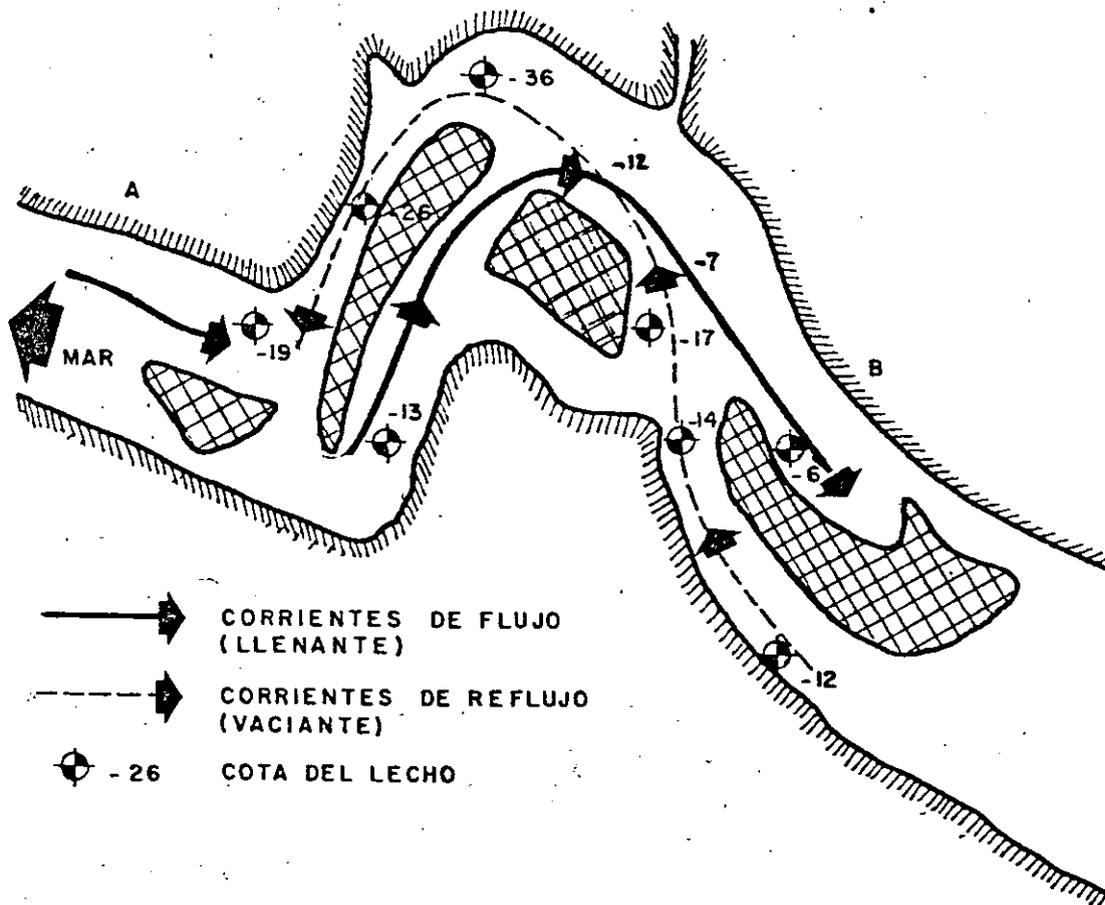


FIG. 10.- Sistema de doble curso de Canales.

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 reflujo. En este caso el nivel del agua disminuye y la corriente de reflujo se confina a un canal angosto. También resulta que  $Q_{\text{flujo}} < Q_{\text{reflujo}}$  puesto que el gasto en reflujo contiene además del prisma de mareas, el escurrimiento del río. Por estas razones, los canales de reflujo 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).

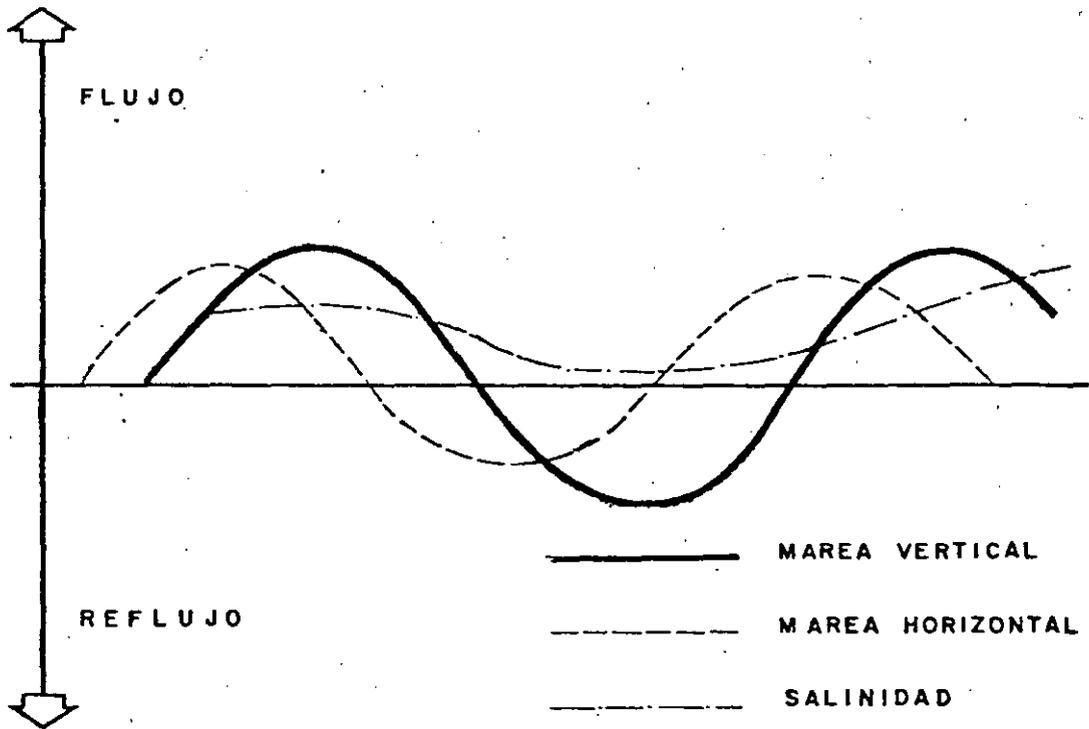
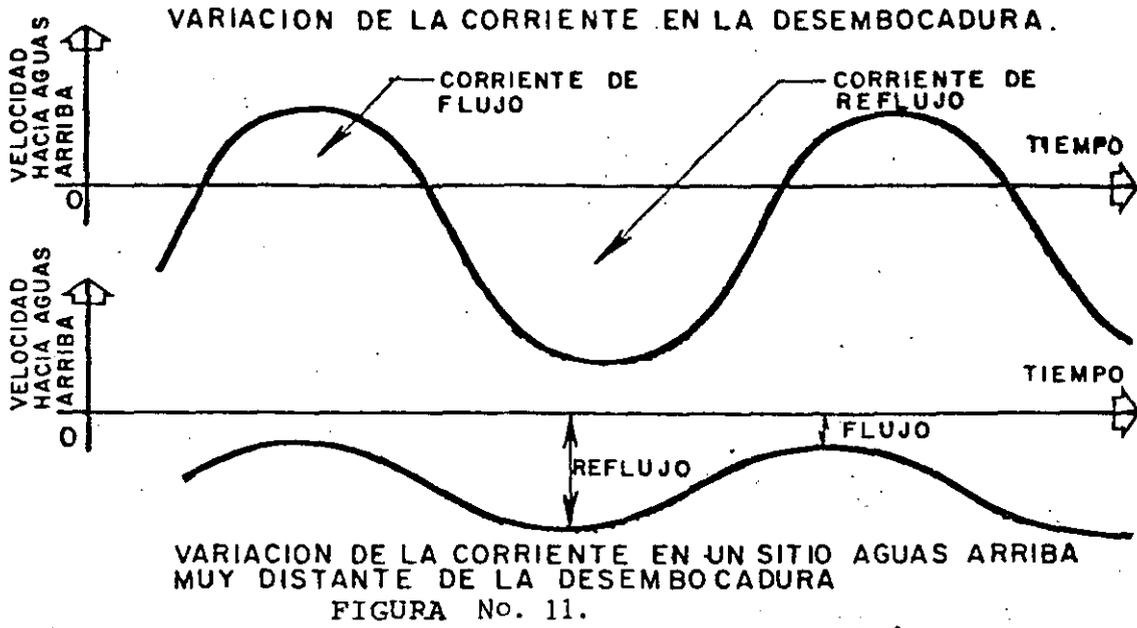


FIG.No.12.- Relación entre la marea vertical y la marea horizontal (corriente).

### 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.

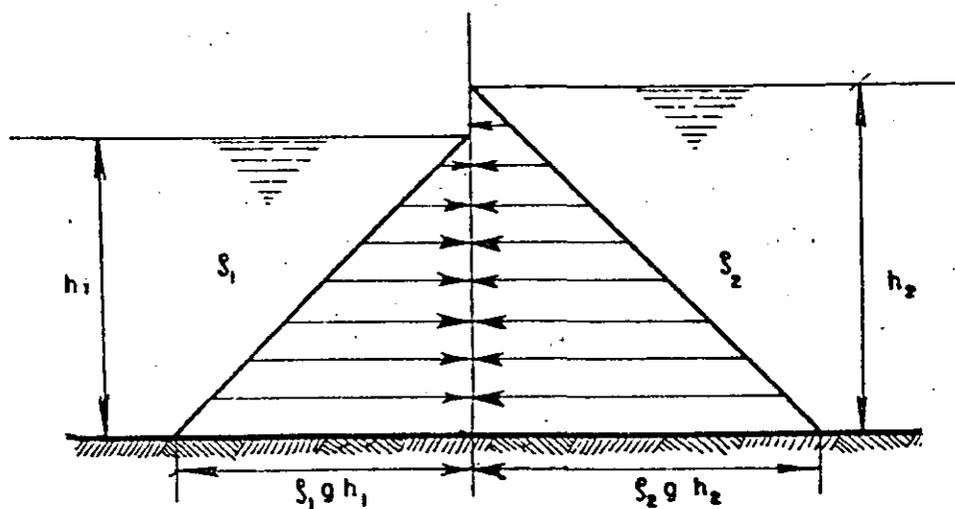


FIG. 13.- Distribución de la Presión.

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

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

$$\rho_1 > \rho_2$$

$$h_1 < h_2$$

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

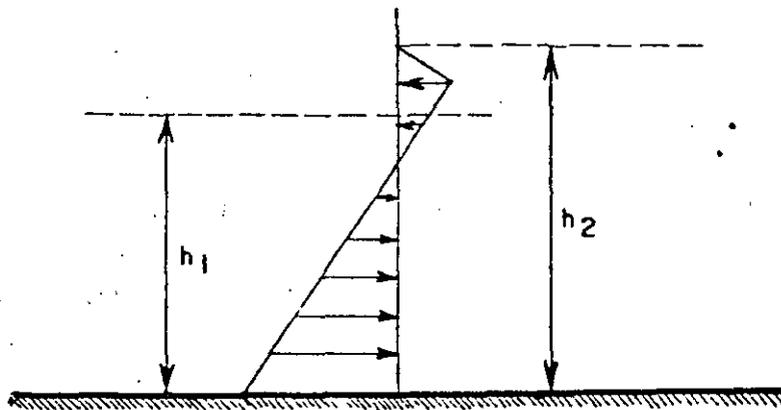


FIG. 14.- Distribución de la presión neta.

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 diferente densidad tendrá la siguiente forma (Ver figura 15).

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

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

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).

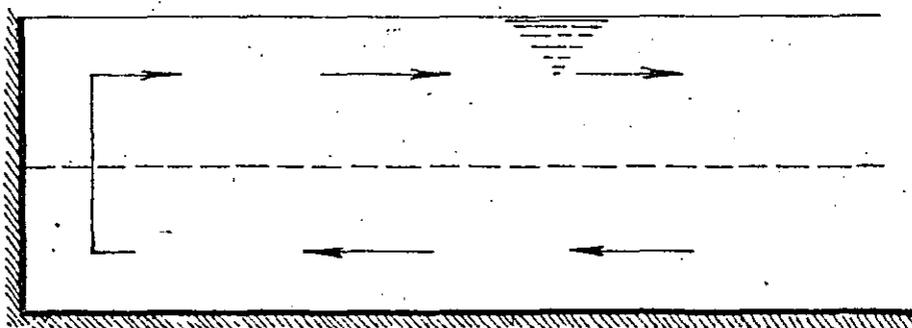


FIG. 16.- Intercambio vertical de una onda que se traslada

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:

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

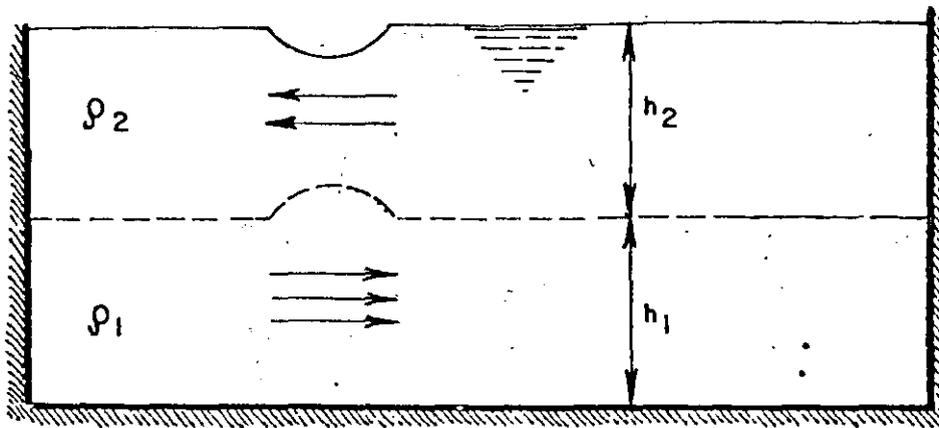


FIG. 17.- Efecto de una onda de translación sobre la capa inferior.

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>18</sup> muestra el caso cuando una dársena se conecta con un río fluvial o estuario.

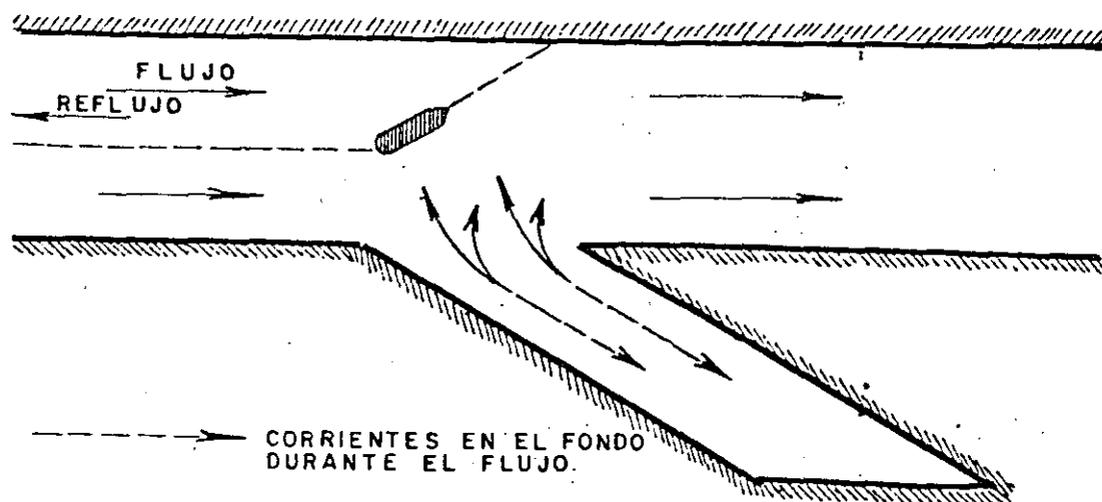


FIG. 18.- Problemas de Navegación

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.

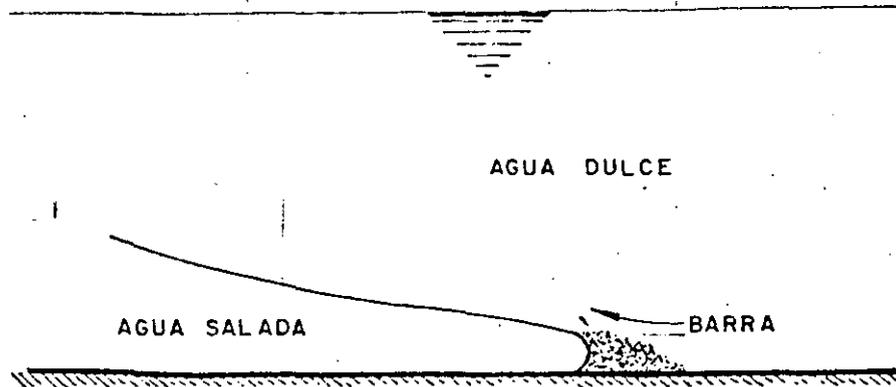


FIG. 19.- Formación de una barra debido a las corrientes de densidad.

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.

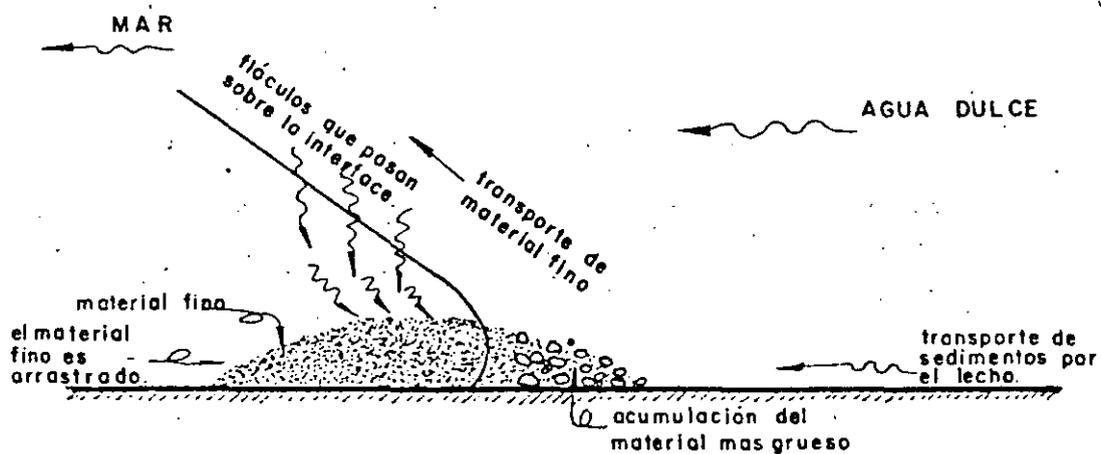


FIG. 20.- Contribución de material sólido para formar la barra.

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.

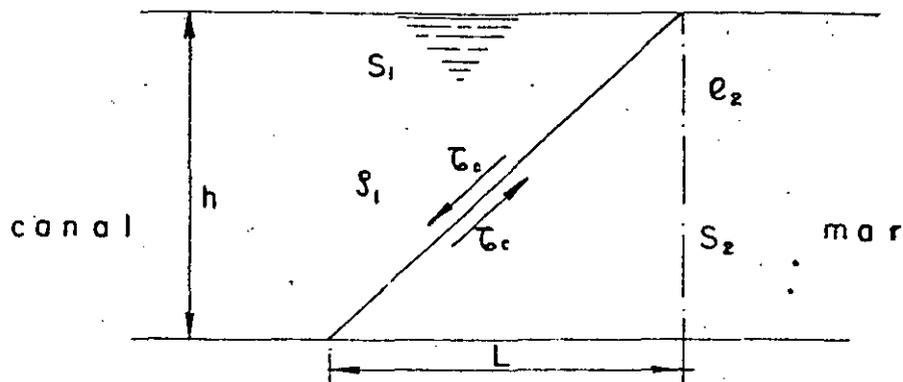
v<sub>r</sub> = Velocidad del agua en el canal aguas arriba -

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 reflujó.

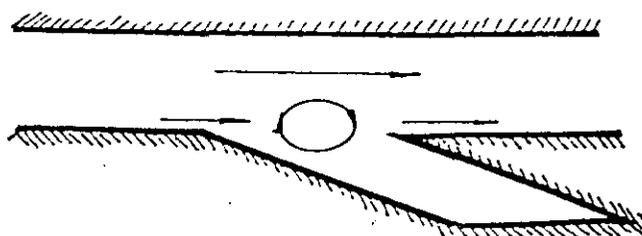


FIG. 21.- Formación de un vórtice a la entrada de una dársena.

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 dulce

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:

$$\frac{Q T}{\Omega} < \frac{1}{10} \quad (\text{ver figura 22})$$

en donde:

$Q T$  = El volumen escurrido en un ciclo de marea.

$\Omega$  = Prisma de marea en  $m^3$ .

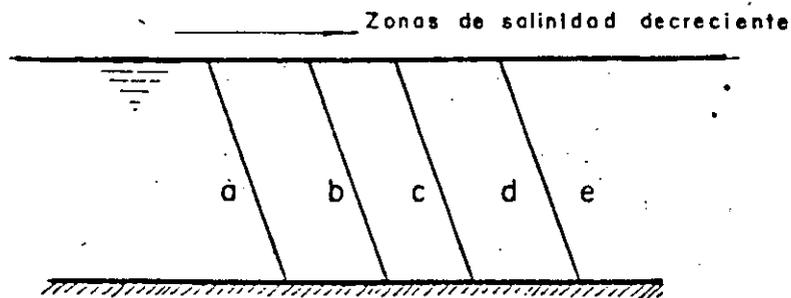


FIG. 22.- Mezclado Completo

El mezclado parcial ocurre cuando:

$$0.1 < \frac{Q T}{\Omega} < 1 \quad (\text{ver figura 23})$$

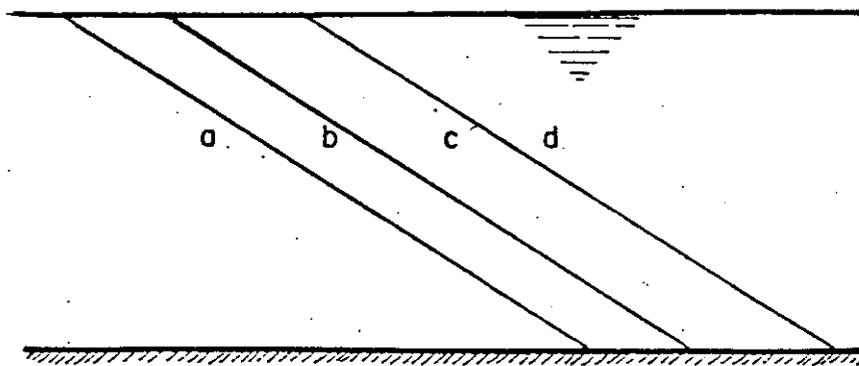


FIG. 23.- Mezclado Parcial

El mezclado insignificante existe cuando:

$$\frac{QT}{\Omega} > 1 \quad (\text{ver figura 24})$$

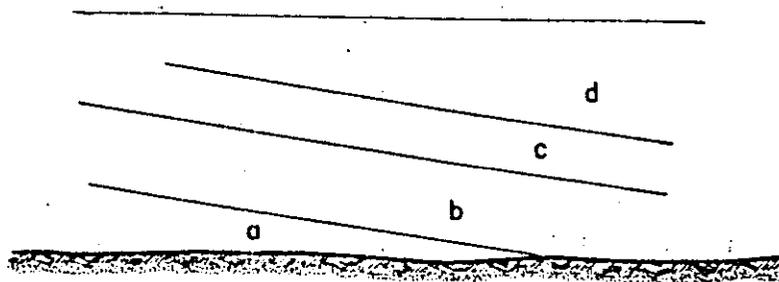


FIG. 24.- Mezclado Insignificante

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.

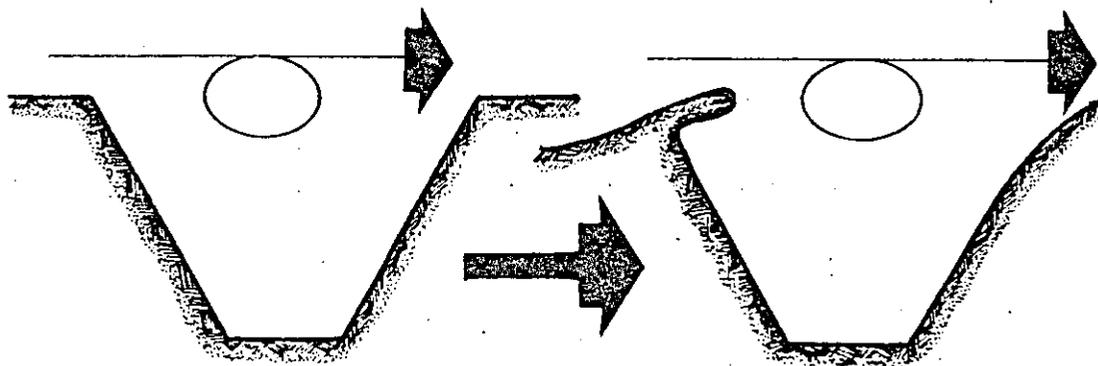


FIG. 26.- Reducción de la formación de vórtice.

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).

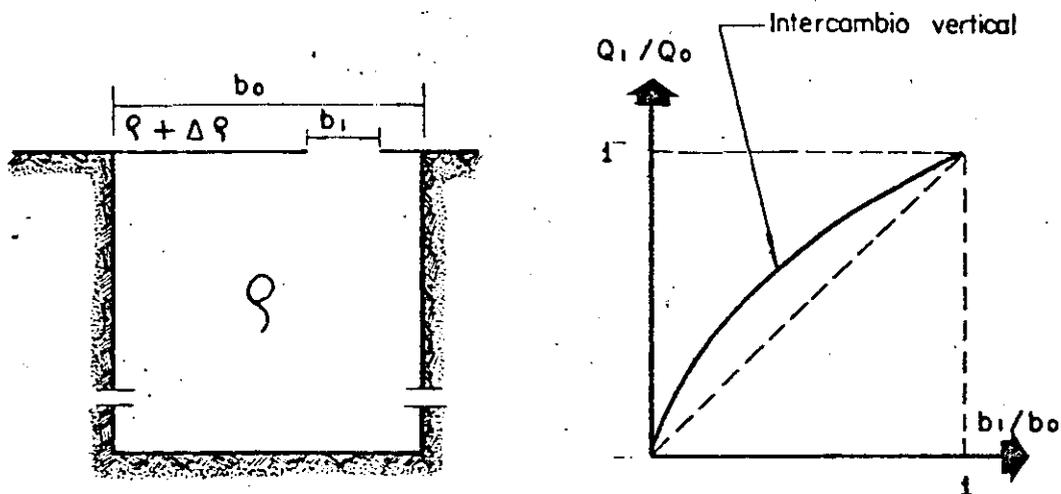


FIG. 26.- Disminución del intercambio vertical provocada por una entrada angosta.

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 salina-

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.

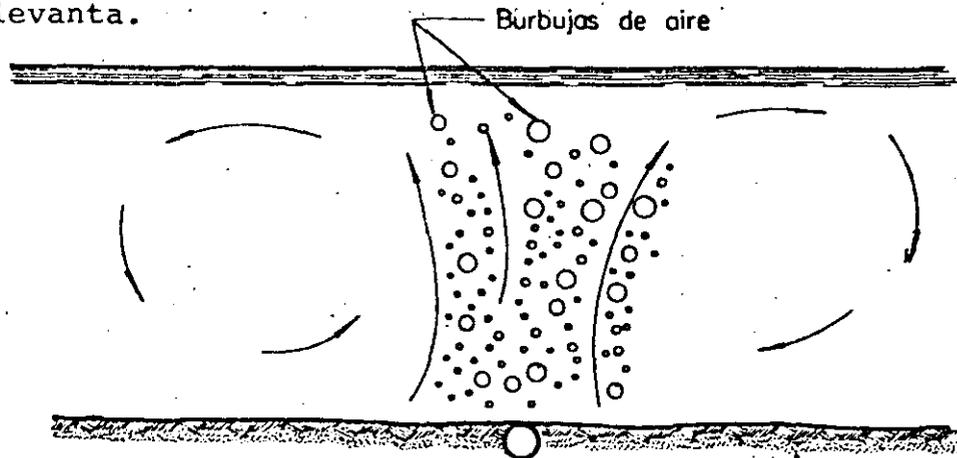


FIG. 27.- Cortina de aire.

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 x 50 x 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  $50 \times 400 \times 10 \times 0.02 = 4 \times 10^3 \text{ kg}$  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).

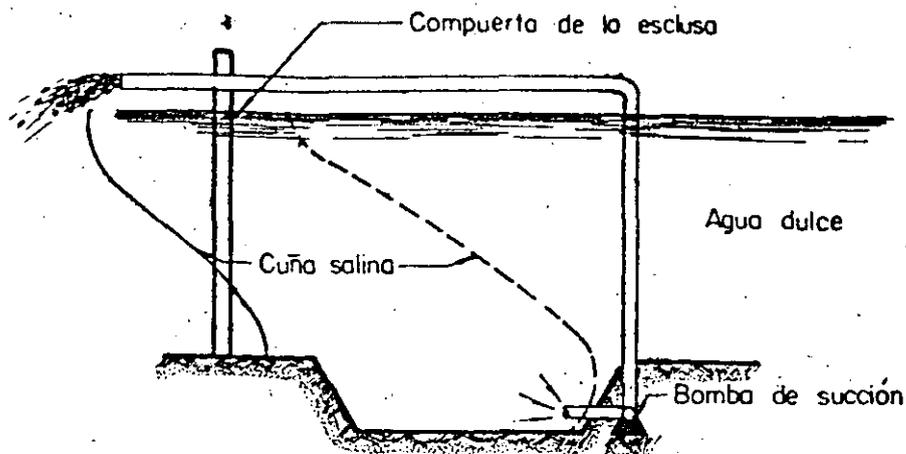


FIG. 28.- Zanja para extraer el agua salada.

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 su perficie libre del agua, dependen de un sin número de pa rámetros, 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 ma rea. Por lo que se refiere al flujo de agua en la comu nificación, 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.

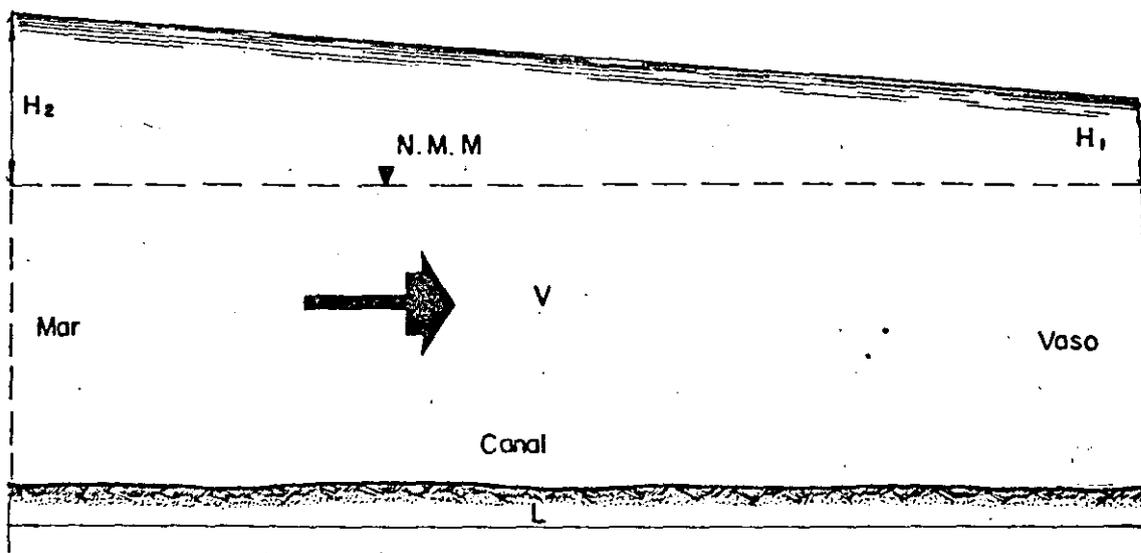


FIG. 29.- Gradiente Hidráulico, sobre el canal de comunicación

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:

$$\frac{d h_1}{d \Theta} = \frac{T}{2} \frac{a}{H} \frac{V}{A} \dots \dots \dots (11)$$

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 ascilación de la superficie del mar viene dada por:

$$h_2 = \text{sen } (\theta - \zeta), \quad 0 < \theta < 2\pi \quad \dots\dots (13.a)$$

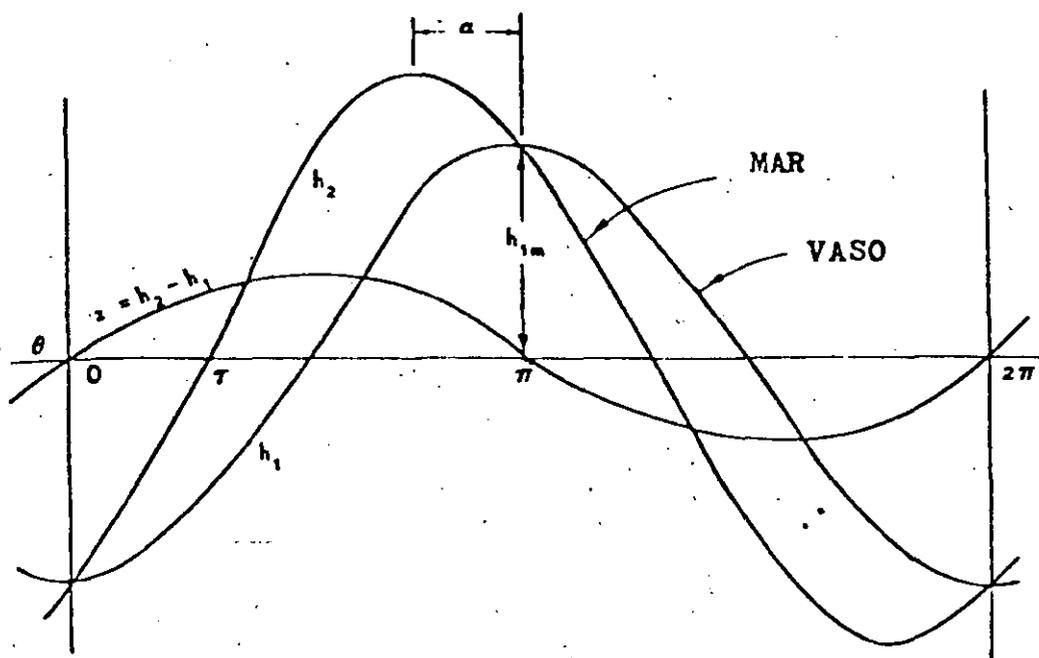


FIG. 30.- Variaciones de la superficie del mar y el vaso

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:

$$h_1 = \sin(\theta - \zeta) - f(\theta) \dots \dots (24)$$

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:

$$h_1 = \text{sen } (\beta - z) + f(\beta), \quad \Theta = \pi + \beta \dots (26)$$

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 semi amplitud de mareas en el vaso a la semi amplitud 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:

$$\alpha = \pi - \Theta_m \quad \delta$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \zeta \dots \dots \dots (31)$$

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 X $10^{-1}$	-0.2207	-0.1187	0.02953	0.99956
4.0	0.5032 X $10^{-1}$	-0.2606	-0.0802	0.01037	0.99995
5.0	0.3232 X $10^{-1}$	-0.2740	-0.0532	0.00575	0.99898
6.0	0.2249 X $10^{-1}$	-0.2794	-0.0377	0.00363	0.99999
7.0	0.1653 X $10^{-1}$	-0.2817	-0.0280	0.00256	1.0000
8.0	0.1266 X $10^{-1}$	-0.2828	-0.0215	0.00192	1.0000
9.0	0.1001 X $10^{-1}$	-0.2835	-0.0170	0.00150	1.0000
10	0.8105 X $10^{-2}$	-0.2845	-0.0138	0.00119	1.0000
20	0.2026 X $10^{-2}$	-0.2845	-0.0035	0.00030	1.0000
30	0.9007 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0015	0.00013	1.0000
40	0.5066 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0009	0.00008	1.0000
50	0.3242 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0006	0.00005	1.0000
60	0.2252 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0004	0.00004	1.0000
70	0.1654 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0003	0.00003	1.0000
80	0.1267 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0002	0.00002	1.0000
90	0.1001 X $10^{-3}$	-0.2845	-0.0002	0.00001	1.0000
100	0.8105 X $10^{-4}$	-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

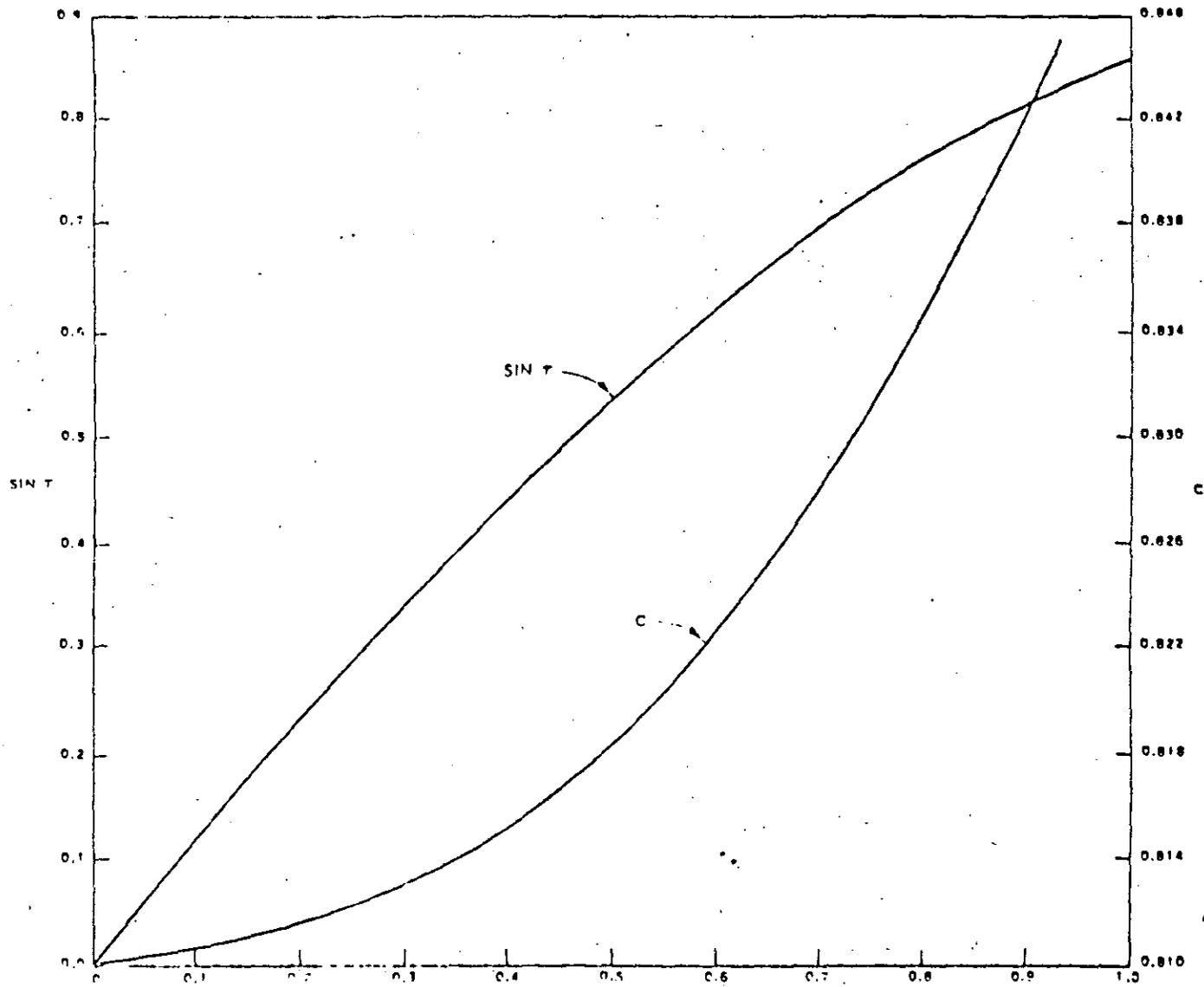


FIGURA 31.- RELACION DEL COEFICIENTE DE LLENADO K CON C Y SEN

#### 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  $V_m$ ,

$$Q_m = a \cdot V_m$$

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  $b_3$ ,  $\xi$  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:

$$V_m = 2 \pi C \frac{A}{a} \frac{H}{T} \text{ sen } \zeta \dots \dots \dots ( 38 )$$

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 -

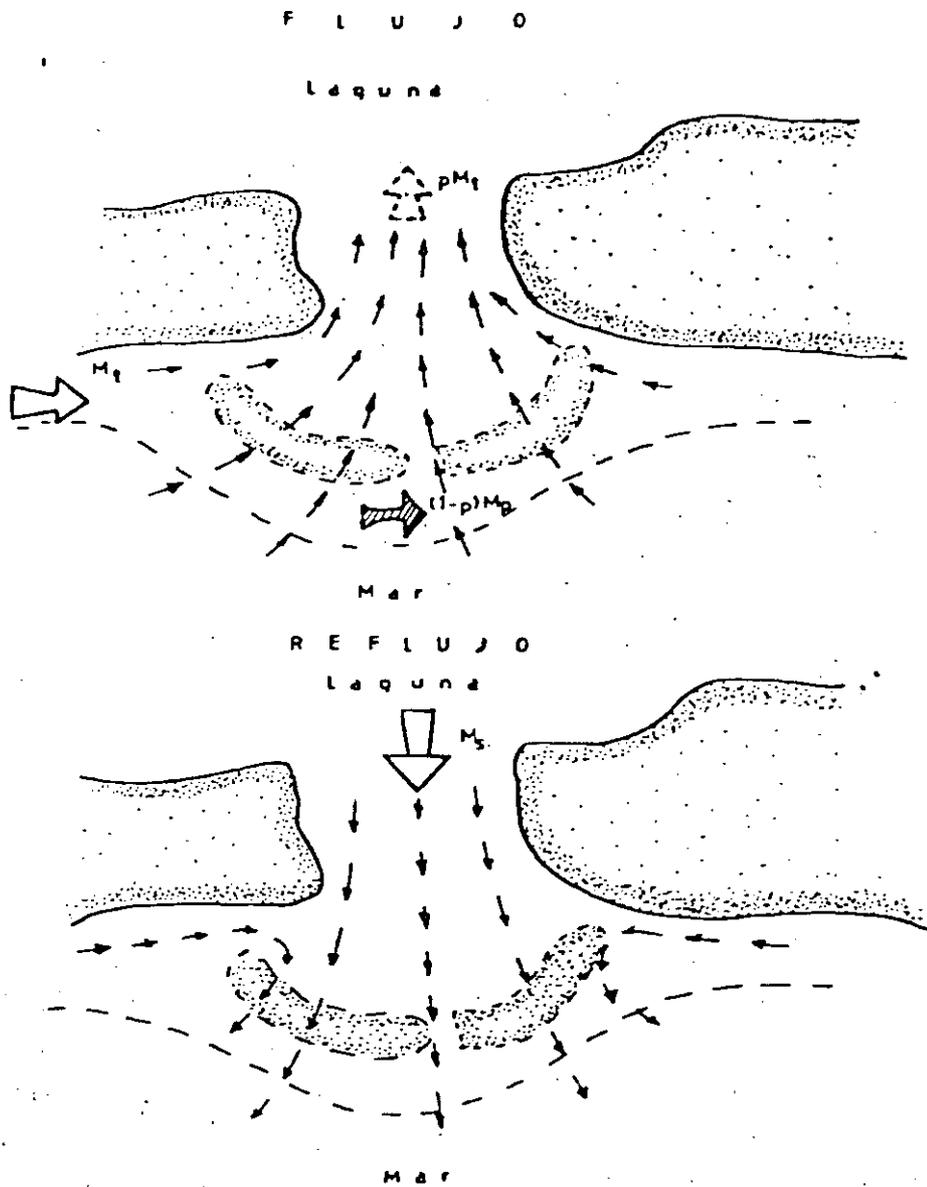


FIGURA 32. FORMAS DEL PASO DEL MATERIAL.

de transporte tanto normal como paralelo a la costa y -- orientado hacia la boca. Dicho material es susceptible -- de ser arrastrado hacia el interior de la laguna, donde -- existe un predominio de las corrientes de flujo sobre -- las de reflujó. Si llamamos  $M_t$  al acarreo litoral total -- y  $p$  al porcentaje del mismo, que es llevado por el flujo -- hacia el canal,  $(1 - p) M_t$  será el material que pase por -- barra.

Por otro lado, llamemos  $M_s$  a la capacidad de trans- -- porte que tiene el canal debido al flujo y reflujó. Se -- puede examinar la estabilidad horizontal a la luz de las -- relaciones de longitud del canal, material que entra al -- canal y capacidad de transporte del mismo. Mientras que -- estas relaciones se mantengan dentro de un valor tal que --  $M_s > p M_t$  y el canal no sea demasiado largo, la estabili -- dad está asegurada en un cierto grado.

Hay que considerar también el efecto que pueda te -- ner sobre la boca la presencia de escolleras. En térmi -- nos generales, según O'Brien, las escolleras no sólo es -- tabilizan la posición de una entrada, sino que la prote -- gen contra el cierre de ella por acción del oleaje; aún -- más, la dimensión del área puede ser muy reducida siem -- pre y cuando esté debidamente protegida.

También es necesario considerar el efecto que ten -- drán las escolleras en el régimen costero. Si se consti -- tuyen en una barrera completa, las playas adyacentes su -- frirán la reorientación típica que se presenta por la -- presencia de un obstáculo normal a la playa. En términos -- generales se estima que las escolleras pueden reducir en -- un 33% el material que entra a las bocas. Cuando un cier

to porcentaje pasa de un lado a otro de las escolleras, - se presentará una situación similar a la anterior dando también lugar a la formación de bajos.

En todos los casos hay que prever que el cordón litoral sea lo suficientemente robusto para no debilitarse por las erosiones y dar lugar a la apertura de nuevas bocas que restarían eficiencia a la original.

## 5.2 Estabilidad vertical.

La estabilidad de la sección transversal está ligada con la estabilidad horizontal en el aspecto relativo a la forma de paso del acarreo litoral de un lado a otro de la entrada, independientemente de la estabilidad de la sección transversal propiamente dicha. Examinemos con cierta amplitud cada uno de los factores que es necesario considerar para el análisis completo de estabilidad.

Los agrupamos en dos tipos fundamentalmente:

- a) Los que generan estabilidad.
- b) Los que la contrarrestan.

El primero lo representa el intercambio de agua, debido a la marea, en tanto que el segundo el acarreo litoral.

## 5.3 Factores de estabilidad.

Entre ellos, el básico para los análisis, es el - -

prisma de marea que es el volumen en la laguna, comprendido entre el nivel de mareas bajas y el de mareas altas. Sin embargo, esta definición pierde generalidad a medida que aumenta el área de la laguna debido a: desfases, pérdidas y modificaciones por la configuración del fondo. Es decir, en general se tiene que la pleamar y la bajamar tienen, en el interior de la laguna, un retardo con respecto a la entrada. Además, el tiempo de flujo es menor a medida que el punto considerado se aleja de la entrada, variando este tiempo de acuerdo con el tipo de marea y también la amplitud de la misma no es necesariamente menor en el interior de la laguna que en la entrada.

Es conveniente agregar las observaciones de O'Brien, quien señala que cuando la diferencia en áreas entre los niveles de marea baja y alta no es mayor del 25% es posible valorar el prisma con una aproximación de  $\pm 10\%$ ; pero cuando esta diferencia aumenta o se tienen características de mareas muy variables dentro de la laguna, el cálculo del prisma tendrá que hacerse por áreas parciales, tomando en cuenta variaciones de amplitud y fase, o más simplemente, efectuando mediciones directas de velocidad en la entrada.

Una vez establecido un cierto valor del prisma de marea  $\Omega$ , el área mínima de equilibrio de la entrada del canal, con o sin escolleras, está controlada por dicho prisma de marea y por tanto, una reducción en él traerá como consecuencia una reducción en esa área.

Asimismo, cuando existen dos o más bocas en la misma laguna, el cierre de una de ellas traerá como consecuen-

cia, según O'Brien, un aumento en las dimensiones de las otras.

Este argumento es un tanto cuanto discutible, sobretudo si se piensa en un vaso de gran extensión y con una geometría irregular. Por otra parte, es necesario de acuerdo con las recomendaciones de Krus Abecasis, mantener la entrada lo más cerca posible del centro de masas activas del agua dentro de la laguna. Conservando en mente lo anterior, es conveniente analizar los efectos del gasto máximo  $Q_m$ , la velocidad media máxima y el esfuerzo cortante.

Inicialmente los valores de la velocidad y el gasto pueden obtenerse del prisma o si se quiere, en primera aproximación pueden emplearse las expresiones:

$$\begin{aligned} V_{\text{med máx}} &= R^{1/8} - 0.2 \quad \text{Si } R \geq 5 \text{ mt} \\ V_{\text{med máx}} &= R^{1/8} - 0.1 \quad \text{Si } R < 5 \text{ mt} \quad \dots (39) \end{aligned}$$

(V en m/seg., si R en m)

Su relación con  $Z$  puede hacerse a través de la fórmula de Chezy:

$$\begin{aligned} Z &= C \sqrt{R s} \\ V &= C \sqrt{R s} \quad \dots (40) \\ Q &= V a \end{aligned}$$

El factor  $Z$  merece atención particular, no obstante la discrepancia de opiniones sobre la importancia de él en el análisis de estabilidad. Se piensa que los elementos de juicio de Bruun y Gerritsen son más sólidos y por-

tanto se utilizará el criterio de estos autores.

El esfuerzo cortante  $\tau$  debe analizarse considerando ciertos valores específicos, ellos son el esfuerzo -- cortante crítico  $\tau_c$  y el esfuerzo cortante de estabilidad  $\tau_s$ .

El valor del esfuerzo cortante se ve directamente -- afectado por el contenido de material en suspensión en -- el agua, así como también por el porcentaje "p" de acarreo litoral. Cerca de la entrada el movimiento de arena en el fondo y en suspensión, es complicado debido al doble efecto de corrientes de marea y efecto oscilatorio -- producido por el oleaje; además que por la refracción -- producida por la barra el transporte litoral está siempre orientado hacia la boca y en general, de acuerdo con lo indicado en la figura 32, el acarreo litoral tenderá a cerrar la boca, aumentando esta tendencia con una -- acción severa y prolongada del oleaje, salvo en el caso de algunas tormentas en que la barra puede ser fuertemente erosionada y la boca, ampliada. Es decir, para cada -- tamaño de entrada, habrá un cierto tipo de oleaje, de altura y duración determinados, que puedan cerrar la boca -- no obstante el efecto de las corrientes de marea. Hechas las observaciones anteriores Bruun propone los siguientes valores del esfuerzo cortante de estabilidad:

CONDICION	$\tau_s$ (kg/m <sup>2</sup> )
- Transporte litoral de fondo y en suspensión considerables.	0.50
- Transporte litoral de fondo y en suspensión medios.	0.45

CONDICION

 $\bar{z}_s$  (kg/m<sup>2</sup>)

- Transporte litoral y en suspensión bajos 0.35

A partir de lo anterior la expresión correspondiente para el área de estabilidad es:

$$a_s = \frac{Q_m}{C \sqrt{\frac{\bar{z}_s}{\rho_g}}} \dots \dots \dots (41)$$

donde:

C = Coeficiente de Chezy = 30 + 5 log a  
 a en m<sup>2</sup>, C en m<sup>1/2</sup>/seg.

C, el coeficiente de Chezy, es una medida de la rugosidad hidráulica y  $\rho_g$  es el peso específico del agua. Basados en el conocimiento del tamaño aproximado de la sección transversal y la velocidad de flujo, se obtuvo la expresión que relaciona los valores de C con el área de la sección transversal de bocas de marea, desarrollada en Holanda (C = 30 + 5 log. a).

En cuanto al canal propiamente dicho, tendrá una cierta capacidad de transporte  $M_s$  que será función del esfuerzo cortante y consecuentemente de la velocidad media máxima, según Bagnold:

$$q_s = \frac{\bar{z}_0 V}{(\gamma_s - \gamma)} \left[ \frac{e_b}{\tan \alpha} + \frac{e_s V}{W} \right] \dots (42)$$

#### 5.4 Variables para el análisis de estabilidad.

Estas relaciones tienen por objeto conocer la situación existente o que puede presentarse en una boca; las preguntas básicas son:

¿Cómo pasará el material de un lado a otro de la boca?

¿Qué grado de estabilidad puede esperarse?

¿Las corrientes de marea, son capaces de mantener libre de azolves al canal?

Haciendo un resumen, los elementos que nos permitirán establecer las relaciones para responder a cada una de las preguntas anteriores son:

- $\Omega$  - prisma de marea para mareas vivas ( $m^3/\text{ciclo}$ )
- $Q_m$  - gasto máximo para mareas vivas ( $m^3/\text{seg}$ )
- $V_m$  - velocidad máxima media ( $m/\text{seg}$ )
- $M_t$  - acarreo litoral total ( $m^3/\text{año}$ )
- $M_n$  - acarreo litoral neto ( $m^3/\text{año}$ )
- $M_s$  - capacidad de transporte de la sección ( $m^3/\text{año}$ )
- $p$  - porcentaje del acarreo litoral que entra al canal
- $\tau$  - esfuerzo cortante en el canal ( $kg/m^2$ )
- $\tau_s$  - esfuerzo cortante de estabilidad ( $kg/m^2$ )
- $a$  - área de la sección ( $m^2$ )
- $a_s$  - área de la sección estable ( $m^2$ )

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:

$$0.5 < \frac{M_s}{p M_t} < 1.5 \quad \dots \quad (48)$$

$$0.8 < \frac{\tau}{\tau_s} < 1.2 \quad \dots \quad (49)$$

$$1.0 \leq \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) D_{50}} < 1.5 \quad \dots \quad (50)$$

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:

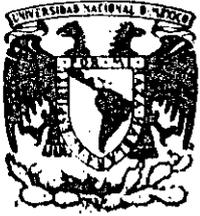
$$0.7 < p \leq 1.6 \quad \dots\dots\dots (51)$$

$$0.8 \leq \frac{a}{a_s} \leq 1.2 \quad \dots\dots\dots (52)$$

$$6 \quad \frac{a}{a_s} > 1.5 \quad \dots\dots\dots (53)$$

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

SISTEMAS PLAYEROS

NOVIEMBRE, 1984.

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).

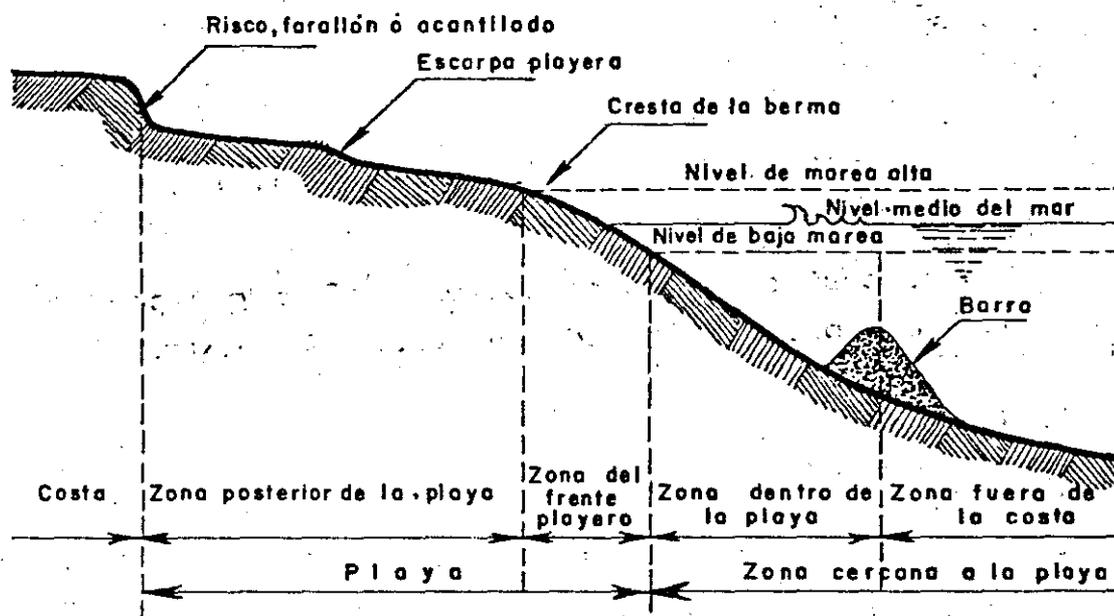


Fig. 3.- Perfil Playero.

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.

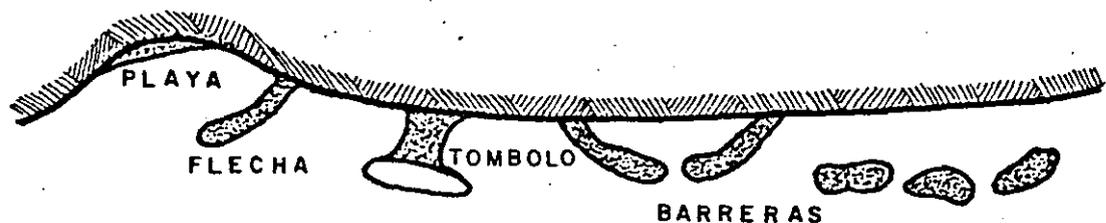


Fig. 4.- Formaciones Costeras.

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 tienen su origen en la degradación por erosión de formaciones rocosas sujetas a la acción del oleaje.

d) Otras Fuentes. Que tienen su origen en los volcanes 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 prevaeciente, el material sedimentado debe secarse y no debe contener cantidades considerables de materiales cohesivos y finalmente, la evaporación no debe ser de tal magnitud que permita 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.

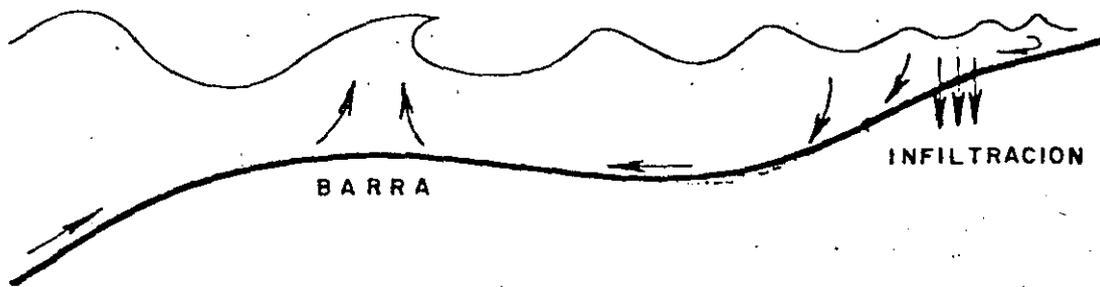


Fig. 5.- Perfil de una playa.

## 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:

$$E_a = E_0 K_r^2 \operatorname{sen} \theta_b \cos \theta_b \dots \dots \dots (2)$$

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:

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

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 )

$$S = 0.014 H_0^2 C_0 K_r^2 \operatorname{sen} \theta_b \cos \theta_b \dots \dots (4)$$

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-

se desea conocer mejor la forma como son arrastrados -- los granos, obtener datos para el desarrollo de ecuaciones de arrastre y cuando se desean mejorar o probar -- equipos de medición. Además, en muchos sitios no hay datos de oleaje y corrientes que permitan valuar cualitativamente el arrastre y por lo tanto, conviene hacer su medición directa.

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

- 1.- ESPIGONES DE PRUEBA.
- 2.- DRAGADO DE PRUEBA.
- 3.- TRAMPAS DE ARENA.
- 4.- TRAZADORES.

Los objetivos principales de estas mediciones son:

a) Comparar la utilidad de fórmulas existentes para conocer su rango de aplicación en el sitio, y en caso que los resultados no fueran satisfactorios, tratar de corregirlas mediante coeficientes y/o exponentes, -- o bien desarrollar una nueva expresión.

b) Completar la calibración de un modelo físico o de uno matemático que representen la zona en estudio. -- Con estos modelos se puede predecir el comportamiento probable de la zona en la que se construye una obra.

c) Obtener en un ciclo completo de mediciones (un año mínimo) la distribución de gastos sólidos, gráficas

asumiendo que el transporte de arena en una cierta franja paralela a la costa es proporcional a la pérdida de energía por las olas que cruzan esta franja. Esta consideración parece lógica, sin embargo, no ha sido comprobada rigurosamente.

De cualquier manera, este método se aplica para calcular el perfil del transporte de material cuando se conoce la relación entre la altura de las olas y la distancia de la costa. Bijker considera un razonamiento diferente apoyándose en las fórmulas de transporte de sedimentos para ríos modificándolas para incluir el efecto del oleaje.

### 3. Formas de cuantificarse en campo y Criterios Empíricos.

#### 3.1. Métodos de Campo para la cuantificación del arrastre litoral.

Los métodos de campo para la valuación del transporte litoral, consisten en mediciones directas que proporcionen la cantidad de material que es transportada por el fondo de la playa y la que es transportada en suspensión. La necesidad de efectuar estas mediciones se debe a las diferencias numéricas que hay cuando se aplican las fórmulas empíricas a sitios diferentes de donde se obtuvieron puesto que los materiales son diferentes, ya que intervienen los efectos locales como batimetrías, rocas, etc., las cuales se deben tomar en cuenta. Por otra parte, las mediciones directas son indispensables cuando

con curvas de igual concentración de material en suspensión y curvas de igual velocidad de corriente a lo largo de un perfil perpendicular a la costa; conociendo además, el intervalo de tiempo durante el cual prevalecieron esas mismas condiciones.

#### 1.- Espigones de prueba.

Este método de predicción consiste en construir una barrera artificial (cualquiera que sea, aunque se acobran los espigones perpendiculares a la costa) que impide el paso de material y en obtener batimetrías periódicas, una antes de construirlo, varias durante su construcción y varias durante la vida útil del espigón.

Los espigones, aunque en el campo no se construyen completamente impermeables, se puede lograr que casi -- sean impermeables en un corto tiempo, ya que los orificios del espigón se obstruyen con los primeros granos de arena que llegan. La altura debe ser tal, que garantice que el material no pase por arriba de él, aun en tormentas. La longitud comprende tanto de la línea de costa -- hacia el mar adentro como hacia tierra, y con ella se debe garantizar que el material no pase por ninguno de sus extremos. La longitud hacia el mar debe abarcar toda la zona de rompientes y la longitud hacia tierra depende -- del tipo de costa.

La obtención de las batimetrías se hace generalmente del lado del espigón donde se acumula material, aunque en ocasiones, se hace en ambos lados. Una vez obtenidas las batimetrías, por comparación de volumen, se ob--

tienen las cantidades de material acumulado de un lado y el erosionado del otro. Estas batimetrías se obtienen -- mensualmente, quincenalmente o por días, dependiendo de la exactitud requerida y de la variación estacional del perfil (esto es, la intensidad del transporte litoral).

Este método es costoso y tiene la desventaja de que altera las condiciones naturales del equilibrio, y sólo es aplicable y económico si pasa a formar parte de una - escollera (rompeolas) que se construirá en dicho lugar.

Con este método es posible conocer los volúmenes netos de material que son arrastrados en intervalos de - - tiempos grandes, como un mes, seis meses o un año y difícilmente sirven para obtener fórmulas de arrastre.

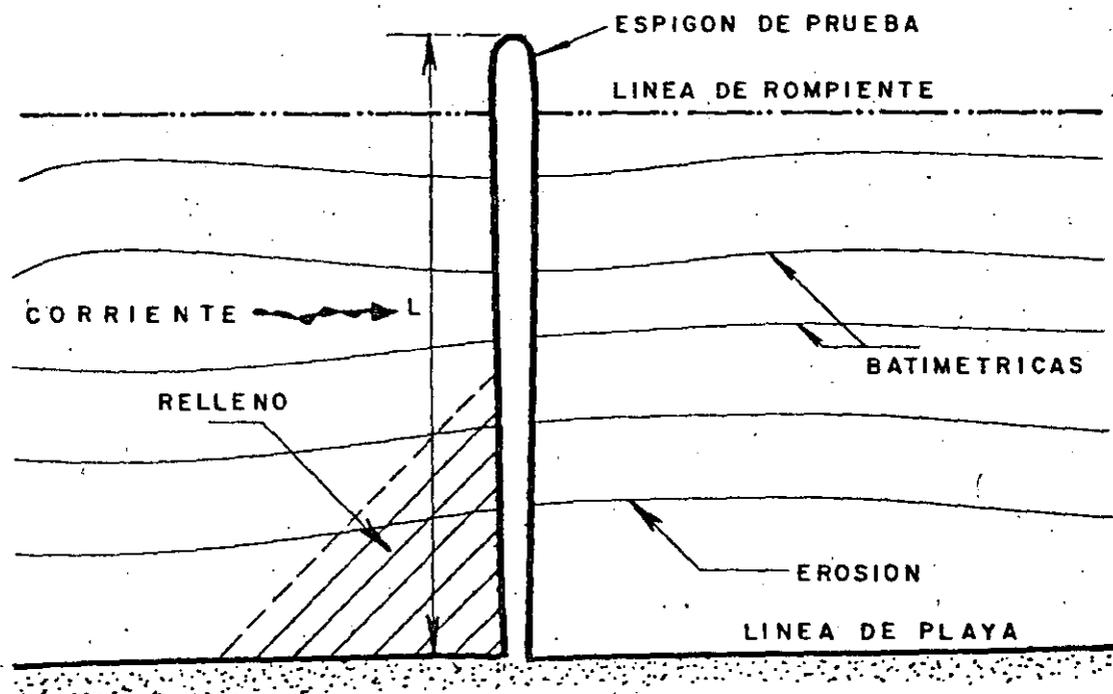


FIG. 6.- Espigón de Prueba

## 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 material 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 arra - 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 pueden asociar a unas determinadas condiciones oceánicas. - Al estudiar los volúmenes almacenados en todas las trampas 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 costere

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 - -

5, 10, 20 y 30 min, 2, 4, 6 y 24 hrs, etc. Después de la inyección, los intervalos de muestreo se escogen dependiendo de las condiciones de corriente y de oleaje en el sitio. Si la corriente litoral es "fuerte", los muestreos se hacen más seguidos y las secciones de muestreo se separan.

#### B) TRAZADORES RADIOACTIVOS:

El método consiste en irradiar la arena natural, -- o bien, agregarle a ésta material radioactivo, identificable por medio de contadores Gaiger. Los elementos radioactivos que se han usado son los isótopos 198/199 de oro, con una energía de rayos gamma de 0.4 mev, con vida media de tres días.

#### Descripción de un muestreo:

En el fondo del mar se hace una inyección puntual de material radioactivo; un cierto tiempo después se efectúa un muestreo en la zona con un contador de actividad radioactiva, que completada en su ubicación con base en el apoyo terrestre, permite obtener curvas de isoconteo, las que al dibujarse darán lo que se ha denominado "NUBES".

#### Precauciones que se deben tomar:

a) Limitar la cantidad del material radioactivo en el medio ambiente en que se va a trabajar, de tal forma que no se exceda el límite máximo admisible de radiación.

b) Proteger cuidadosamente el material radioactivo en su manejo, transportación y colocación, para evitar cualquier derrame de dicho material.

c) Garantizar la seguridad del personal que interviendrá en el experimento así como dotarlo del equipo indispensable de trabajo (monitores portátiles de radiación, dosímetros individuales, ropa de protección adecuada, herramientas, equipo para instrumentos contaminados y de descontaminación (jabón, detergentes, cepillos suaves, etc.).

Ventajas y Desventajas de los Trazadores Radioactivos y Fluorescentes:

1.- Con los trazadores radioactivos se conoce, de inmediato, si se está muestreando en la zona donde se mueve el material marcado. En los fluorescentes el muestreo se efectúa, a "ciegas".

2.- A los trazadores fluorescentes se les quita algo del material marcado durante las operaciones de muestreo y manejo de la muestra; con los radioactivos no ocurre eso.

3.- Es más fácil y menos peligroso producir trazadores fluorescentes, que los radioactivos, ya que éstos últimos requieren instalaciones especiales y medidas extremas de seguridad.

4.- Se puede disponer en cualquier momento de trazadores fluorescentes, mientras que con los radioactivos-

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

quier profundidad en función de las características del oleaje, dependiendo de cuáles de éstas últimas sean conocidas. Para ello se ha utilizado la teoría de oleaje de pequeña amplitud. El cuadro se refiere a una onda de período único. (Ver figura 7).

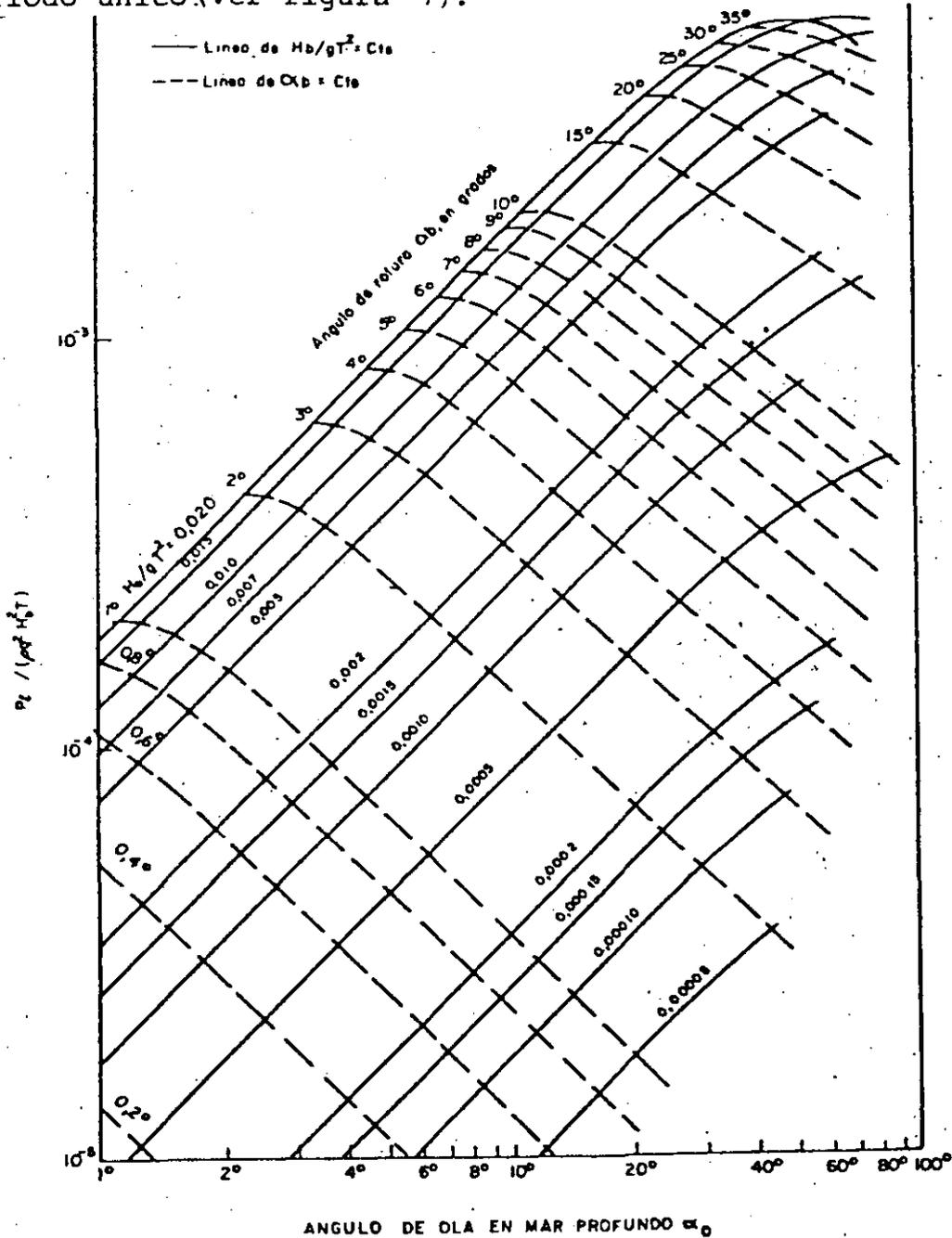
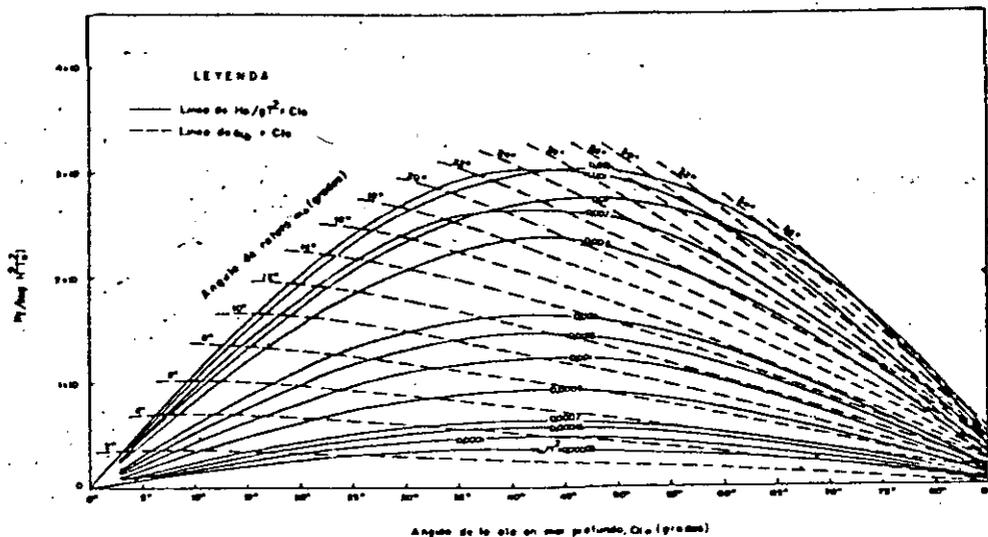


FIGURA 7.- Componentes a lo largo de la costa del flujo de energía del oleaje, en forma adimensional como función de las condiciones de rotura.



DATOS CONOCIDOS

VALOR DE  $P_1$

$d, T, H, \alpha$

$$2 C_0 \frac{1}{4} \bar{E} \text{ sen } 2 \alpha$$

$d, T, H_0, \alpha_0$

$$C \frac{1}{4} \bar{E}_0 \text{ sen } 2 \alpha_0$$

$T, H_b, \alpha_0, \alpha$

$$K_R^2 C_0 \frac{1}{4} \bar{E}_0 \text{ sen } 2 \alpha$$

$d, T, H, \alpha_0, \alpha$

$$2C (K_R^2 C_0)^{-1} C_0 \frac{1}{4} \bar{E} \text{ sen } 2 \alpha_0$$

FIGURA. 8.- Componente a lo largo de la costa del flujo de energía del oleaje como función de las condiciones de oleaje en mar profundo.

$E_0$  = Energía en aguas profundas.

$E$  = Energía en el punto especificado.

$H_0$  = Altura de ola en aguas profundas.

$H$  = Altura de ola en el punto especificado.

$d$  = Profundidad en el punto especificado.

$\alpha$  = Angulo en el punto especificado.

$\alpha_0$  = Angulo en aguas profundas.

$K_r$  = Coeficiente de refracción en el punto especificado.

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

$C_g$  = Celeridad de grupo.

$C_0$  = Celeridad en aguas profundas.

Para poder usar  $P_1$  en los cálculos es necesario referirlo a la línea de rompientes  $P_{1s}$  al que denominaremos "factor del flujo de energía".

A partir de la Figura 7, se ha elaborado el siguiente en el que figuran expresiones aproximadas de  $P_{1s}$  en la zona de rompientes. En ese cuadro las alturas de ola se refieren a  $H^1/3$ , como se ha explicado antes. Se han despreciado las pérdidas de energía del oleaje por rozamiento del fondo. La teoría de oleaje usada es la correspondiente a olas de pequeña amplitud. En cuanto al coeficiente de sobreelevación por efecto de la profundi-

dad  $K_s$  ("shoaling coefficient") se admite que es igual al valor obtenido por observaciones en la rompiente.

$$K_s = \frac{K_r H_o}{H_b}$$

Recordemos que el "Coeficiente de Shoaling" mide la influencia del fondo sobre el valor de la altura de onda. Se puede decir que es el coeficiente por el que hay que multiplicar la altura de onda en profundidad indefinida para obtener la altura de onda en un punto de profundidad  $d$ , cuando la separación entre normales es constante. Este coeficiente es función, exclusivamente, de la profundidad relativa.

En el cálculo de altura de ola mediante diagramas de refracción, el coeficiente de "shoaling" es igual a la relación entre las celeridades de grupo en profundidad indefinida y en el punto que se considera. En el cálculo gráfico del diagrama de refracción de Irribarren (planos de oleaje), no se tiene en cuenta este coeficiente al no considerar la celeridad de grupo, quedando reducido exclusivamente a la relación de celeridades, la cual, en primera aproximación, Irribarren considera igual a la unidad. Por ello el único coeficiente de refracción que se considera en este método es el originado por la variación de la separación entre normales.

Como en la tabla 1, distintos conjuntos de datos de partida nos proporcionan cuatro expresiones diferentes del valor  $P_{1s}$ .

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	$H_o, \alpha_o$	$18,3 H_o^{5/2} (\cos \alpha_o)^{1/4} \text{ sen } 2 \alpha_o$
3	$T, H_o, \alpha_o, \alpha_b$	$20,5 T H_o^2 \text{ sen } \alpha_b \cos \alpha_o$
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:

$$C_g = C = \frac{1}{2} \sqrt{g H_b}$$

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:

$$H_D = K_r K_s H_o ;$$

$K_s$  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:

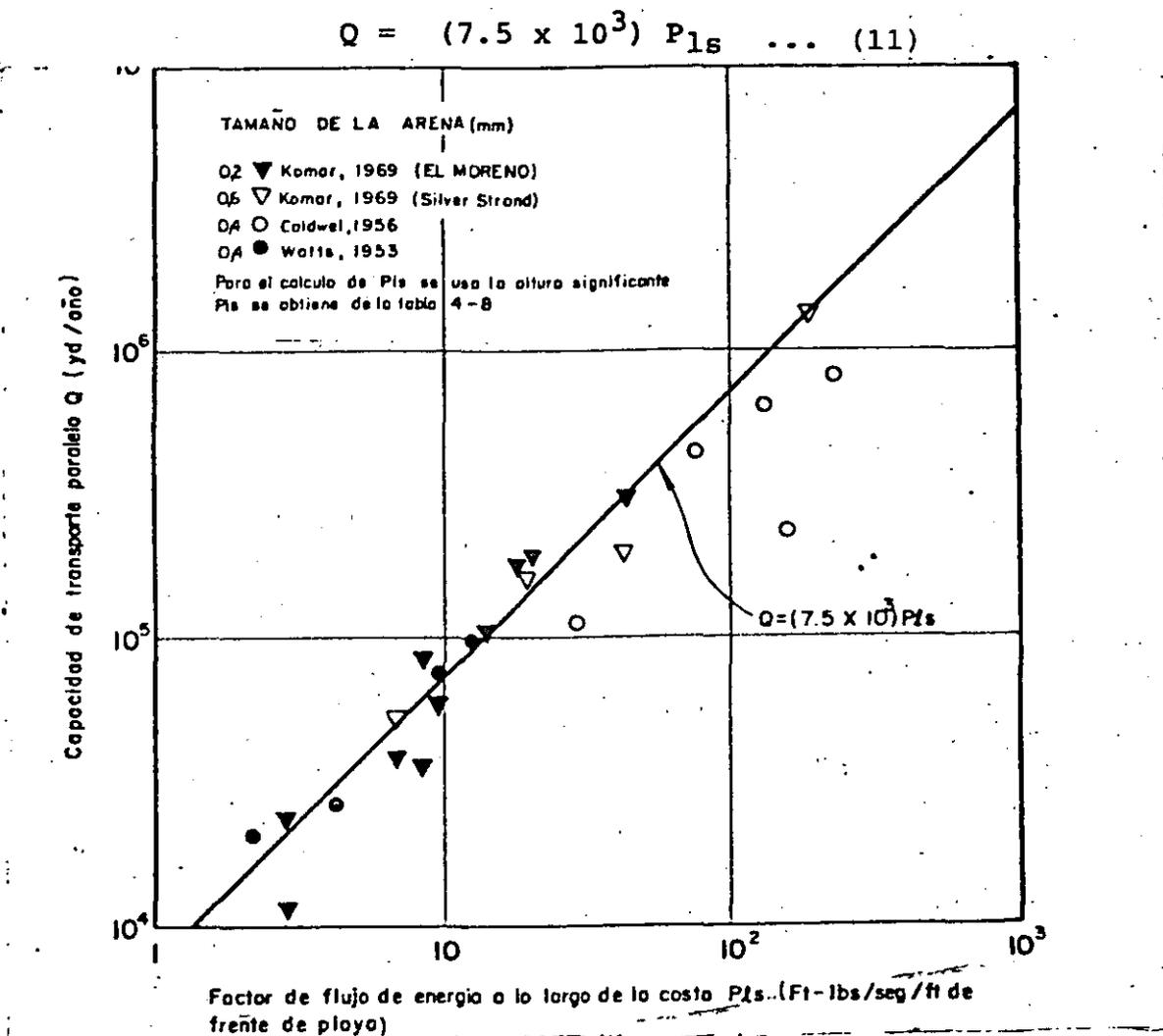


FIG. 9.- Factor del Flujo de Energía.

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:

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

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:

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

$g$  = Gravedad.

$D$  = Diámetro del material en (mm).

$\alpha$  = Angulo de incidencia.

$T$  = Período

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

$L_o$  = 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 --

diversas alturas de ola  $H$ , períodos  $T$  y diámetros  $D$ , les permitió obtener la relación siguiente:

$$Q = K (\gamma, D) \frac{H^3}{T} f(\alpha) \dots (13)$$

siendo:  $f(\alpha)$  una función de la oblicuidad, que en principio se podría tomar igual a  $7/4 \alpha$ ;  $K(\gamma, D)$  una función del peralte de la ola  $\gamma$  y del diámetro  $D$ , tal como se indica en la figura 10.

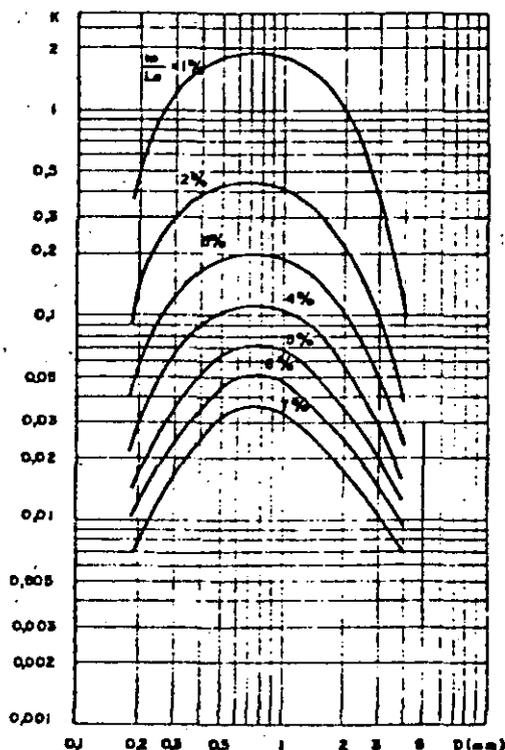


FIG. 10.- Variación de  $K$  en función de  $\frac{h_0}{L_0}$  D.

Por tanto la fórmula que permite el cálculo de la capacidad de transporte litoral de arena de diámetro D, para una altura de ola H, peralte  $\delta$  y período T, será:

$$Q = K \left[ \frac{\delta}{2.75}, D \right] \frac{H^3}{T} \frac{f(\alpha)}{f(20^\circ)} \dots (14)$$

En esta expresión se ha introducido el factor  $f(20^\circ)$  para tener en cuenta que K ha sido determinado para la incidencia oblicua  $\alpha = 20^\circ$ , en donde:

$$f(\alpha) = \text{sen } 2$$

$$f(20^\circ) = \text{sen } 40 = 0.643$$

### 3. Fórmula de Pychkine.

$$Q_s = 1.2 \times 10^{-6} H^2 L (g/D)^{1/2} \text{sen } 2 \dots (15)$$

en donde:

H, L y D en metros

$Q_s$  en  $m^3/\text{seg}$

### Conclusiones.

Como crítica general a esta serie de ecuaciones, podríamos decir que las fórmulas de CADWEL y CERC no toman en cuenta las características del grano de arena transportado, al contrario de la ecuación de Larras. Este hecho constituye, en principio, una objeción a estas-

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 posibles cambios si conociésemos suficientemente bien una serie de hipótesis 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 directa de obtención de datos en el lugar durante un cierto tiempo.

### 5.1. R. Pelnard-Considere:

"Essai de theorie de l'evolution des formes de rivages en ----- plages de sable et de galets" (IV Jornada de Hidráulica - Paris Junio 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 incidencia 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).

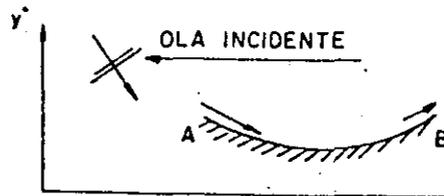


Fig. 11.- Acrección en costa cóncava.

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

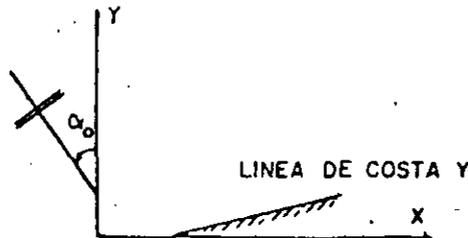


Fig. 12.-

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).

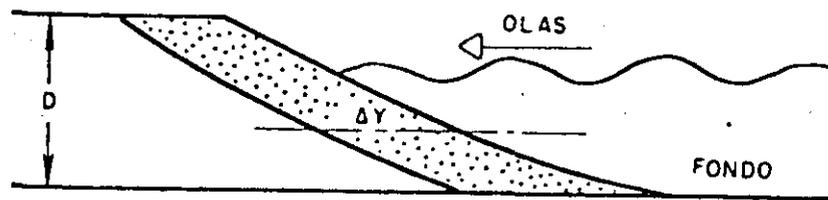


Fig. 13.

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

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

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

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:

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

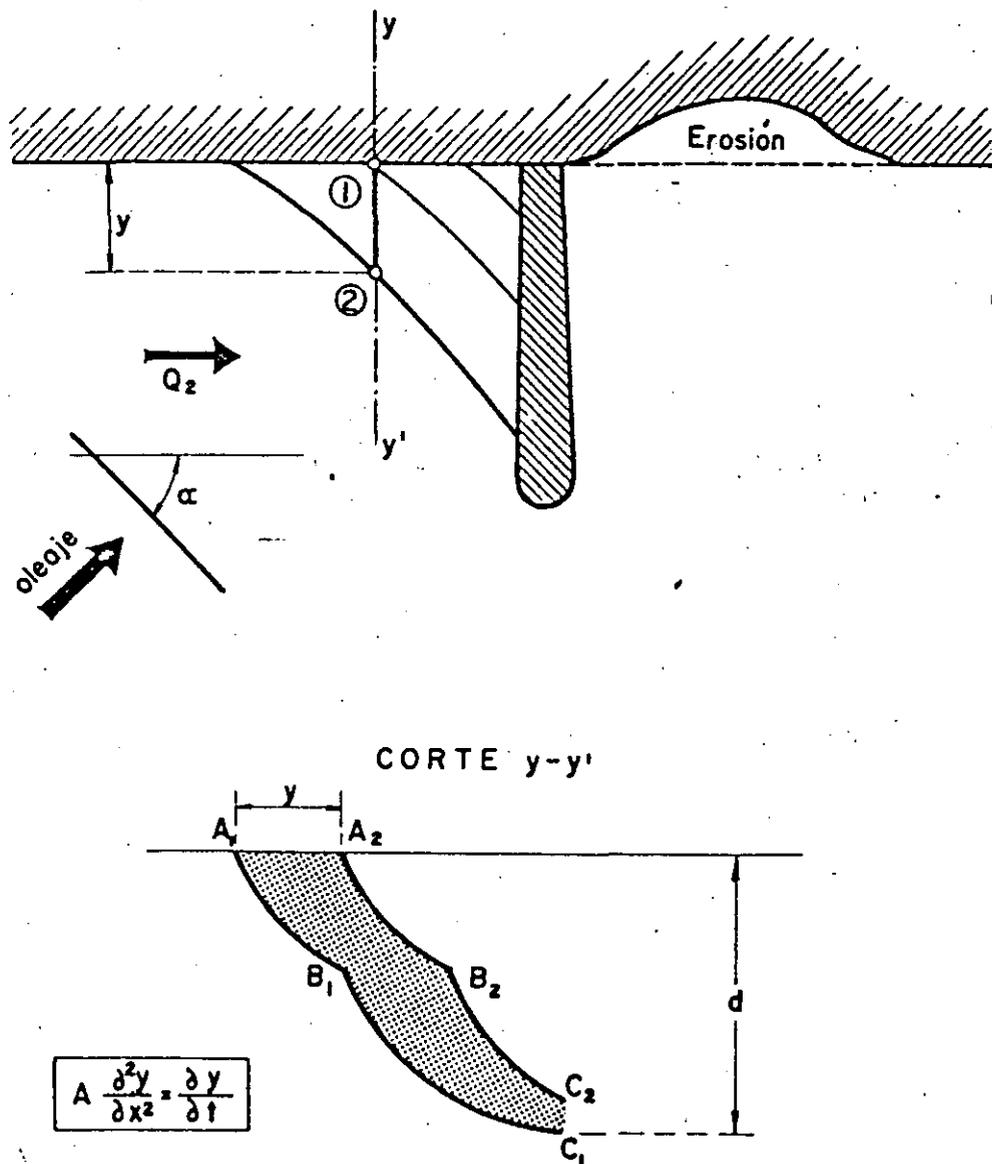


Fig. 14

En este caso tendremos:

$$q = \frac{dQ}{d\alpha} = kgh^2 T \cdot \frac{7}{4} \cos \frac{6\alpha}{4}$$

$$A = \frac{q}{D} = \frac{7 kgh^2 T}{4 D} \quad (\text{ya que } \cos \frac{7\alpha}{4} = 1)$$

Por tanto, la ecuación solución quedará reducida a la expresión:

$$\frac{\delta y}{\delta t} = A \frac{\delta^2 y}{\delta x^2} = \frac{7 kgh^2}{4 D} \cdot \frac{\delta^2 y}{\delta x^2}$$

La integración de esta ecuación diferencial (que como ya hemos dicho no es otra que la ecuación clásica del calor) de los movimientos de la línea de playa en función del tiempo, teniendo en cuenta las condiciones límites del problema.

$$\text{La función: } y = y_1 \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{\sqrt{4At}}} e^{-u^2} du$$

representa una de las soluciones de la ecuación de derivadas parciales, existiendo numerosas tablas de valores numéricos de la integral ya que ésta es muy clásica en las aplicaciones del cálculo de probabilidades.

Si examinamos esta solución, toma el valor  $y = y_1$  para  $x = 0$  --- cualquiera que sea  $t$ , es decir se corresponde a desplazamientos de la línea de playa que pasan por un punto fijo (final del obstáculo). En este caso de barrera parcial, las sucesivas líneas se deducen -- unas de otras, en relación con los tiempos  $t$ , por una traslación de abscisas de tal forma que:

$$\frac{x_1}{\sqrt{t_1}} = \frac{x_i}{\sqrt{t_i}}$$

Igualmente la función:

$$y = \frac{y_2}{\sqrt{4A}} \sqrt{4At} \cdot e^{-\frac{x^2}{4At}} - 2x \int \frac{x}{\sqrt{4At}} e^{-u^2} \cdot du$$

es solución de la ecuación diferencial. En este caso para  $x = 0$  y  $y = y_2$  t, es decir, varía con el tiempo, por lo que el obstáculo actúa como barrera total, de tal manera que:

$$\frac{r_1}{\sqrt{t_1}} = \frac{r_i}{\sqrt{t_i}} \quad (\text{Fig. 16})$$

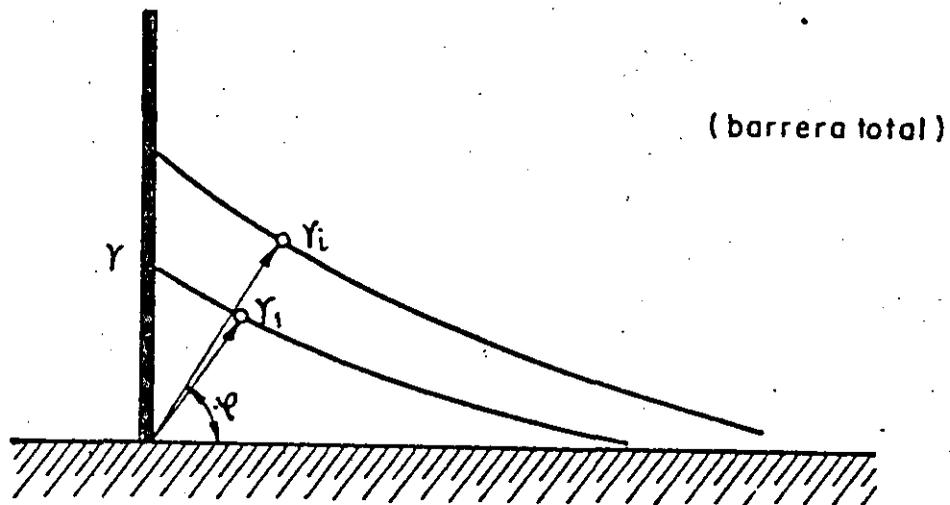


Fig. 15

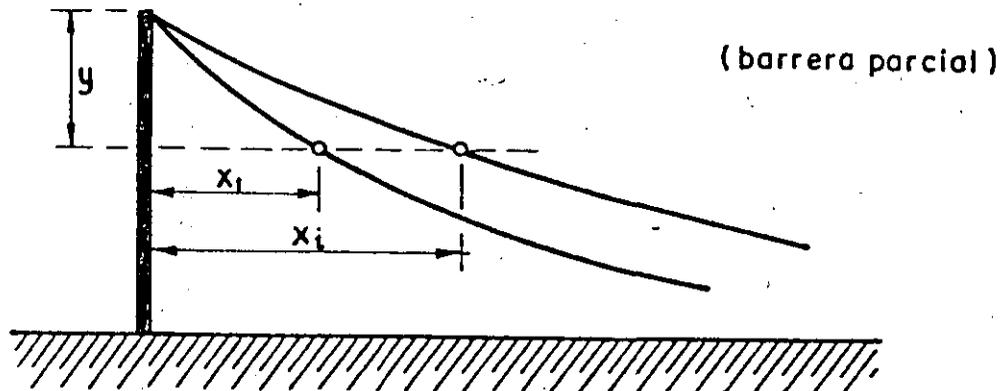


Fig. 16

## 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.

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 chalanes-tolva 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.

## I. TIPOS DE DRAGAS Y SU USO

### 1.1. Dragado Hidráulico.

Las dragas hidráulicas se distinguen por la instalación de una bomba centrífuga para elevar y transportar el material dragado como una mezcla de suelo y agua a través de una tubería de succión.

#### a) Bomba Centrífuga.

La bomba centrífuga de dragado (Fig. 1), es el dispositivo más importante de las dragas hidráulicas y en su construcción se procura que reúna los siguientes requisitos:

1. Alto rendimiento que permita emplear la potencia de impulsión más pequeña y como consecuencia menor consumo de combustible.
2. Seguridad en su funcionamiento, lo que previene paros de la draga que significan erogaciones costosas.
3. Facilidad en su desmontaje, que influye favorablemente en los costos de conservación.

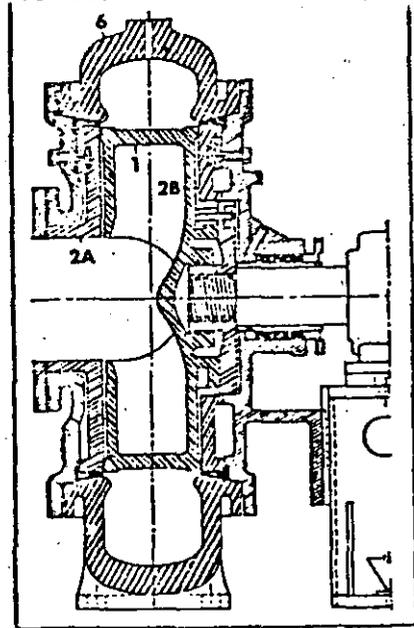


Fig.1 BOMBA CENTRIFUGA  
1 impulsor;  
2A tapa del lado de succión;  
2B tapa del eje;  
6 carcasa.

Las partes más importantes de una bomba de dragado son: la carcasa, las tapas (lado de succión y del eje), el impulsor y el eje del impulsor.

El cuerpo de la bomba al que también se le conoce como carcasa o caracol, se construye de acero fundido y se procura que sea lo más

sencilla posible, para que tenga menor dimensión y peso.

Las tapas van protegidas con chapas remachadas o soldadas de aleación de acero con manganeso para evitar el desgaste por la erosión de la arena.

El impulsor se construye generalmente de una aleación de acero con manganeso para darles mayor duración. La velocidad del impulsor varía de 900 rpm en bombas de 203 mm (8") a 300 rpm en las de 914 mm (36"), con velocidades en la periferia de 2,700 metros por minuto, - velocidades superiores causan deterioro excesivo en las bombas. Generalmente se atornilla al eje, empleando roscas redondas en las - - crestas y las raíces, con doble o triple entrada. El eje es de acero y su diámetro varía entre 150 y 450 mm, según las dimensiones de la bomba.

La potencia absorbida por la bomba de dragado es aproximadamente de 600 HP en las dragas de 254 mm (10") a 10,000 HP en las de 914 mm (36"), el rendimiento promedio varía entre 60 y 75%.

#### b) Tubería de Succión.

El tubo de succión aspira la mezcla material-agua por una boquilla colocada en su extremo inferior; y permite ajustar el dragado a la profundidad deseada, dentro de los límites que tolere su longitud.

La tubería está acoplada a la bomba de succión por medio de una conexión flexible, que permite el libre movimiento de la misma; - su maniobra se efectúa por medio de aparejos o plumas, o sistemas de pescantes; y puede estar situada en posiciones laterales a la draga, o en una abertura central.

## 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

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.

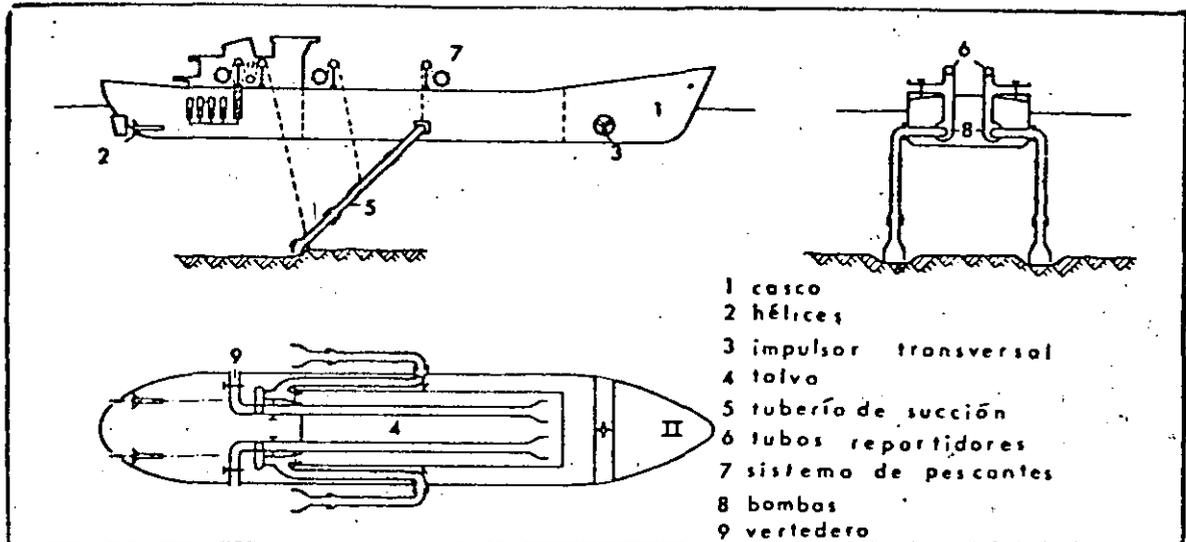


Fig.2 DRAGA DE AUTOPROPULSION CON TOLVA

- 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 traslada 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 válvulas

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 precisión (Fig. 3).

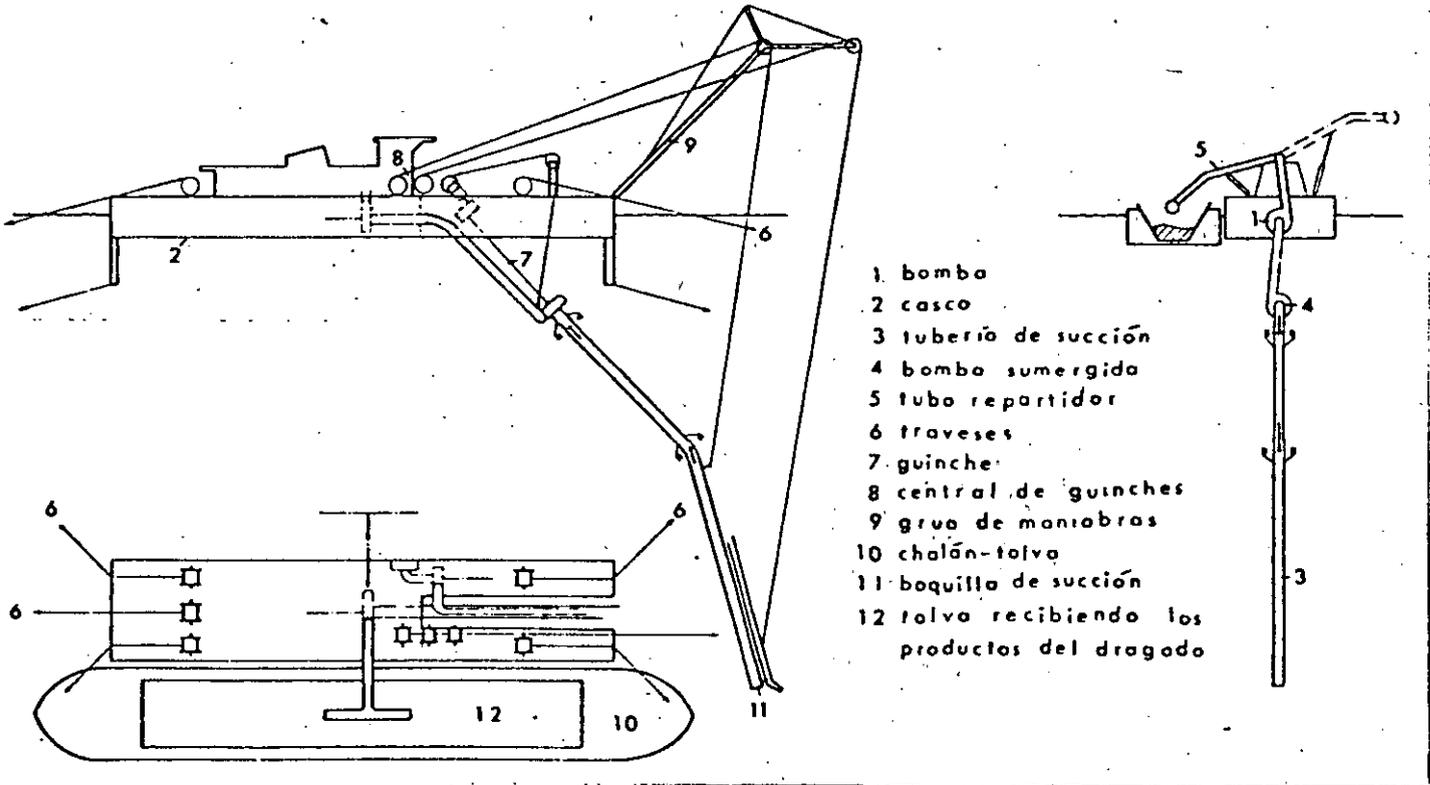


Fig. 3 DRAGA ESTACIONARIA CON TRAVESES

2. **Draga 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.

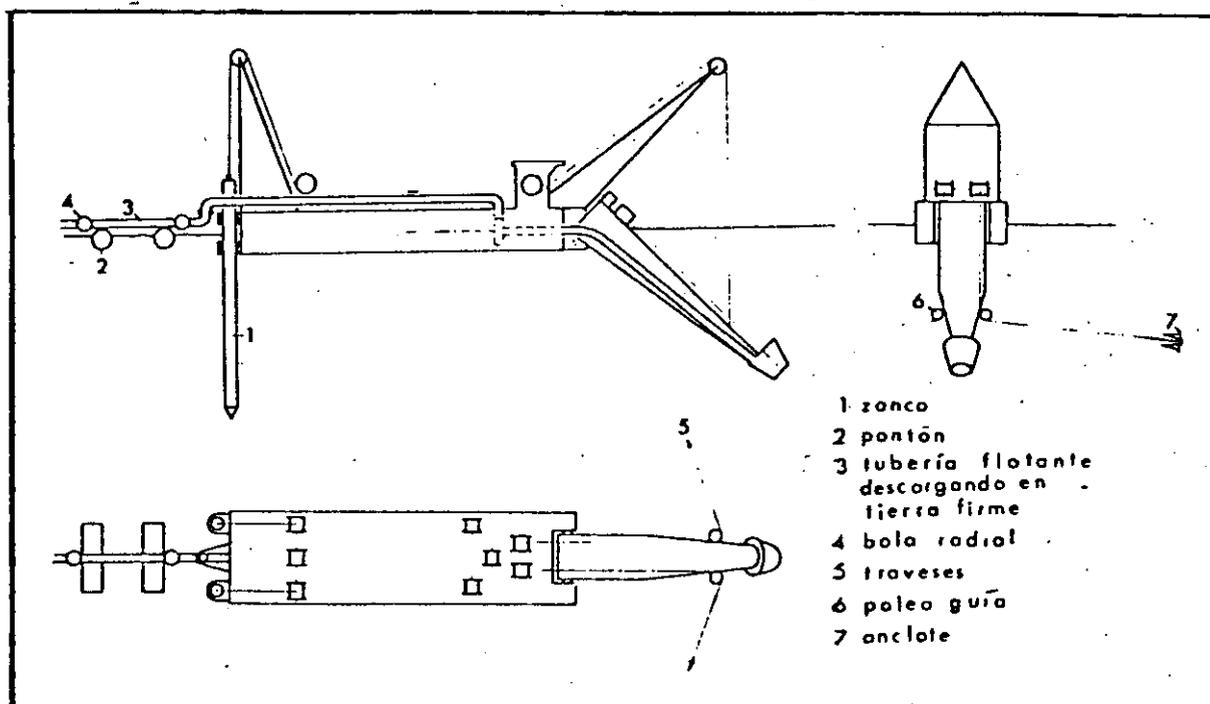


Fig. 4 DRAGA ESTACIONARIA CON ZANCOS

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 barcasas 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 barcasas 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 rebombeo 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.

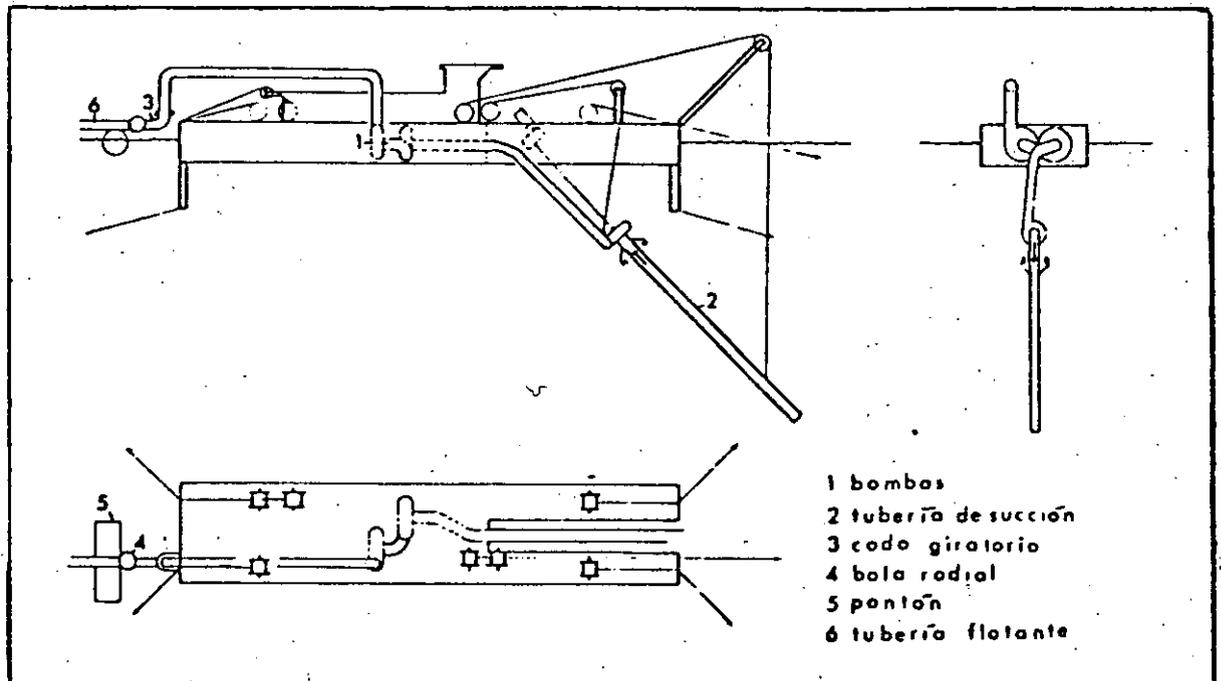


Fig.5 DRAGA DE SUCCION SIMPLE.

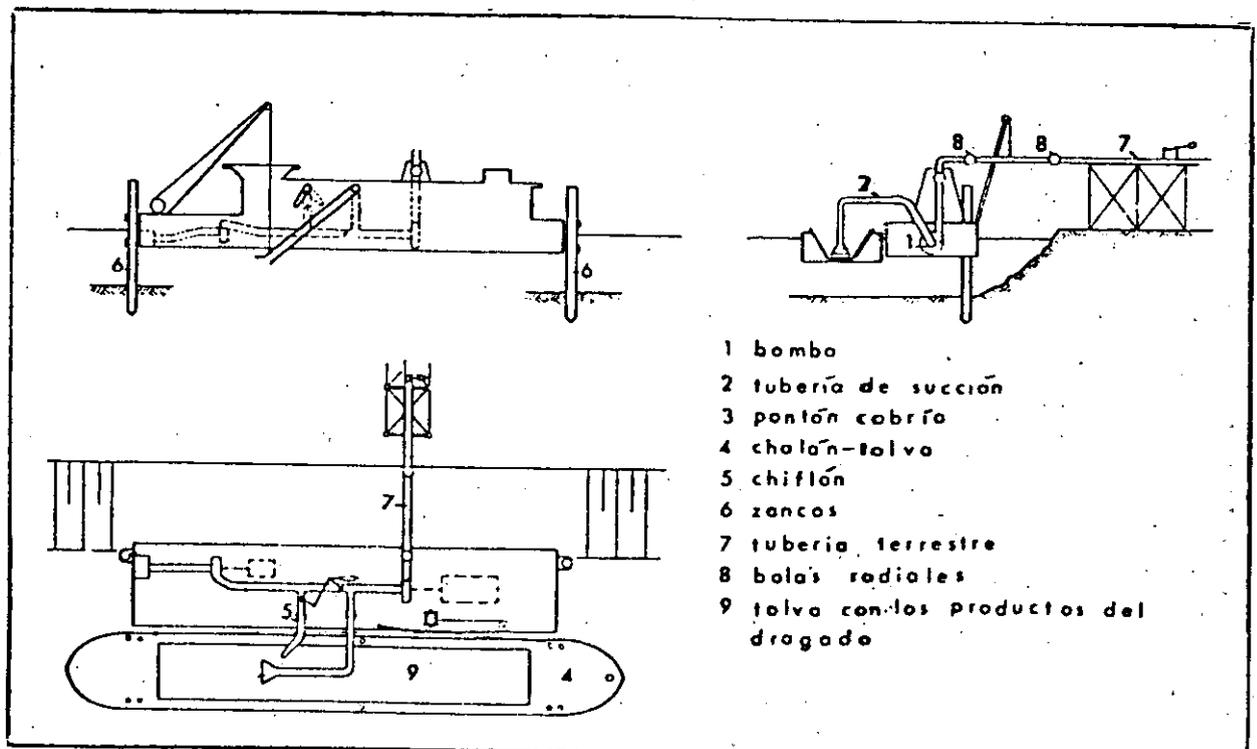


Fig.6 UNIDAD DE REBOMBEO

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 barcas abarlotadas, o botándolo a los lados de la zona de trabajo.

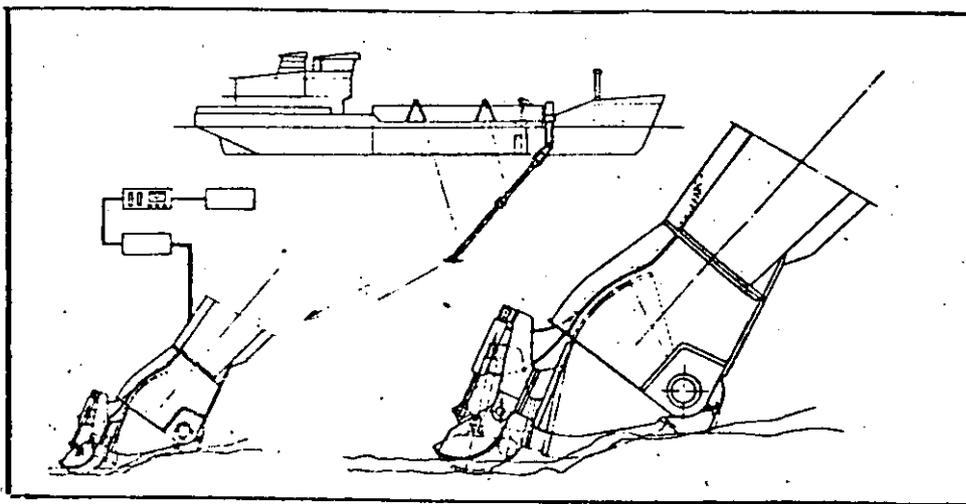


Fig-7 DRAGA CON RASTRA DE SUCCION

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.

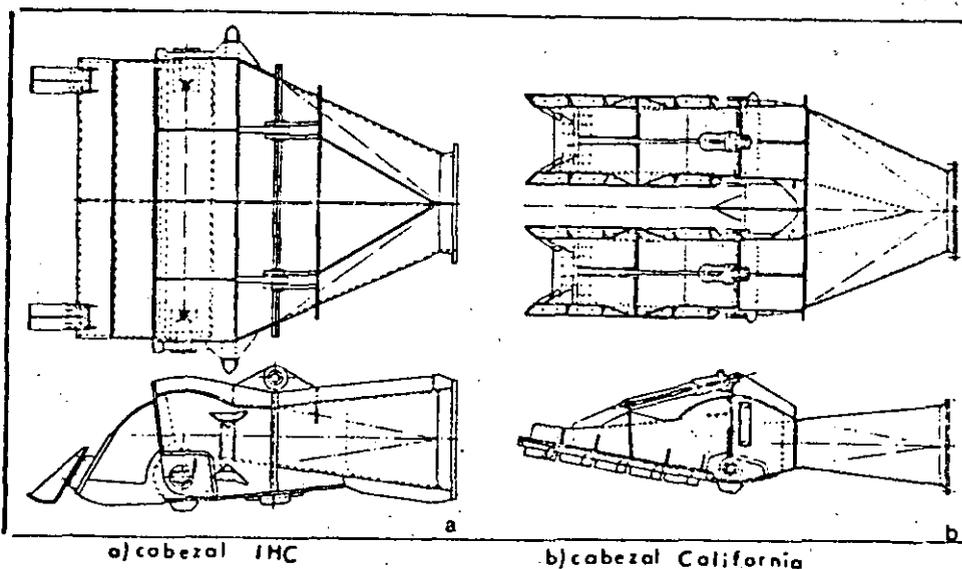


Fig. 8 TIPOS DE RASTRAS

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.

Ampos 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.

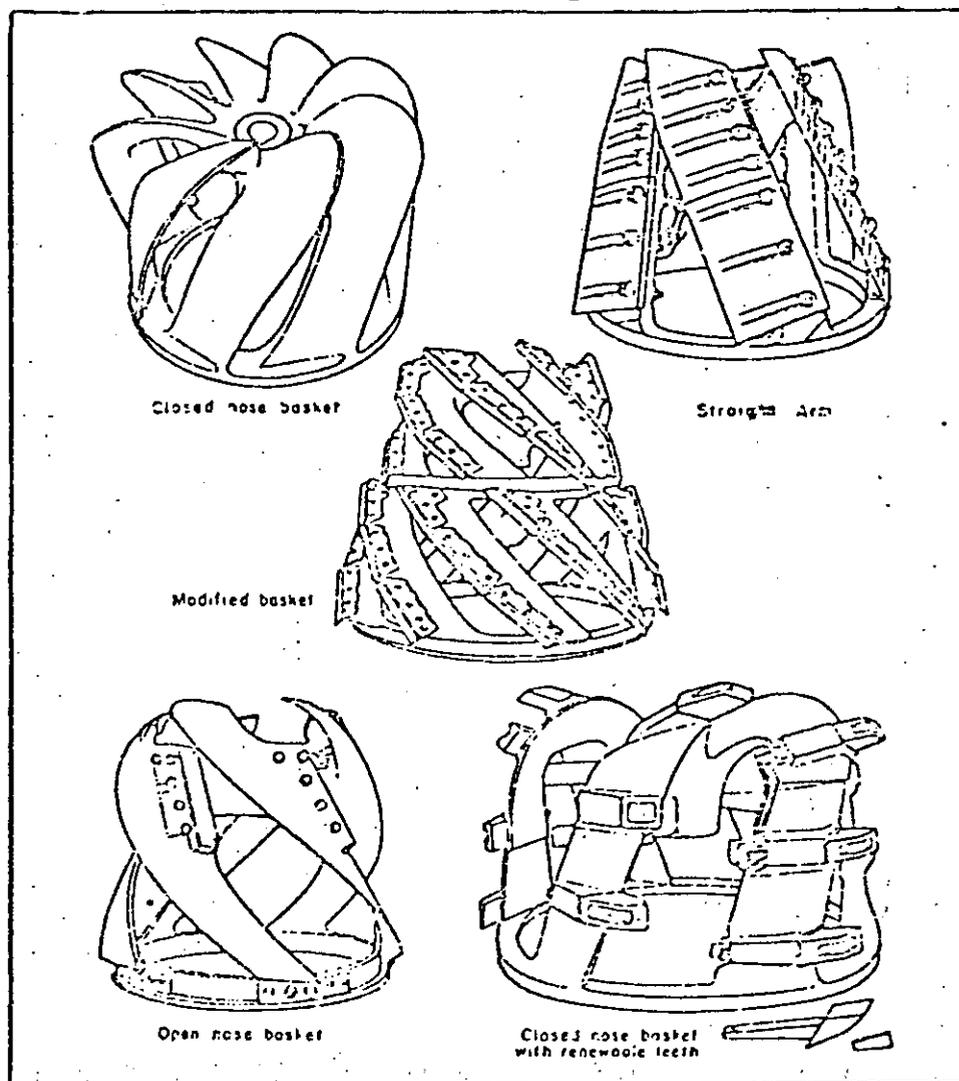
a) Características Generales.

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.

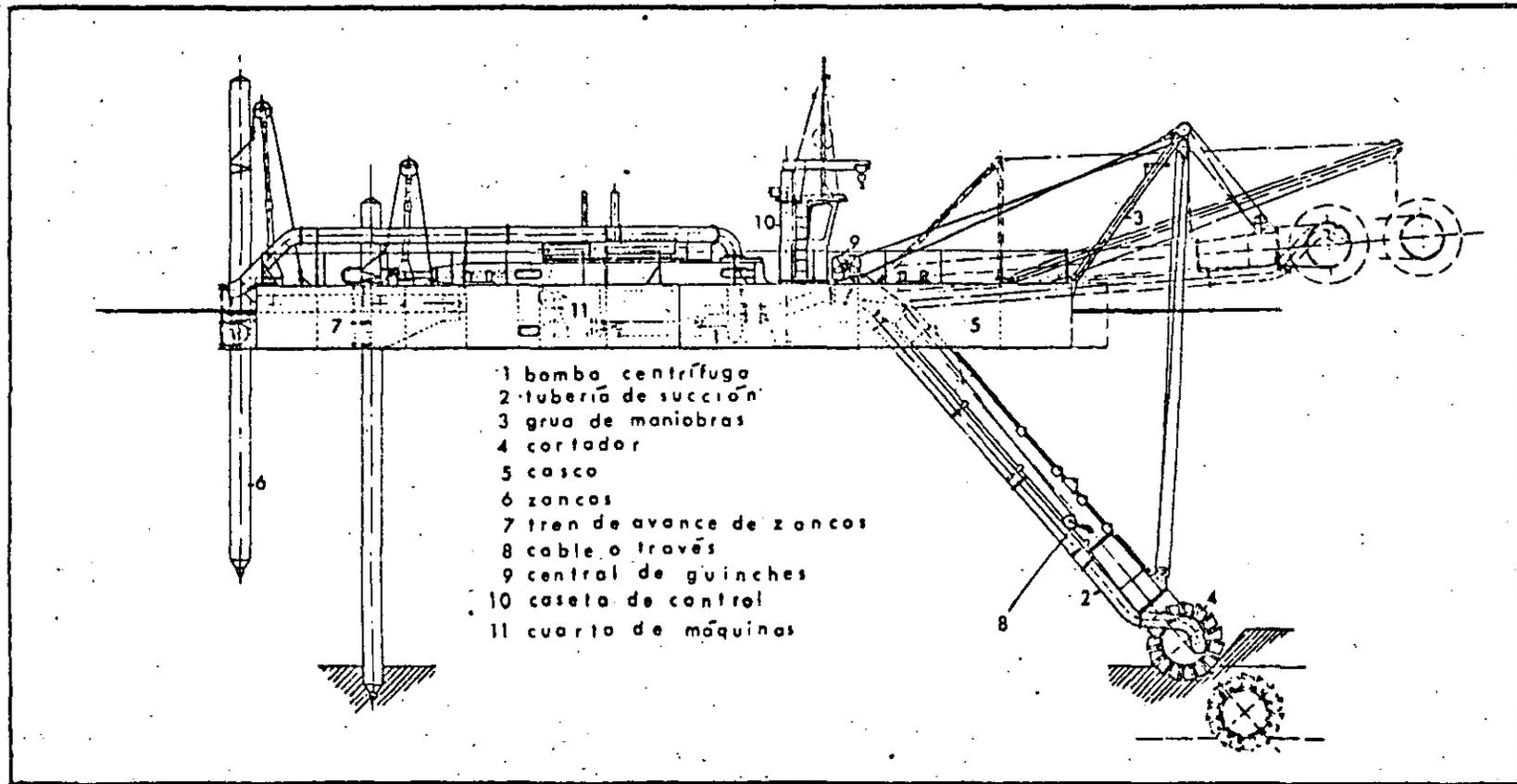


Fig. 10 DRAGA ESTACIONARIA DE SUCCION CON CORTADOR

## 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.

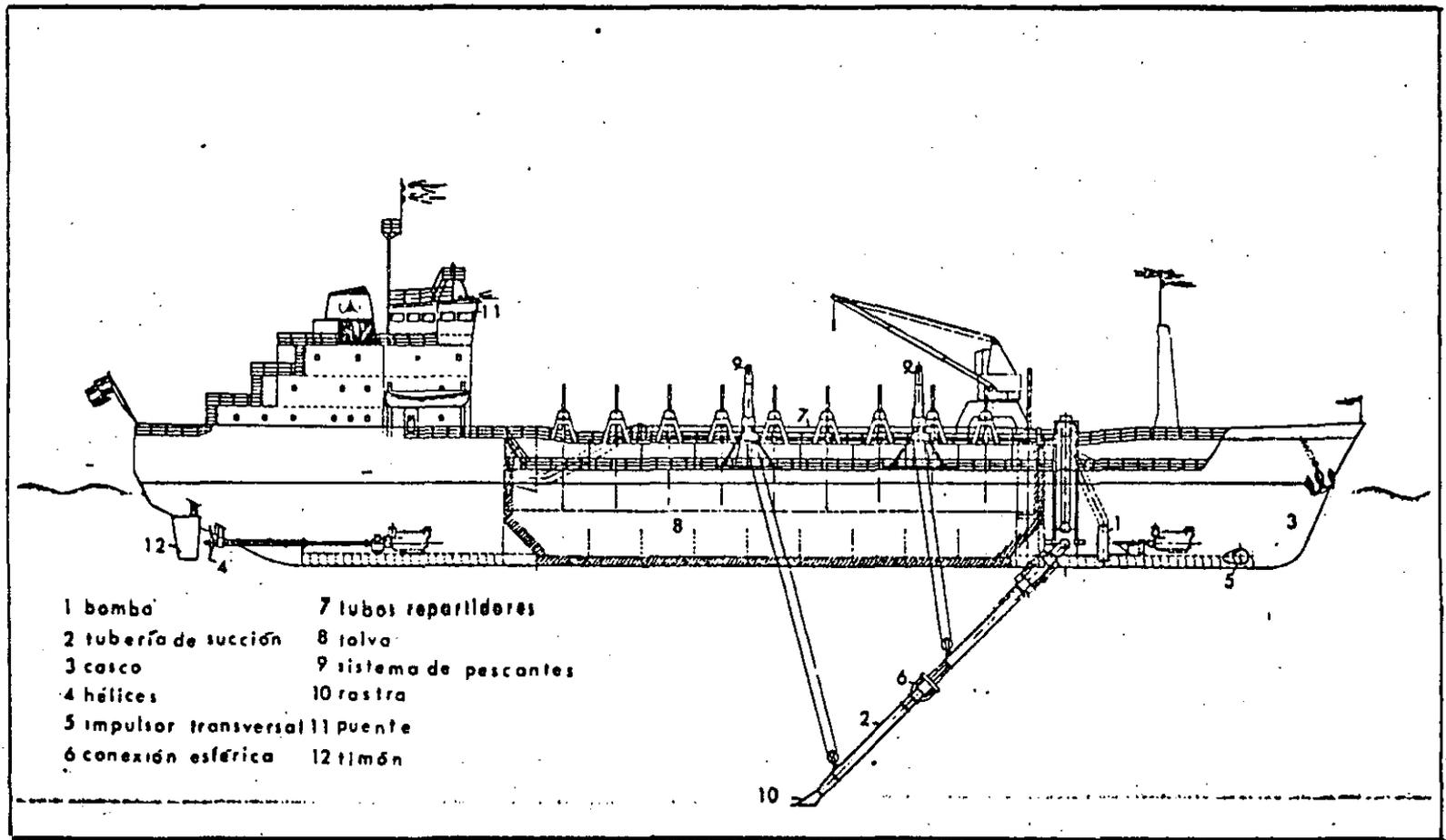


Fig. 11 DRAGA DE AUTOPROPULSION CON TOLVA

### 11.3. Rastra de Succión.

Despreciando los mecanismos de desplazamiento del material en la cabeza de la rastra de succión, el máximo flujo en el sistema de succión hidráulica de una draga con tolva está limitado por dos factores:

- a) Máxima carga de succión disponible, y
- b) Máximo momento de torsión de gasto disponible, en la bomba.

Debido a que los requerimientos de carga para una draga son mínimos, el primer factor o las limitaciones de carga de succión controlan el rendimiento.

La pérdida de carga por presión en la rastra de succión puede ser calculada por la siguiente expresión (Fig. 12):

$$P_1 - P_2 = d(SW-1) - p_{\text{máx}} - (SW) \left( \frac{k Q^2}{2gA^2} - y \right)$$

donde:  $K$  = constante de pérdida de carga, que es una función del diámetro y longitud de la tubería, número de codos, válvulas, conexiones flexibles, etc.;

$d$  = profundidad de dragado, en m;

$SW$  = peso específico de la mezcla bombeada, en kg/m<sup>3</sup>;

$y$  = distancia entre la superficie del agua y el eje central de la bomba, en m;

$Q$  = es la mezcla descargada, en m<sup>3</sup>/s;

$A$  = área de la tubería de succión, en m<sup>2</sup>;

$g$  = aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>;

$P_3 = - P_{\text{máx.}}$

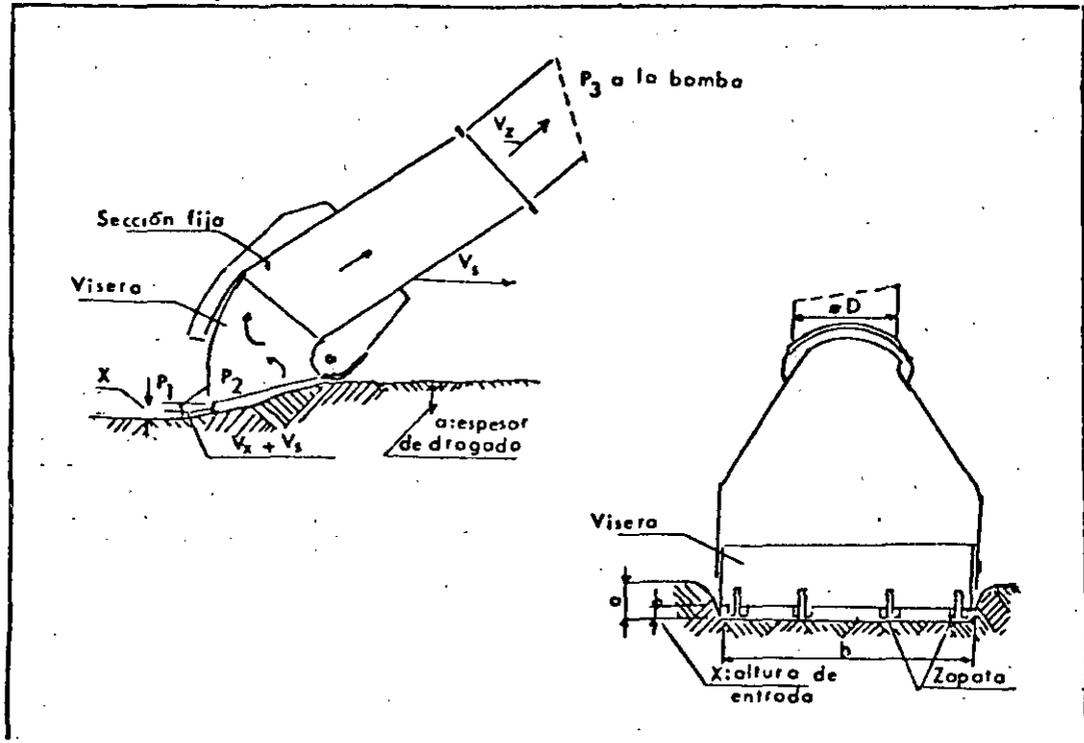


Fig. 12 RASTRA DE SUCCION

La producción, que puede ser medida en unidades de volumen o de peso del material o mezcla de agua y material, es una función de cierto número de variables:

1. El peso específico del material, usualmente dado en  $\text{kg/m}^3$ ;
2. El ancho de abertura de la rastra de succión;
3. La forma de la abertura de la rastra;
4. Los efectos ambientales, tales como el movimiento debido al oleaje, corrientes, etc.;
5. La presión diferencial entre el interior y exterior de la rastra;
6. El movimiento de la draga (arfadas, cabeceos y balanceo);
7. Configuración geométrica del interior de la rastra.

Suponiendo un caso bidimensional (o despreciando el reflujó 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 vertedores. Cuando la mezcla dragada de material y agua llega a la tolva, los sólidos se asientan y el agua superficial escapa por los vertedores. En una situación ideal, solo agua fluiría hacia el exterior por los vertedores, en la práctica sin embargo, algo de material dragado es llevado al exterior antes de que tenga oportunidad de asentarse. El porcentaje de sólidos perdidos de esta forma es llamado como la "pérdida por vertedores o sobreflujo", y juega un papel importante en el proceso de carga de la tolva. Cuando el nivel de sólidos en la tolva sube, las pérdidas por vertedores se incrementa - tan alto que a un nivel dado de sólidos, 100% del material que entra puede perderse via los vertedores -, ver Fig. 13.

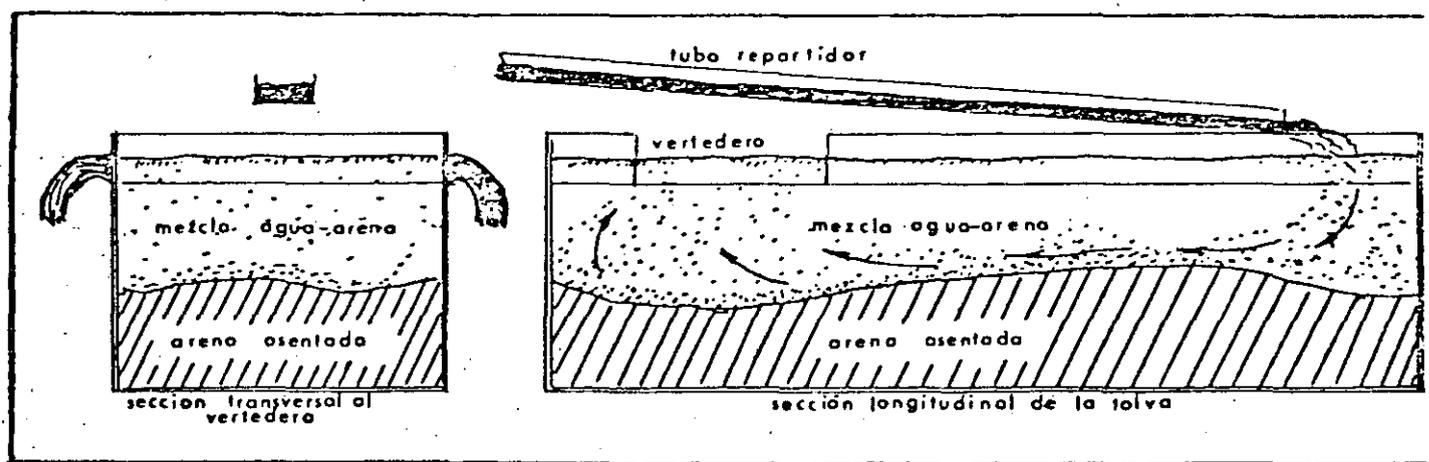


Fig. 13 TOLVA Y SISTEMA DE VERTEDEROS

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.

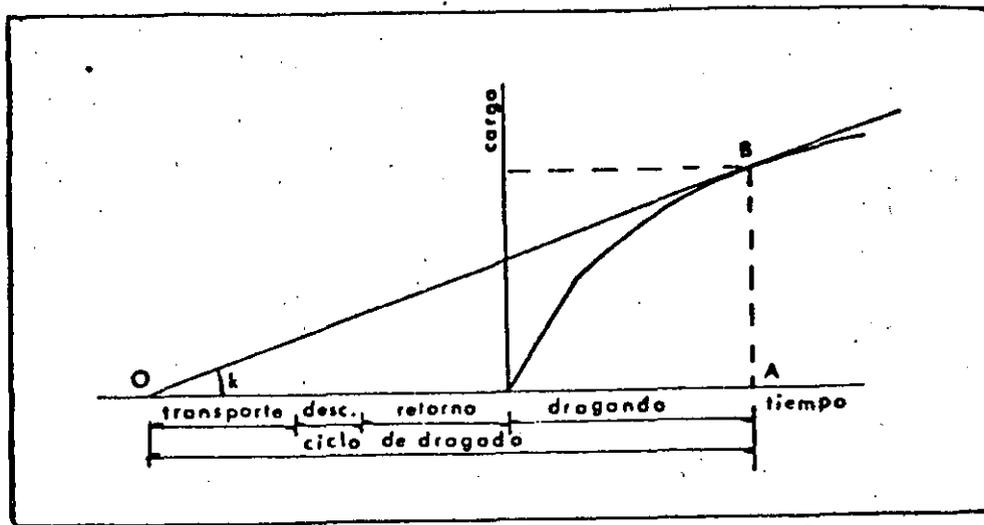


Fig. 14. CICLO DE DRAGADO

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 rendimiento del cortador son su diámetro, velocidad y diseño, la naturaleza y diseño de las cuchillas, la velocidad y potencia de los traveses o quinchos 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<sup>2</sup>;

$v$  = 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 succión 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 entre 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 adicional 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:

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

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

$R$  = radio de curvatura, en m;

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

$\phi$  = 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.

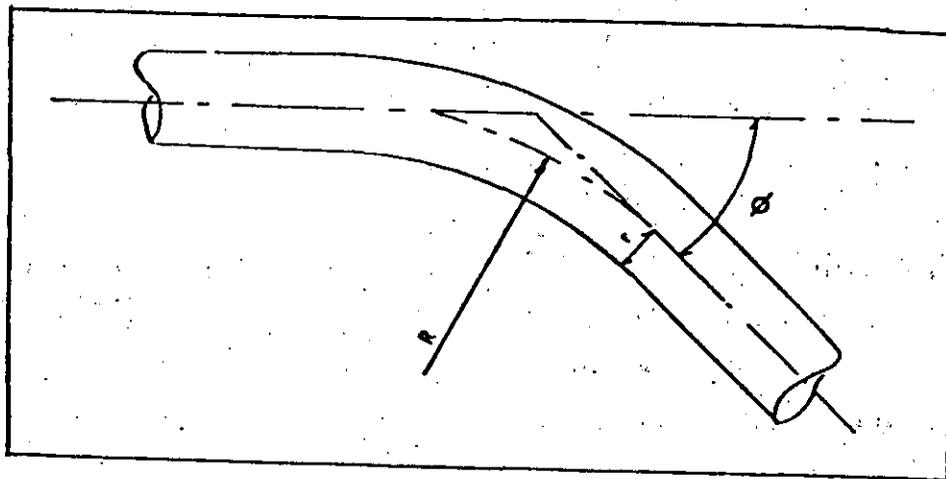


Fig-15 CAMBIO DE DIRECCION

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.

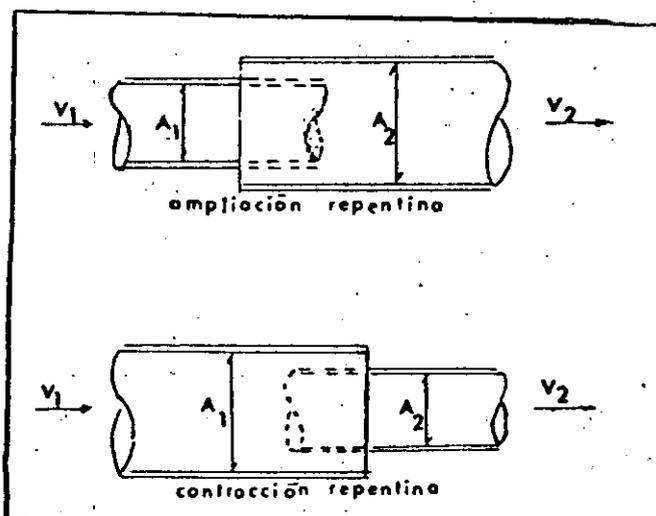


Fig. 16 AMPLIACIONES Y CONTRACCIONES

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 II-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 flótante 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.

#### II.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.

#### II.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<sup>3</sup>;

Q = gasto, en m<sup>3</sup>/s;

H<sub>t</sub> = 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 obligado 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.**

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

EL ENTORNO FISICO

NOVIEMBRE, 1984.

## EL ENTORNO FISICO.

### 1.- GENERACION DEL OLEAJE.

Casi toda la energía que reciben los océanos se ---- transfiere a través de la superficie libre del agua. Así mismo, aparte de las pérdidas por fricción que se presentan en las zonas costeras, la mayoría de las pérdidas también se efectúan en esta interface. No obstante que las radiaciones solares son la fuente primaria de la energía de los océanos, una gran parte de las transferencias son el resultado de intercambios con la atmósfera superadyacente a través de una serie de interacciones muy complejas.

#### 1.1 INTERACCIONES ENTRE EL MAR Y EL AIRE.

La energía que se intercambia entre el mar y el aire es de la forma siguiente:

- 1.- Radiación
- 2.- Calor Sensible
- 3.- Calor Latente
- 4.- Energía Cinética.

#### Radiación y Calor

Las tres primeras formas primarias de intercambio se traducen en enfriamiento del agua (pérdida) ó en calentamiento de la misma (ganancia) y únicamente una pequeña -- fracción de la radiación solar se absorbe para utilizarse en procesos químicos y biológicos.

Las pérdidas o ganancias de energía ocurren cerca de la superficie libre del agua y afectan la estabilidad y -

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 dirección 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.

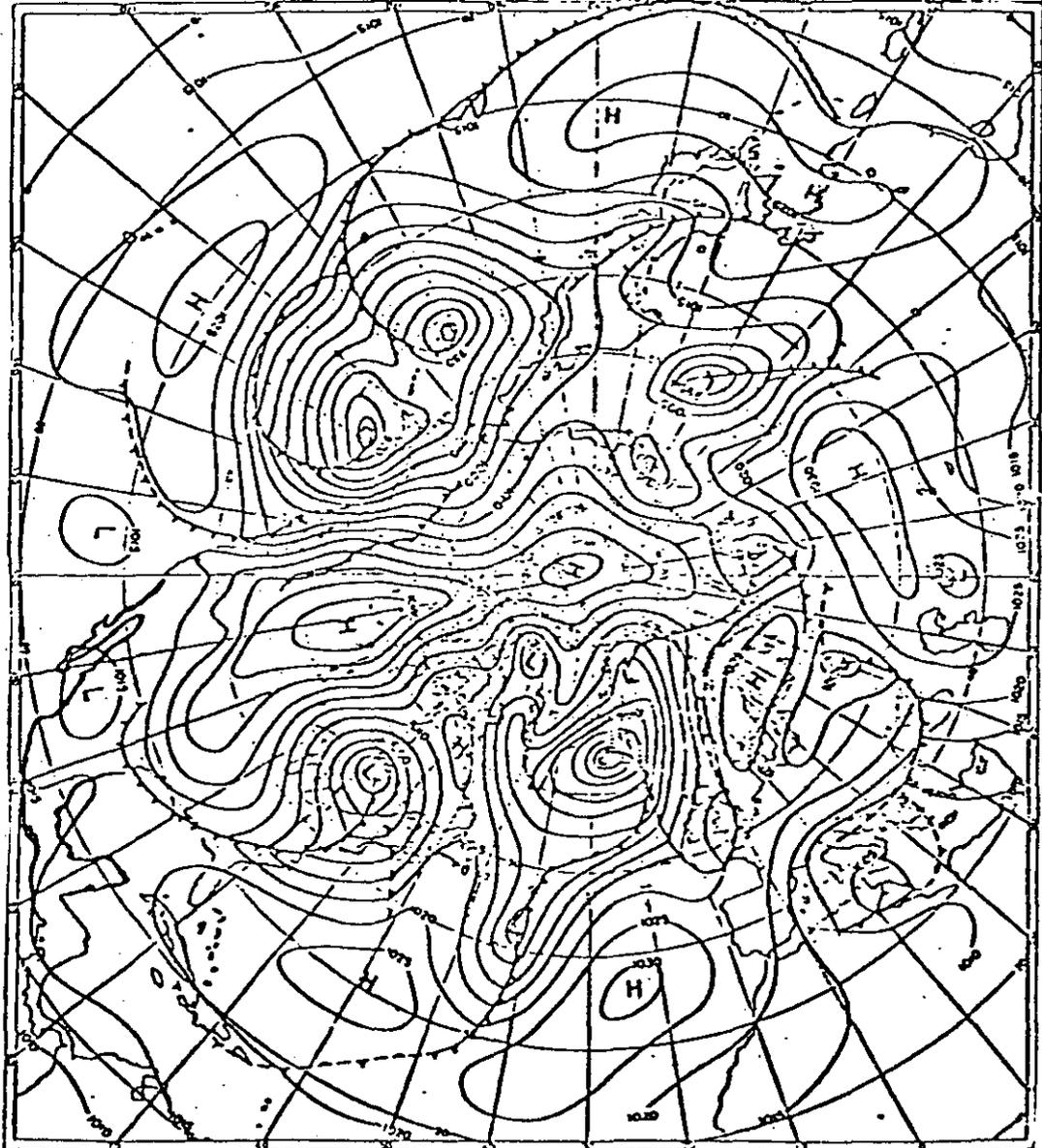


Figura 1.- Presión sobre el nivel del mar (basado en series diarias de cartas sinópticas del tiempo en el Hemisferio Norte) a las 12 GMT el 1º de marzo de 1950 (unidades de presión en milibares y los frentes están representados en la simbología estándar.)

Con respecto al movimiento de los centros de alta -- presión, se ha observado que en general los de alta pre-- sión son mas largos en extensión horizontal que los de ba ja presión y ambos generalmente se trasladan diariamente hacia el Este. En el hemisferio norte los centros de al ta presión tienden a moverse hacia el sureste y los de ba ja 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 lími te entre grandes masas de aire que tienen diferente densi das, 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 ai re 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 movi miento sobre la superficie. Si el frente se desplaza de una localización y el aire frío reemplaza el aire calien te 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 - ésto 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 pronun- ciada, 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 ex- tienden 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 fronteri- za. En la superficie ésto aparece como una onda de baja - presión. Un ejemplo se muestra en la figura 2. Con-- forme se desarrolla un centro de baja presión, con sus aso- ciados 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 figu- ra 2. Debido a que los frentes fríos se trasladan -- mas rápido que los frentes calientes, el frente frío alcan- za 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.

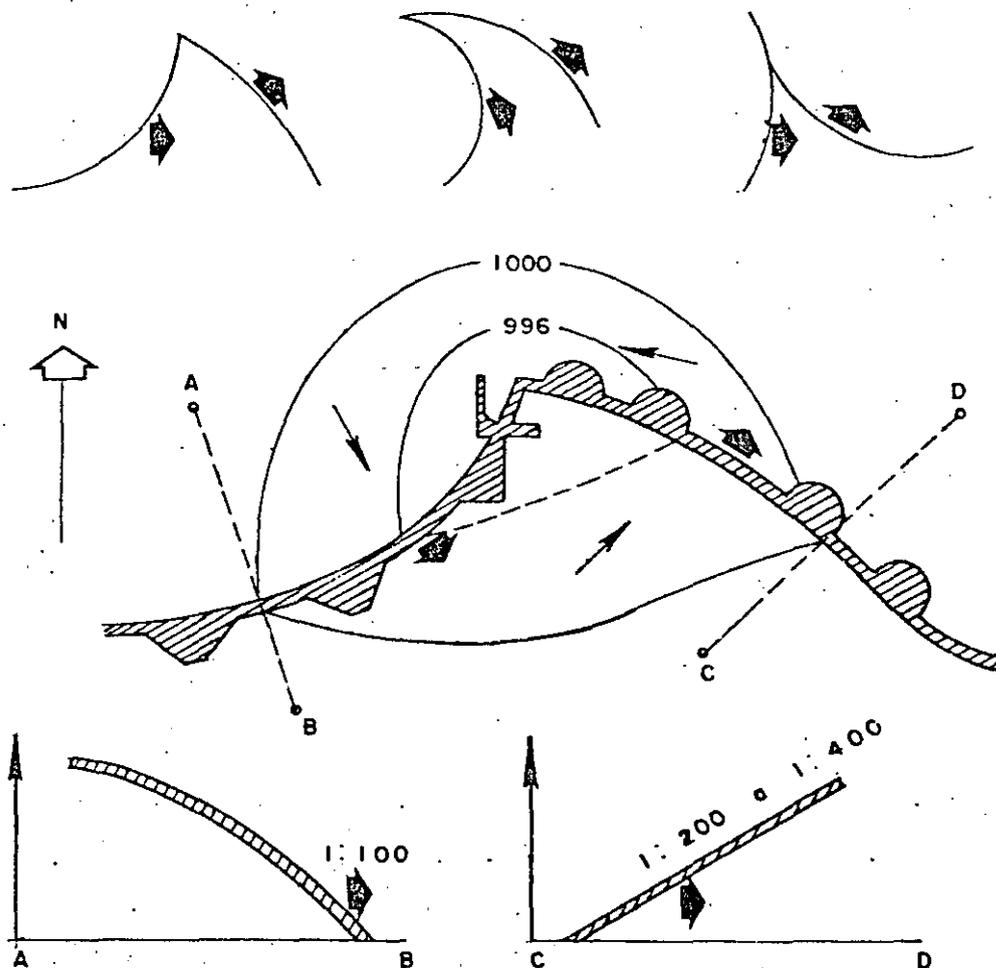


Fig. 2. Frentes de Aire.

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-

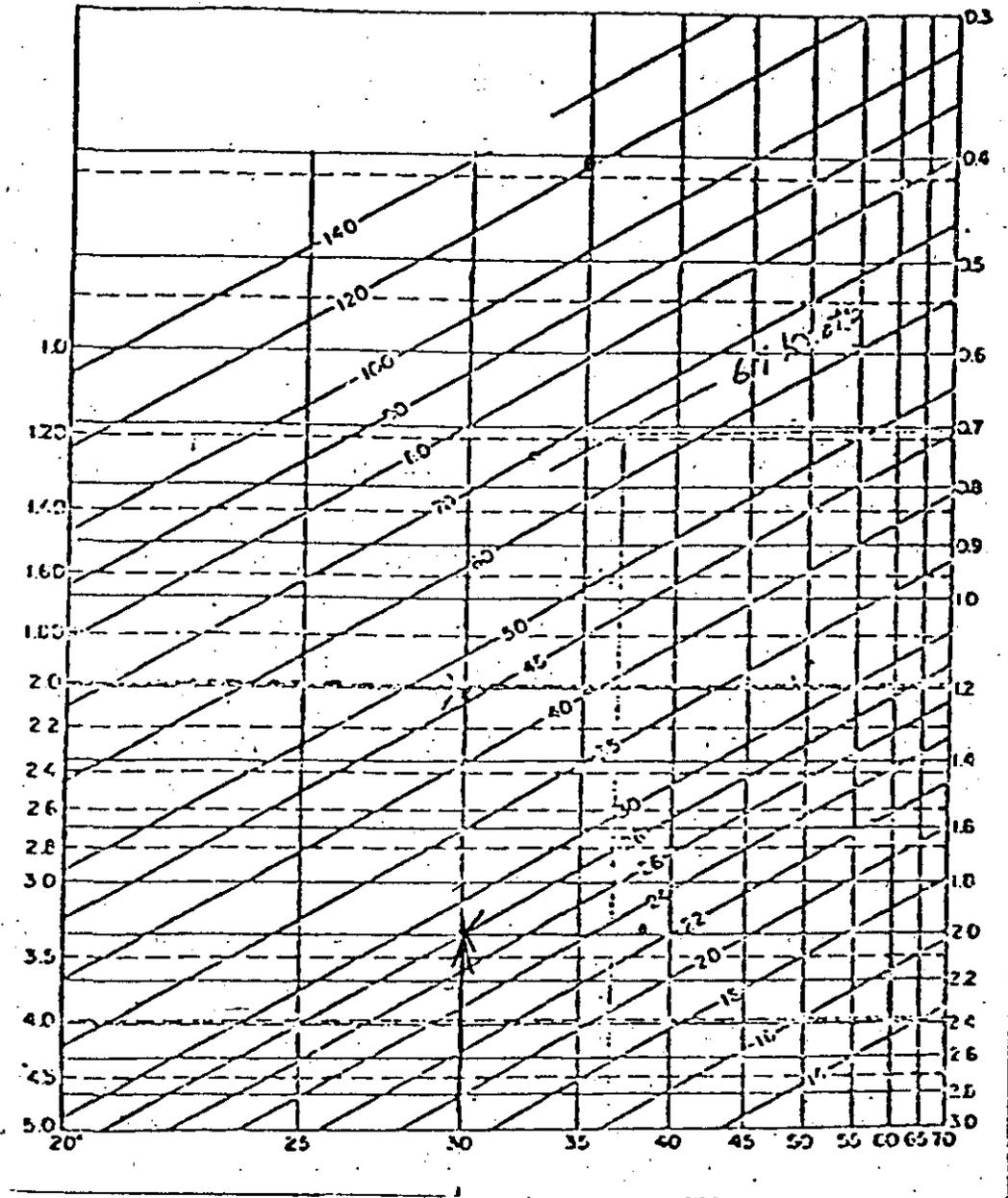
das al viento la mayor presión estará a la izquierda y la menor a la derecha. Este viento idealizado se le denomina Viento Geostrófico. Para conocer su magnitud nos podemos ayudar de la gráfica 1. Nótese que las coordenadas de la gráfica son: en las ordenadas el espaciamiento entre isóbaras se da de 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 geostrofico 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 geostrofico 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 geostrofico. 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

ESPACIAMIENTO DE 5 MB - LATITUDES EN GRADOS



LATITUD EN GRADOS

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

Para:  $\Delta P = 5 \text{ mb}$  ó  $3 \text{ mb}$

$\Delta n =$  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 Geostrófico.

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.

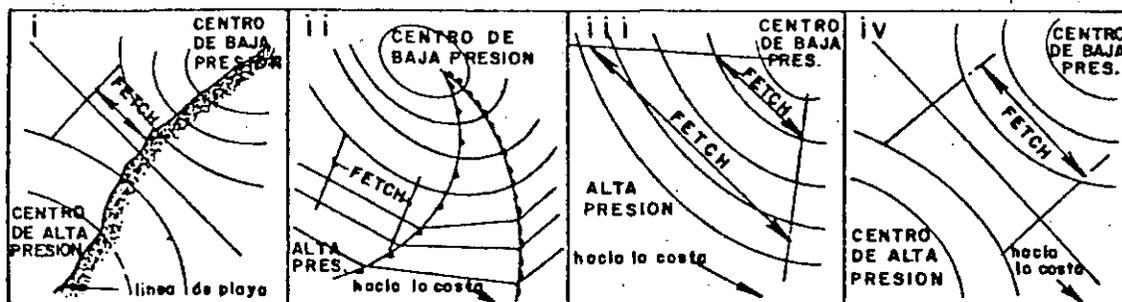
El área del océano donde actúa el viento presenta en la superficie características caóticas, de hecho se presentan las llamadas ondas de cresta corta en las cuales las partículas se comportan en condiciones tridimensionales de movimiento, a diferencia del oleaje normal en que dicho movimiento se analiza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

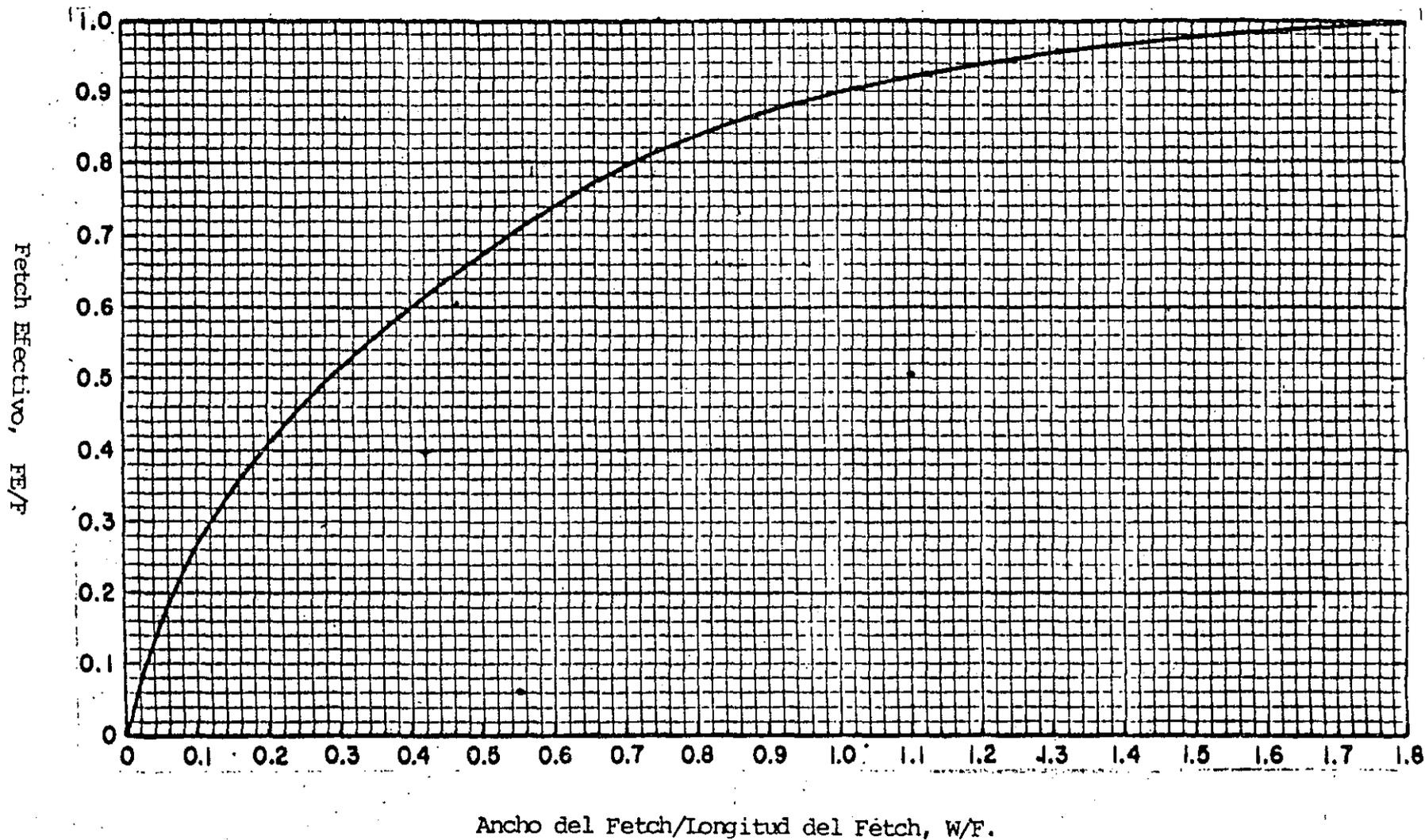
En la región donde se define al Fetch, la velocidad y dirección del viento deben ser razonablemente constantes, por lo que la velocidad debe variar a lo sumo en  $\pm 5$  nudos (2.5 m/seg) de la media.

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:





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

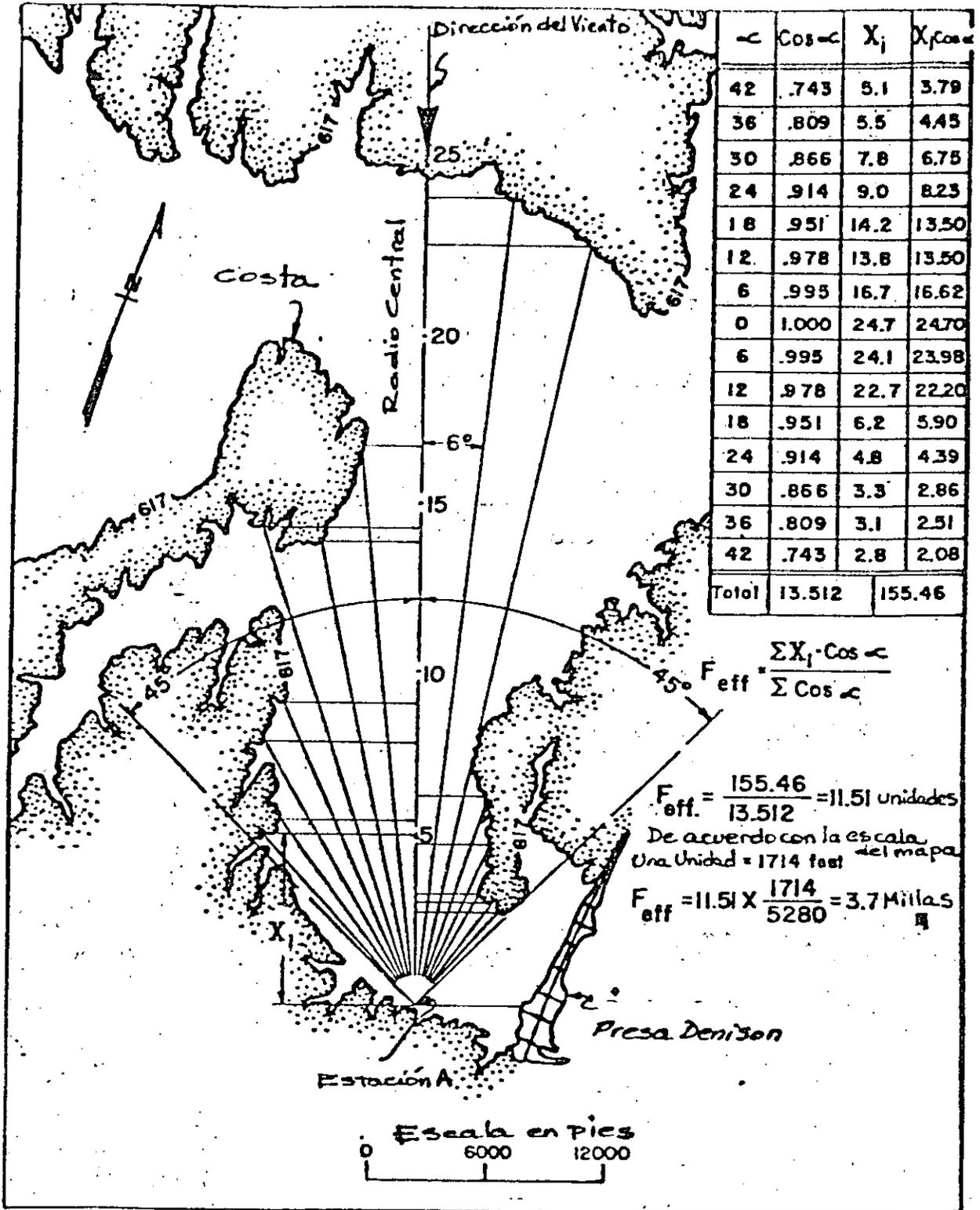
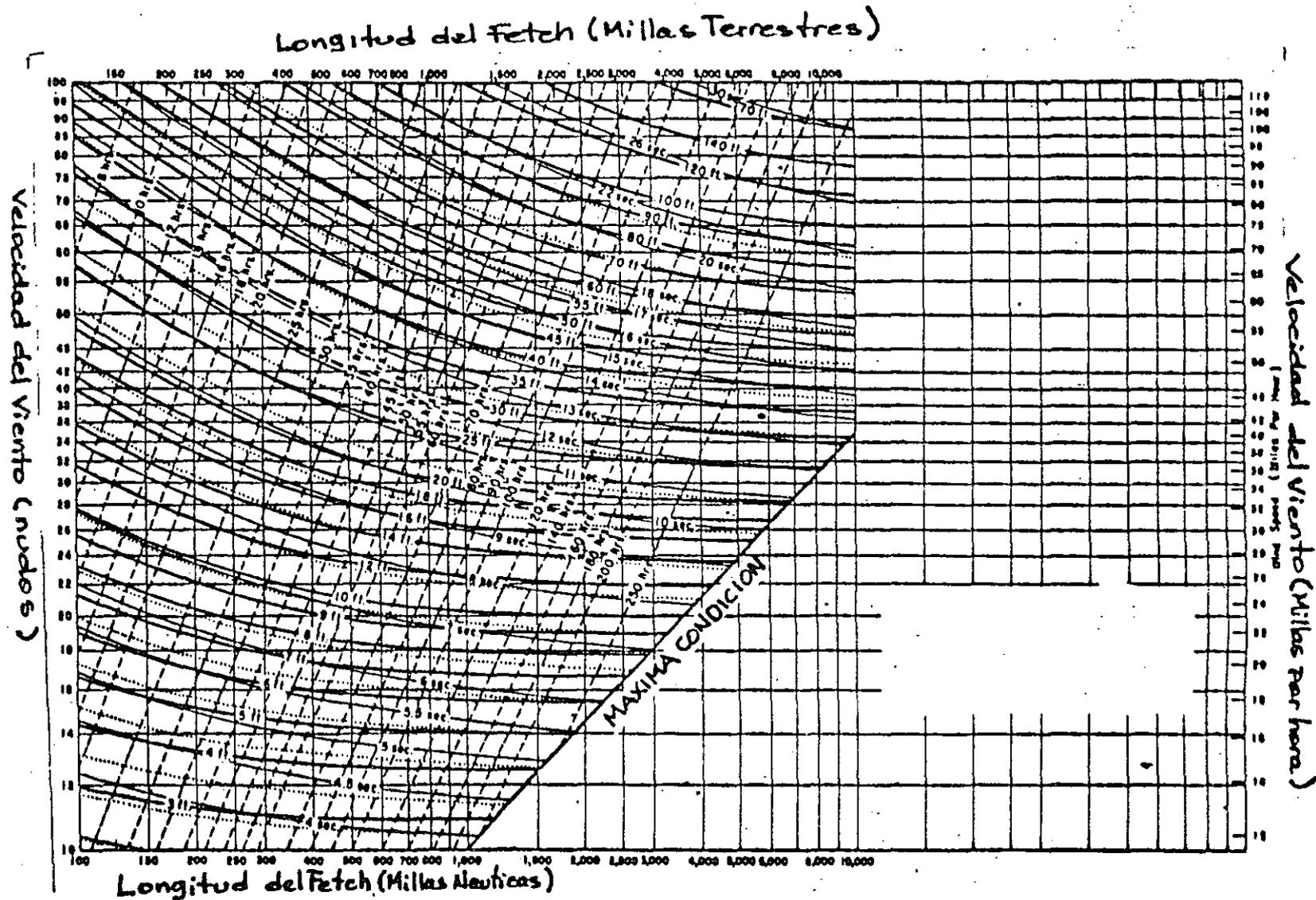


FIG. No. 5



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:

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

$$\begin{aligned} \ln &= \log_e \\ K &= 6.5882 \\ A &= 0.0161 \\ B &= 0.3692 \\ C &= 2.2024 \\ D &= 0.8798 \end{aligned}$$

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.

Cuando 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  $t_{m1} + Z/2$  y Fetch mínimo  $F_{m1} + \Delta F/2$  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 --  

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

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  $t_{m1} + Z/2$  ó un Fetch mínimo de  $F_{m1} + F/2$ . 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.

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

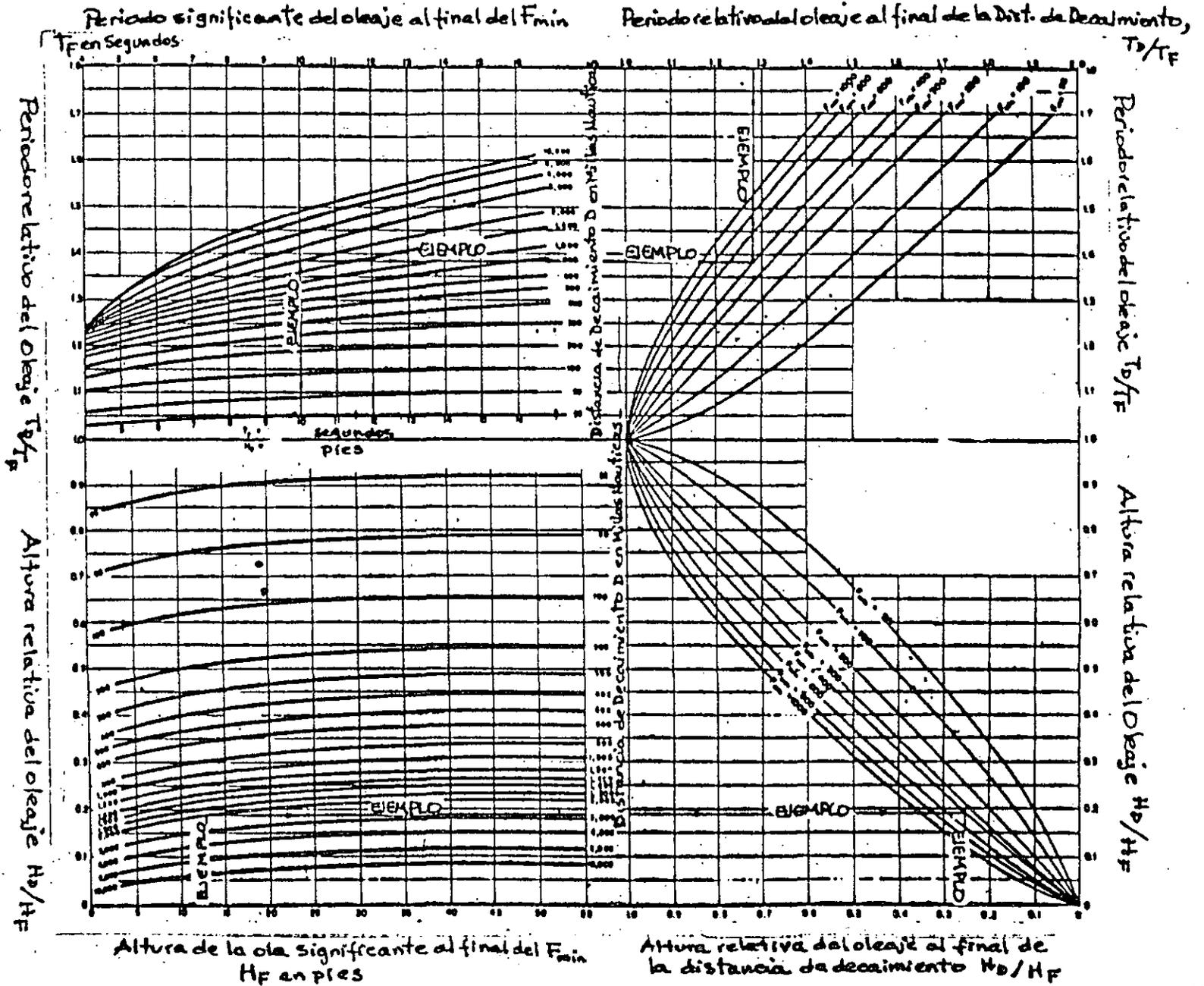
$$\frac{\text{Decaimiento del Período del Oleaje.}}{\text{Período del oleaje correspondiente al Fetch}} = \frac{T_D}{T_f}$$

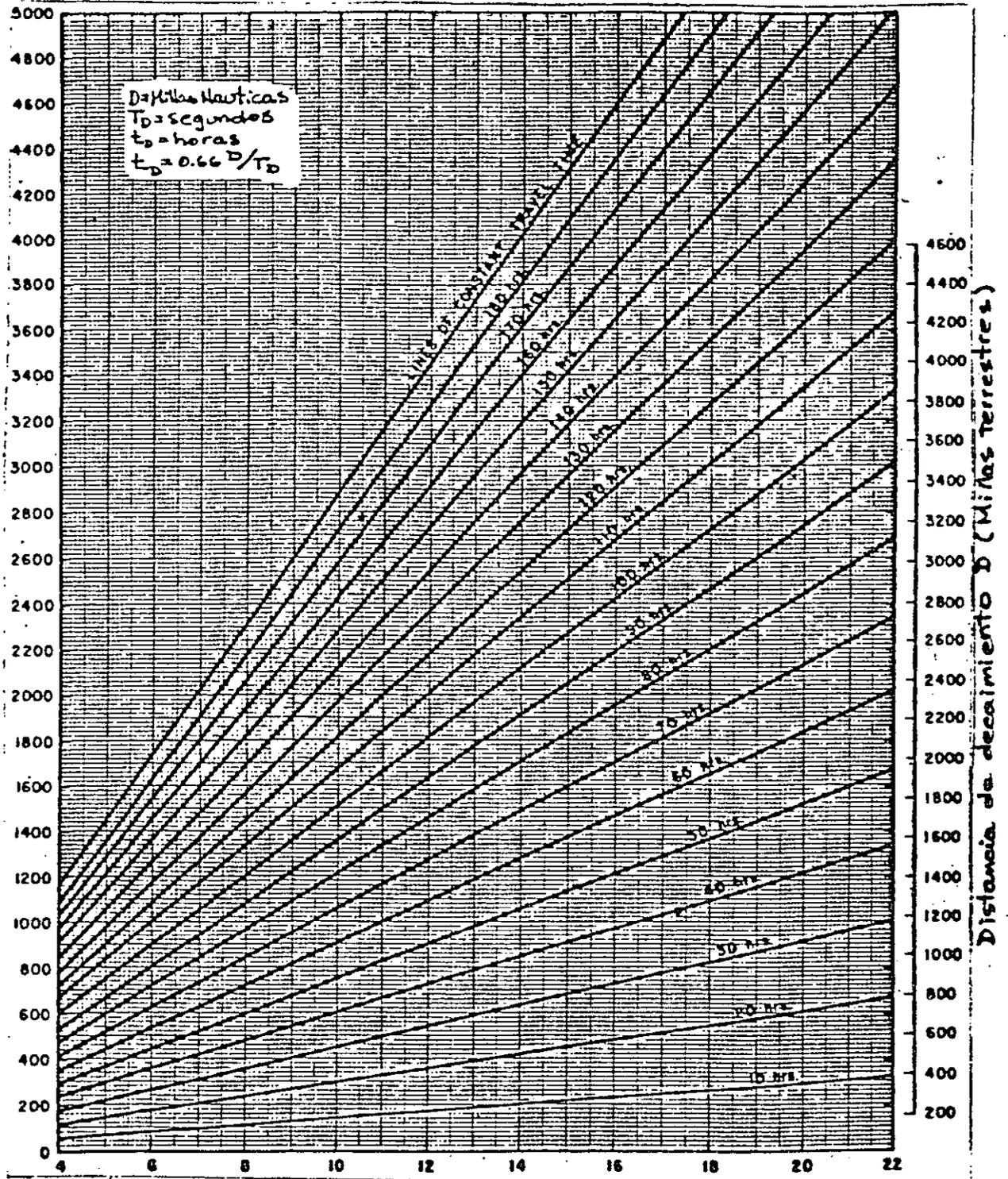
Con la gráfica número 7 es posible calcular - - - el tiempo que tarda en viajar la ola desde el Fetch hasta la costa, conociendo el decaimiento del período del oleaje ( $T_D$ ) y la distancia de decaimiento ( $D$ ).

El tiempo de translación  $t_D$  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  $T_D = D/Cg$ .

#### 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:

$$\frac{H}{U^2} = 0.283 \tanh \left[ 0.530 \left( \frac{Bd}{U^2} \right)^{0.75} \right] \tanh \left\{ \frac{0.0125}{\tanh [0.530} \right.$$

$$\left. \frac{\left( \frac{BF}{U^2} \right)^{0.42}}{\left( \frac{Bd}{U^2} \right)^{0.75}} \right\}$$

..... (1.104)

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

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

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 Coriolís hacen que el sistema empiece a girar. Éste 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-

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 Africa 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 Arábigo.

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.

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

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

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 mercurio.

$V_F$  = Velocidad de translación del huracán, en nudos.

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

$$U_R = 0.865 U_{\text{máx}} \text{ (para huracanes estacionarios) } \dots \dots \dots (1.108)$$

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

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

$$U_{\text{max}} = 0.868 \{ 7.3 (P_n - P_o)^{1/2} - R(0.575f) \} \dots (1.110)$$

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

Latitud ( $\varnothing$ )	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 longitud del Fetch efectivo debido a que el huracán se encuentra en movimiento. Para huracanes 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).

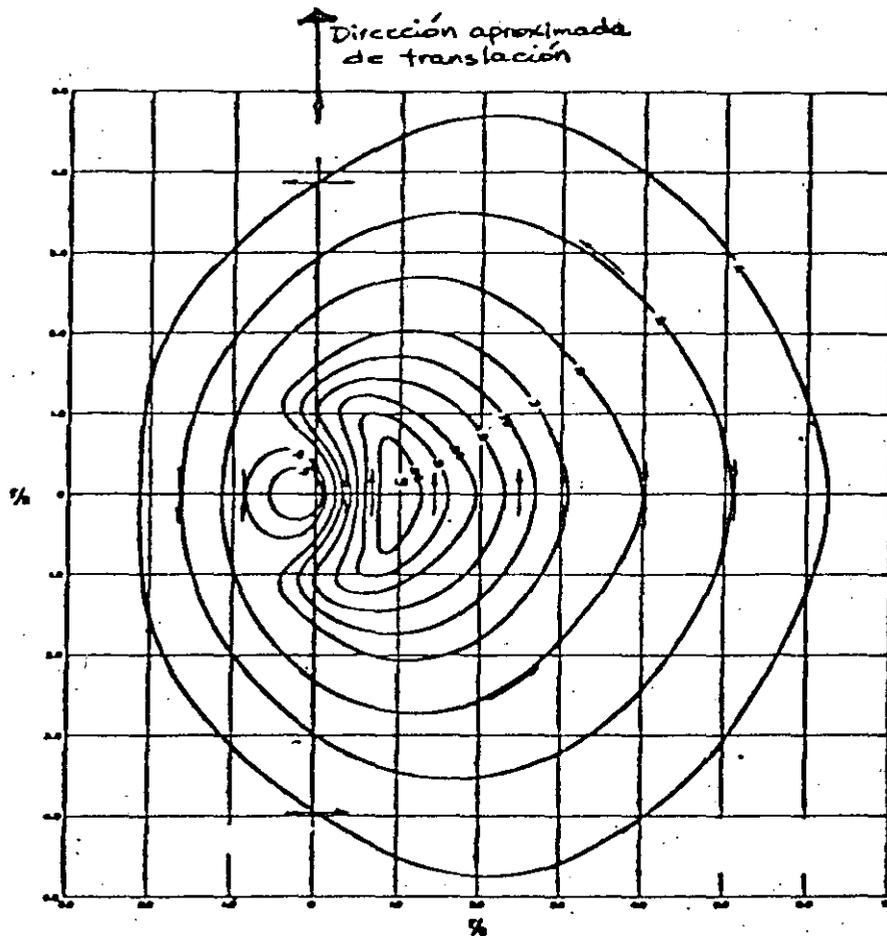
### 3. OLEAJE ESTADISTICO Y PROBABILISTICO

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 observaciones realizadas por buques de líneas regulares y pertenecientes a la marina en diferentes zonas perfectamente bien localizadas. También existen otras fuentes como el "Ocean Waves Statistics" en el cual se presentan las frecuencias de oleaje para diferentes rangos de altura y períodos, 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 observa que generalmente se presentan olas con alturas y períodos 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 direcciones 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 mas altas constituye dicha altura de ola significativa, representandose 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, 8-12 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 representa---da por la flecha correspondiente.

Por oleaje local (SEA) se refiere a las olas generadas por vientos locales soplando sobre la superficie del mar, las que son generalmente de períodos cortos y de alturas 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 generadores. 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:

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

$E$  = 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.

Sí la ecuación (1.111) 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:

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

La altura promedio de todas las olas con alturas mayores que  $\bar{H}$  ( $H$ ) 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.

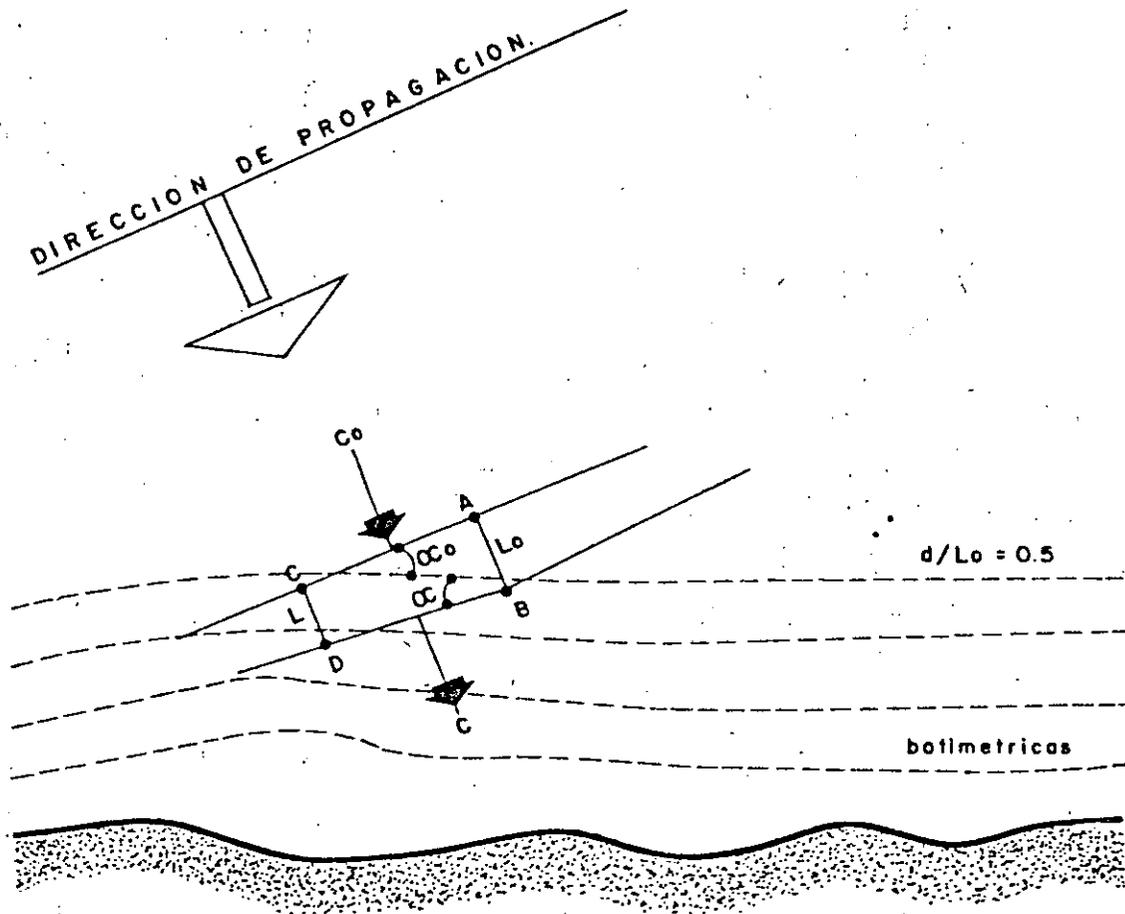


Fig. 6.- Propagación del oleaje con un ángulo de incidencia al pasar sobre el límite de aguas profundas.

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:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} = \tan \frac{2\theta d}{L}$$

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.

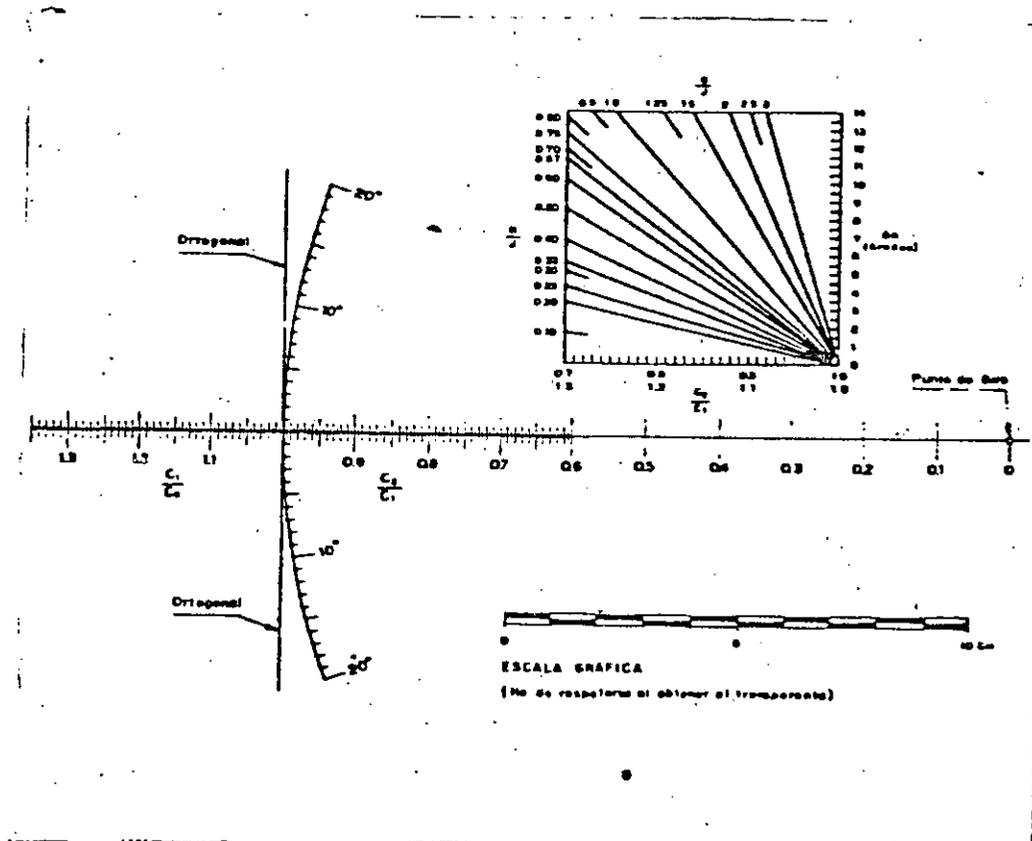


Fig. No. 7.- Patrón de Refracción.

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:

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

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

$b$  = 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:

$$\frac{b_0}{\text{sen} \alpha_0} = \frac{b}{\text{sen} \alpha}$$

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

Donde  $\alpha = \text{arc sen} \left( \frac{C}{C_0} \text{sen} \alpha_0 \right)$

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.

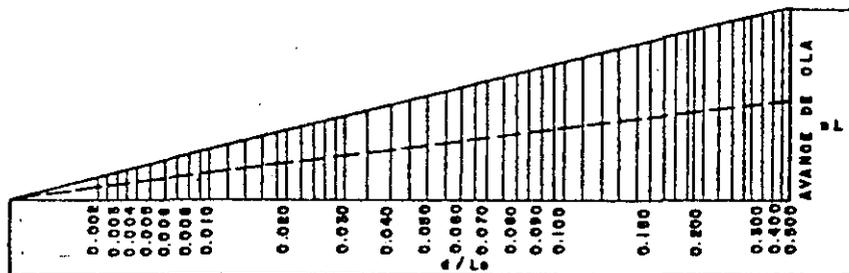


Fig. No. 8.- Regleta utilizada para la elaboración de diagramas de refracción.

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:

$$n = 0.0163 \frac{s}{T^2}$$

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 detallada 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 -- talle 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.

- 3.- El movimiento de las partículas de agua es irrotacional y el potencial de velocidad satisface la ecuación de Laplace.
- 4.- La presión en la superficie es constante.
- 5.- La profundidad a partir del obstáculo hacia la playa se considera constante.

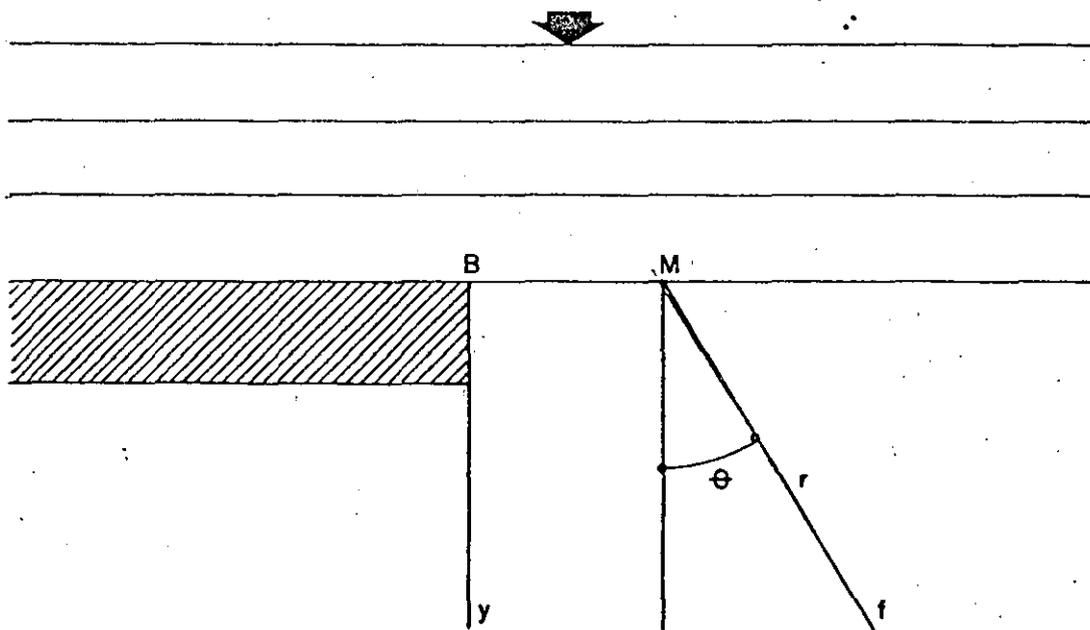


FIGURA No. 9 .- Difracción

De la figura No. 9 observamos que no es posible lograr un abrigo absoluto contra el oleaje a la izquierda de la ortogonal  $\overline{BY}$ , ya que la energía del oleaje pasa a través de ésta, produciendo una agitación análoga a la luz difractada sobre una pantalla.

Para el caso de la difracción nos basaremos en el -  
"Principio de Huyghens".

Este principio establece que cada punto M en un ---  
frente de onda tal como  $\overline{BX}$ , se puede considerar como un  
manantial de un tren continuo de ondas secundarias de am-  
plitud máxima en el sentido radial, que se aleja de la -  
fuente productora y de la amplitud nula en el sentido --  
opuesto.

Estas ondas provocan a una cierta distancia de la -  
fuente, un movimiento cuya amplitud varía inversamente -  
con la distancia ( $1/r$ ) y cuya fase está retardada en  $20r$ .  
Sumando todo el conjunto de movimientos provocados en P-  
por las fuentes elementales con sus fases, se obtiene el  
movimiento producido en ese punto.

El movimiento radial hacia el punto P, depende del-  
ángulo formado por la normal a la superficie de onda y a  
la recta  $\overline{MP}$ . Los fenómenos de difracción en el oleaje,-  
no son los mismos que en una onda luminosa y a su vez en  
oleaje, la dimensión de la longitud de onda de la ola es  
del mismo orden que las dimensiones de los obstáculos.

La energía no varía inversamente con la distancia -  
( $1/r$ ) como en el caso de la radiación luminosa, ya que -  
en este caso, al variar la energía de una fuente puntual con res-  
pecto a otra, la energía variará según la relación ( $1/r$ ).

Debido a estas condiciones, para el estudio de la -  
difracción de la onda, es necesario tomar en cuenta las-  
condiciones a los límites impuestos por el obstáculo, co-  
mo por ejemplo, la anulación de las velocidades del fluj-  
do normales a estos límites, aspecto que en óptica no es  
tomado en cuenta.

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.

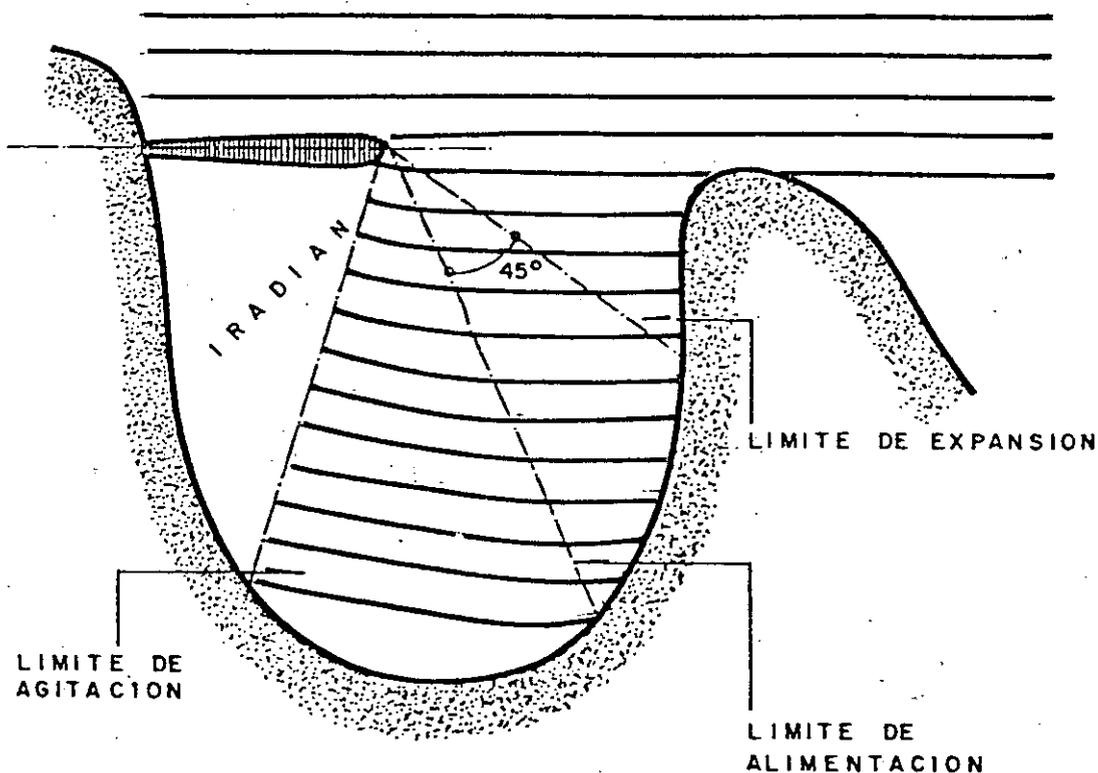


Fig. No. 10.- Límites de Difracción

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:

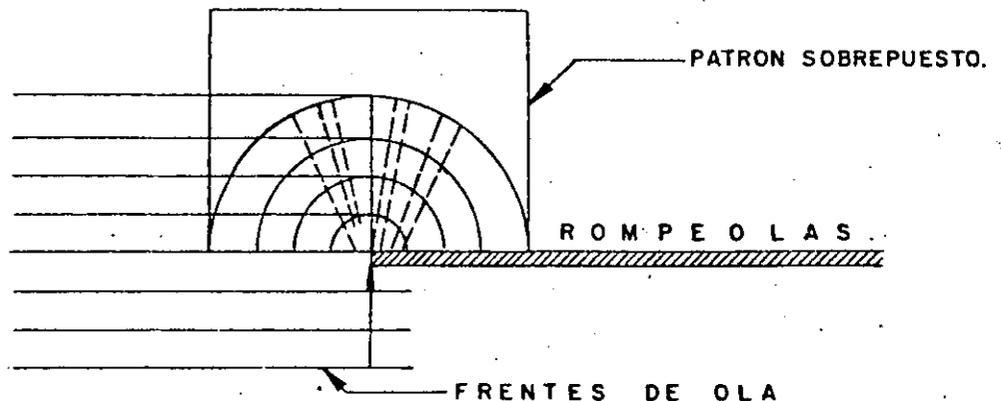
$K'$  = Coeficiente de difracción.

$H_d$  = 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.

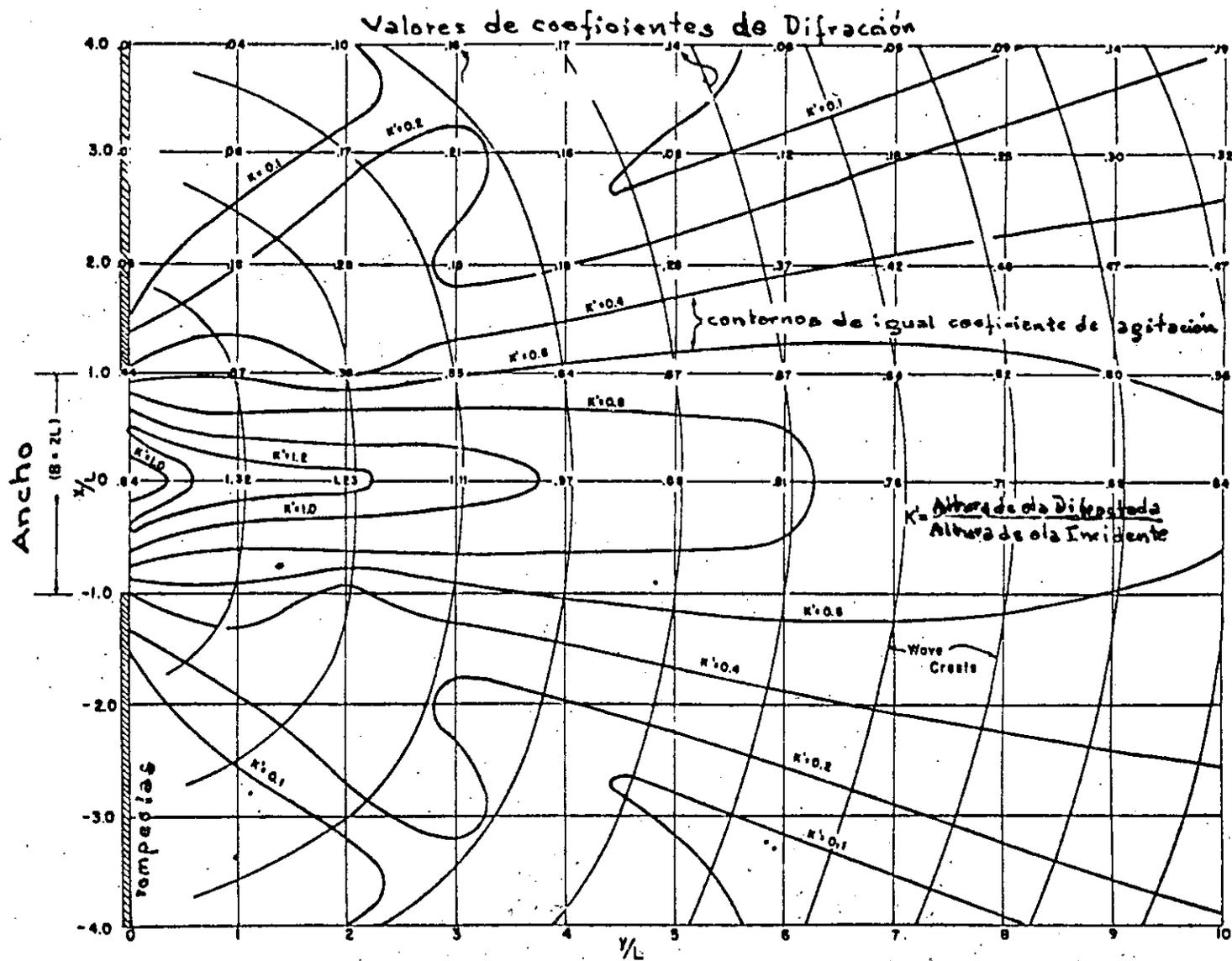
Para la utilización de los diagramas de difracción a problemas reales, obtendremos la longitud de la ola -- "L", de acuerdo a la profundidad "d" a la que se encuentra el morro de la estructura. Se seleccionará el diagrama de difracción correspondiente al ángulo que forma la incidencia del oleaje con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

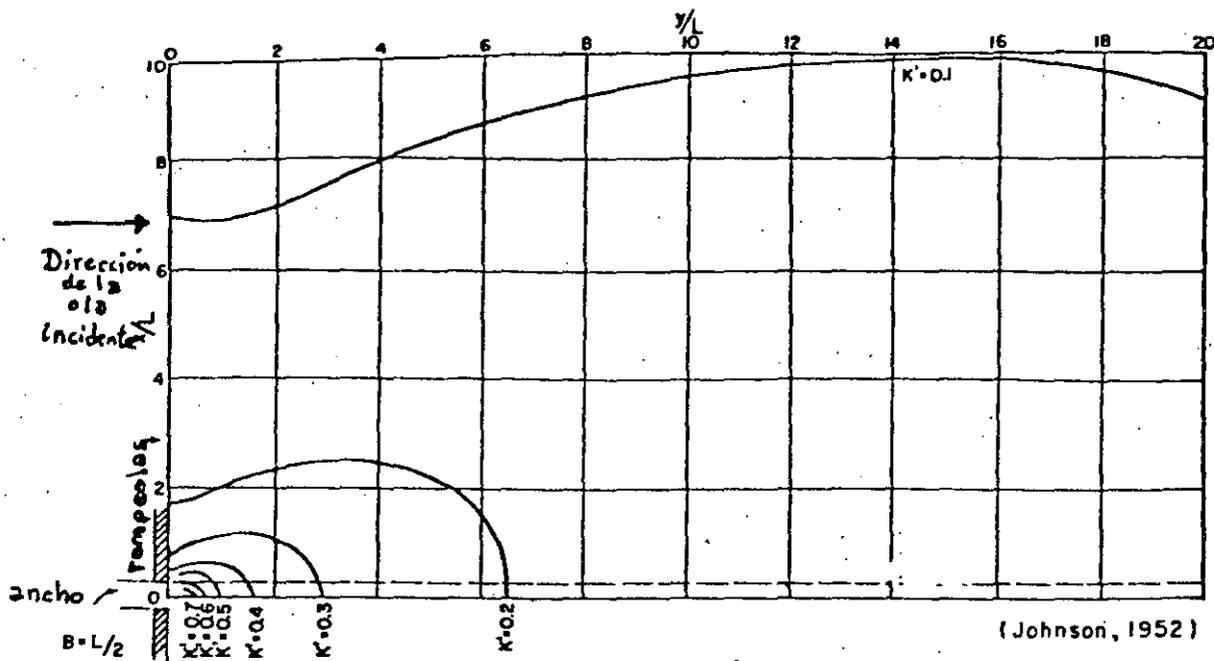
### Difracción del Oleaje Pasando una Abertura Angosta.

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.

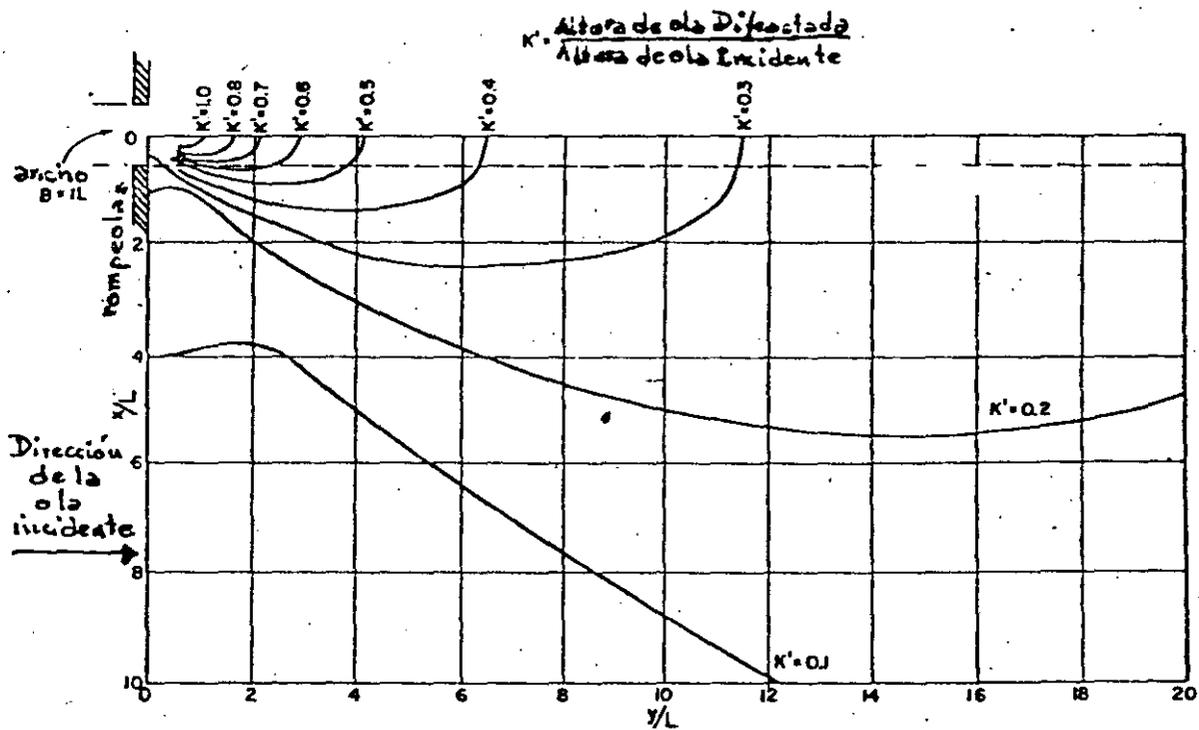
La gráfica No. 19 muestra el diagrama correspondiente a una relación de  $B/L = 2$ . Las gráficas 25 a --- la 29 muestran líneas de igual coeficiente de difracción para las relaciones de  $B/L$  iguales a 0.5, 1.0, 1.41, 1.64, 1.78, 2.0, 2.5, 2.95, 3.82 y 5.0. Se ha incluido un número suficiente de diagramas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



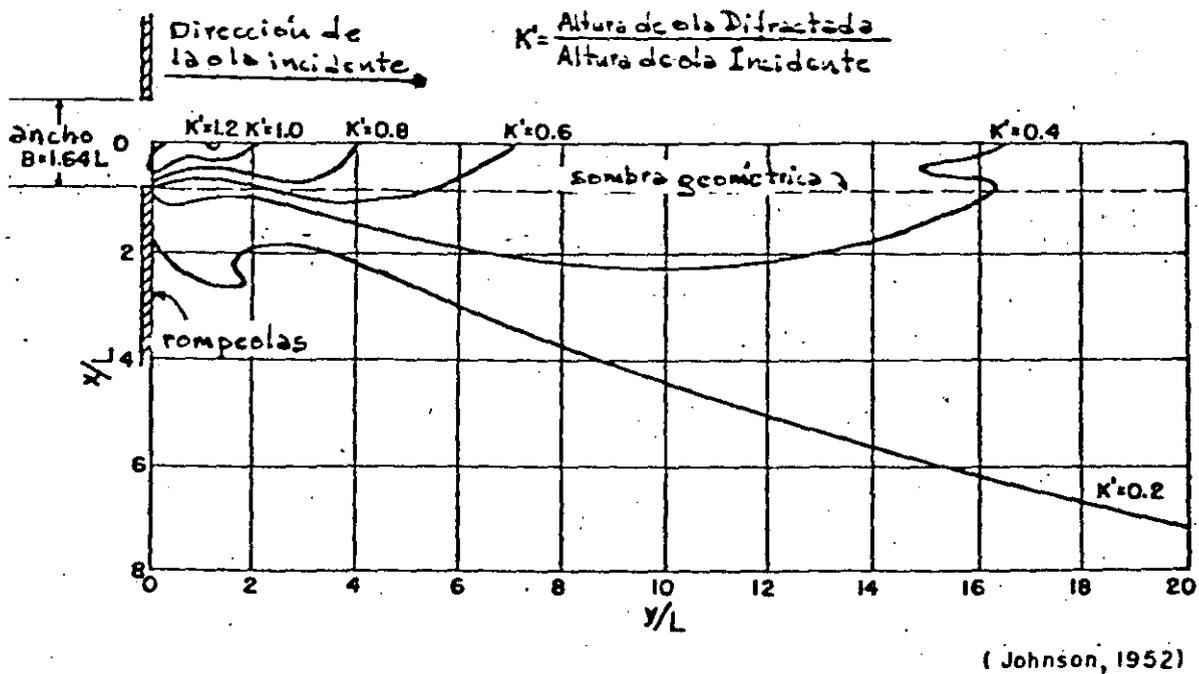
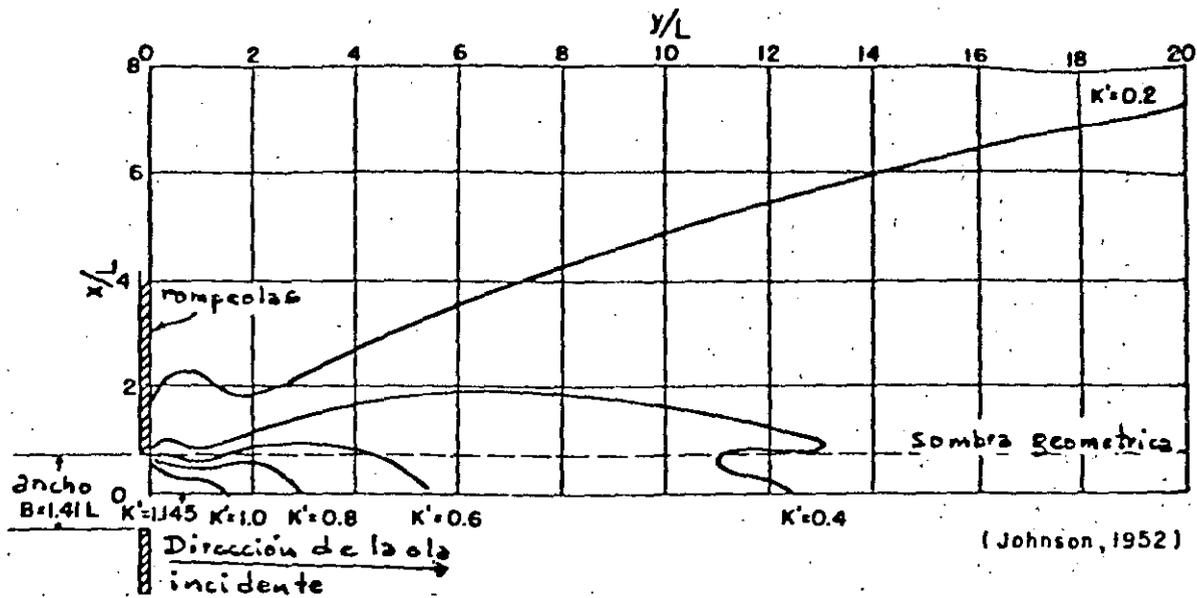
Gráfica 19 .- Diagrama de Difracción Generalizado para un ancho de boca entre rompeolas de dos longitudes de ola ( $B/L = 2$ ).



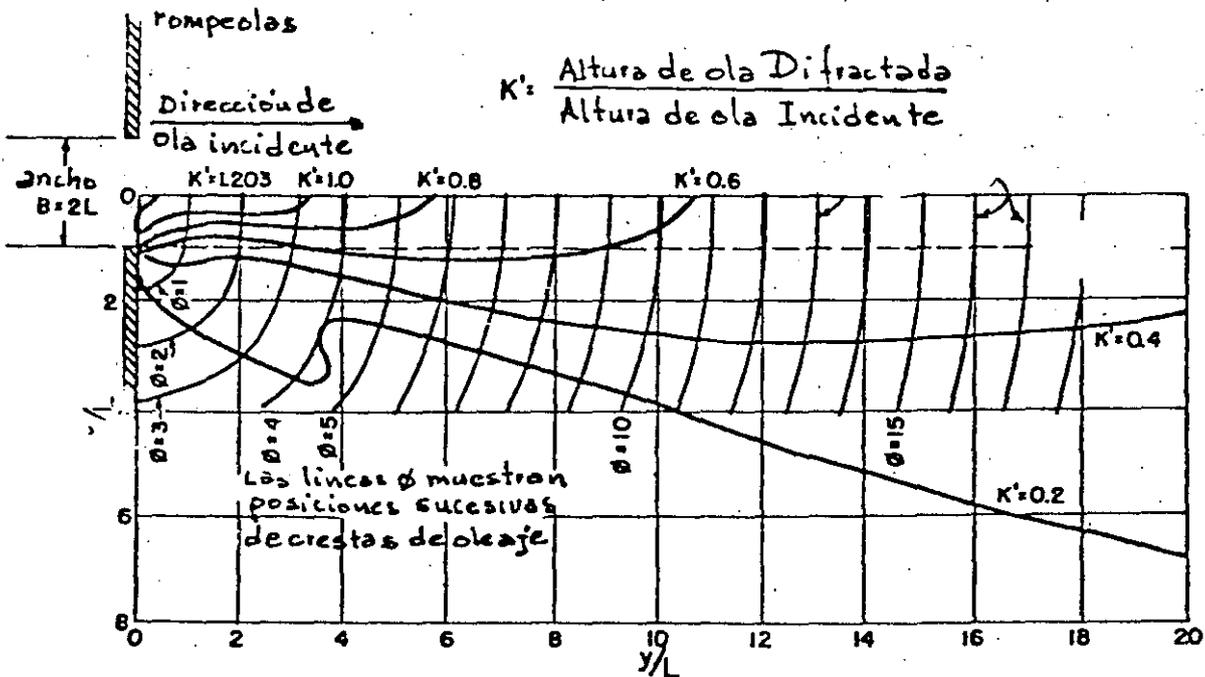
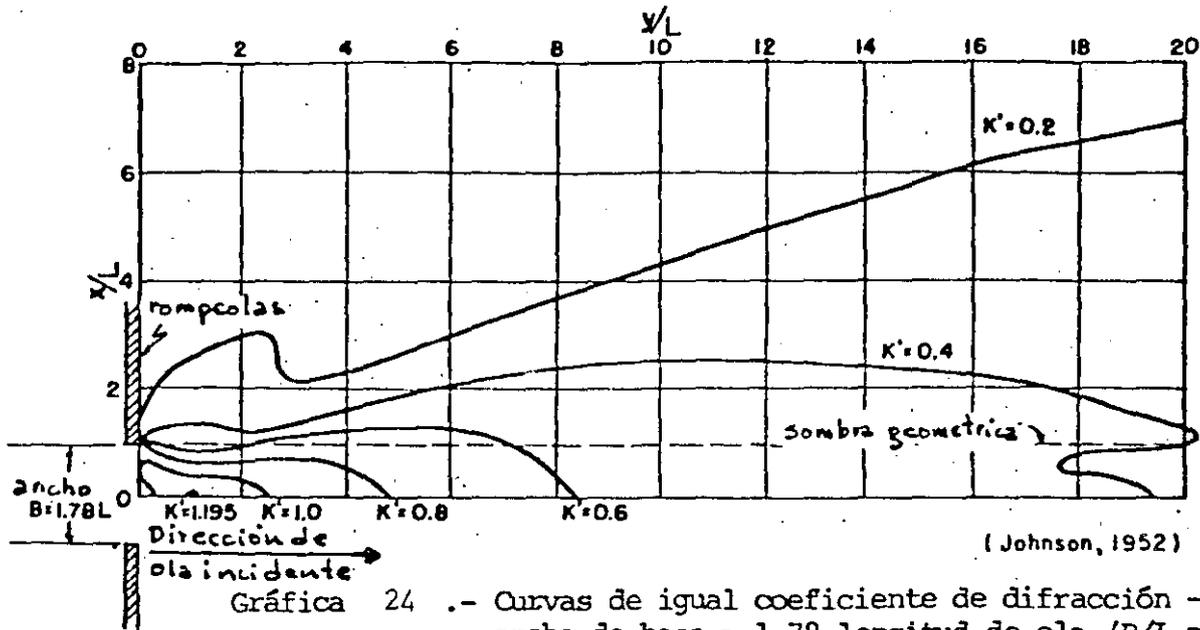
Gráfica 20 .- Curvas de igual coeficiente de difracción  
ancho de boca = 0.5 longitud de ola ( $B/L = 0.5$ )



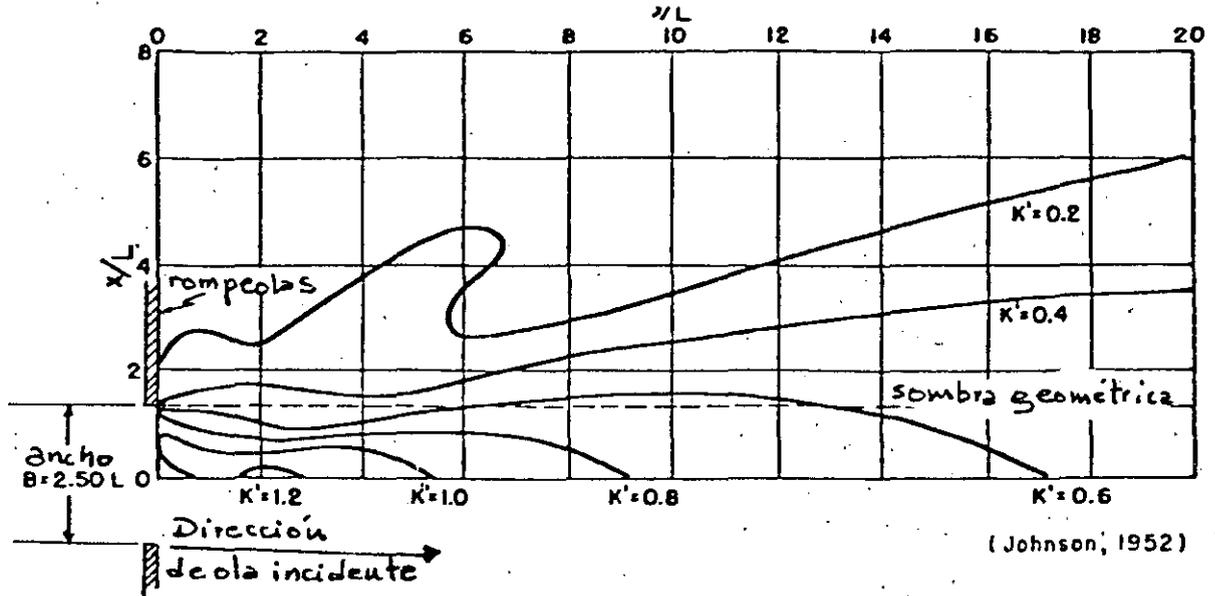
Gráfica 21 .- Curvas de igual coeficiente de difracción  
ancho de boca = 1 longitud de ola ( $B/L = 1$ ).  
Difracción de olas en una boca con rompeolas.



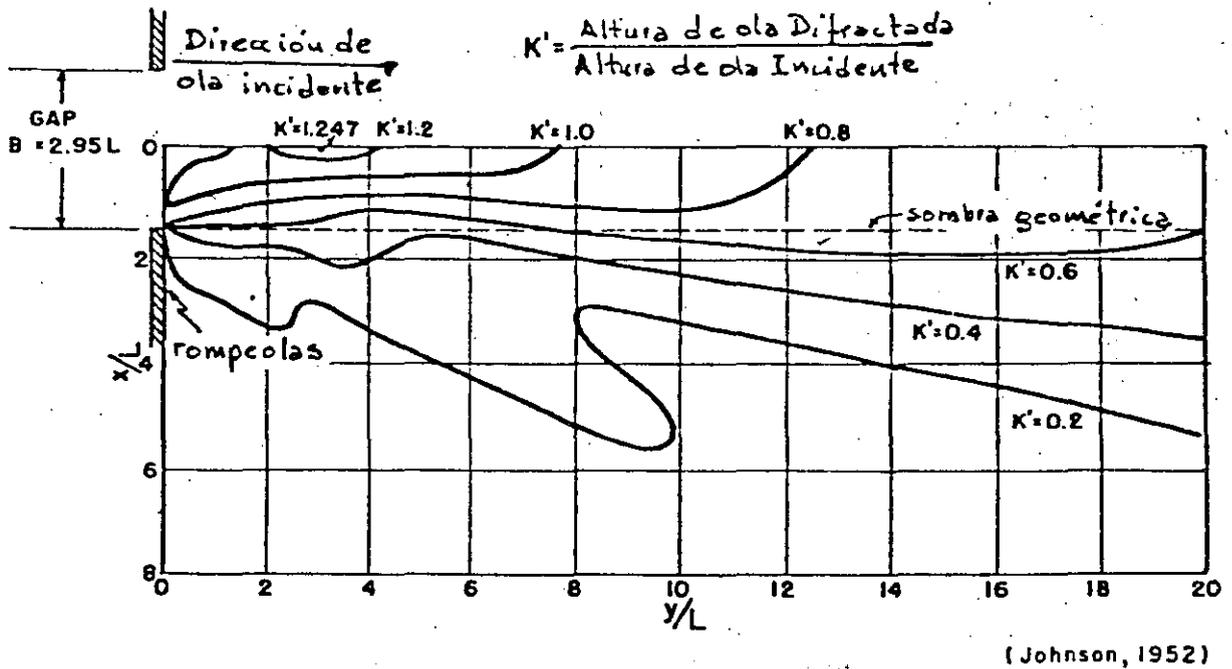
Difracción de olas en una boca con rompeolas.



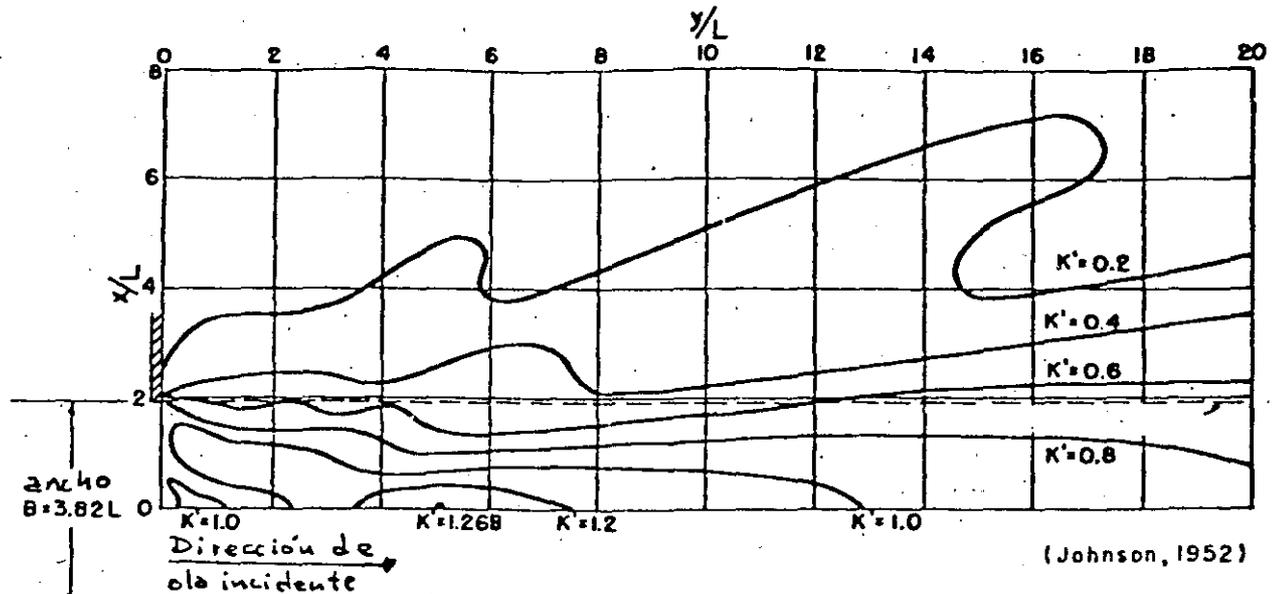
Gráfica 25 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 2 longitud de ola ( $B/L = 2$ ). Difracción de olas en una boca con rompeolas.



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

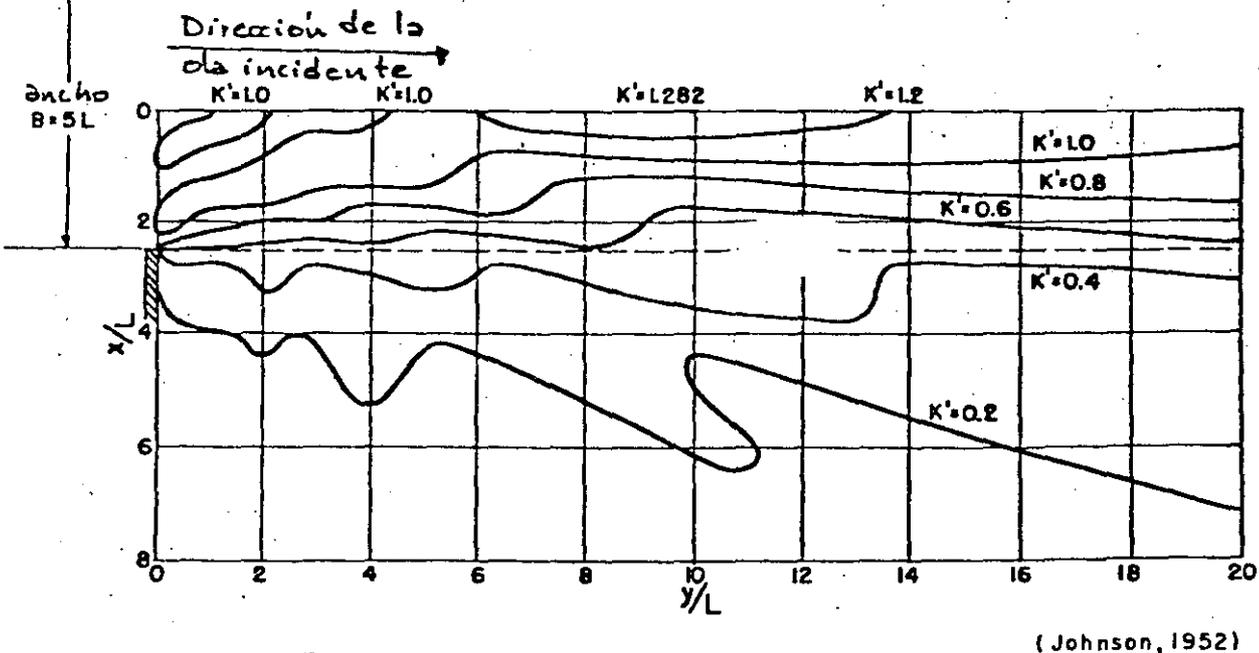


Gráfica 27 .- Curvas de igual coeficiente de difracción - ancho de boca = 2.95 longitud de ola ( $B/L = 2.95$ ). Difracción de olas en una boca con rompeolas.



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 continuaría 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:

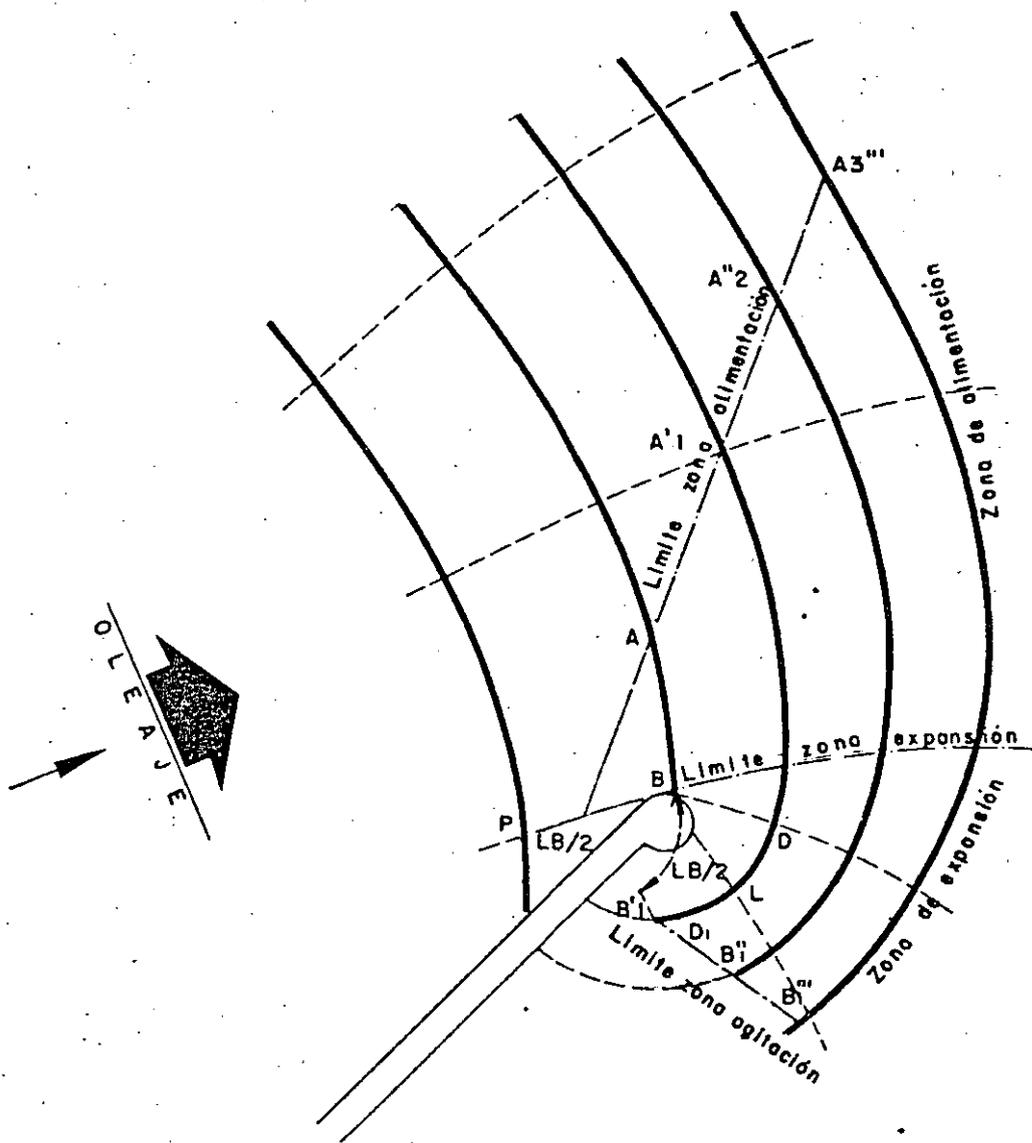


Fig. No. 11.- Construcción del Plano de Oleaje Difractado.

- 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.

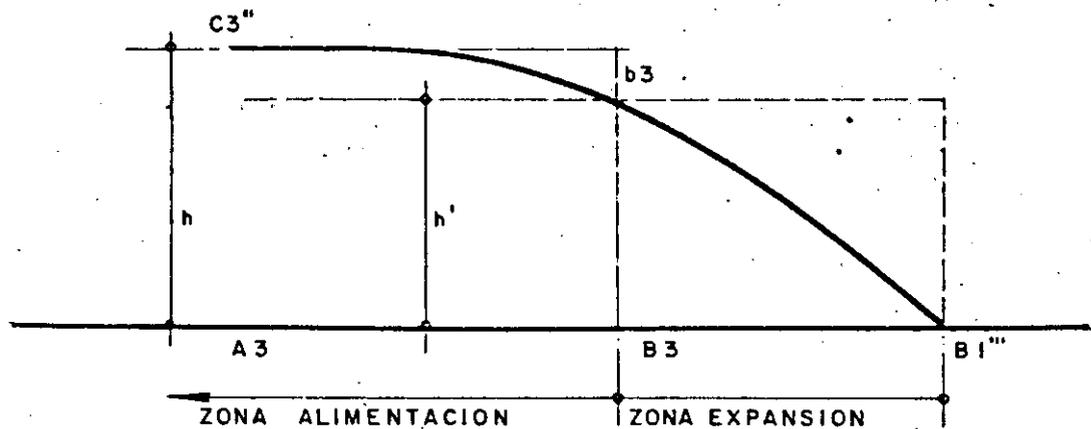


Fig. No. 12.- Cesión Lateral de Energía.

- 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:

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

En la zona de expansión, la primera línea expandida 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, al 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 general:

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

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  $BD, \dots$  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.

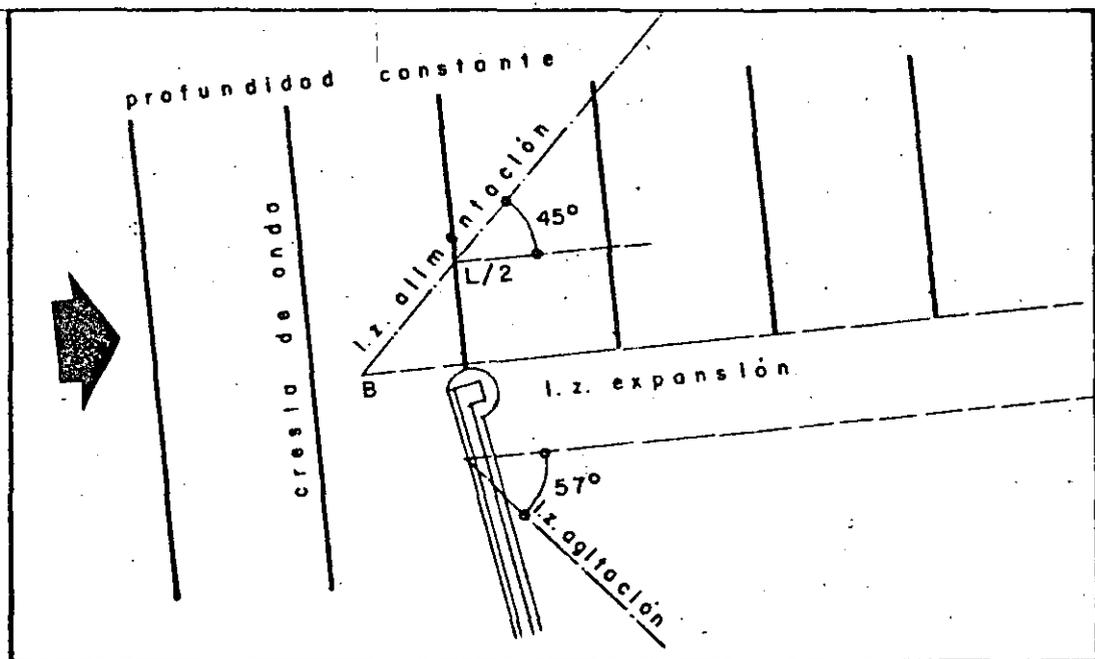


Fig. 13.- Difracción en Profundidades Iguales.

### 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.

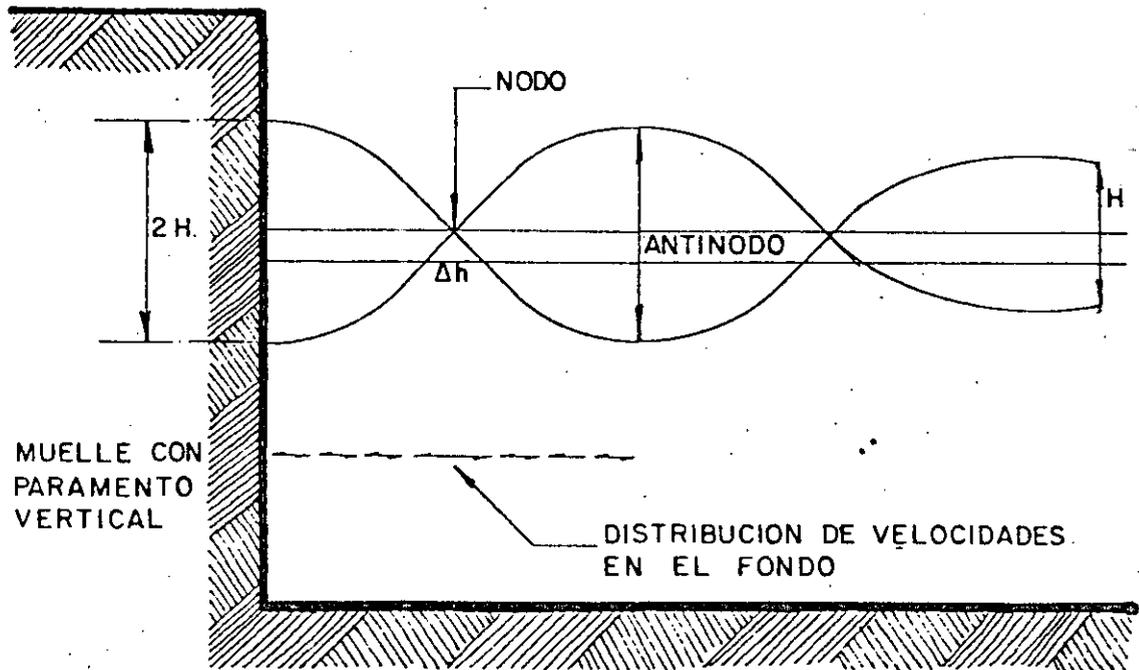


Fig.No. 14.- Reflexión Parcial

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.

De donde el coeficiente de reflexión es:

$$R = R' \rho$$

R'	Características
1.0	Obstáculos verticales Obstáculos lisos
0.9 a 0.1	Están en función de la rugosidad del obstáculo.

$\rho$	Características
0.8	Para una playa suave e impermeable
0.33	Para una playa más parada
0.3 a 0.6	Para pendientes rocosas

Obtención del Coeficiente R'.

La relación de esbeltez máxima viene dada por:

$$\left( \frac{H_o}{L_o} \right) \text{ máx.} = \sqrt{\frac{2\alpha}{\pi}} \frac{\text{sen}^2 \alpha}{\pi} \quad (1.109)$$

Donde:

$\alpha$  = ángulo del talud con la horizontal -  
(en radiaciones).

Para olas con  $\left( \frac{H_o}{L_o} \right) < \left( \frac{H_o}{L_o} \right) \text{ máxima}$ , la relación de esbeltez  $\left( \frac{H}{L} \right)$  de la ola reflejada es igual  $\left( \frac{H_o}{L_o} \right)$  por lo cual  $R' = 1.0$ .

Para ola con  $(\frac{H_o}{L_o}) > (\frac{H_o}{L_o})_{\text{máx.}}$

$$R' = \frac{(\frac{H_o}{L_o})_{\text{máxima}}}{\frac{H_o}{L_o}} \quad \text{Coeficiente teórica- de reflexión.}$$

En primera aproximación:

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{\tan \theta \cdot 2d/L}{1} = \frac{1}{1} = 0.318$$

La expresión 1,109 es válida hasta un ángulo de  $45^\circ$ , de donde:

$$(\frac{H_o}{L_o})_{\text{máx.}} = \frac{1}{2} = 0.159$$

Si se requiere para un ángulo mayor se debe calcular experimentalmente.

Método de Nodos y Antinodos para el cálculo de las de la ola incidente y reflejada.

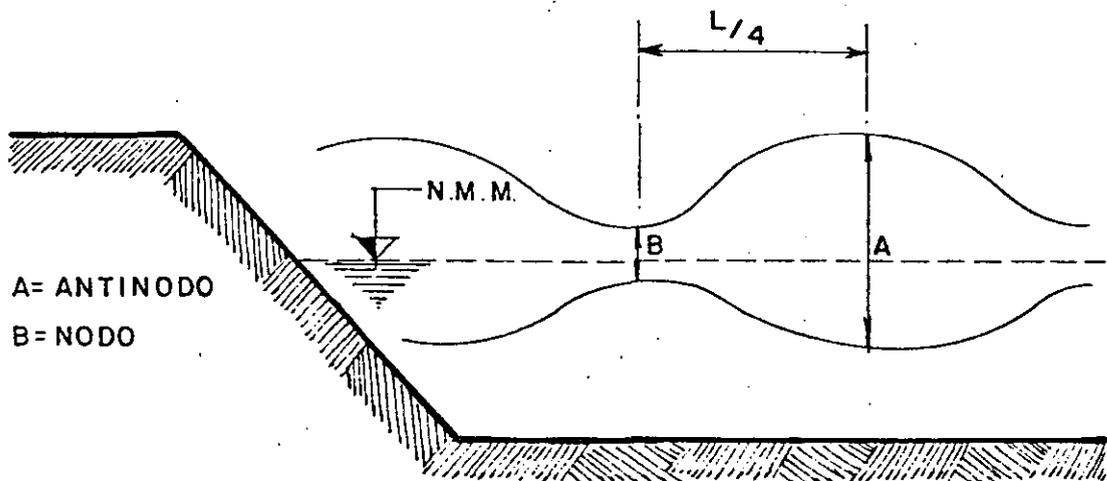


Fig. 15.- Nodos y Antinodos.

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

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:

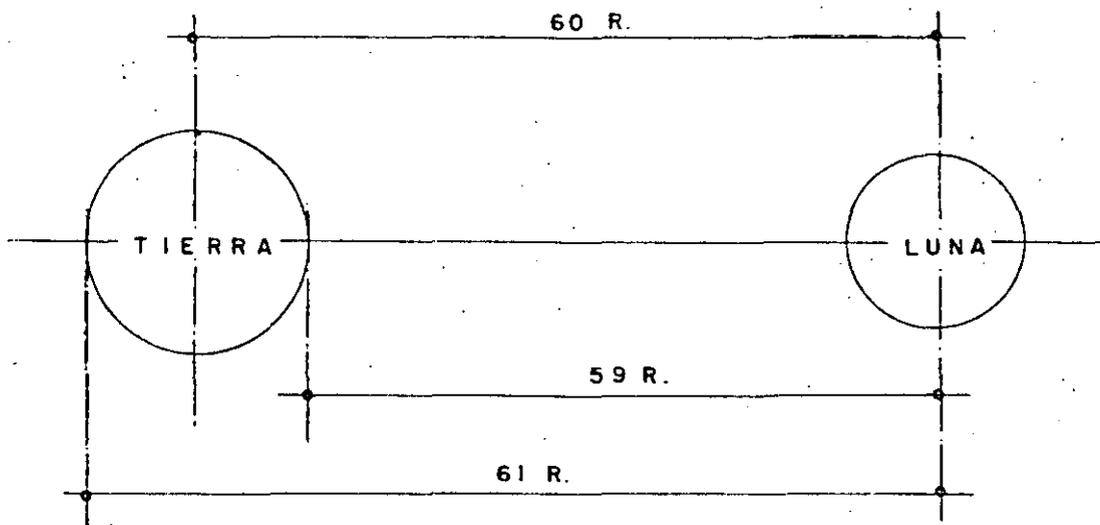


Fig. 16.- Distancia entre la Tierra y la Luna.

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.

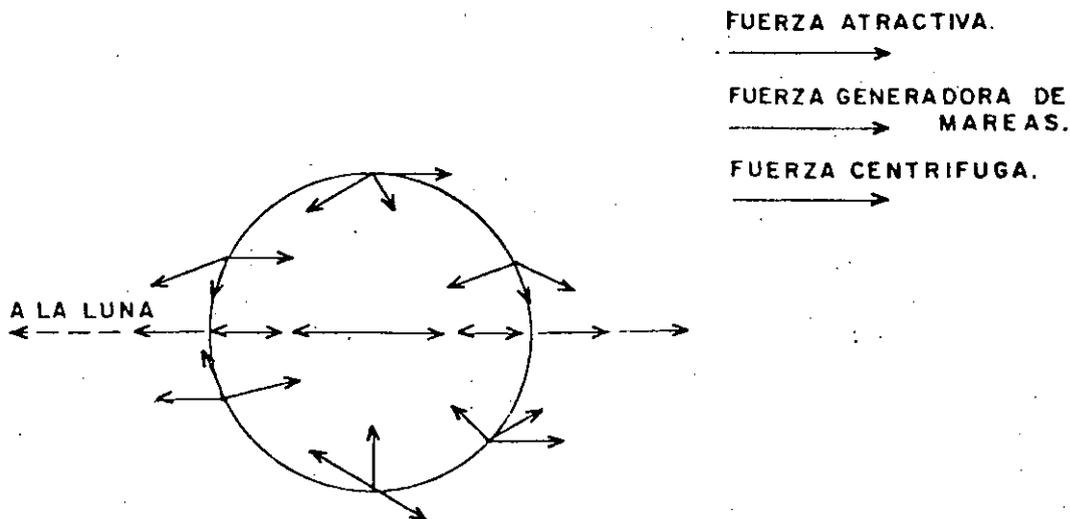


Fig. 17.- Fuerzas Generadoras de Mareas

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.

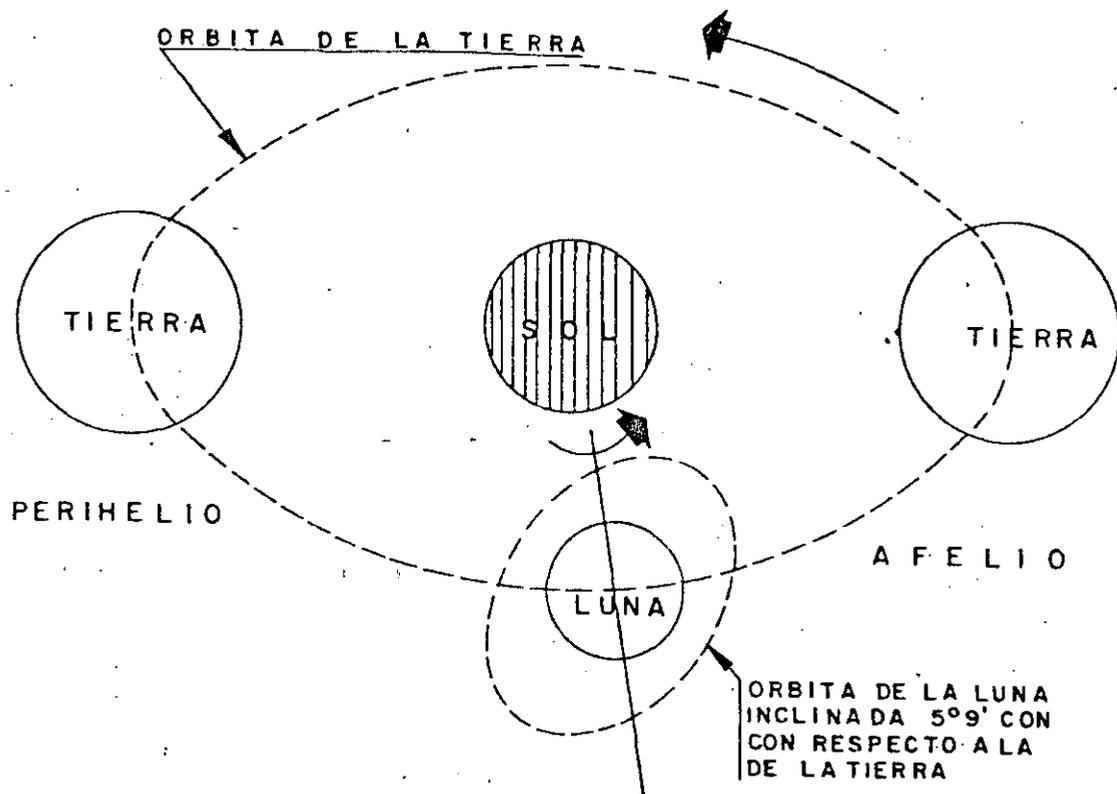


Fig. No. 18.- Características del Sistema  
SOL - TIERRA - LUNA.

"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 sobre-elevación 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.

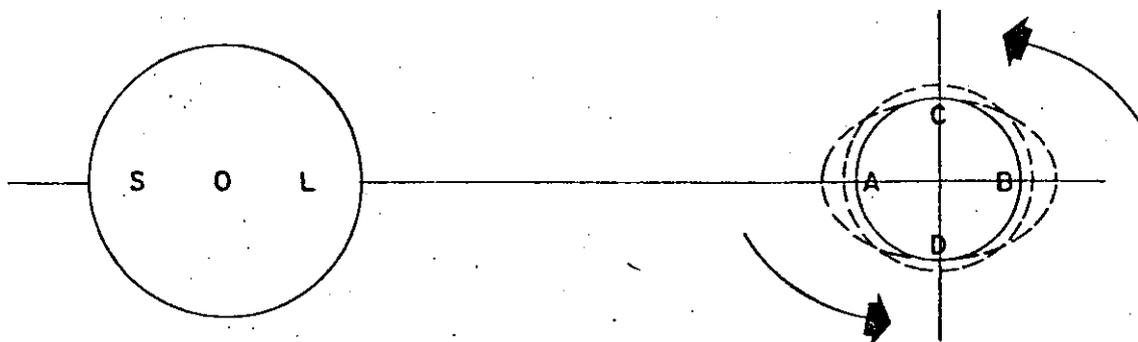


Fig. No. 19.- Atracción del Sol.

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.

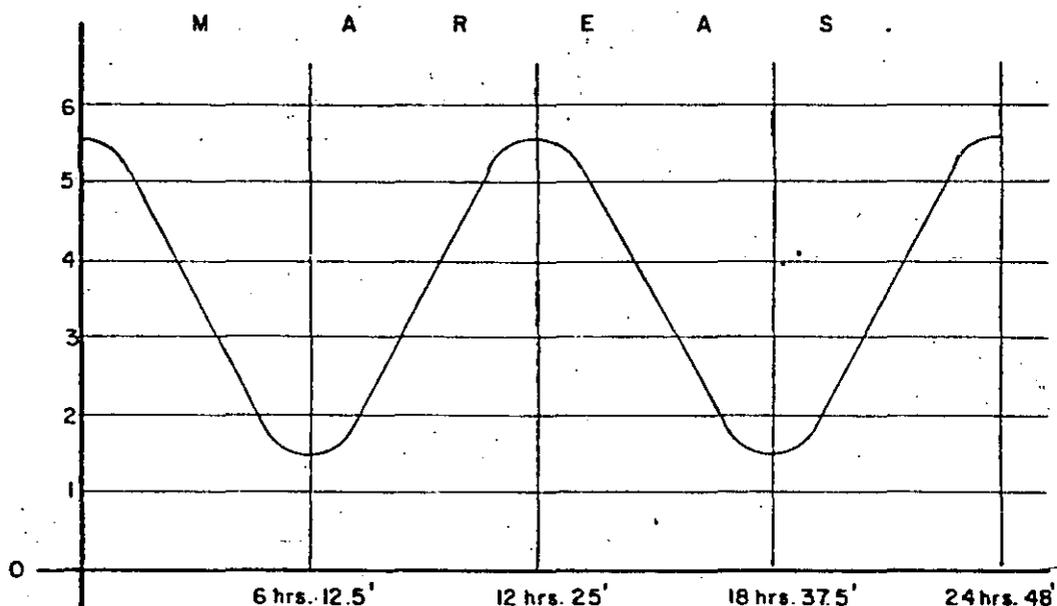


Fig. No. 20.- Mareograma Diario.

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:

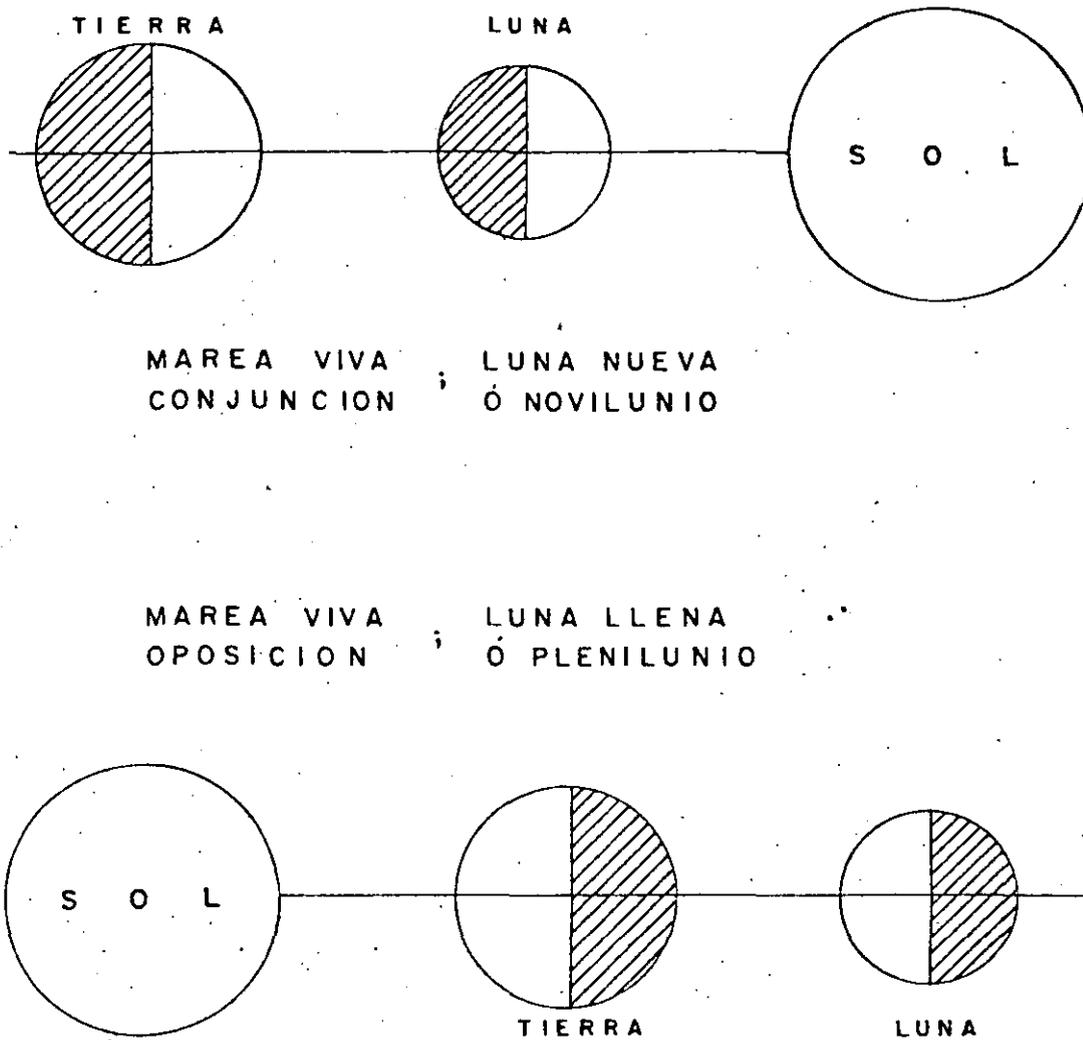


Fig. 21.- Posiciones de los Astros.

Durante los períodos de la luna llena y luna nueva, los efectos del sol y de la luna se suman de tal manera que las mareas que provocan son mayores, es lo que se -- denomina Mareas Vivas o Mareas de Sicigias.

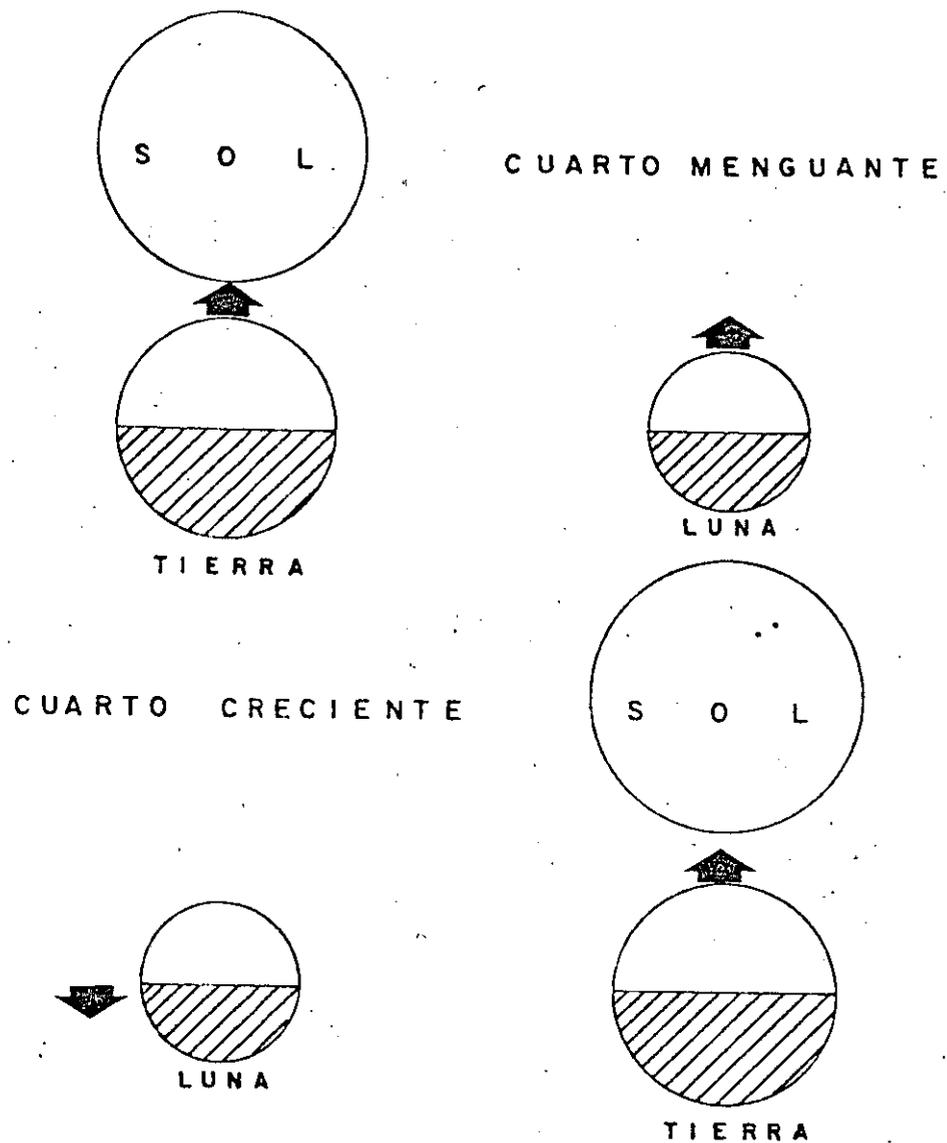


Fig.No. 22.- Cuadraturas

Quando la luna está en cuarto creciente o cuarto menguante, su acción se contrarresta con la del sol, dando lugar a las llamadas Mareas Muertas, a esta posición se le llama Cuadratura.

Las mareas de sicigias (amplitud de marea máxima) se-

presentan dos veces al mes, como se muestra en la fig. -  
No. 23.

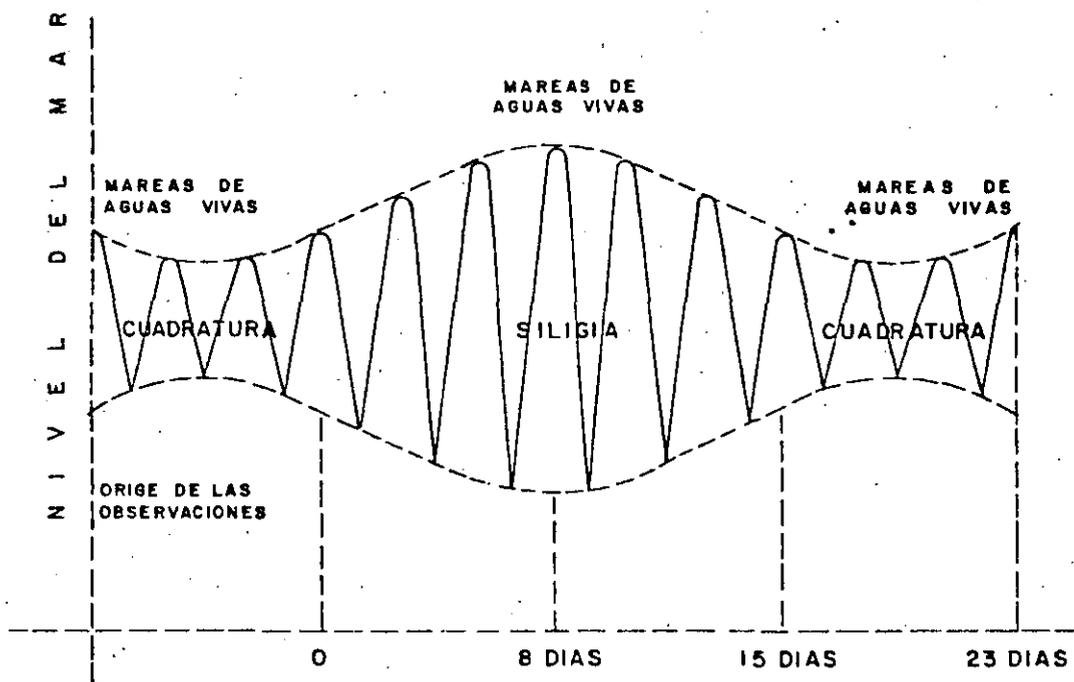


Fig. No. 23.- Aspecto General de una Curva de Marea.

A la vez y durante dos ocasiones al año la acción del sol sobre las mareas, es más notable en las épocas de los equinoccios que en la de solsticios, por lo que -- las máximas mareas anuales se presentarán cuando se tengan las sicigias equinoccionales (equinoccios de primavera y otoño).

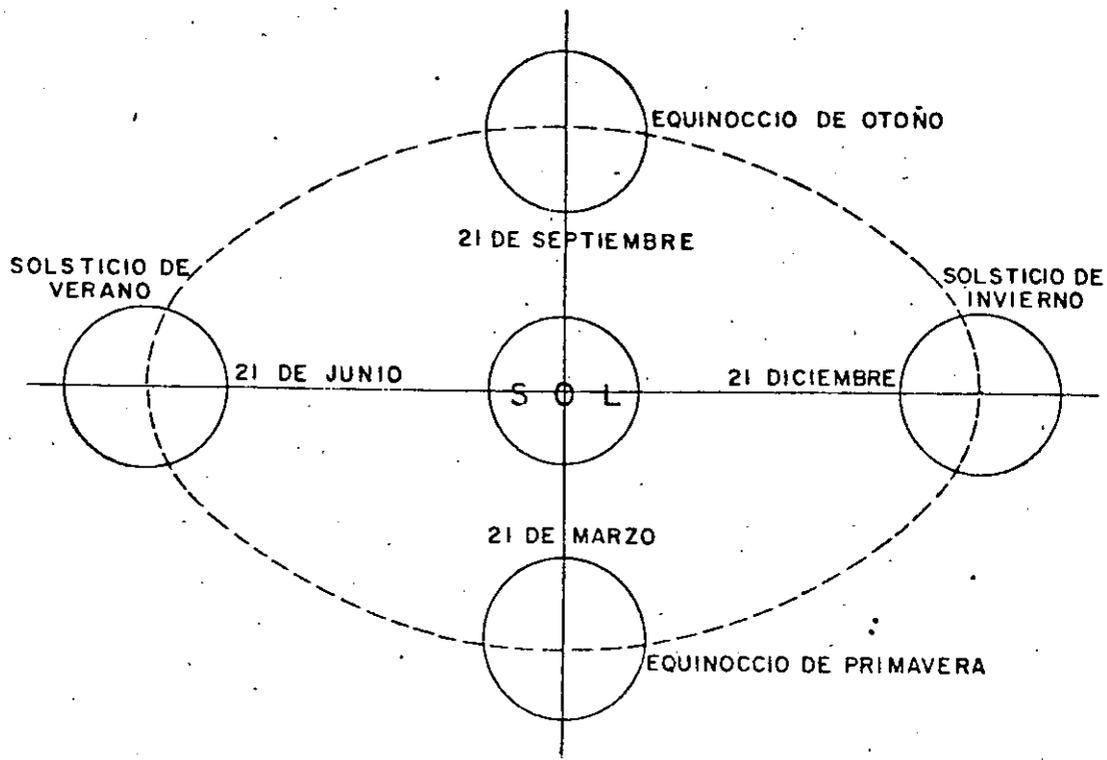


Fig. No. 24.- Movimiento de la Tierra Alrededor del Sol.

En la fig. No. 25 se trazó las envolventes de las altas y bajas mareas de las sicigias del año.

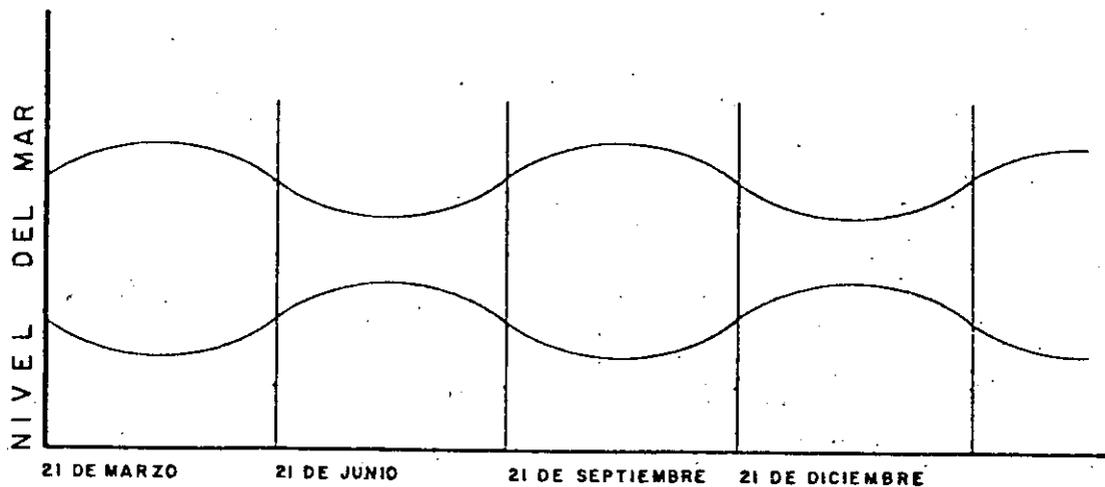


Fig. No. 25.- Mareograma Anual.

El movimiento vertical de la marea en un punto determinado puede considerarse como la superposición lineal de series de términos armónicos, dependiendo, los períodos de éstas componentes de los respectivos del sol y la luna.

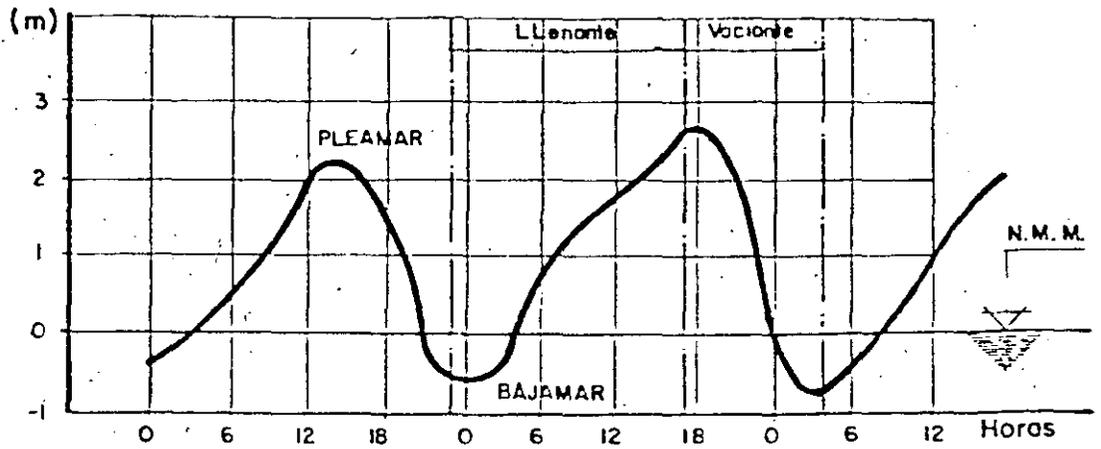
Los tipos de curvas de marea que se presentan durante la mayor parte de un mes se clasifican en: (Ver. Fig. No. 26.

- a) Marea Diurna. Presenta una pleamar y una bajamar por día.
- b) Marea Semidiurna. Presenta dos pleamares y dos bajamares.
- c) Marea Mixta. Se caracteriza por tener dos pleamares o bajamares notablemente diferentes.

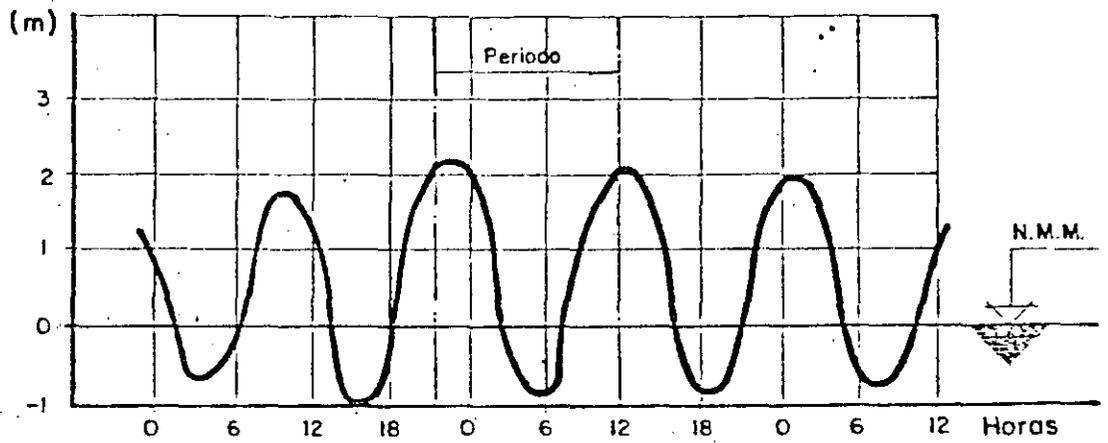
La fase ascendente del nivel del mar se denomina flujo y el descenso reflujó, correspondiendo a los niveles máximos de dichos movimientos los nombres de Pleamar y a los niveles mínimos de Bajamar.

En algunas partes del globo terrestre la diferencia de altura en las mareas el mismo día es muy notable. Esta desigualdad diurna es debido a que la luna se mueve arriba y abajo del plano del Ecuador, y al empezar y terminar un período de 12 horas, un punto sobre la superficie terrestre ocupa diferentes posiciones respecto al plano de la órbita de la luna y está sujeta a influencia lunar de grado variable. La desigualdad diurna es muy marcada en los océanos Indico y Pacífico.

### MAREA DIURNA



### MAREA SEMIDIURNA



### MAREA MIXTA

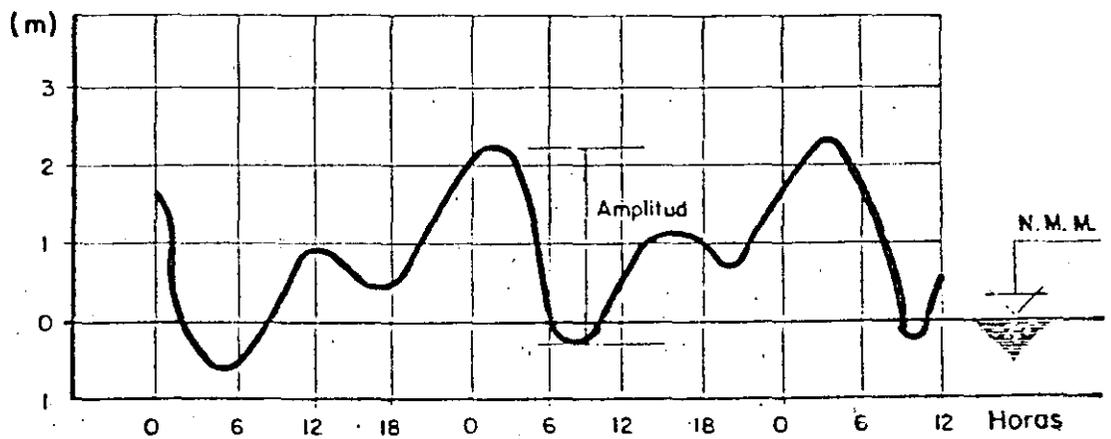


FIG Nº 26. - TIPOS DE MAREAS

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 determinar 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 reflujo, 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 b.2) Dragas b.3) Redes o trampas b.4) Bombas b.5) Botellas
(según su función)	

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>
--------	---	---

...

Las características del mecanismo de corte y las del comportamiento retenedor son lo principal a considerar al escoger una draga.

La capacidad y peso de las dragas van desde muy pequeñas, 1600 m<sup>3</sup> y 30 kg, que se utilizan comúnmente para obtener muestras de sedimentos para su análisis granulométrico, hasta dragas de capacidades de 2.3 m<sup>3</sup> y 6 ton de peso, pasando por una gran variedad de tipos y capacidades.

#### b.3) REDES Y TRAMPAS

Las redes o trampas juegan un papel importante en las investigaciones de pesca comercial, puesto que son principalmente usadas para tomar muestras de -- Flora y Fauna Marina.

#### b.4) BOMBAS

Los métodos de bombeo de muestra de agua para análisis representa el estar obteniendo muestras de agua continuamente y a diferentes profundidades, mientras una embarcación se va desplazando, este sistema ha demostrado ser útil en análisis biológicos, -- químicos y de trazadores. Los estudios de trazadores en el océano son de importancia para el ingeniero, ya que con este método se puede definir coeficientes de difusión y movimiento de masas de agua -- en forma relativamente fácil.

En el mercado existen cuatro tipos de bombas:

...

BOMBAS	{ <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Vacío</li> <li>b) Centrífugas</li> <li>c) Turbina</li> <li>d) Jet</li> </ul>	{ <p>Estas utilizan tubo flexible de Plyvinyl (PVC) para no contaminar las muestras.</p>
--------	--	--

Las bombas de turbina y centrífugas, tienen una capacidad de succión de 600 lts/min, a profundidades de 30 m y bajo una velocidad de 5 nudos, pudiéndose alcanzar 100 lts/min a profundidades de 200 m.

#### b.5) BOTELLAS

Existen por lo menos dos docenas de botellas de diferente uso común, en donde cada una sirve para un propósito particular. Las botellas son usualmente operadas con malacates y cable hidrográfico por donde -- deslizan los mensajeros que accionan el mecanismo -- de cierre de las botellas. Algunas de las más comunes que existen en el mercado son: La Nansen y la Knudsen que son botellas de inversión y que portan termómetros de tipo reversible, tanto protegido como desprotegido, estas son usadas principalmente en estudios hidrográficos de donde se puede conocer el movimiento de las masas del agua y sus características. Otro tipo de botellas son las Van Dorn y las Frautschy con las que se pueden obtener diferentes volúmenes de agua con un mínimo de contaminación -- por el material del que está construido.

## II. Sensores

Se clasifican como sigue:

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  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  a  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ .

## 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 diferenciales 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

CONTAMINACION COSTERA

NOVIEMBRE, 1984.

## 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

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

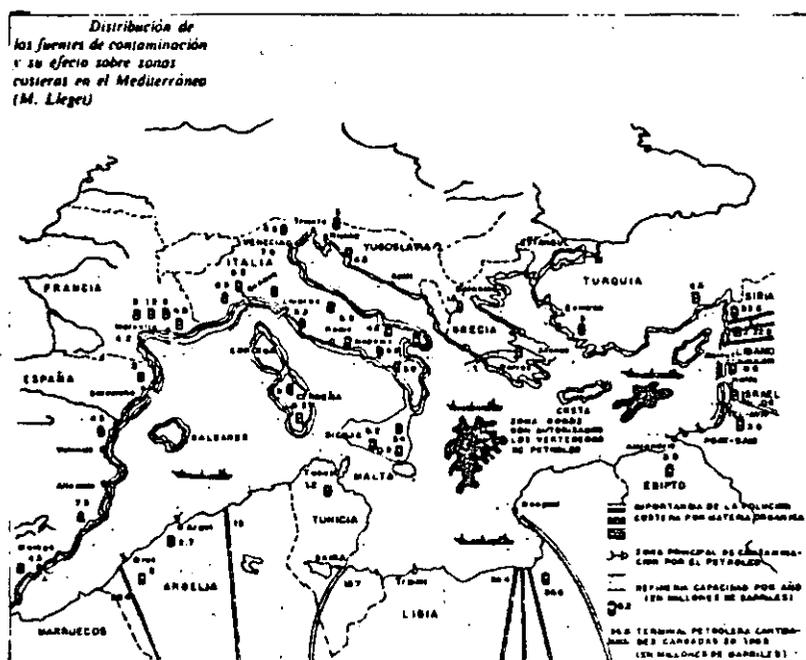
sanitarias y técnicas de los países costeros presentan una diversidad - notable en los índices que fijan el grado de existencia permisible de sustancias y bacterias. Y esto a pesar de que las normas de los países punteros suelen ser adoptadas por los de inferior nivel científico.

Origen de la contaminación.

La contaminación de las aguas marinas puede proceder de las siguientes fuentes.

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

Dependiendo de las características particulares de cada zona marítima variará la importancia relativa de cada una de las fuentes. El Mediterráneo occidental soporta una gran densidad de descarga de aguas residuales urbanas, sobre todo en el arco comprendido entre la desembocadura del Ebro (España) y del Arno (Italia). Las estimaciones de la FAO apuntan hacia una demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) próxima a las 500.000 Tn/año necesarias para la destrucción de su carga orgánica. Asimismo, esta misma zona es lugar de ubicación de numerosos puertos y terminales de tratamiento de crudos petrolíferos (Tarragona, Barcelona, Marsella, Génova), con la consiguiente incidencia en la contaminación de esta clase. Paradójicamente la vocación múltiple de la zona deja un lugar muy importante, casi preponderante, al uso turístico-recreativo de su costa, que se ve jalonada por una sucesión casi continua de famosos centros turísticos (Salou, Castelldefels, Lloret, St. Tropez, Mónaco, San Remo, etc.).



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 rea-  
les de la contaminación marina.

Agentes contaminantes.

Aunque la variedad de sustancias y materias que pueden ser calificadas  
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.

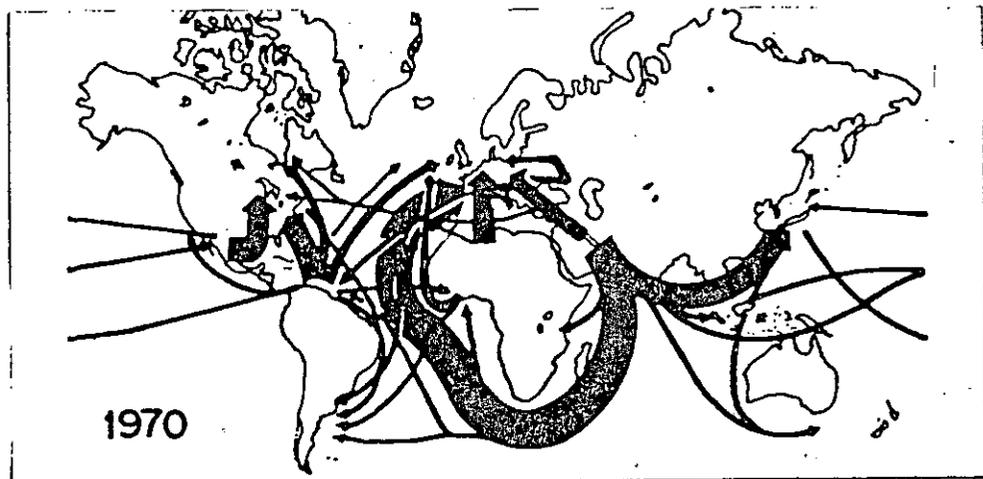
Los petróleos estables (crudos, fuel oil, diesel) se distribuyen sobre -

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 × 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 barcas	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-

na, etc.).

La nocividad del vertido masivo de detergentes quedó demostrada con -- ocasión de los trabajos de eliminación de las manchas de petróleo proce-- dentes del naufragio del superpetrolero "Torrey Canyon" en Cornualles -- (Inglaterra). En las zonas tratadas se pudo observar la disminución de -- numerosas especies vivas que, a su vez, alteró el equilibrio ecológico y dio lugar a la proliferación extraordinaria de algas.

Los biocidas, son, como el propio nombre indica, aquellos productos -- destructores de la vida. Su uso nace en la necesidad de luchar contra las plagas animales o vegetales que afectan la agricultura sin mencionar -- otras utilidades menos conocidas: lubricantes, plastificantes, etc.

Entre los biocidas más conocidos se encuentran los granulados, el más -- conocido de los cuales es el D.D.T., los órganos fosfatados, el P.C.B. (bifenil policlorinato), y en general todas las sales y herbicidas que ten-- gan elementos tóxicos como el arsénico, cobre, flúor, etc.

En general, la función tóxica de estos compuestos se basa en su fijación estable en los organismos en que penetran, lo que hace que puedan ac-- tuar por acumulación. Mediante ellos se ha logrado acabar con numero-- sos tipos de plagas agrícolas. Sin embargo, estas propiedades son un --

arma de doble filo que entran en acción cuando pasan, arrastrados por las aguas o el viento, al medio marino. Su actuación en la biomasa marina es similar a la terrestre, pudiéndose acumular, como de hecho sucede, en los animales y plantas marinas que viven en las zonas litorales afectadas.

Los efectos notados, hasta ahora, en las especies contaminadas por estos productos consisten en alteraciones del sistema nervioso y de las hormonas sexuales. En algunas aves marinas afectadas por D.D.T. se ha podido comprobar una alteración en la asimilación del calcio manifestada en la producción de huevos muy frágiles.

La IHA (International Health Authority) admite que el organismo humano puede absorber 0,01 mg de D.D.T. por cada kg de peso, sin que se produzcan alteraciones notables. No obstante, hay que recordar que la desintegración de este producto es muy lenta, aproximadamente 30 años, y su principal peligro estriba en la acumulación. El P.C.B. presenta una estabilidad todavía mayor.

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

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 foecalis* (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

nes idóneas que favorecen la actividad depuradora. Tal es el caso de la agitación y de la insolación si bien se considera que este último factor sólo puede actuar sobre una fina capa superficial de algunos decímetros de espesor.

Sin embargo, las opiniones más controvertidas se centran en la actualidad en los efectos perniciosos que trae consigo la contaminación bacteriana. El principal motivo de esto reside en el hecho que se ha indicado al comienzo de este capítulo y que no es más que la dificultad de establecer claramente la relación causa-efecto en términos cualitativos y cuantitativos.

Algunos autores afirman que sería necesario que un bañista ingiriera -- muchos litros de agua contaminada para contraer una salmonelosis, --- mientras que para otros unos cuantos tragos serían suficientes. Para algunos centros investigadores no existe peligro alguno para los bañistas en zonas playeras contaminadas. Solamente algunas infecciones de zonas mucosas, oculares y faringeadas parecen estar ligadas a este tipo de contaminación (P. e.: vaginitis, causadas por el hongo candida). En varios tipos de enfermedades cutáneas se ha podido comprobar, por el contrario, que el peligro no reside en las aguas sino en las arenas sucias de las playas.

En este punto es interesante recalcar la importancia de la limpieza y -  
aireación periódica de las arenas emergidas de las playas. En la playa  
de C'an Pastilla (Palma de Mallorca) la puesta en práctica de esta acti-  
vidad ha reducido notablemente las dermatosis en los usuarios además  
de dar un inmejorable aspecto a la playa.

En lo que respecta a las enfermedades causadas por virus no ha sido po-  
sible obtener relación alguna dado el largo período de incubación que --  
desconecta el contagio con la aparición del mal.

En lo que si parece existir un acuerdo unánime es en el peligro de la --  
contaminación bacteriana en zonas de cultivo de moluscos, de posterior  
consumo humano. Los mejillones, las ostras, las almejas, etc., se ali-  
mentan a partir de las sustancias vivas y muertas que contiene el agua  
que les rodea por el procedimiento de filtrar una gran cantidad de ella -  
(10-20 litros/hora). Por ello pueden llegar a concentrar en su carne un  
enorme número de bacterias y gran cantidad de productos tóxicos. Las  
enfermedades más frecuentes que se pueden contraer por ingestión de -  
moluscos "contaminados" son los tifus, el cólera y la hepatitis.

Los standard de calidad fijados por los distintos organismos interesa--  
dos en la contaminación bacteriana denotan, por su dispersión, las con-  
troversias sobre su relativa peligrosidad. El elemento más cómodo pa-

ra el conteo, y que se usa como indicador internacionalmente, es el n.º de Escherichia Coli (E. Coli), que se encuentran en 100 mililitros de -- agua muestra. Según F. Enriquez (1973), el standard peligroso para zo-- nas de baño viene señalado por algunos a partir de 2.000 E. Coli/100 -- ml, otros, a partir de 1.000 E. Coli/100 ml. y otros, estrictamente, -- han definido como playas poco recomendables aquellas que a menos de -- 250 m de la orilla contienen 500 E. Coli/100 ml, dudosas aquellas que -- presentan entre 200 y 500 y recomendables aquellas que no superan la -- cifra de 200.

La instrucción española para vertido de aguas residuales al mar esta-- blece para zonas de baño que la concentración de E. Coli correspondien-- te a un período de 30 días consecutivos no deberá ser superior a 1.000/ 100 ml en más del 10% de las muestras, ni inferior a 200/100 ml en más del 50% de las muestrás.

Respecto de los límites para zonas de cultivos marinos las normas son más exigentes estableciéndose que la concentración de E. Coli no debe-- rá ser superior a 50/100 ml en más del 10% de las muestras, ni supe-- rior al 15/100 ml en más del 50% de las muestras.

Las normas adoptadas por el Estado de Nueva York, en cambio, estable-- cen el límite en zona de cultivos en 70 gérmenes/100 ml en la media de cualquier serie de muestras.

### Detección de la polución marina.

El cumplimiento de las normas internacionales y locales sobre contaminación implica un seguimiento constante de los niveles de polución, al menos en las proximidades de los puntos de emisión y en las zonas costeras de especial valor.

Dentro de las diversas técnicas de detección de la contaminación conviene separar las específicas de la polución por hidrocarburos de las de otros tipos, debido a las diferentes circunstancias de emisión y procedimientos utilizados.

Detección de manchas de hidrocarburos.- La contaminación por hidrocarburos, como se ha visto en el apartado anterior, posee unas características típicas en cuanto a su generación. Esta se suele producir de forma súbita (limpieza de tanques, accidentes, etc.) con un foco de emisión puntual y con una forma de propagación superficial.

Los dos grupos de métodos de detección comúnmente utilizados son:

- Fotografía en diversas bandas de longitud de onda.
- radar.

Los sistemas ópticos y electrónicos de detección de la capa de petróleo operados desde avión o helicópteros pueden oscilar desde la gama

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, Harremoës, -- 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 da--tos 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 definidores 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 campaña

ña in situ y analizadas en laboratorio. Determinando, con una campaña inicial de calibración, la correlación posible entre los primeros y los segundos se podrían establecer estaciones fijas a base de sensores de parámetros físicos que transmitirían, periódicamente, los datos al ordenador central del laboratorio de puertos. Esta instalación constituiría, de resultar positivo el estudio, un sistema de vigilancia continúa de los niveles de polución costera.

Medidas contra la contaminación.

Al igual que ocurre con la medicina referida al cuerpo humano, es obvio que el mejor sistema de lucha contra la patología de los océanos es la adopción de medidas preventivas que eviten que la enfermedad no aparezca o que, al menos, revista proporciones reducidas y, por tanto, controlables. Con ello se lograría una doble ventaja económica; por un lado los costos de dispersión de la contaminación serían más pequeños y por otro, el costo indirecto de los daños causados en el medio sería, asimismo, menor.

Las medidas de lucha contra la contaminación, según esto, pueden adoptar dos modalidades:

- a) Medidas preventivas
- b) Medidas de eliminación

Prevención de la contaminación.- Dentro de este apartado conviene a su vez distinguir, tal como se ha hecho en la fase de descripción, la contaminación por hidrocarburos y otras sustancias procedentes de buques de la de tipo industrial y urbano procedente de vertidos desde tierra. La metodología de uno y otro tipo apenas guarda relación ya que tanto las circunstancias en que se produce la polución como sus características son profundamente distintas.

Contaminación procedente de buques.- La prevención de la contaminación procedente de los buques se centra principalmente en acciones que tiendan a eliminar las causas de vertidos tanto operacionales (limpieza de tanques, carga-descarga, etc.) como de los accidentales (colisiones, explosiones, etc.).-

a) Construcción de buques:

Las tendencias modernas de la construcción de buques pueden contribuir notablemente a la disminución del riesgo de contaminación. Las medidas más representativas son:

- Compartimentación estanca: de esta forma se impone un tamaño máximo ( $\approx 30.000 - 40.000 \text{ m}^3$ ) a los diversos tanques de cada buque de forma que la rotura parcial del casco no implique el derrame de todo el lí-

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: prote-- ger los tanques de los impactos exteriores y disponer de tanques de las tre independientes de los de carga. El costo de construcción se encarecería, sin embargo, notablemente tanto por costo de materiales de cons trucción 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 utilizaciones mixtas separadas o simultáneas en ninguno de ellos. Teniendo en cuenta que en ciertas condiciones el las-- tre que se precisa para una navegación segura puede representar cerca de un 60% del peso muerto de un buque, significa que la puesta en prácti ca 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 pue-- den aliviar la contaminación del mar por vertido del lastre son aquellas que consiguen la separación del agua de mar y del petróleo de la mez-- cla (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 --

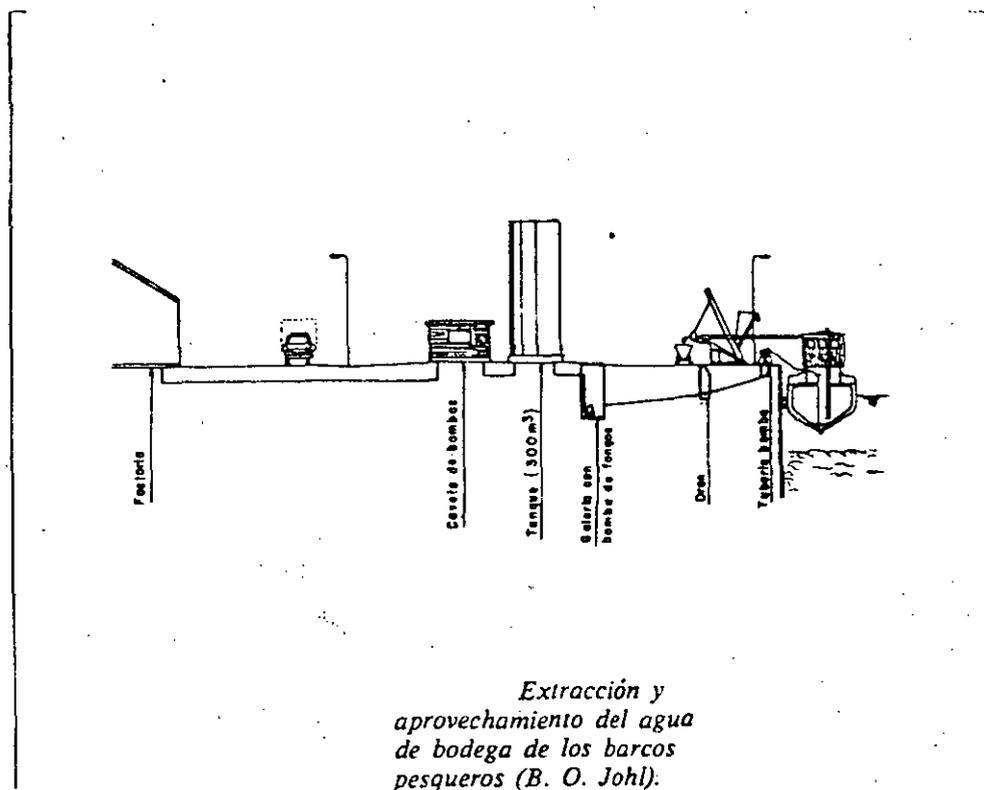
(Buena Esperanza, Finisterre, etc.), algunos ríos (Elba, Rin, Mississipi, etc.) y en general todos los entornos de los grandes puertos (Nueva York, Rotterdam, Barcelona, etc.).

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 extremadamente 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 contaminación, 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 contaminación 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.

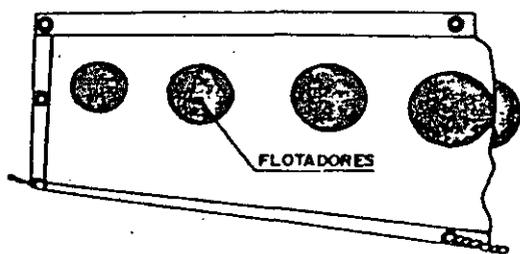
b) Confinamiento de la mancha.

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.

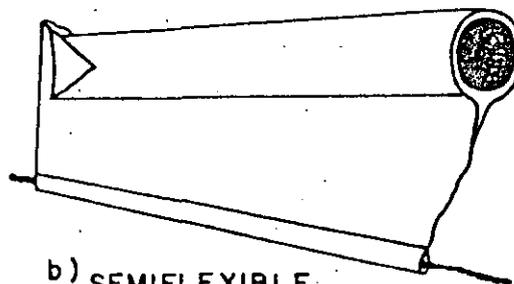
Las barreras pueden dividirse en barreras físicas y barreras neumáticas.

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).

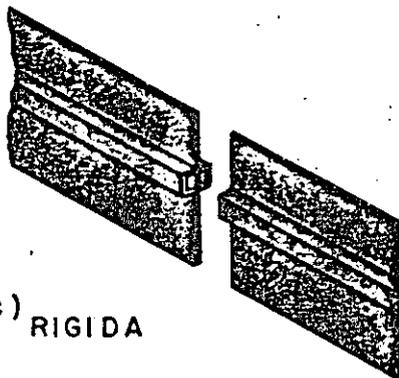
## Barreras físicas



a) FLEXIBLE



b) SEMIFLEXIBLE



c) RIGIDA

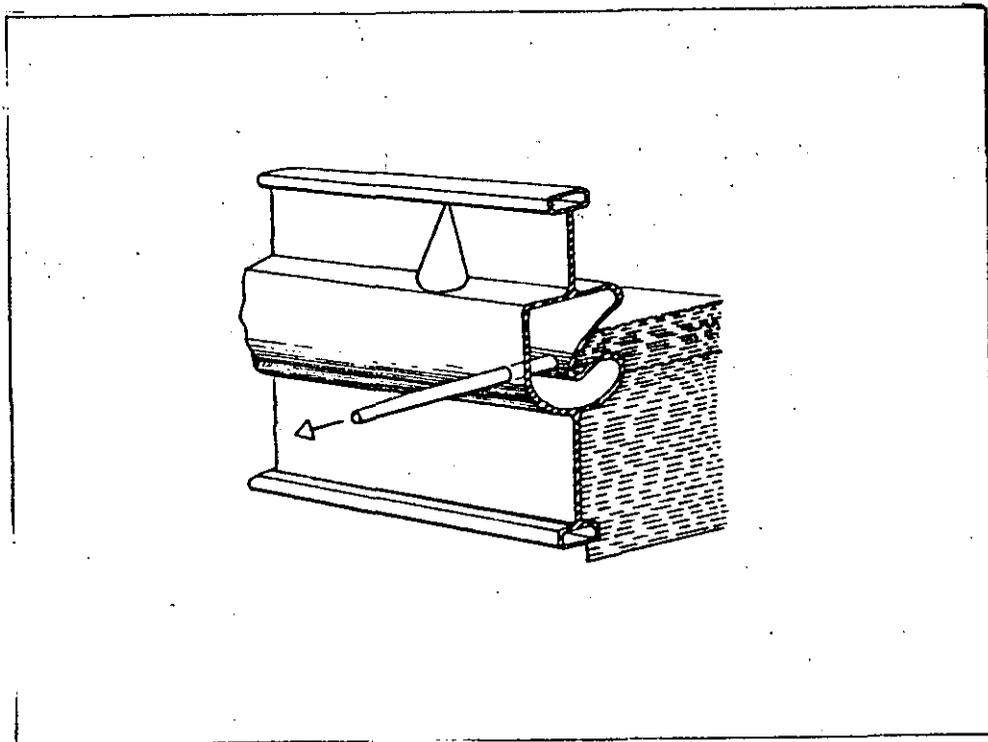
La barrera se compone por la unión de sucesivos módulos de tamaño limitado (3 a 5 m de longitud) lo que hace más fácil su puesta en servicio y almacenamiento. Se estima que en este tipo de barreras la parte sumergida ha de ser cuatro veces mayor que la emergida para retener de forma óptima la mancha 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.

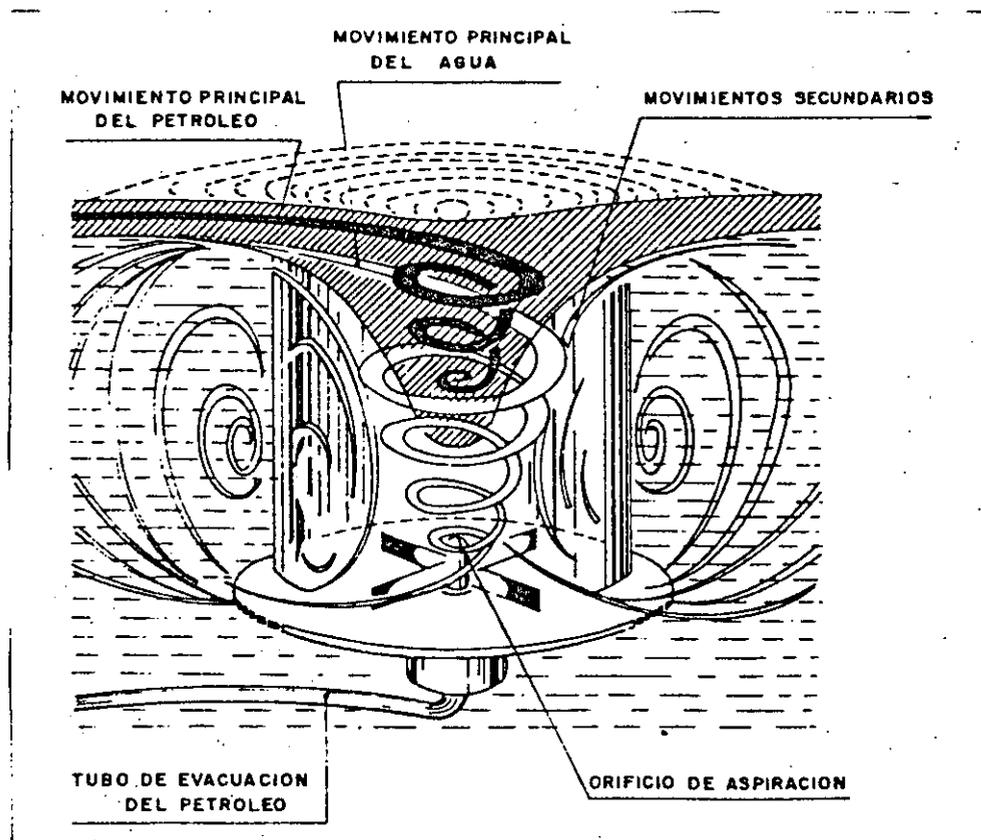
c) Bombeo del petróleo de la mancha.

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 casco longitudinalmente para atrapar la mancha de petróleo. El buque-proyecto de Technocean mide 100 m de eslora y desplaza 17.000 t permitiendo un rendimiento de 400 m<sup>3</sup>/h de petróleo separado.

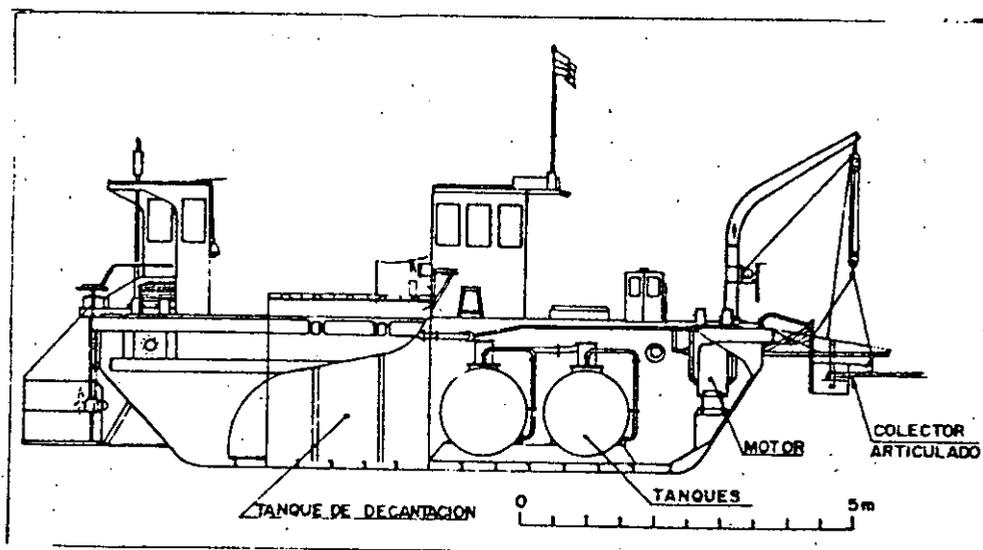
La aspiración del petróleo requiere también una separación previa del agua con la que está mezclado. Los sistemas usuales están basados bien en dispositivos que aprovechan la mayor densidad del agua o bien por procedimientos mecánicos de separación.



### 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 autopropulsadas dotadas de decantadores, depósitos y medios de succión propios en el Puerto de Amberes.

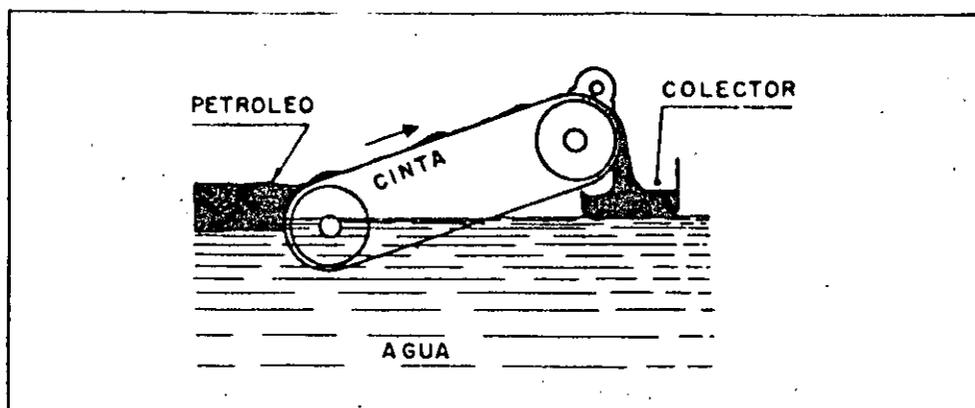


En el año de 1955, en que entró en funcionamiento este servicio de limpieza, se obtuvieron cerca de 300 m<sup>3</sup> de hidrocarburos a partir de --- 8.260 m<sup>3</sup> de mezcla recogida con un índice de eficacia de 1/28. En 1967 un derrame excepcional de petróleo hizo necesaria una actuación especial 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 des- truido 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 co ntamina- 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.

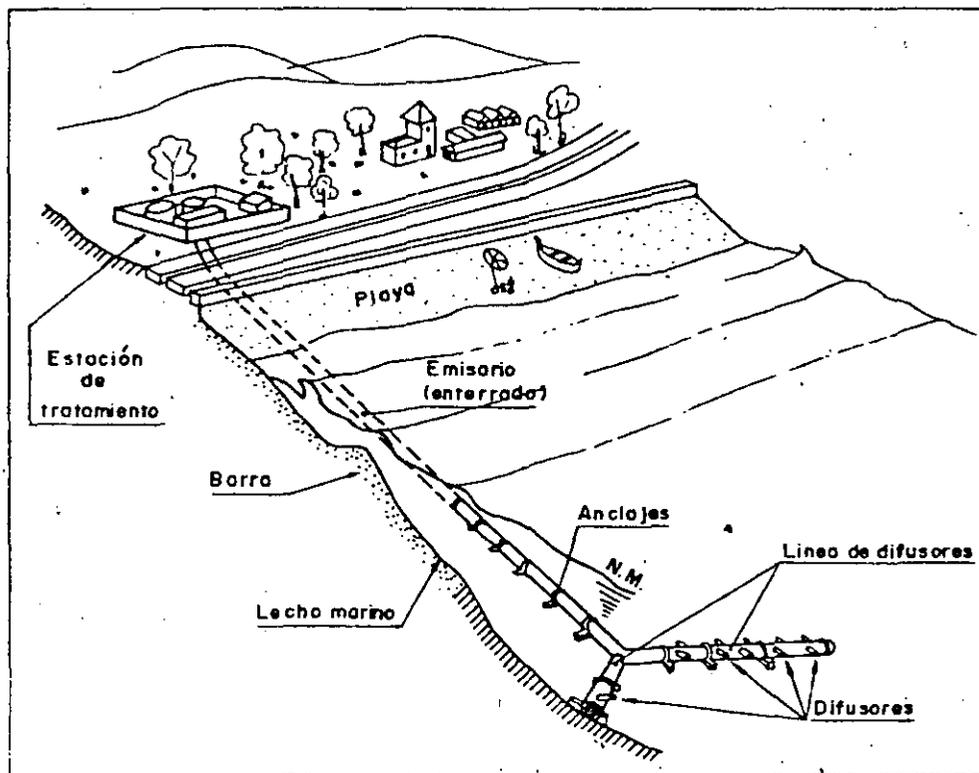
f) Combustión de las manchas .

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 obtendidos 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
" nitros	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 <sub>2</sub> 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 (ceneria)		X					X	X	X		X		
TEXTILES		X	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 conseguidas 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  $\phi > 150$  mm) .

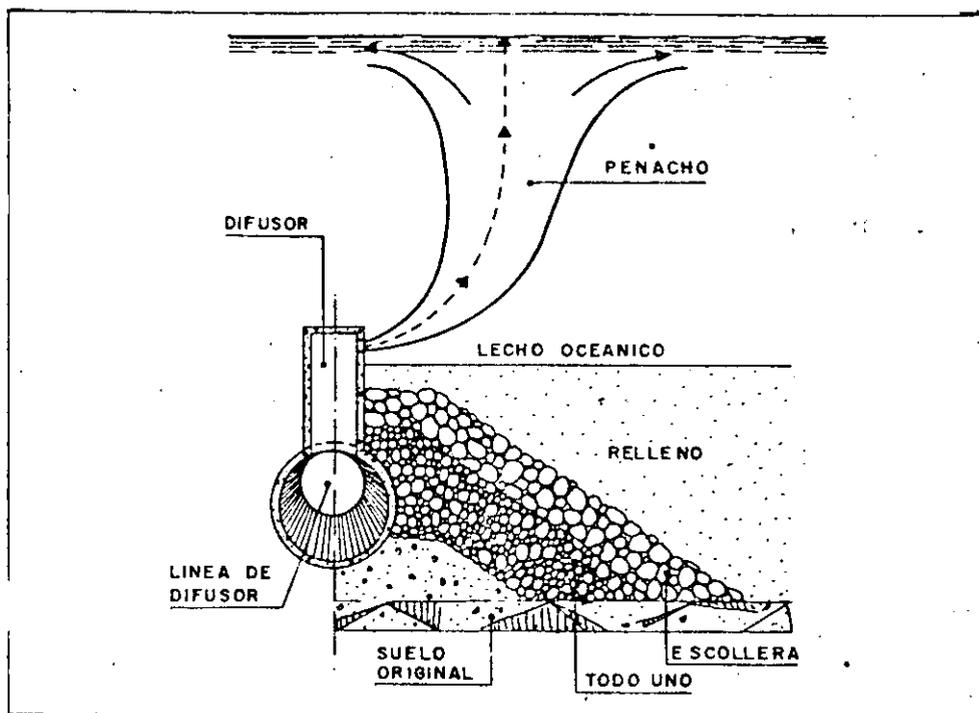
No será inferior al 3% de la longitud del emisario y dispuesta para conseguir la mayor longitud normal a la dirección de la corriente .

$\phi$ d. 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.



Cálculo práctico de un emisario submarino.- Una vez obtenidos todos los datos necesarios para determinar los diversos parámetros del emisario, la metodología para su cálculo se puede sintetizar en los siguientes pasos:

a) Trazado del emisario.

El punto de arranque del emisario en tierra habrá sido establecido de forma acorde con las condiciones de la instalación de tratamiento precisa o la de bombeo. A este respecto es conveniente tener presente la servidumbre que este tipo de instalaciones imponen (espacio, olores, ruidos, etc.).

A partir de este punto la traza del emisario vendrá condicionada principalmente por los datos:

- naturaleza del efluente (Ne)
- uso de la zona (Uz)
- forma de la costa (Fc)
- Flora y fauna (Ff).

b) Longitud del emisario.

Como primera aproximación, la norma recomienda tener en cuenta la

exigencia de distancia a la costa impuesta por la profundidad mínima de vertido (15 m).

En cualquier caso los cálculos posteriores de dispersión horizontal y de dilución total impondrán una nueva aproximación ya que en todo punto de la costa próxima se habrán de cumplir los niveles aceptables de contaminación bacteriana.

c) Sección y número de tubos del emisario.

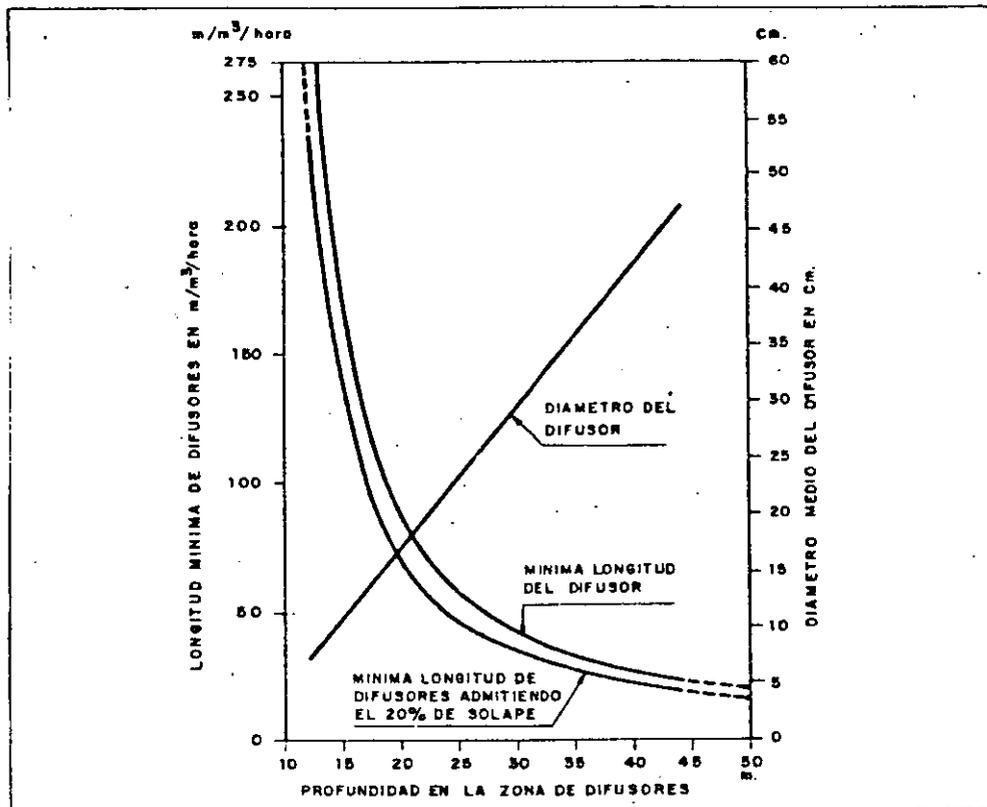
Su cálculo se hará en base al dato sobre caudal previsto del efluente -- (Q) tanto en valores medios como máximos y mínimos, y de forma que se cumplan las condiciones hidráulicas del parámetro "velocidad del efluente en el emisario" (V) y las estructurales y constructivas de los materiales del tubo y su cimentación y anclaje.

d) Dispositivo difusor.

La norma fija en todos los casos los valores mínimos que definen el diseño de la longitud de diámetro, disposición y separación de los difusores así como la velocidad del efluente en ellos y el difusor final.

La determinación teórica puede empero abordarse en base a las curvas de la figura 300 en la que a partir de la profundidad de la zona de difuso

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%.



Estas 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:

$$D = 0,54 F (0,38 \frac{Y}{d.F} + 0,68)^{5/3}$$

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 puede desarrollarse el fenómeno físico, es aconsejable no utilizar valores de h superiores a Y/3.

b) Descarga lineal.

El valor de la dilución por dispersión horizontal se hallará aplicando la fórmula (Brooks).

$$D_2 = \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{13t}{b^{0.5}}\right)^3 - 1}{1.5}}$$

en donde:

t = Tiempo de recorrido en horas, igual a longitud (x) del recorrido en m dividida por la velocidad (V) de la corriente, en m/h.

b = Longitud de difusores proyectada, normalmente, a la dirección de la corriente, en m.

Dicha fórmula viene representada, para mayor facilidad de aplicación, en el ábaco.

La normativa de algunos estados norteamericanos estipula que el conjunto de las dos diluciones,  $D \times D$ , no debe considerarse teóricamente superior en ningún caso a 1.000.

### 3) Inactividad bacteriana.

En las dos fases anteriores el concepto de dilución puede haber sido empleado para cualquier tipo de sustancia contaminante (metales, bacteria, etc.). La inactivación bacteriana, sin embargo, y como su propia deno-

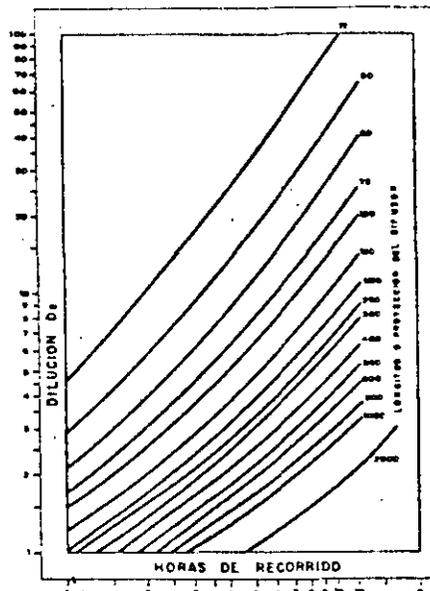
minación indica, es exclusivamente aplicable a la depuración del contenido bacteriológico.

Con esta fase se contempla la depuración que naturalmente se produce por muerte de las bacterias en un medio que tiene propiedades contrarias a su existencia (oleaje, aireación, organismos, luz, etc).

Su cálculo se puede afrontar mediante la fórmula propuesta por Brooks.

$$D_i = 10^{t/T_{90}}$$

siendo: t el tiempo de recorrido (x/V) en horas y



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  $D_1 \times D_2$  mientras que para procesos bacteriológicos será  $D_1 \times D_2 \times D_3$ .

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-

ra los grandes. Su empalme es por junta express.

La tubería de palastro precisa de protección interna (normalmente resina epoxy), de protección externa (revestimiento bituminoso, más fibra de vidrio, más hormigón) y de gran cuidado en las soldaduras del tubo para no dañar el revestimiento, empleando para ello junta esférica o soldadura a tope no completa.

En general, las tuberías soldadas, que permiten una eficacia de colocación en grandes longitudes, son difíciles de reparar cuando se averían. Su empleo está muy generalizado para diferentes diámetros y normalmente dan a largo plazo mejor resultado que las de plástico.

b) La tubería de hormigón, armado o pretensado, se emplea en aquellos casos en que es apropiado el método de colocación, tubo a tubo, o para diámetros muy grandes en competencia con la de palastro revestido.

Deben emplearse juntas muy flexibles (ni bridas ni racores) con sellado por cordón de caucho o neopreno.

c) Los plásticos son apropiados para fondos blandos y hasta diámetros medianos, necesitando en general ir enterrados o anclados, e incluso protegidos en ciertas zonas por envolturas resistentes de acero, fundi-

ción y hormigón armado.

El cloruro de polivinilo (PVC) se utiliza frecuentemente para diámetros inferiores a 300 mm. corrigiendo su sensibilidad a la temperatura mediante revestimientos de poliéster y fibra de vidrio.

El polietileno de alta densidad se utiliza en función de sus propiedades anticorrosivas y su alta flexibilidad, con la debida densidad de anclajes por tratarse de un material ligero.

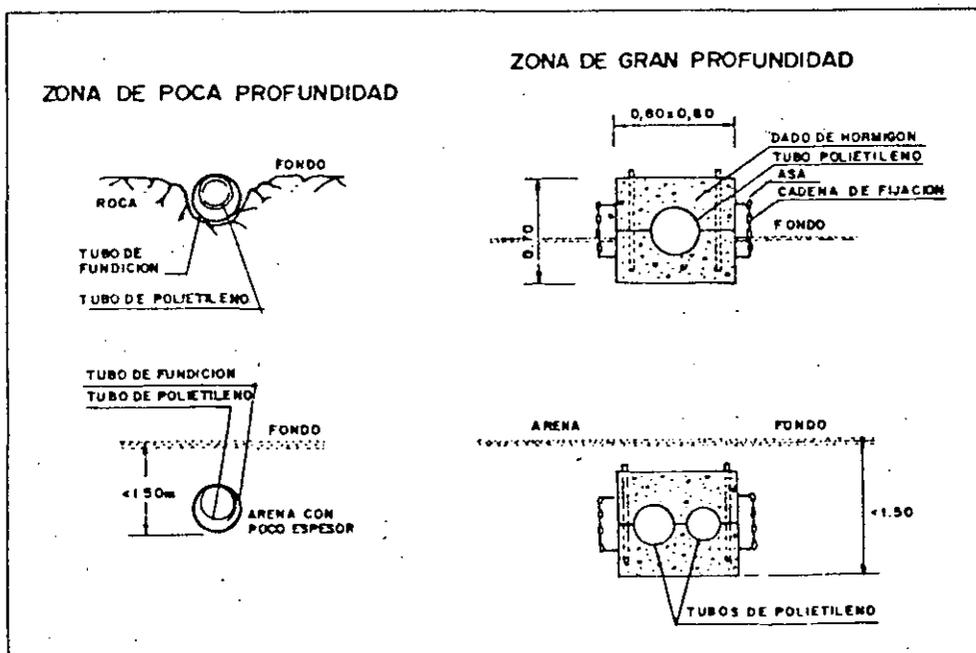
El poliéster es muy resistente a la corrosión y se emplea en diámetros grandes por su rigidez. El polipropileno permite hacer frente a elevadas temperaturas del efluente. Es preciso insistir en el hecho de que para un correcto comportamiento de estos materiales, su cimentación y anclaje deben ser muy cuidados; de otra forma se registran con facilidad roturas como lo demuestra la experiencia.

A veces se emplean soluciones mixtas. Un ejemplo lo constituye el tubo exterior de acero con otro interior de PVC, con lechada intermedia de mortero de cemento y protección de anillo de amianto en las soldaduras.

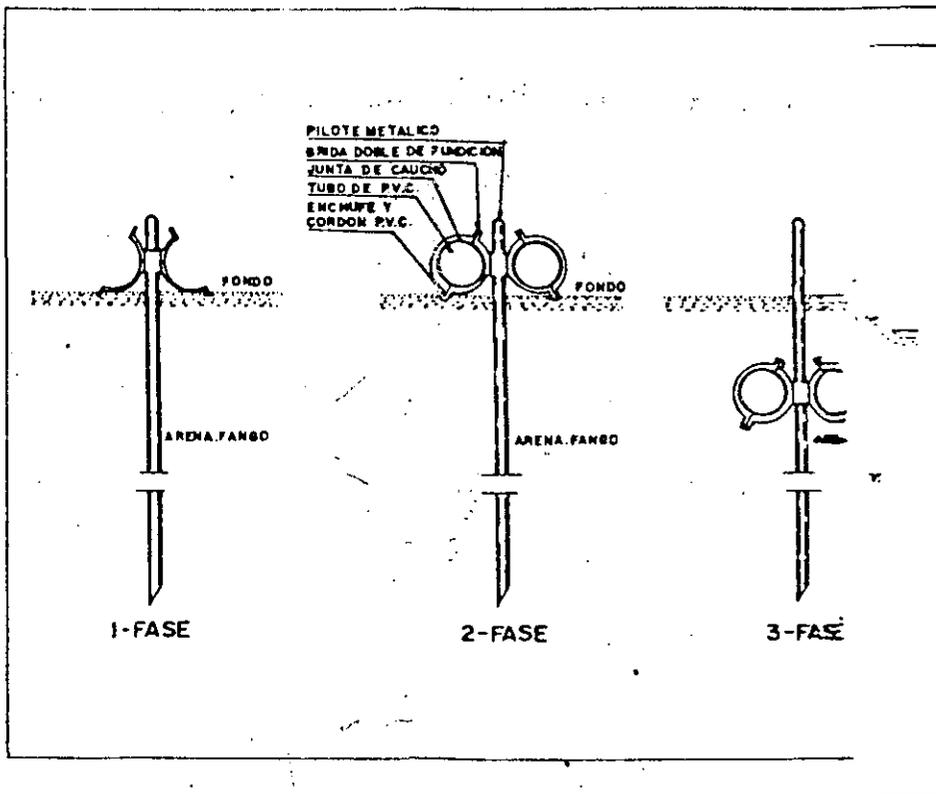
Cimentación y anclaje.- La tubería se coloca en el fondo del mar de varias maneras:

### Disposición de la tubería.-

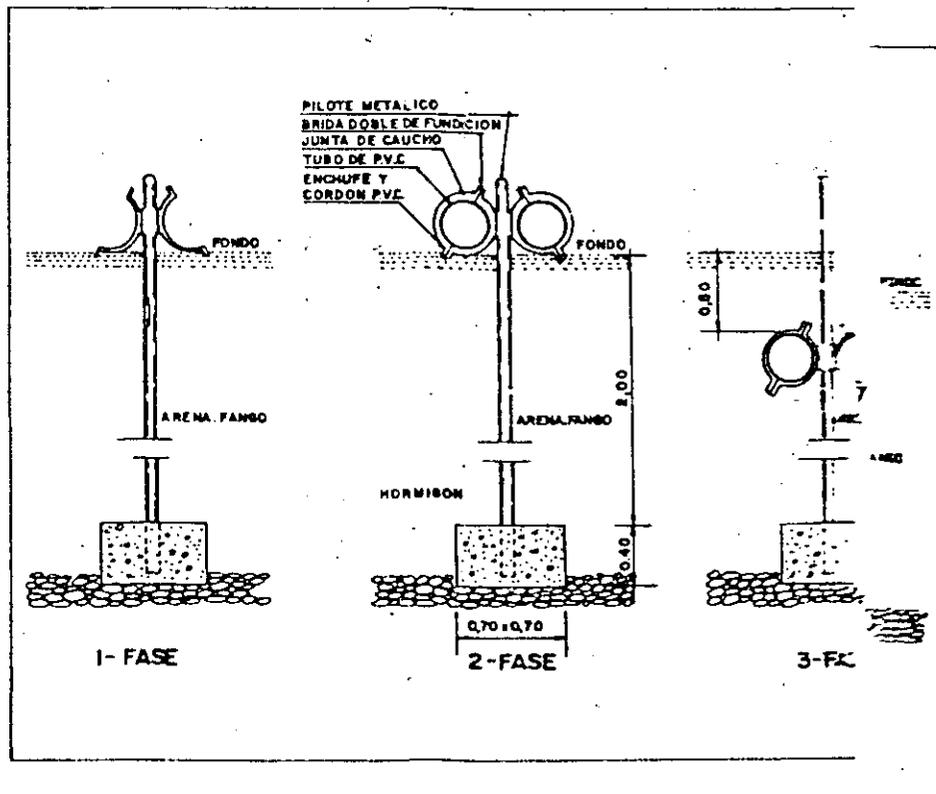
- a) Depositada simplemente, cuando el fondo es firme y el tubo tiene las características adecuadas de peso y resistencia
- b) Enterrada y sin anclar, cuando reuniendo características adecuadas de peso y resistencia, el fondo no es lo suficientemente firme.
- c) Enterrada y anclada, cuando se da el caso 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 cegarse 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 produ- cidas 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 horinzon tales y (f) el coeficiente de rozamiento, para que la tübería 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 hormi-- gón 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 fundamentalmen-- te de la clase de materiales, los medios disponibles y las característi-- cas 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 cur vatura para no someter la tubería a esfuerzos indebidos .



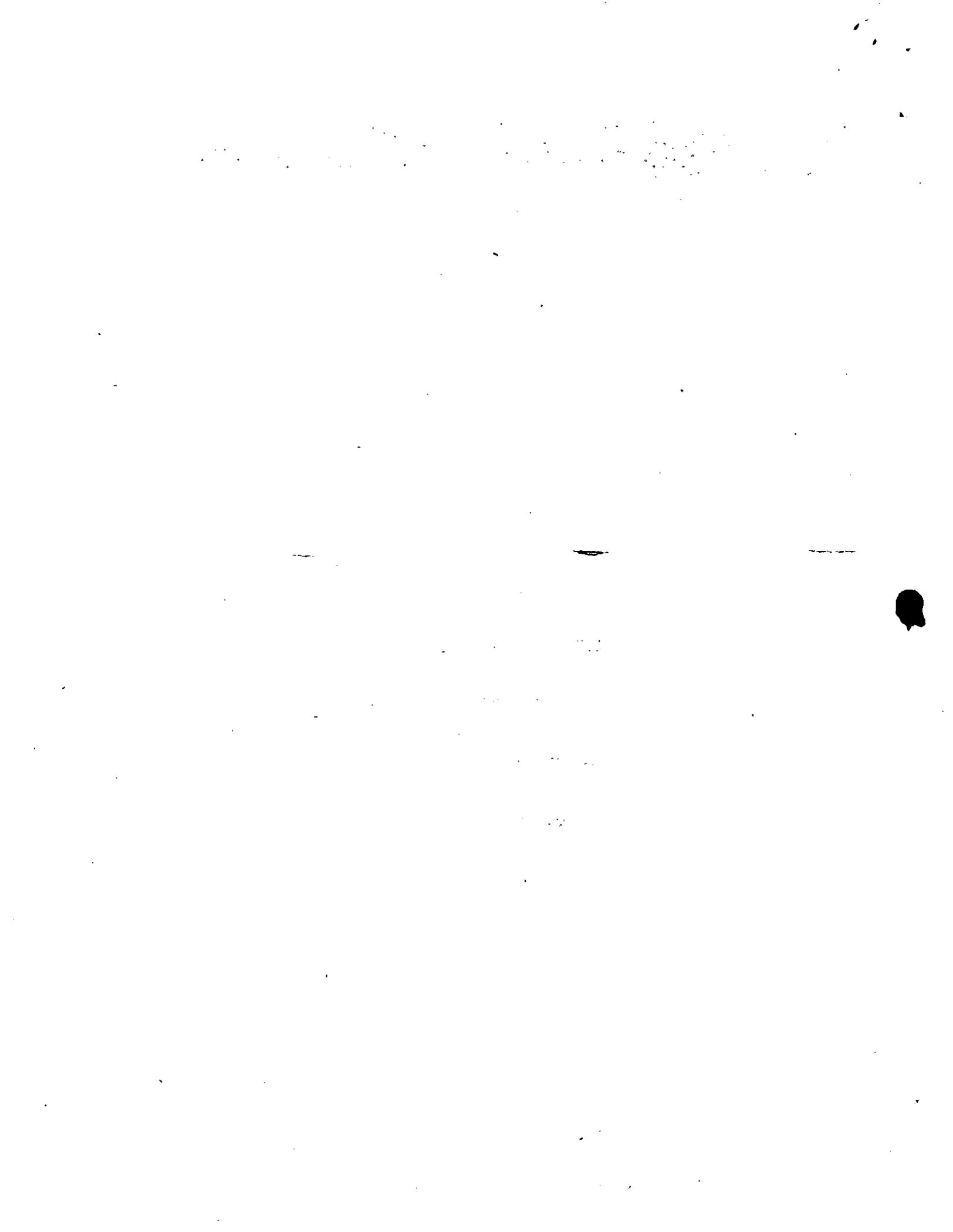
**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

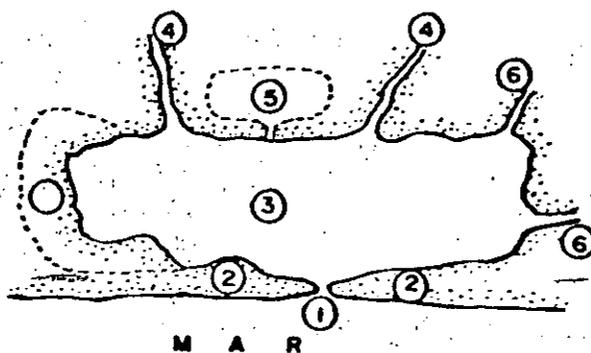
LAGUNAS COSTERAS

Ing. Héctor López G.

NOVIEMBRE, 1984



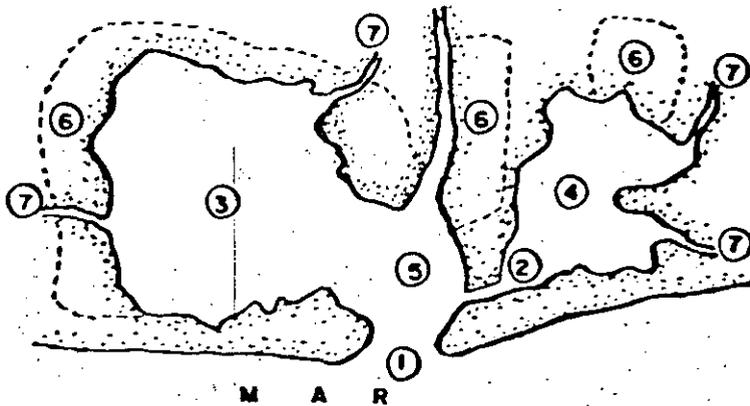
## SISTEMAS ESTUARIOS — LAGUNARIOS



### 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

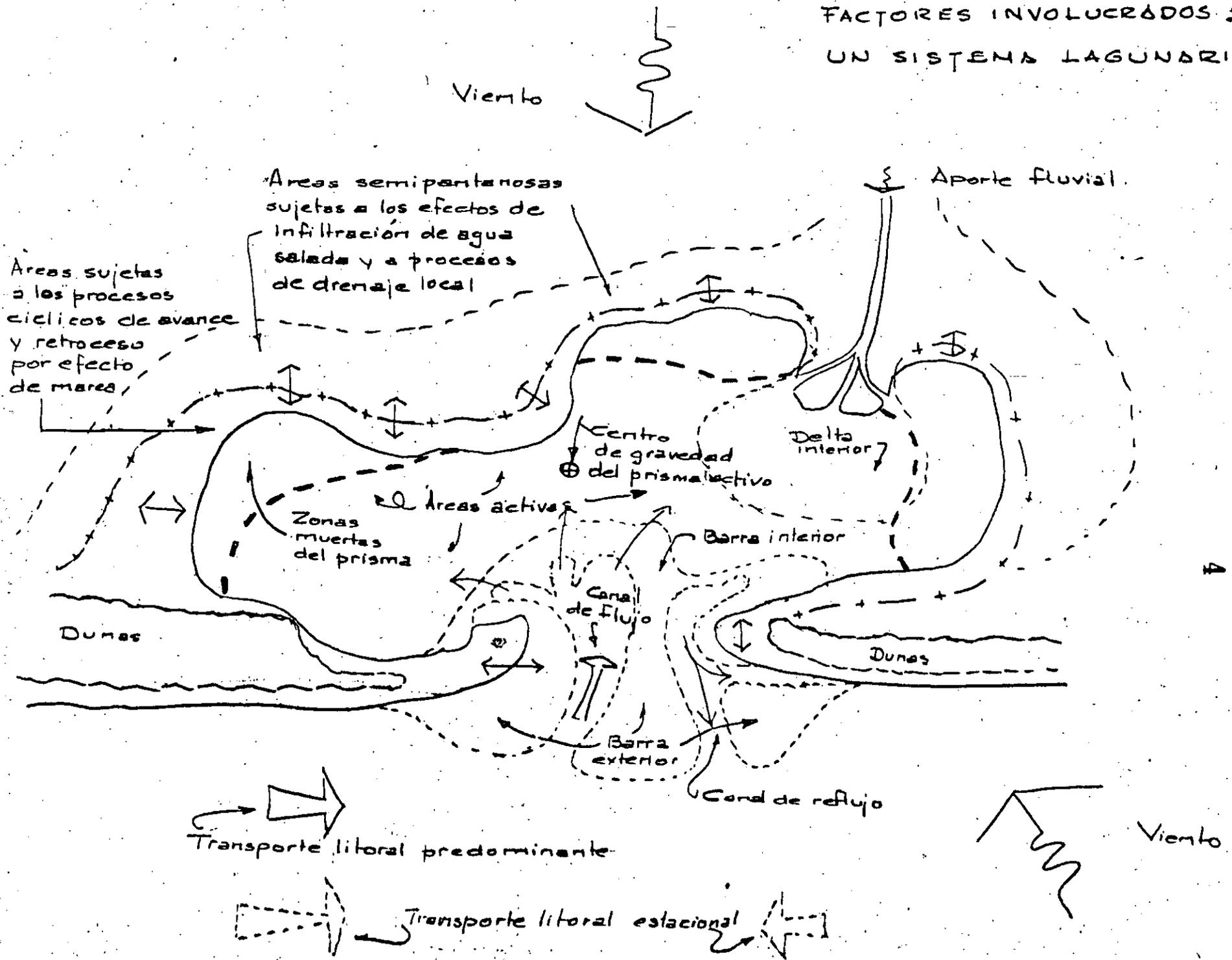


### SISTEMA PREPONDERANTEMENTE FLUVIAL

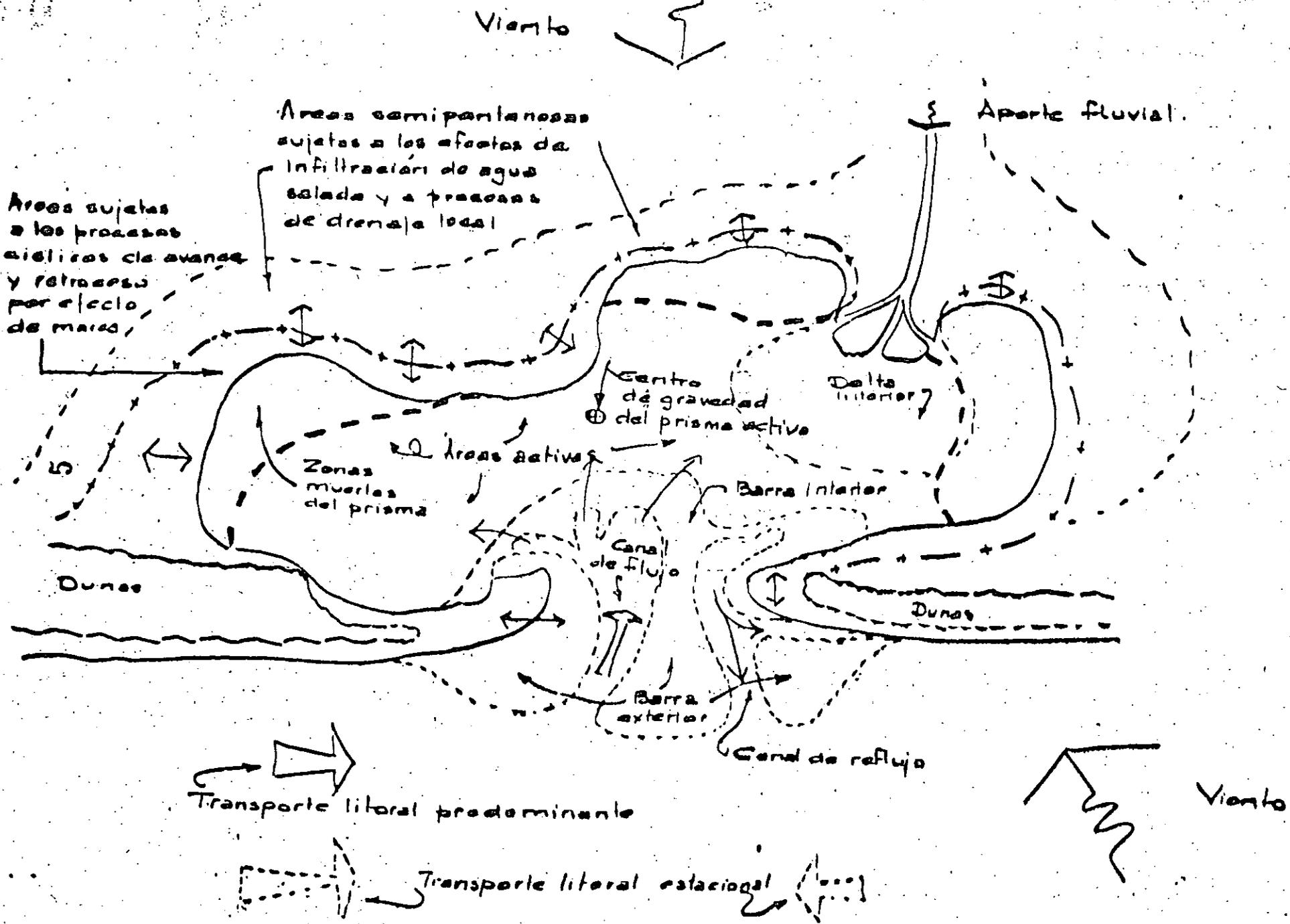
- ① CANAL DE COMUNICACION AL MAR
- ② CANAL LAGUNA — MAR
- ③ LAGUNA INTEGRADA AL ESTUARIO
- ④ LAGUNA SEPARADA DEL RIO
- ⑤ VASO PRINCIPAL, INTEGRADO POR EL RIO Y LAGUNA, SI EXISTE
- ⑥ PLANICIES DE INUNDACION, VASOS SECUNDARIOS Y MARISMAS
- ⑦ ESTEROS (OCASIONALMENTE)



# FACTORES INVOLUCRADOS EN UN SISTEMA LAGUNARIO



# FACTORES INVOLUCRADOS EN UN SISTEMA LAGUNARIO



# Algunos Tipos de Acuicultura.

- I. Parques ostrícolas
- II. Corrales para peces
- III. Tambakas.

## Obras de Mejoramiento Ecológico

- 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.

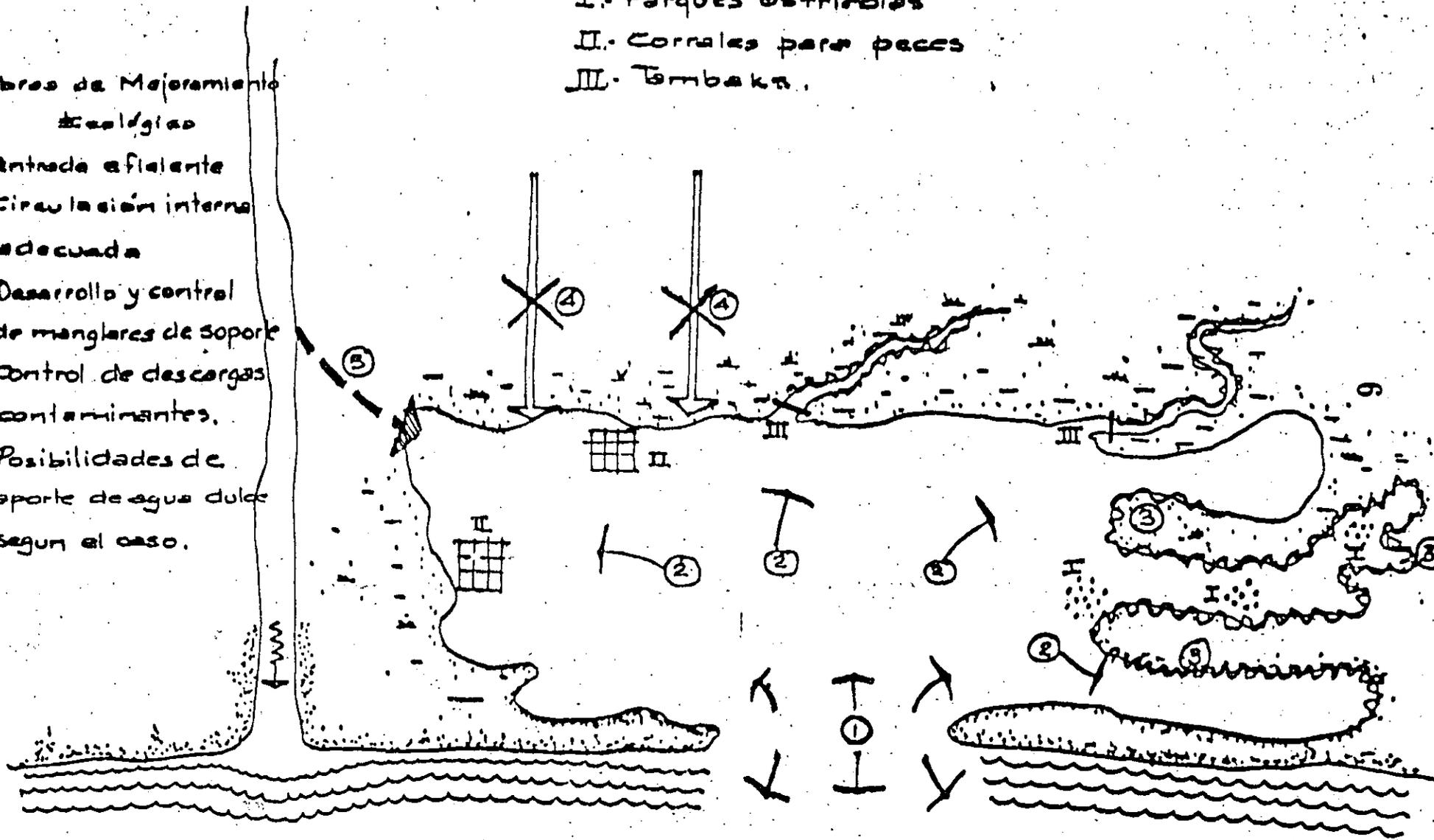


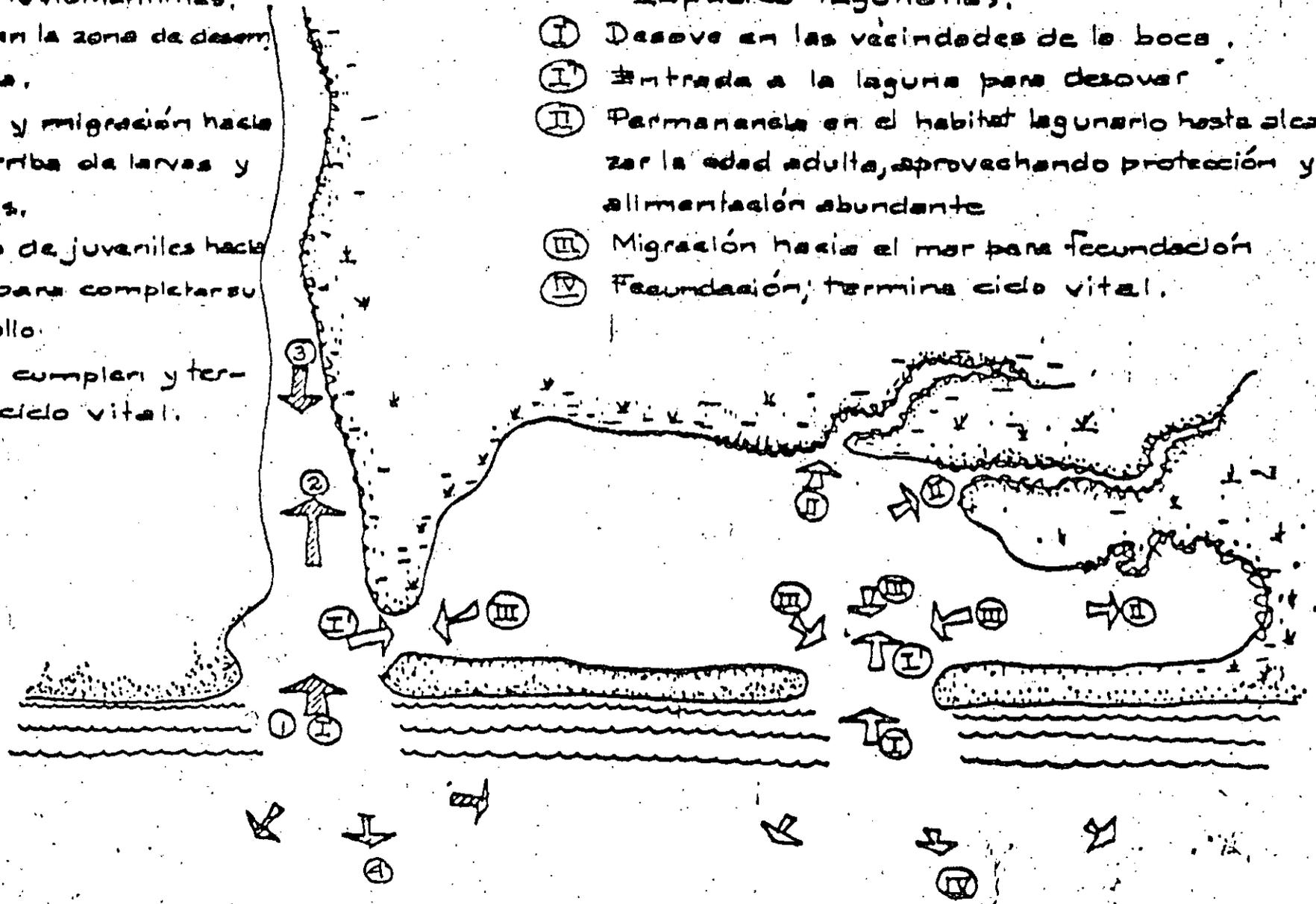
Figura 1

### Especies Fluviomarítimas.

- ① Desova en la zona de desembocadura.
- 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 terminan ciclo vital.

### Especies lagunarias.

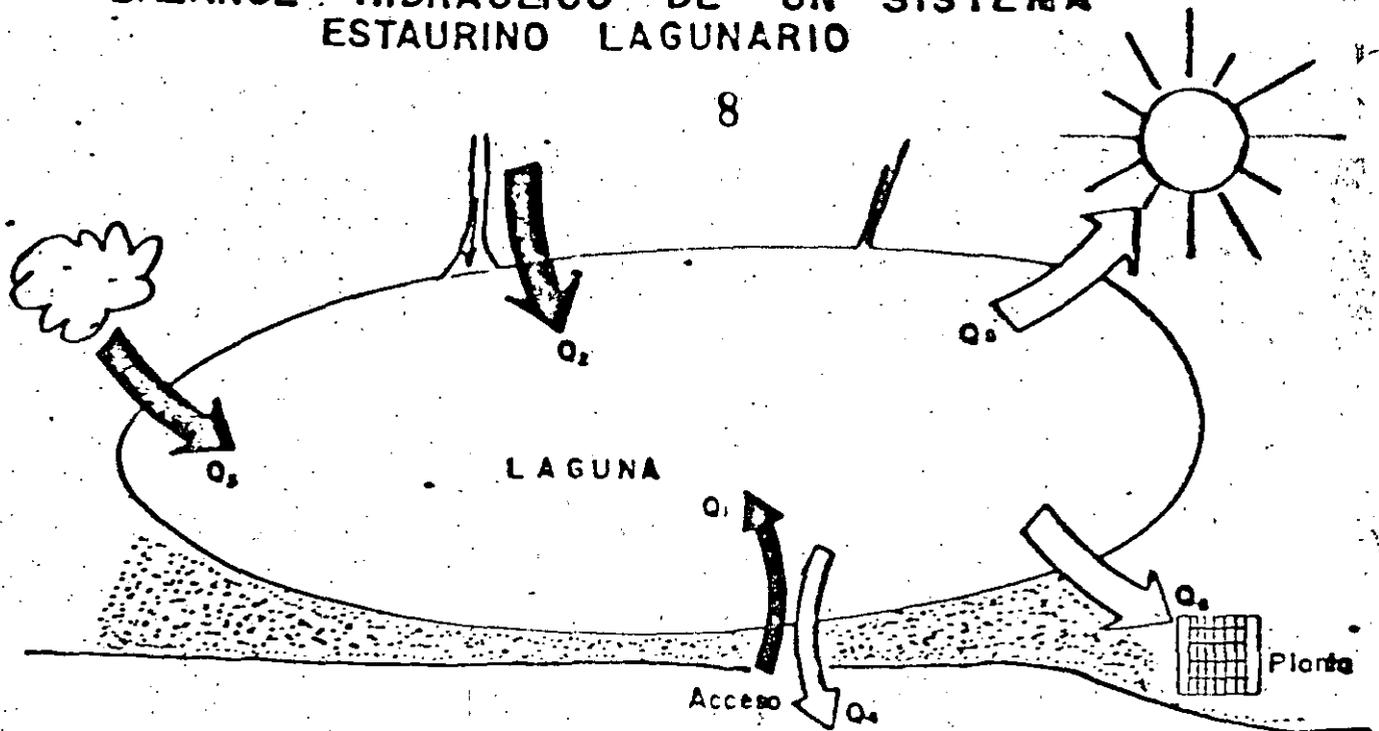
- ① Desova en las vecindades de la boca.
- ② Entrada a la laguna para desovar.
- ③ Permanencia en el habitat lagunario hasta alcanzar la edad adulta, aprovechando protección y alimentación abundante.
- ④ Migración hacia el mar para fecundación.
- ⑤ Fecundación; termina ciclo vital.



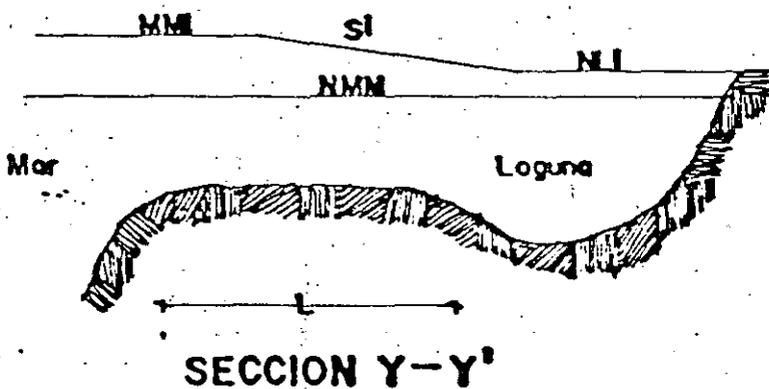
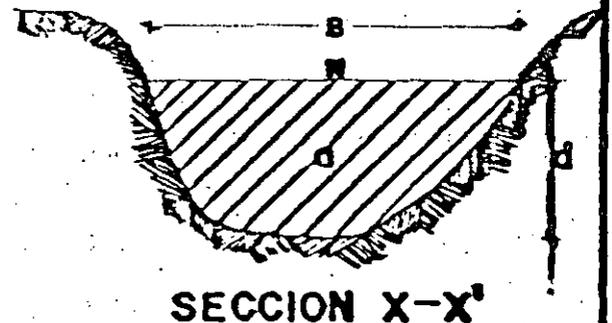
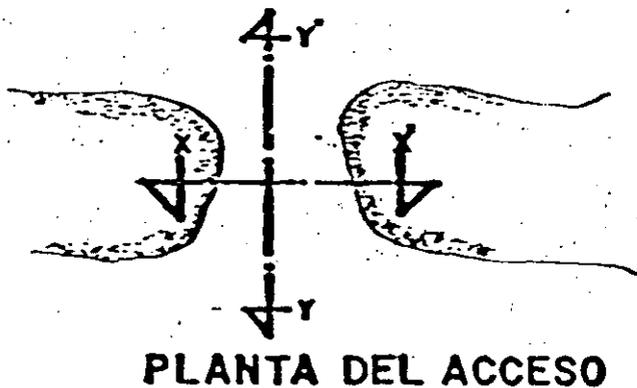
ESQUEMAS DE CICLOS VITALES.

# FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DEL ACCESO

## BALANCE HIDRAULICO DE UN SISTEMA ESTAURINO LAGUNARIO

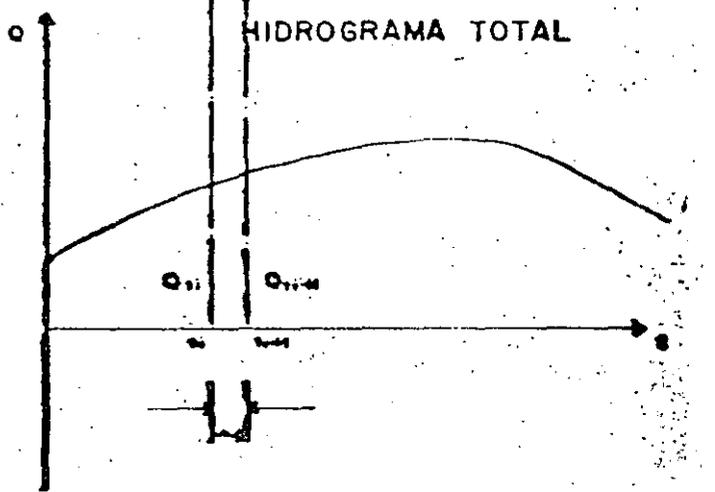
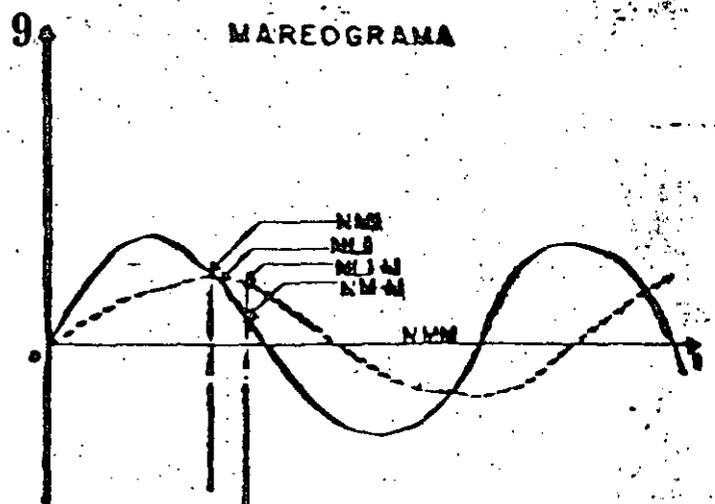
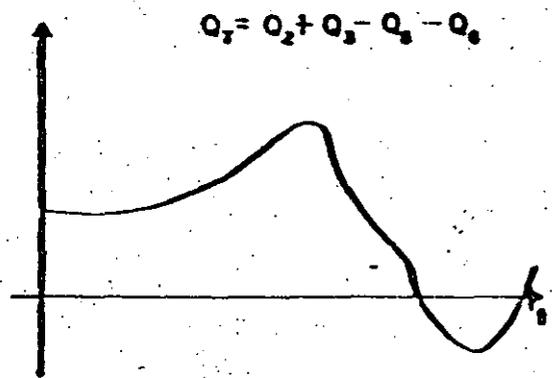
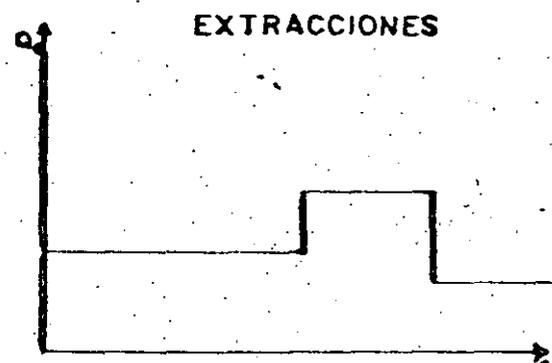
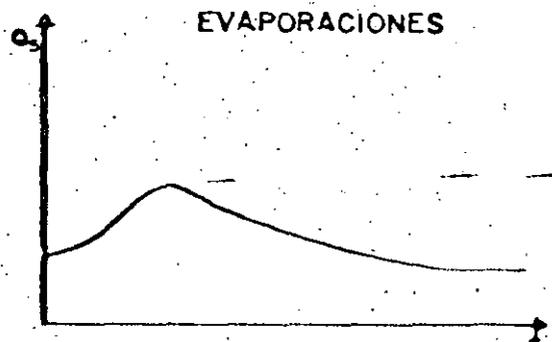
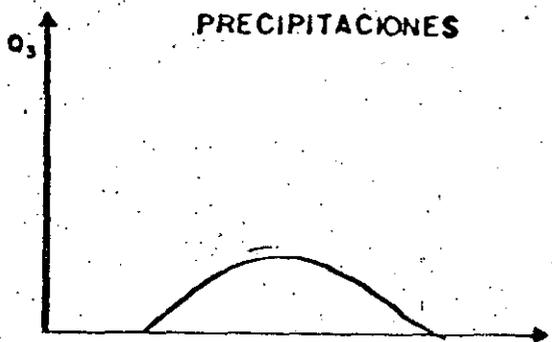
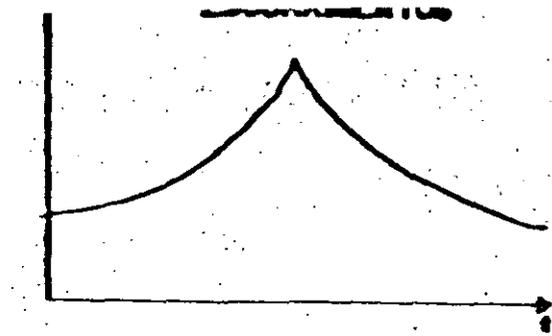


- $Q_1$  = Aportaciones en condiciones de flujo.
- $Q_2$  = Aportaciones por escurrimientos de la cuenca.
- $Q_3$  = Aportaciones por precipitación.
- $Q_4$  = Salidas por condiciones de reflujo.
- $Q_5$  = Salidas por evaporación.
- $Q_6$  = Salidas por extracción de planta u otro sistema.



### Variables

- A = Area de la laguna.
- L = Longitud del canal de acceso
- NMI = Nivel del mar en el instante i
- NLI = 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  $i$   
 $N_{li}$  condiciones en la laguna  
 $N_{li}$  del mareograma

$$S_i = \frac{N_{li} - N_{li-1}}{\Delta t}$$

$$V_i = \frac{1}{n} r^{2/3} S_i^{1/2} \quad Q_{mi} = V_i A$$

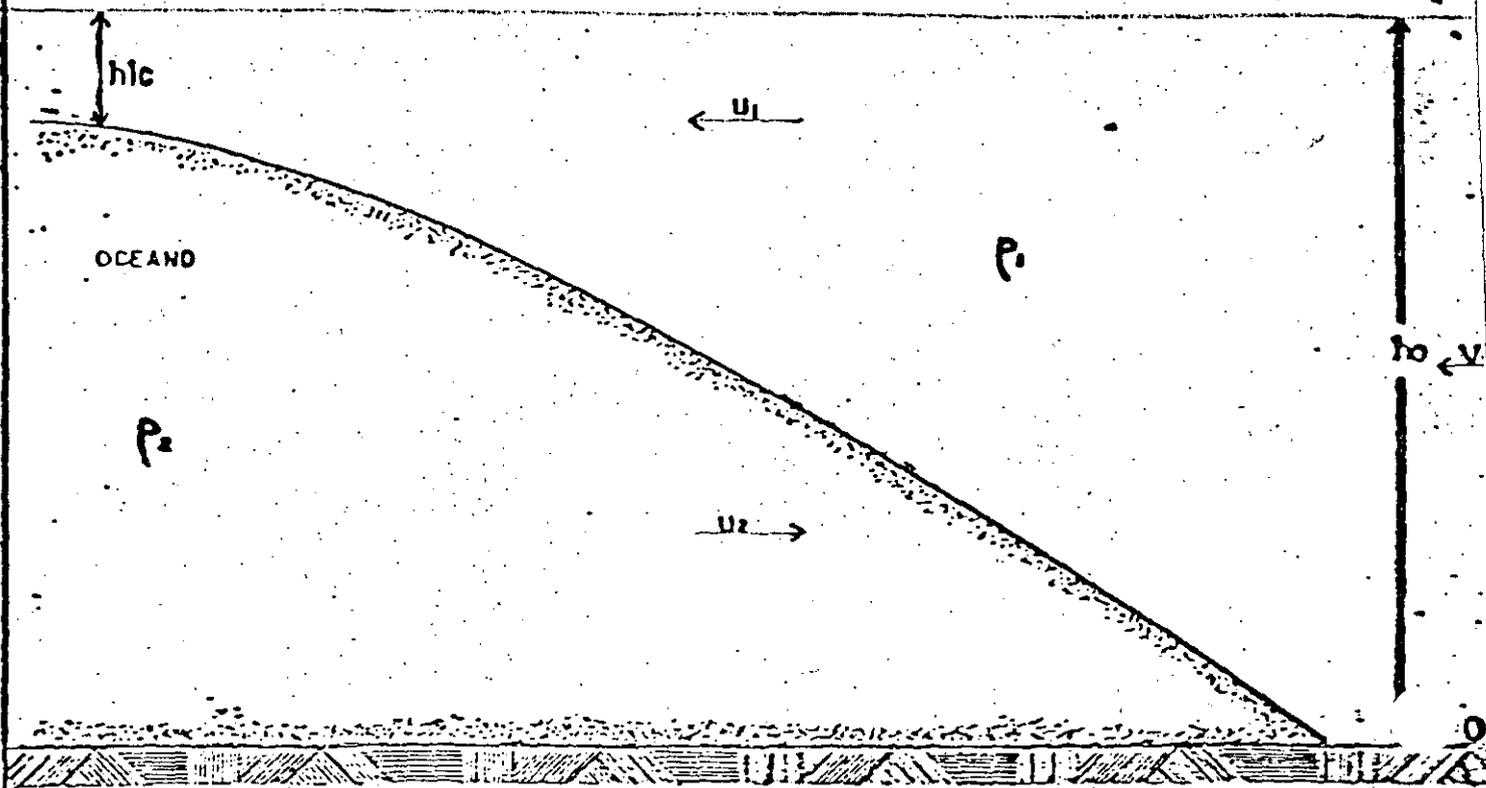
$$Q_i = Q_{mi} + Q_{ri} \quad \Omega_i = Q_i \Delta t$$

$$\Delta N_{li} = \frac{\Omega_i}{A} \quad N_{li+1} = N_{li} + \Delta N_{li}$$

$N_{li+1}$  del mareograma

# CRITERIO DE KEULEGAN

10



$$\frac{L_1}{h_0} = 1.061 (R)^{2/3} (F_0)^{-3/2}$$

$$R = \frac{V_0 h_0}{\nu} ; F_0 = \frac{V_0}{\sqrt{g h_0}} ; V_0 = \sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho_m} g h_0}$$

$$\rho_m = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

$$\rho_2 = \frac{\gamma}{g}$$

$$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$$

$$\rho_2 = 105 \text{ U.T.H.}$$

$$h_{lc} = \frac{g^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho_m} g}$$

$$\rho_1 = 102 \text{ O.T.H.}$$

nomenclatura

- $V_0$  = velocidad densimetrica
- $\nu$  = viscosidad cinemática
- $\rho$  = densidad del fluido
- $\Delta \rho$  = diferencia de densidades

$$R = \frac{g}{\nu}$$

$$\nu = 0.087 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$



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

DESARROLLO COSTERO

TRANSPORTE LITORAL

Ing. José Luis Murillo

NOVIEMBRE, 1984

TRANSPORTE LITORAL Y SU RELACION CON LA  
CONSTRUCCION DE UN ROMPEOLAS

Ejemplo Numérico

Sea:

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

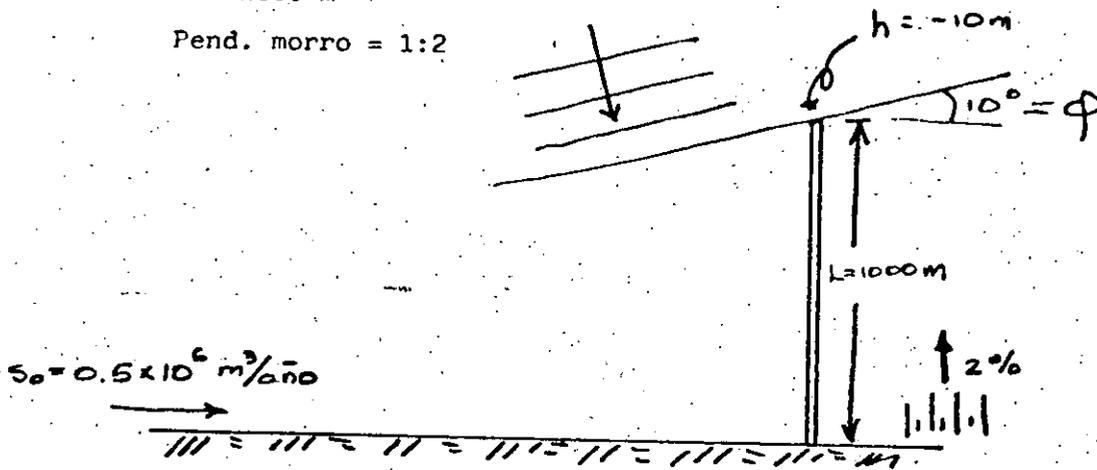
en  $h = -10 \text{ m}$  es  $10^\circ$

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

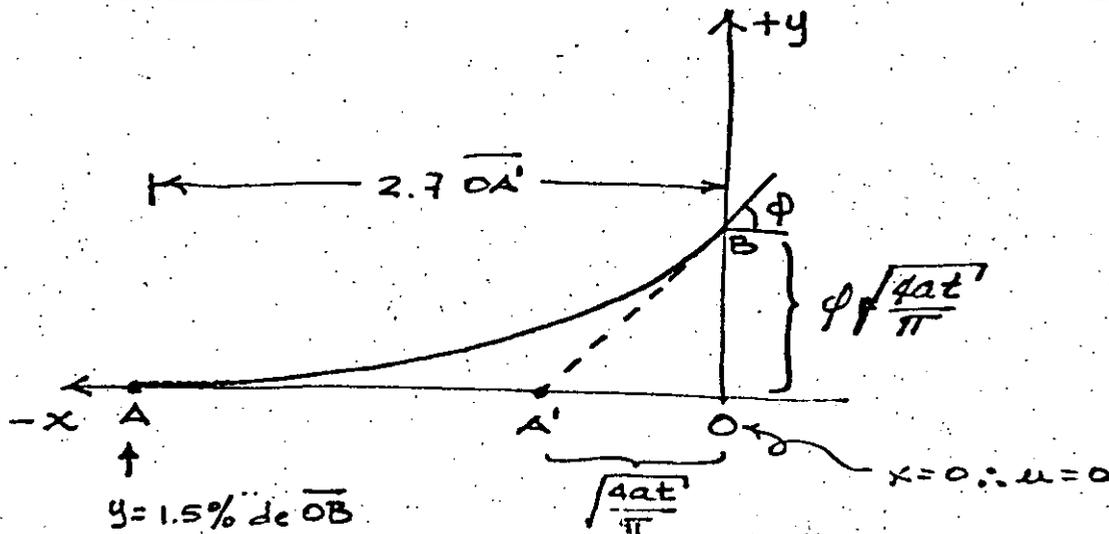
Pend. playa hasta  $-10$  es  $2\%$

$L = 1000 \text{ m}$

Pend. morro =  $1:2$



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



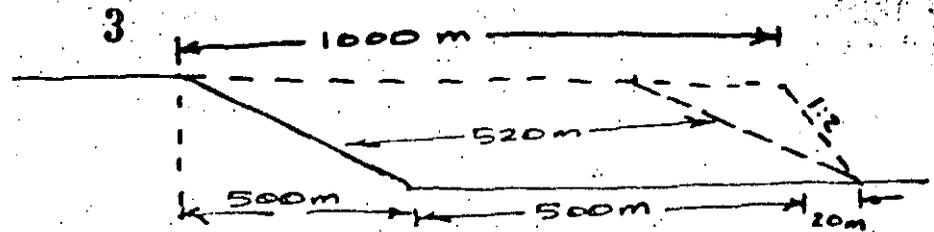
$$y = \phi \sqrt{\frac{4at}{\pi}} \left[ e^{-\mu^2} - \mu \sqrt{\pi} Q \right]$$

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

$\mu$	$Q$	$e^{-\mu^2} - \mu \sqrt{\pi} Q$
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)  $t_L = ?$

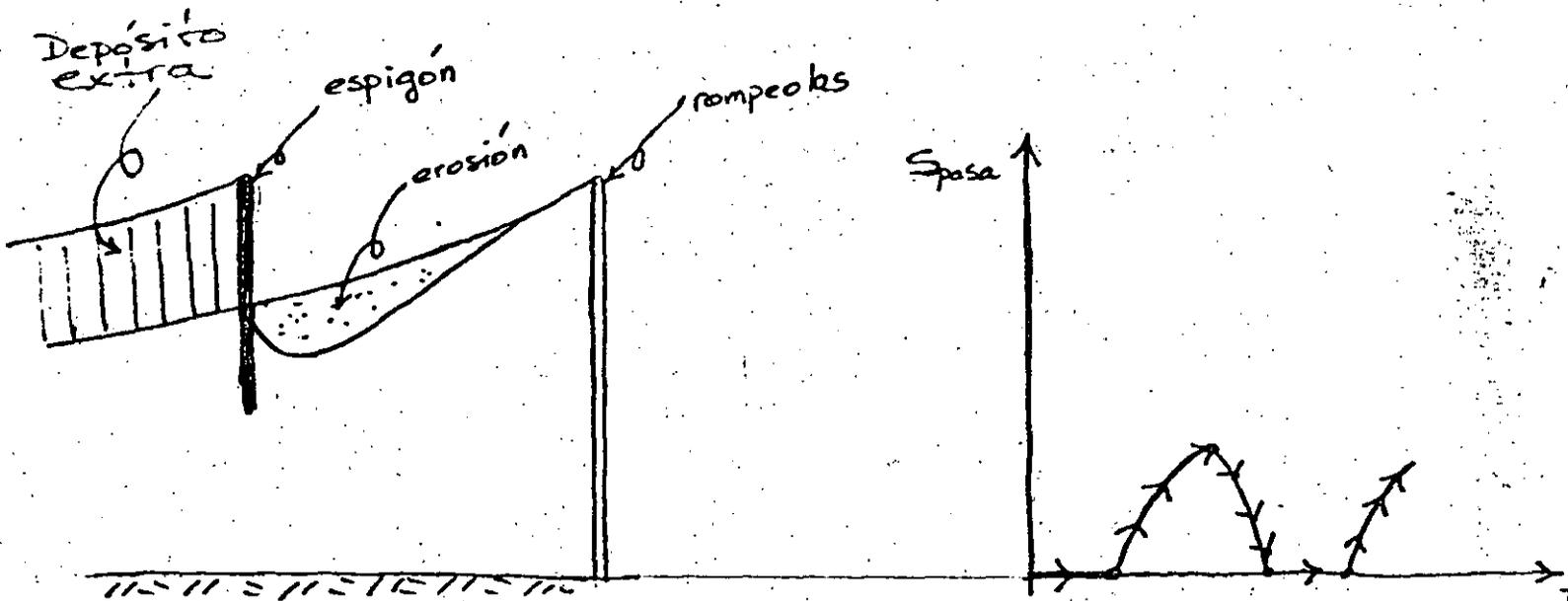
$$t_L = \frac{L^2}{\phi^2 a} \frac{\pi}{4} \begin{cases} L = 520 \text{ m} \\ \phi = 10^\circ = \frac{\pi}{180^\circ} \times 10^\circ = \frac{\pi}{18} \text{ radianes} \\ a = \frac{S_0}{\phi h} = \frac{0.5 \times 10^6}{\frac{\pi}{18} (10)} = \frac{9}{\pi} \times 10^5 \text{ m}^2/\text{año} \end{cases}$$

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

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 SUCESIVAMENTE; 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.**

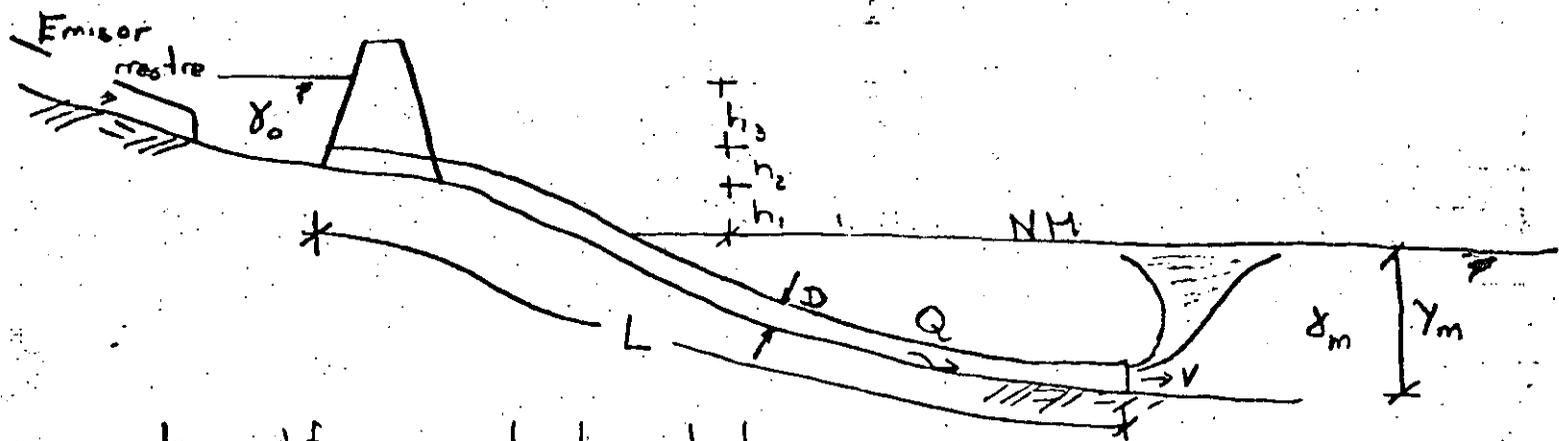
DESARROLLO COSTERO

EMISORES SUBMARINOS

Ing. Pedro García Camacho  
Ing. Antonio Moreno Gómez

NOVIEMBRE, 1984

# Funcionamiento Hidraulico



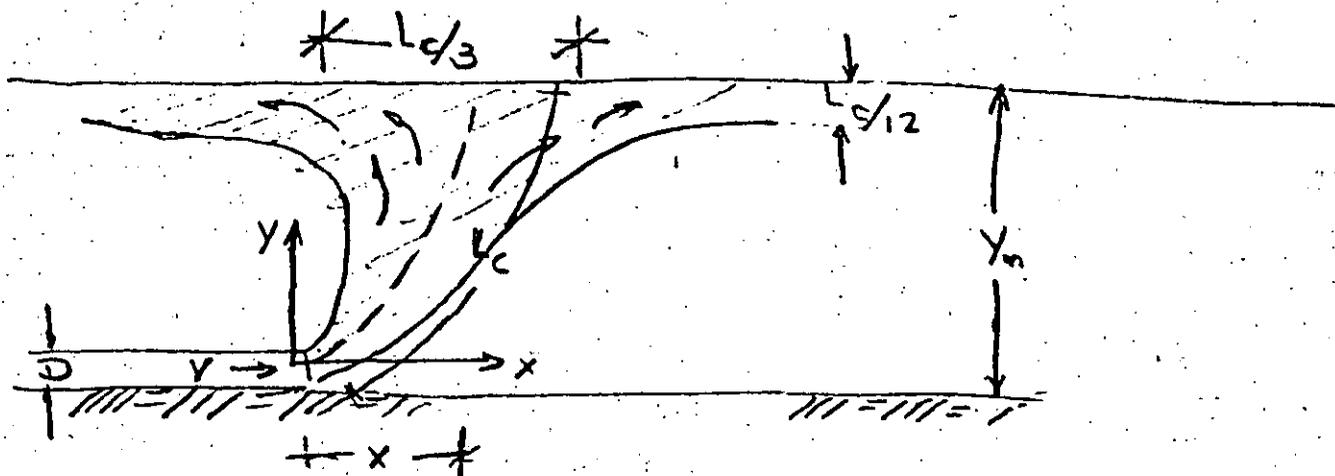
$h_1$  = diferencia de densidades

$$\gamma_0 Y_1 = \gamma_m Y_m ; Y_1 = \frac{\gamma_m}{\gamma_0} Y_m ; h_1 = Y_1 - Y_m$$

$h_2$  = 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

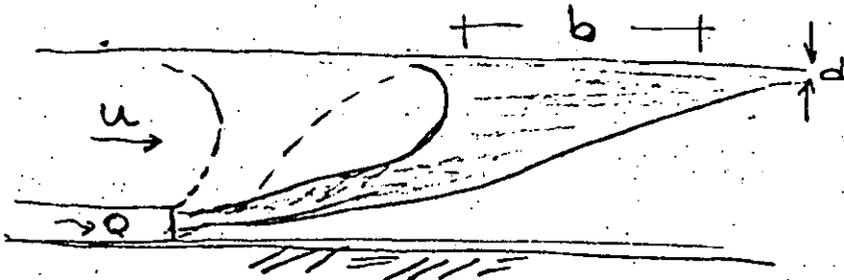
- Dilucion inicial

2

$$D_0 = 0.54 F \left[ 0.38 \frac{Y}{D \cdot F} + 0.68 \right]^{5/3}$$

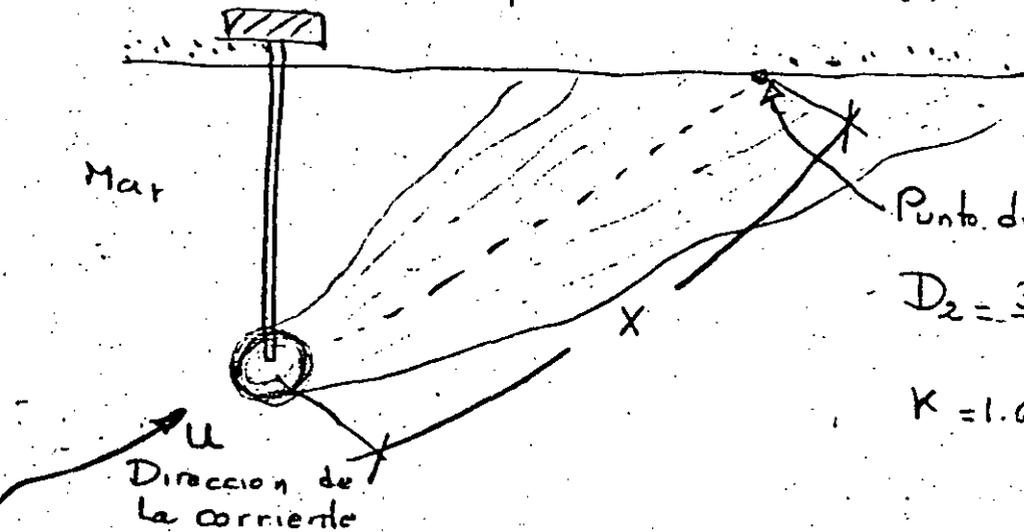
$$F = \frac{V}{\sqrt{0.27 D}}$$

- 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

$$D_3 = 10^{t/T_{90}}$$

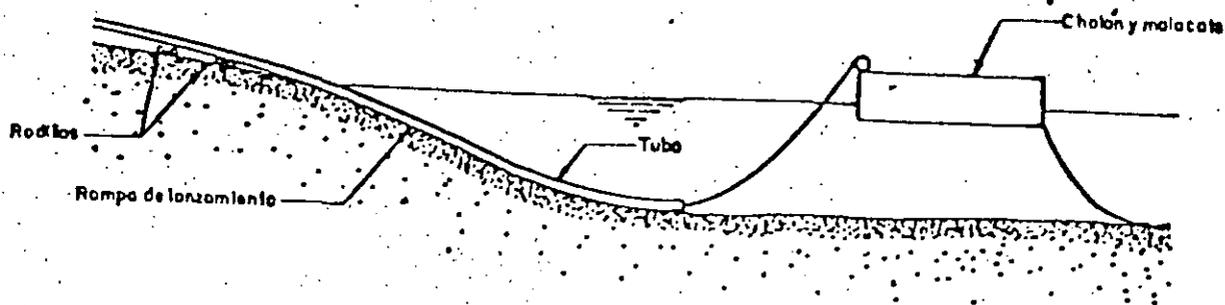
$$t = \frac{x}{u}$$

$T_{90}$  = tiempo en que muere el 90% de las bacterias

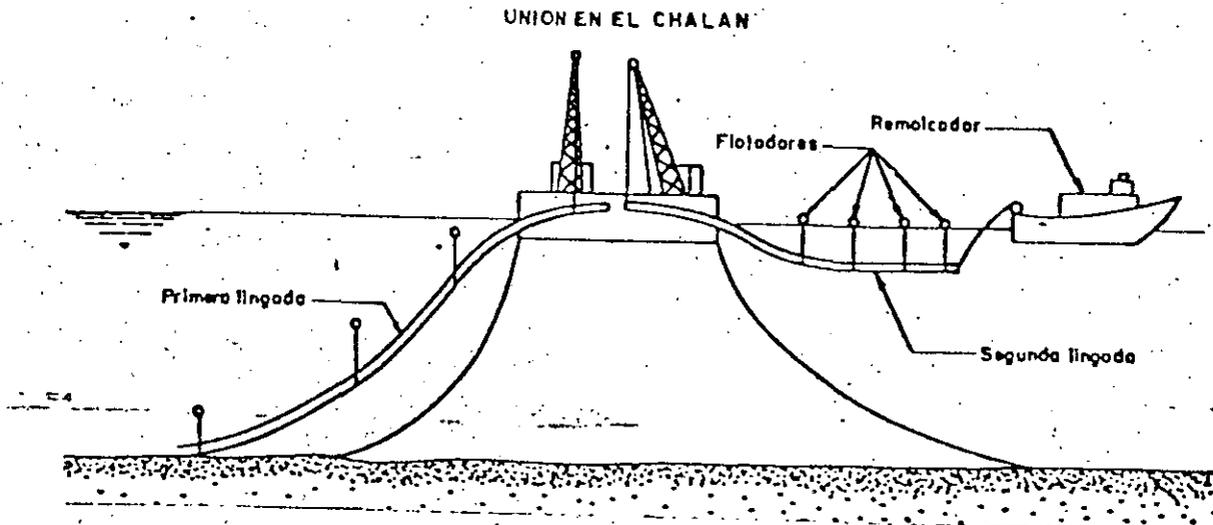
$$D_T = D_0 \times D_1 \times D_2 \times D_3$$

# Tendido

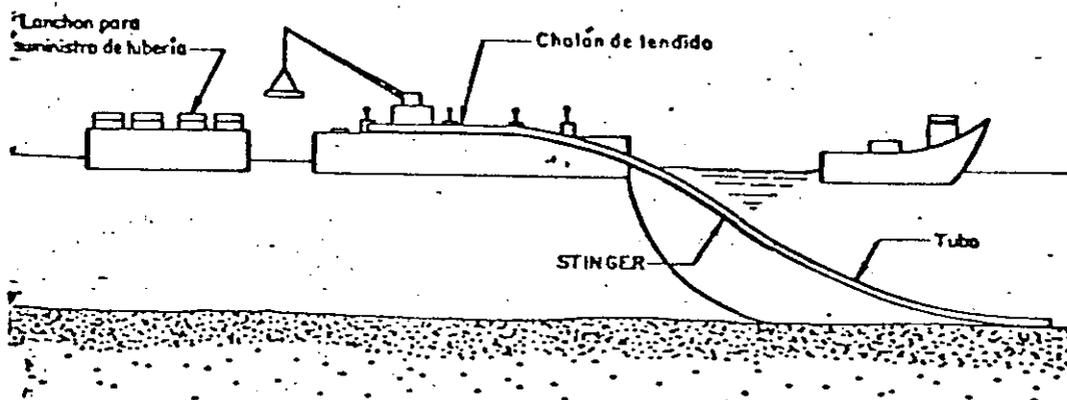
3



## TECNICA DE TENDIDO POR FLOTACION

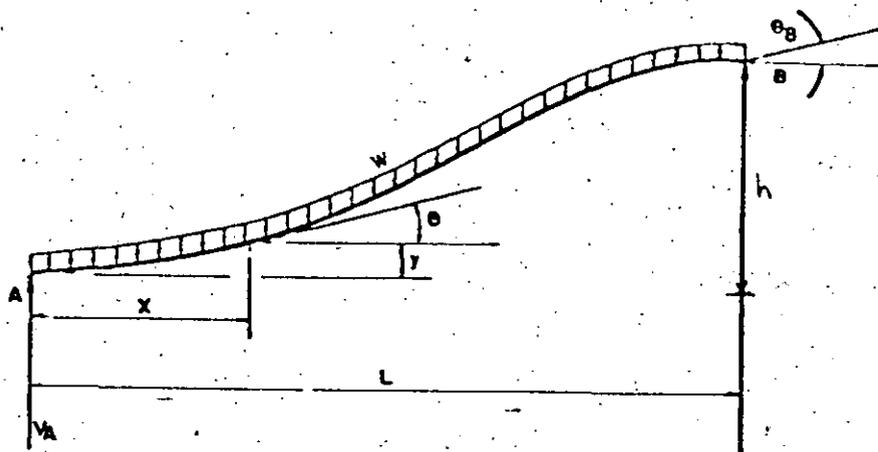
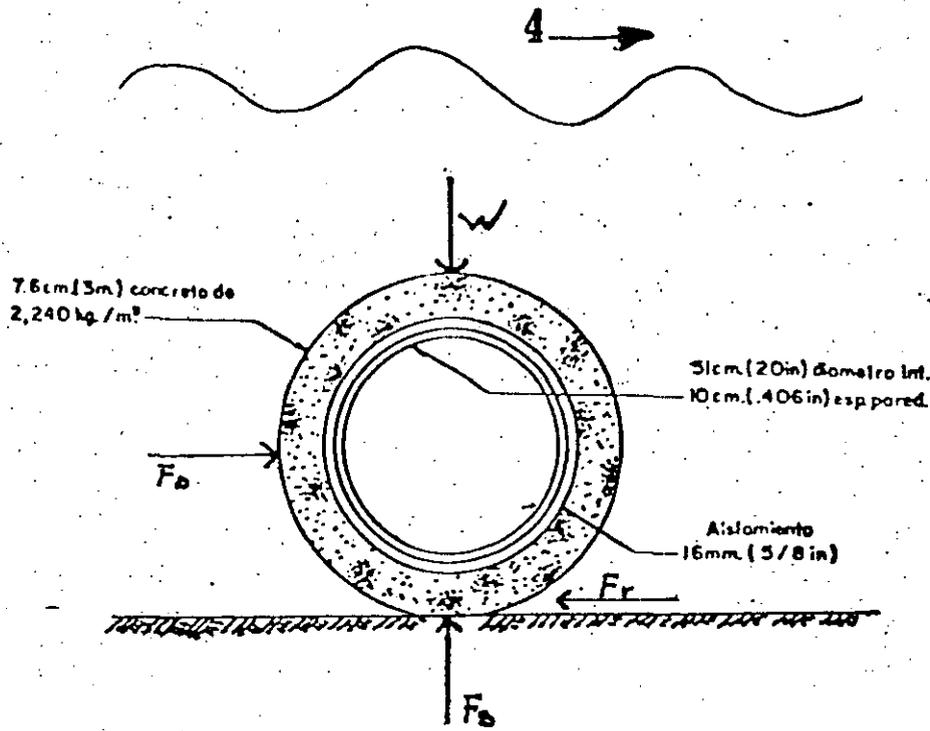


## TECNICA DE TENDIDO DE REMOLQUE POR EL FONDO O TIRON



## 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 = Modulo de elasticidad

I = Momento de inercia

R<sub>B</sub> = 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, 1984

## SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

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 70., 80., 10, 11, 14, 16, 20, 39, 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 10., 20., 30., 40., 50., 60., 70., 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 10.—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 20.—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 30.—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 40.—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 si 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 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, propi-

ciendo 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, refinerías 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, de propia 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, desechos, 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 reglamentación correspondiente.

Asimismo, se prohíbe el almacenamiento de aguas residuales que no se ajuste a las disposiciones y especificaciones que al efecto determine la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, de acuerdo al Reglamento respectivo."

"ARTICULO 22.—

I a III.—

Para descargar aguas residuales, deberán construirse las obras e instalaciones de tratamiento que sean necesarias a juicio de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en coordinación con las de Salubridad y Asistencia, de Agricultura y Recursos Hidráulicos, de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial, entre otras, dentro del campo de sus respectivas competencias. En su caso, el Ejecutivo Federal podrá celebrar acuerdos en la materia con los gobiernos estatales y Municipales."

"ARTICULO 23.—

En el caso de la programación y construcción de nuevas industrias que puedan producir descargas contaminantes de aguas residuales, así como de las obras e instalaciones conducentes a purificar las aguas residuales de procedencia industrial, las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología, de Salubridad y Asistencia y de Agricultura y Recursos Hidráulicos emitirán opinión con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes."

"ARTICULO 24.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología emitirá los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que deba satisfacerse para regular el alejamiento, la explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar la contaminación que ponga en peligro la salud pública o degrade los sistemas ecológicos y evaluará y vigilará su cumplimiento.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos resolverá sobre las solicitudes de autorización, concesión o permiso que se formulen para la explotación, uso y aprovechamiento de dichas aguas residuales, considerando en cada caso las condiciones necesarias para no contaminar, conforme a los citados criterios, lineamientos, requisitos y condiciones que respecto de cada uso dicten las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología y de Agricultura y Recursos Hidráulicos en los ámbitos de su competencia.

Cuando las descargas contaminantes provengan de dos o más obras, instalaciones o industrias, las Secretarías de Desarrollo Urbano y Ecología y de Agricultura y Recursos Hidráulicos, en las esferas de sus respectivas competencias y en coordinación con la Secretaría de Salubridad y Asistencia, resolverán sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y de sus descargas

conjuntas, siempre que los efectos en la cuenca lo permitan.

4

El otorgamiento de concesiones de aprovechamiento de aguas para fines industriales, estará condicionado a la instalación de equipos de recirculación de tratamiento de aguas, en caso necesario."

Se consideran prioritarios y de interés social los financiamientos e incentivos que se otorguen para instalar plantas de tratamiento de aguas residuales, individuales o conjuntas."

"ARTICULO 25.—Las aguas residuales, provenientes del alcantarillado urbano, podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten al tratamiento de depuración que cumpla con las normas que establezca la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología en coordinación con las de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Salubridad y Asistencia."

"ARTICULO 26.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, con el auxilio de las Secretarías de Salubridad y Asistencia y de Agricultura y Recursos Hidráulicos, así como las demás autoridades competentes, según el caso, vigilarán que en la ejecución y funcionamiento de las obras, instalaciones y aprovechamientos se observen las normas técnicas para evitar la contaminación de las aguas. Al efecto, los interesados deberán proporcionar la información que, la primera les requiera."

"ARTICULO 28.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, en coordinación con las de Salubridad y Asistencia y la de Agricultura y Recursos Hidráulicos para los fines de esta Ley dictará normas sobre las siguientes materias:

I.—Zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones; y

II.—Ejecución de obras relacionadas con el alojamiento, tratamiento y destino de los residuos conducidos o no por sistemas de alcantarillada."

"ARTICULO 29.—Se prohíbe descargar sin previo tratamiento, en las aguas marinas, sustancias o residuos de cualquier tipo, así como aguas residuales que contengan contaminantes nocivos para la salud de las personas, la flora y fauna marítimas y en general, el ecosistema marino, de acuerdo con los límites que señale el reglamento correspondiente."

"ARTICULO 30.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, resolverá sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos en

aguas marinas, fijándose en cada caso las condiciones y tratamiento de los aguas o residuos, de acuerdo al Reglamento respectivo.

La Secretaría de Marina se coordinará con la de Desarrollo Urbano y Ecología, en la aplicación de esta Ley para la protección del medio ambiente marino, cuando el origen de la contaminación provenga de fuentes móviles, o de plataformas fijas en el mar territorial y la zona económica exclusiva."

"ARTICULO 32.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, se coordinará con las de Marina, Comunicaciones y Transportes y Pesca a efecto de que, dentro de sus respectivas atribuciones y competencias, intervengan para prevenir, controlar, vigilar y abatir la contaminación del medio marino."

"ARTICULO 34.—Queda prohibido descargar, depositar o infiltrar contaminantes en los suelos, sin el cumplimiento de las normas reglamentarias y los lineamientos técnicos correspondientes que para tal efecto se expidan. La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, establecerá las normas a que deba sujetarse y en su caso, autorizará el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, uso, reuso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos, líquidos o gaseosos, independientemente de la persona física o moral que los genere, y prestando especial atención a los de naturaleza peligrosa o potencialmente peligrosa."

"ARTICULO 35.—Toda persona física o moral, pública o privada, que realice actividades por las que se genere, almacene, recolecte, transporte, trate, aproveche o disponga de residuos sólidos y de residuos de naturaleza peligrosa o potencialmente peligrosa, deberá sujetarse a las normas y disposiciones que para tal efecto se expidan."

"ARTICULO 36.—Los residuos sólidos o cualquier otro tipo de contaminantes, provenientes de usos públicos, domésticos, industriales, agropecuarios o de cualquier otra especie, que se acumulen o puedan acumular y por consiguiente se depositen o filtren en el suelo o subsuelo, deberán contar con previo tratamiento a efecto de reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I.—La contaminación del suelo;

II.—Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;

III.—La modificación, trastornos o alteraciones en el aprovechamiento, uso o explotación del suelo; y

IV.—La contaminación de los ríos, cuencas, cauces, lagos, embalses, aguas marinas, manios

acuíferos, aguas subterráneas y otros cuerpos de agua.

5 La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, celebrará acuerdos de coordinación y asesoría con los Gobiernos Estatales y Municipales en la evolución y mejoramiento del sistema de recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos en general, en la identificación de alternativas de reutilización y disposición final, así como en la formulación de programas para dicha reutilización y disposición final de residuos sólidos, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadores."

"ARTICULO 37.—La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología promoverá que el empaque y envase de productos de todo tipo sea de naturaleza tal que reduzca la generación de residuos sólidos."

Los procesos industriales que generen residuos de lenta degradación, como plásticos, vidrios, aluminio y otros materiales similares, se ajustarán al reglamento que al efecto se expida.

El Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología y de las demás dependencias competentes, elaborará los estudios correspondientes con el fin de establecer los estímulos e incentivos, que en su caso deban aplicarse a la producción y utilización de empaques y envases que reduzcan la generación de residuos sólidos."

"ARTICULO 38.—

"La Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología podrá solicitar la cancelación o suspensión de las concesiones o permisos forestales que durante su explotación o aprovechamiento ocasionen graves daños al ecosistema. Cualquier ciudadano podrá formular denuncia ante la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología para los efectos de lo que establece este párrafo."

"ARTICULO 39.—Las violaciones a los preceptos de esta Ley y sus reglamentos constituyen infracción y serán sancionados por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, sin perjuicio de lo que disponga la Ley General de Salud y otros ordenamientos aplicables, con una o más de las siguientes sanciones:

I.—Multa por el equivalente de veinte a veinte mil días de salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, en el momento de la infracción;

II a IV.—

Cuando la gravedad de la infracción lo amerite, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, promoverá lo conducente, ante las autoridades competentes, a efecto de que se proceda a la cancelación de la concesión, permiso, licencia

y en general, de toda autorización otorgada para operar, funcionar o prestar servicios.

"ARTICULO 76.—Se impondrá la pena de seis meses a tres años de prisión y multa por el equivalente de cincuenta a diez mil días del salario mínimo general vigente en el Distrito Federal, al que intencionalmente o por negligencia:

I.—Expida o descargue contaminantes peligrosos que deterioren la atmósfera o que provoquen o puedan provocar daños graves a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas;

II.—Descargue, deposite o infiltre contaminantes peligrosos en los suelos, que provoquen o puedan provocar daños graves a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas;

III.—Descargue, sin su previo tratamiento en el medio marino, ríos, cuencas, cauces, vasos o demás depósitos de agua, incluyendo los sistemas de abastecimiento de agua o infiltre en suelos 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

IV.—Genere emisiones de energía térmica, ruido o vibraciones, que ocasionen graves daños a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas."

"ARTICULO TERCERO.—Se derogan de la Ley Federal de Protección al Ambiente, el artículo 27 al entrar en vigencia el presente Decreto y, los Capítulos Séptimo y Octavo que comprenden de los artículos 42 a 51, a partir del 10 de julio de 1984.

TRANSITORIOS

PRIMERO.—El presente Decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

SEGUNDO.—Se derogan todas las disposiciones que se opongan a lo dispuesto en el presente Decreto.

TERCERO.—La tramitación de los asuntos, que con motivo de lo dispuesto por el presente Decreto, deba continuarse ante otras dependencias del Ejecutivo Federal, se suspenderá en la última etapa que hubiera alcanzado en la dependencia ante la que se inició, siempre que las unidades administrativas correspondientes ya se hubieren incorporado de la dependencia de origen a la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, a excepción de los trámites de asuntos urgentes o sujetos a plazos improrrogables.

CUARTO.—El Ejecutivo Federal procederá a actualizar los Reglamentos en vigor, para el efecto de la aplicación de algunas disposiciones de esta Ley.

México, D. F., a 23 de diciembre de 1983.—  
Raúl Salinas Lozano, S. P.—Luz Lajous, D. P.—  
Alberto E. Millanueva Sansores, S. S.—Jorge Canedo Vargas, D. S.—Rúbricas."

—oOo—

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 tres.—Miguel de la Madrid Hurtado.—Rúbrica.—El Secretario de Marina, Miguel Angel Gómez Ortega.—Rúbrica.—El Secretario de Hacienda y Crédito Público, Jesús Silva Herzog Flores.—Rúbrica.—El Secretario de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Francisco Labastida Ochoa.—Rúbrica.—El Secretario de Comercio y Fomento Industrial, Héctor Hernández Cervantes.—Rúbrica.—El Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Horacio García Aguilar.—Rúbrica.—El Secretario de Comunicaciones y Transportes, Rodolfo Félix Valdéz.—Rúbrica.—El Secretario de Desarrollo Urbano y Ecología, Marcelo Javelly Girard.—Rúbrica.—El Secretario de Salubridad y Asistencia, Guillermo Soberón Acevedo.—Rúbrica.—El Secretario de la Reforma Agraria, Luis Martínez Villcaña.—Rúbrica.—El Secretario de Pesca, Pedro Ojeda Paullada.—Rúbrica.—El Jefe del Departamento del Distrito Federal, Ramón Aguirre Velázquez.—Rúbrica.—El Secretario de Gobernación, Manuel Bartlett Díaz.—Rúbrica.

SECRETARIA DE LA REFORMA AGRARIA

# LEY FEDERAL de Protección al Ambiente

Edición realizada por la

OFICINA DE COMPILACION DE LEYES  
DEPENDIENTE DE LA DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS JURIDICOS

Supervisada por

ELIANA LÓPEZ MATEOS

Edición oficial

Prohibida la venta

SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA



# 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 sabed:*

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 Fitopecuaria 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 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-

biente 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 convenios con los Gobiernos de los Estados y del Distrito Federal y con los municipios, para coordinar las 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 bienes 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, servicios, 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 abatemento de la contaminación ambiental, usando los dispositivos, instalaciones, equipos y sistemas de uso obligatorio para dicho efecto;

c).—Prevenir y controlar la contaminación ambiental por la exploración, 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 e trabajos, así como implantar medidas inmediatas o urgentes 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 Hídricos 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, termoelectricas, instalaciones nucleares, refinarias, 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

Obras Públicas y de Patrimonio y Fomento Industrial, así como de los gobiernos de los Estados y Municipios.

**ARTICULO 23.**—No se autorizará la construcción de obras o instalaciones, ni se permitirá la operación o el funcionamiento de las ya existentes, cuando la descarga de aguas residuales ocasione o pueda ocasionar contaminación.

En el caso de la planeación y construcción de nuevas industrias que puedan producir descargas contaminantes de aguas residuales, así como de las obras e instalaciones conducentes a purificar las aguas residuales de procedencia industrial, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos emitirá opinión con base en el estudio de la cuenca correspondiente.

**ARTICULO 24.**—La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, previo dictamen de la de Salubridad y Asistencia, resolverá sobre las solicitudes de autorización, concesión o permiso, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales o su descarga en aguas propiedad de la Nación, imponiendo en cada caso las condiciones necesarias para no contaminar.

Cuando las descargas contaminantes provengan de pequeñas y medianas industrias, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en coordinación con la Secretaría de Salubridad y Asistencia, podrá autorizar la instalación de plantas de tratamiento de sus descargas conjuntas, siempre que los efectos en la cuenca lo permitan.

Se consideran prioritarios y de interés social los financiamientos para instalar plantas de tratamiento de aguas residuales conjuntas.

**ARTICULO 25.**—Las aguas residuales, provenientes del alcantarillado trabado, podrán utilizarse en la industria y en la agricultura, si se someten al tratamiento de depuración que cumpla con las normas sanitarias que establezca la Secretaría de Salubridad y Asistencia, además de los requisitos que determinen las Secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos y de Asentamientos Humanos y Obras Públicas conforme a sus respectivas competencias.

**ARTICULO 26.**—Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, de Agricultura y Recursos Hidráulicos

y de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, así como las demás autoridades competentes según el caso, vigilarán que en la ejecución y funcionamiento de las obras, instalaciones y aprovechamientos se observen las normas técnicas para evitar contaminación de las aguas. Al efecto, los interesados deberán proporcionar la información que aquéllas les requieran.

**ARTICULO 27.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia vigilará e intervendrá para que las obras que proporcionen los sistemas públicos de abastecimiento a las comunidades urbanas y rurales reciban el tratamiento adecuado de potabilización.

**ARTICULO 28.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia vigilará y comprobará en forma permanente, las condiciones sanitarias y de operación de los sistemas de abastecimiento de agua para uso doméstico.

#### CAPITULO CUARTO

##### *De la Protección del Medio Marino*

**ARTICULO 29.**—Se prohíbe descargar sin su previo tratamiento, en las aguas marinas, sustancias o desechos de cualquier tipo, así como aguas residuales que contengan contaminantes, nocivos para la salud de las personas y del medio marino.

Para efectos de esta ley, el medio marino comprende las playas, mar territorial, suelos y subsuelos del lecho marino y zona económica exclusiva.

**ARTICULO 30.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación con la de Marina, resolverá sobre las solicitudes de autorización para descargar aguas residuales o cualquier otro tipo de desechos, en aguas marinas, dejándose en cada caso las condiciones de tratamiento de las aguas o desechos.

**ARTICULO 31.**—Se prohíbe la construcción de obras e instalaciones, así como la operación de las ya existentes, cuando éstas ocasionen contaminación grave del medio marino.

**ARTICULO 32.**—Las Secretarías de Salubridad y Asistencia, Marina, Comunicaciones y Trans-

portes y el Departamento de Pesca, dentro de sus atribuciones, vigilarán e intervendrán para evitar la contaminación del medio marino.

**ARTICULO 33.**—Las dependencias a que se refiere el Artículo anterior, con la colaboración de las autoridades auxiliares a que se refiere esta Ley, formularán y aplicarán las disposiciones que se consideren necesarias para la prevención y control de la contaminación de las aguas de jurisdicción nacional, estableciendo al efecto los órganos técnicos adecuados para el fomento y desarrollo de los estudios e investigaciones que se requieran.

## CAPITULO QUINTO

### *De la Protección de los suelos*

**ARTICULO 34.**—Queda prohibido descargar, depositar o infiltrar contaminantes en los suelos, sin el cumplimiento de las normas técnicas correspondientes. La Secretaría de Salubridad y Asistencia autorizará el funcionamiento de los sistemas de recolección, depósito, alejamiento, uso, tratamiento y disposición final de desechos sólidos, líquidos o gaseosos.

**ARTICULO 35.**—Las personas físicas o morales que aprovechen o dispongan de los desechos sólidos o basura, deberán hacerlo sujetándose a la reglamentación que al efecto se expida y, en su caso, de acuerdo con los proyectos, instalaciones y normas de funcionamiento relativos, que aprueben las dependencias competentes.

**ARTICULO 36.**—Los desechos sólidos que originen contaminación provenientes de usos públicos, domésticos, industriales, agropecuarios o de cualquier otra especie, que se acumulen o puedan acumular en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I.—La contaminación del suelo;

II.—Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos, y

III.—La modificación, trastornos o alteraciones ya sea en el aprovechamiento, uso o explotación del suelo o en la capacidad hidráulica de los ríos, cuencas, cauces, lagos, embalses, aguas marinas, mantos acuíferos y otros cuerpos de aguas.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia, en coordinación con la de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, asesorará a los Gobiernos Estatales y Municipales en la evaluación y mejoramiento del sistema de recolección, tratamiento y disposición de los desechos sólidos, incluyendo la elaboración de inventarios de desechos sólidos, industriales y basura, identificación de alternativas de reutilización y disposición final, así como la formulación de programas para dicha reutilización y disposición final de los desechos sólidos.

**ARTICULO 37.**—Los procesos industriales que generen desechos sólidos que por su naturaleza sean de lenta degradación, como plásticos, vidrio, aluminio u otros materiales similares, se ajustarán al reglamento que al efecto se expida.

**ARTICULO 38.**—Los proyectos de obras e instalaciones necesarias para la utilización o explotación de los suelos para fines urbanos, industriales, agropecuarios, recreativos y otros, se someterán a la autorización de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en lo que respecta a protección del ambiente y resolverá tomando en cuenta el dictamen que emitan las dependencias competentes, según el tipo de obra o instalación de que se trate.

## CAPITULO SEXTO

### *De la Protección del Ambiente por Efectos de Energía Térmica, Ruido y Vibraciones*

**ARTICULO 39.**—Queda prohibido producir emisiones contaminantes de energía térmica, ruido y vibraciones perjudiciales al ambiente o salud pública, en contravención a las disposiciones legales relativas.

**ARTICULO 40.**—En la construcción de obras o instalaciones que generen energía térmica, ruido o vibraciones, así como en la operación funcionamiento de las existentes deberán tomarse las medidas técnicas preventivas y correctivas para evitar los efectos nocivos de tales contaminantes.

**ARTICULO 41.**—La Secretaría de Salubridad y Asistencia tendrá facultades para establecer los

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, o frecuencia de las emisiones de energía térmica, ruido 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.

## CAPITULO 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 o 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.

## CAPITULO 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 e 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.

## 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 sustancias o productos contaminados.

También podrá decretar como medida de seguridad la clausura temporal, parcial o total de la industria o fuente donde se originen 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 constituyen

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 y...

IV.—Decurso 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 de 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, extiende, 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 interponalmente 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.—Descargue, 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 que-

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 Salubridad 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 percusiones para la salud pública, y

III.—Generar emisiones de vibraciones, ruidos o ruidos que ocasionen graves daños a la salud pública, la flora, la fauna o los ecosistemas.

ARTICULO 78.—Las sanciones que se refieren en los Artículos 76 y 77 de esta Ley, serán sin perjuicio de la responsabilidad civil con motivo de los daños que pudieran causar.

#### 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 la contravengan, 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 Salubridad 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 Alegría.—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

CONTAMINACION Y EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS  
MARITIMO-PESQUEROS

Ing. Pedro García Camacho

NOVIEMBRE, 1984

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 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, inorgánica, 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. CARACTERÍSTICAS 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, 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.

CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y PARÁMETROS DE MEDICION

CARACTERÍSTICAS		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	DBO DQO S A A M Grasas y Aceites Nutrientes Plaguicidas	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
Q U E M I C A S	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, esterés, 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 mu- la, abulón, camarón, etc.) que sean de consumo directo por el hombre sin previa cocción y otros usos de acuicultura.

Las normas de calidad que se deben cumplir en las aguas costeras, con este uso y que se vean afectadas por aguas residuales son las siguientes:

El pH y la temperatura deben ser los de condiciones naturales más o menos, 2.1 y 3% respectivamente.

El oxígeno disuelto debe estar al 90% del representativo de las condiciones naturales.

Para la contaminación bacteriológica, se ha tomado como indicador, los organismos coliformes y deberán estar presentes en una concentración máxima igual o menor a 70 organismos por 100 ml.

Las grasas y aceites no deberán descargarse, cuando se detecte como película visible, manche peces, se deposite en el fondo u orillas o se vuelva tóxico. La materia flotante debe estar ausente.

Con respecto a las sustancias tóxicas, se deberá determinar el límite medio de tolerancia de 96 horas.

En el anexo ya mencionado, se resumen las sustancias tóxicas, que se encuentran bajo reglamento y estudio en varias partes del mundo.

## 2.2. Recreación

El uso de recreación se refiere a lo siguiente:

Contacto Directo.- Cuando se practica la natación en cualquiera de sus formas.

Contacto Indirecto.- Cuando se practique remo, vela u otros y el cuerpo humano no está en contacto directo con el agua.

Definitivamente el caso mas peligroso es cuando existe contacto directo con el agua y se corre el peligro de enfermarse o intoxicarse, en caso de que existieran tóxicos.

Por lo regular para evitar la transmisión de enfermedades la norma establecida para Coliformes es:

Contacto primario: menor a 1000 org/ml.

Sin contacto primario: menor a 2,000 org/ml.

Con respecto a las otras normas, se especifica ausencia de materia flotante y sustancias tóxicas; película visible de grasas y los otros parámetros físicos, que estén dentro de lo estético prácticamente.

### 2.3. Explotación pesquera de especies de escama

Se refiere a la explotación comercial o de subsistencia de cualquier especie pesquera de escama.

Las zonas costeras afectadas por aguas residuales y cuyo uso sea el mencionado, deberán cumplir las características siguientes:

El pH, temperatura y oxígeno disuelto, se cumplirá con lo especificado para cultivo de mariscos, esto es, condiciones naturales más o menos un 10%.

Con respecto a los organismos coliformes la concentración media mensual será menor o igual a 10,000 organismos por 100 ml.

Las grasas y aceites, ninguno que se detecte como película visible, manche peces, se deposite en el fondo o sea tóxico.

Materia flotante ausente.

Las sustancias tóxicas deben estar presentes en la concentración igual o menor al límite de tolerancia media de 96 horas. (TLM 96). Determinado por medio de bioensayos.

### III.- FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINACION DE LAS AGUAS COSTERAS

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 caños; 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.

#### 3.1. De tierra firme

Las principales fuentes de contaminación provenientes de tierra firme son:

- 1).- Aguas residuales industriales.
- 2).- Aguas residuales municipales
- 3).- Residuos sólidos provenientes de las industrias y municipios.
- 4).- Escurrimientos agrícolas

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 metalizados, 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, distinguimos 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, SSM, 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 SSM (sustancias activas al azul de metileno).

## 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 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, investigación y actividades militares. En nuestro país este tipo de contaminación es prácticamente nula.

Continuando con las fuentes de contaminación, 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: contaminación orgánica, bacteriológica y por sólidos disueltos.

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 tenemos: materia orgánica, papel, trapo, vidrio, plástico, hueso, cartón, chatarra, etc.

Todos estos materiales por lo general son dispuestos al aire libre causando efectos estéticos, transmisores de enfermedades y se agrava más el problema, pues algunos de estos residuos sólidos no son biodegradables o si lo son, el proceso es muy lento. Entre éstos, destacan los modernos envases desechables de lata, vidrio, cartón ahulado, plástico y hules.

La agricultura es otra fuente de contaminación de relevancia, ya que ésta genera residuos de animales, material orgánico cuyo D B O es cinco veces mayor que la producida por el hombre; material de erosión en forma de sales inorgánicas, sólidos suspendidos y minerales diversos; microorganismos, fertilizantes y plaguicidas.

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 escurremientos, tarde, o temprano llegan a un cuerpo de agua, causándole al mismo, en forma directa, contaminación orgánica, bacteriológica, por sustancias tóxicas y por sólidos disueltos.

### 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 principalmente aguas de los sanitarios y residuos líquidos y sólidos de la elaboración de alimentos; desechos industriales y materiales de dragado.

La contaminación, tanto intencional, como accidental, es debida principalmente a hidrocarburos.

La intencional, debido a operaciones de deslastre, 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.

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.

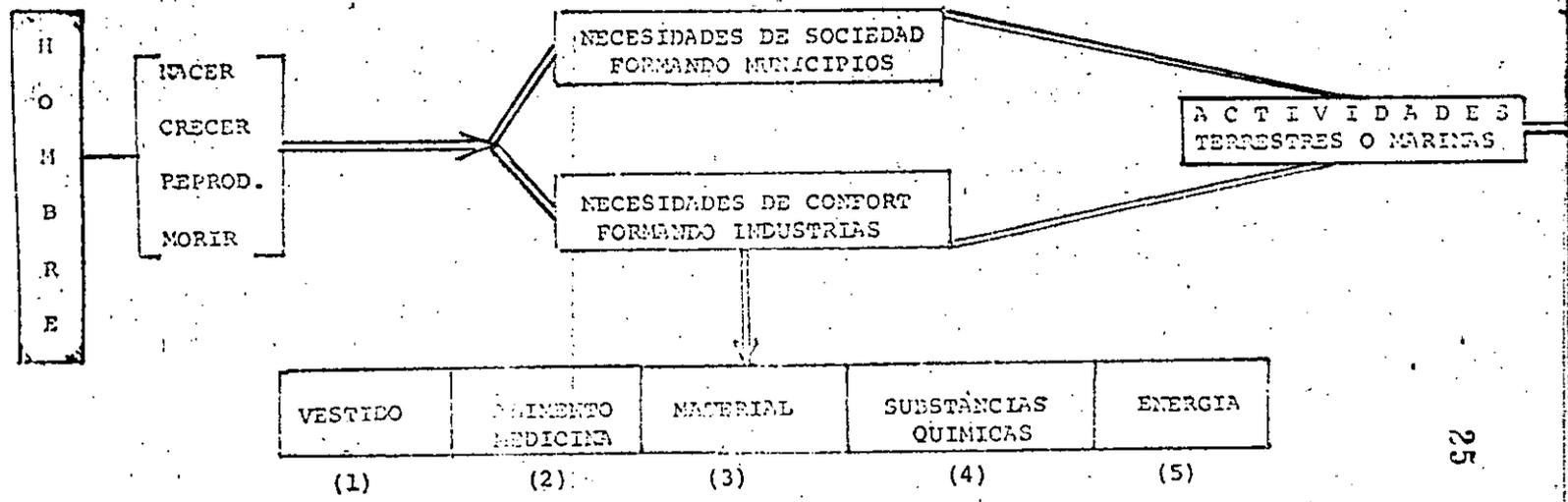
### 3.3. Del aire

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

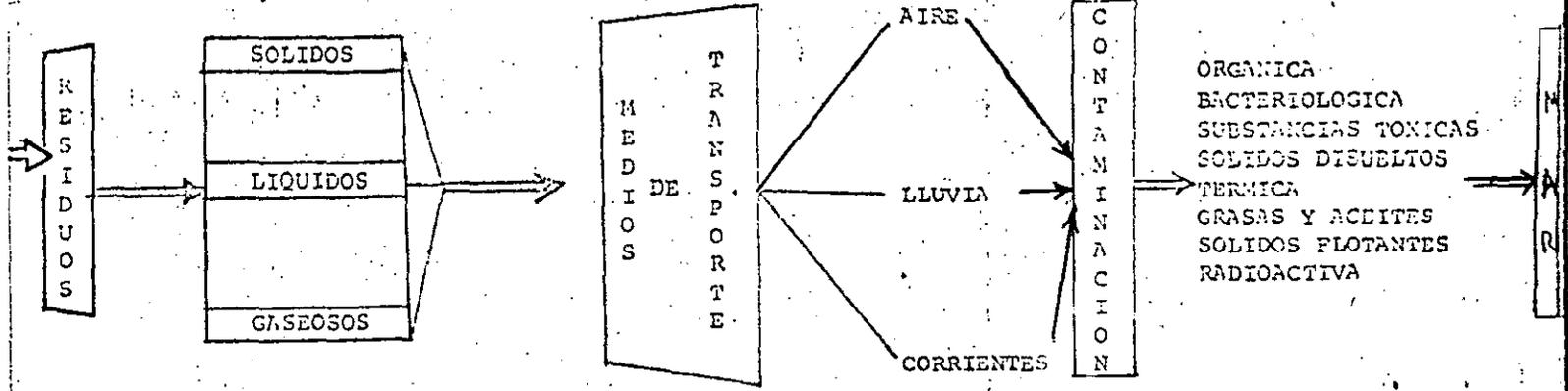
aplicarlos en los cultivos sería un factor predominante en la cantidad de plaguicida que llegue a los cuerpos de agua.

Ver el cuadro 3 que resume todo lo referente a esta parte.



R O - 3

CONTAMINACION DE LAS AGUAS COSTERAS



#### IV.- EFECTOS DE LA CONTAMINACION SOBRE LOS RECURSOS MARITIMO 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:

- 28
- 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) los 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, Heptaclero, etc.

- Plaguicidas Organofosforados

Compuestos que persisten menos en la naturaleza, alrededor de un año, se degradan mas fácilmente.

- Plaguicidas Inorgánicos

Compuestos a base de arsenito de sodio y plomo su permanencia en la naturaleza es de siglos.

#### 4.3.1. Efectos sobre el agua, pesca y hombre

En concentraciones muy bajas son tóxicos para microorganismos y peces; pudiendo llegar a matarlos.

Ahora bien, como la mayoría de plaguicidas no son biodegradables y tienen carácter -- acumulativo; los eslabones superiores de -- los sistemas biológicos (incluido el hom-- bre) son los mas perjudicados.

#### 4.4. Contaminación por metales pesados

La contaminación por metales pesados, es una de las mas graves ya que, aunque estas se presenten en concentraciones muy bajas, tienen un efecto acumulativo, desde -- los eslabones mas bajos, hasta los mas altos en cualquier -- sistema biológico.

La presencia de la mayoría de ellos puede ser na tural, pero cuando causan problemas es en concentraciones

mayores y de origen industrial.

31

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.

#### 4.4.1. 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.

### 32 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 (pingüinos y focas) en las costas de Alaska y Washington, contaminados con plomo, mercurio, cadmio y zinc.

Como se ve el problema es de pensarse, el hombre es uno de los últimos eslabones, por lo tanto uno de los más afectados.

Efectos sobre el hombre, podemos decir sólo uno, los metales pesados activan sobre el sistema nervioso central y al actuar sobre éste; todo tipo de complicaciones podemos esperar.

#### 4.5. Otros tipos de Contaminación

Dentro de otros tipos de contaminación que faltan tenemos los siguientes:

• Contaminación térmica

• Contaminación radiactiva

- Contaminación por sólidos disueltos
- Contaminación por grasas y aceites

#### 4.5.1. Contaminación térmica

Este tipo de contaminación, originada por descargas de aguas residuales calientes, tiene una ingerencia definitiva en la autpurificación 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.

#### 4.5.2. Contaminación radioactiva

Este tipo de contaminación es prácticamente nula en nuestro país; por lo cual no ahondaremos sobre el tema.

#### 4.5.3. 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 acuicultura.

Los riesgos que puede correr la persona que consume aguas con este tipo de contaminación son: fluorosis, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, etc.

#### 4.5.4. Contaminación por grasas y aceites

Es sin duda, este tipo de contaminación, una de las más extensivas en nuestro país; no existe un lugar costero (con embarcaciones) que no esté presente esta contaminación. Su origen es debido principalmente al vertimiento intencional y accidental de lubricantes y combustibles por las embarcaciones -- que transportan o usan de los hidrocarburos. Los efectos que causa esta contaminación son los siguientes:

- . Mancha orillas y se deposita en el fondo.
- . Inhibe la recreación 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.

En el cuadro 4 se resume todo lo referente a este capítulo.

C U A D R O - 4

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
QUIMICA	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 autpurificación 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 células causando efectos mutagénicos

(\*) Los efectos aquí especificados son en términos generales, tanto en grupo de contaminantes, como en agua y pesca.

V. MEDIDAS PREVENTIVAS PARA CONTROLAR LA CONTAMINACION EN OBRAS MARITIMO-PORTUARIAS

5.1 Obras marítimo-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
- 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.

#### 5.2. Medidas preventivas

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, ésto 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.

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

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 acuacultura)
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.  3
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 substancias 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 e fondo de un río, lago, laguna, estuario 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 to-- dos 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.

## CONTAMINACION

Para los fines de este trabajo contaminación es la introducción por el hombre en el medio acuático de sustancias productoras de efectos perjudiciales que pueden causar daño a los recursos vivientes, -- riesgos a la salud humana, obstáculos a las actividades acuáticas, incluida la pesca; deterioro de la calidad del agua para el consumo y reducción de los medios de recreo.

## pH

Es la condición ácida o alcalina de una substancia; su escala es 0 - 14. El pH neutro es igual a 7; un pH ácido es el comprendido entre 0 y 7 y un alcalino entre 7 y 14.

## PLAGUICIDA

Son sustancias químicas que se usan para matar, repeler o inhibir plagas de insectos, hierbas, roedores, etc. por lo que tomarán el nombre de la plaga por repeler; insecticida, herbicida, rodenticida, etc.

MATERIA FLOTANTE	Es el material que flota libremente en la superficie del líquido y que queda retenido en una malla con claro libre cuadrado de 3 mm.
CLORACION	Es la aplicación de cloro al agua, generalmente con fines de desinfección
CONCENTRACION	Es una medida de la cantidad de sustancias disueltas, contenidas por unidad de volumen de solución; la expresión más usual es miligramos por litro.
DESOXIGENACION	Es el agotamiento del contenido del oxígeno disuelto en un líquido.
INFLUENTE	Es el agua que entra en un depósito, es tanque o planta de tratamiento, o a alguna de sus secciones.
EFLUENTE	Agua que sale de un recipiente, o un es tanque, o una planta de tratamiento o de cualquiera de sus secciones.
NUMERO MAS PROBABLE (N M P)	Es una estimación estadística del número de organismos coliformes presentes en una muestra de agua de 100 ml.
PATOGENO	Es un organismo que produce enfermedad
ECOLOGIA	Es la ciencia que trata de las relaciones entre los seres vivos; sistemas y su ambiente.
ECOSISTEMA	Conjunto dinámico de seres vivos y de su medio físico-químico.
BIOTA	Vida animal y vegetal en un región.
COMUNIDAD	Vegetales y animales que viven juntos y constituyen la parte biológica de un ecosistema.
AMBIENTE	Conjunto de organismos y de factores físico-químicos de un lugar, es decir, el ecosistema considerado en relación a una especie u organismo.

**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 11 Enero 1982. Decreto. Ley Federal de Protección al Ambiente -
2. - Diario Oficial 27 Enero 1984. Decreto. Adiciones Reformas a la Ley Federal de Protección al Ambiente
3. - S.S.A. - SARH 1983. Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación de aguas.
4. - APHA, AWWA y 1980. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
5. - Riley y Chester 1978. Introduction to marine chemistry. Academic Press
6. - Fair, Geyer y Okun 1971. Abastecimiento de agua, tratamiento y remoción de aguas residuales. LYMUSA WILEY. Tomo I y II
7. - Turk, Turk y Wites 1973. Ecología, Contaminación y Medio Ambiente. Editorial Interamericana.
8. - López P. 1975. El Medio Ambiente en México. Fondo de Cultura Económica -
9. - OCMI. 1973. Convenio Internacional para prevenir la contaminación por buques. OCMI.  
Inglaterra  
(2-XI-1973)



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

**DESARROLLO COSTERO**

**DETERMINACION DE OLAS EXTREMAS**

**ING. LUIS SALINAS QUINARD**

**DICIEMBRE 1984**

## 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 asintotas, 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

con resultados excelentes, la primera distribución asintótica no está limitada, esto significa que el máximo valor esperado tenderá a crecer sin límite a medida que el intervalo de predicciones se acerca al infinito, es bastante obvio que si esta distribución tiene alguna tendencia, es en la dirección de la sobreestimación. Las predicciones deben ser consideradas con servadoras. La objeción en contra de un valor ilimitado esperado es probablemente sería sólo en principio, puesto que la variable se aproxima al infinito con una lentitud logarítmica, es decir, a un paso muy lento.

Los datos requeridos para una estimación de los valores máximos esperados son una tabulación de los valores máximos alcanzados en un intervalo específico, generalmente un año para -- estimar los valores máximos esperados en un período muy largo, los valores máximos alcanzados se arreglan en orden descendente indicando con "i" el índice de rango. A cada valor alcanzado  $x_{i,i}$  se le asigna una posición de dibujo dada por el valor de frecuencia  $p_i = (N-i)/N$ , donde N es el número de intervalos de observación.

La media de los valores observados  $\bar{x}_N$  y la desviación estándar correspondiente  $\sigma_N$  y la variancia  $\sigma_N^2$  se calculan a partir de:

$$\bar{x}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\sigma_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}_N)^2$$

$$\sigma_N = \sqrt{\sigma_N^2}$$

Se introduce una variable reducida definida como:

$$y = a(x-u)$$

donde "a" es una pendiente y "u" es una moda. Esta variable se relaciona al valor de frecuencia por

$$y = -\ln(-\ln(p))$$

La pendiente se determina a partir de

$$a = E(\sigma_N) / \sigma_N$$

donde  $E(\sigma_N)$  es el valor esperado de la dispersión de N valores (mientras que  $\sigma_N$  es el valor verdadero). La moda es determinada a partir de

$$u = \bar{x}_N - E(y_N)/a$$

donde  $E(y_N)$  es el valor esperado de la variable reducida.

Ambos valores esperados son función de el número total de observaciones. Sin embargo, las diferencias entre los valores esperados para un número infinito de observaciones y para unos pocos (25 a 50) es bastante pequeña de manera que no se introduce un error apreciable usando los valores correspondientes a observaciones infinitas en cuyo caso:

$$E(\sigma) = E(\sigma_N) = \pi \sqrt{6}$$

$$E(y) = E(y_N) = 0.5772 \text{ (número de Euler)}$$

La curva de extremos es entonces:

$$\begin{aligned}
 x &= u + y/a \\
 &= \bar{x}_N + \sigma_N \sqrt{6/\pi} (y-0.5772)
 \end{aligned}$$

### Bandas de Confianza

Esta es la línea ajustada de predicción a través de los máximos, estando estos máximos así mismos ya sea verdaderos o predichos, dispersos alrededor de esta línea media. Para tener una idea de la validez del método y de la dispersión que se debe esperar, se determina bandas de confianza que definen al error estandar. Hay 2 tipos de tales bandas: una es una función de la variable reducida y es válida para describir la dispersión de la mayor parte de los valores máximos, un segundo tipo es una función de la pendiente y se aplica a los valores extremos predichos. El primer conjunto de bandas de confianza relacionadas con el cuerpo o la masa de los datos se localiza de un lado o del otro, de la ordenada x a la distancia de:

$$\Delta x = \pm (f(p)/a \sqrt{N})n$$

donde "n" es el número de desviaciones estandar y

$$f(p) = \sqrt{(1/p)^{-1}/(-\ln(p))}$$

Esta función tiene los valores siguientes (Ver figura 5-1):

y	f(p)
0.00	1.31
0.51	1.51
1.00	1.83
1.50	2.24
2.25	3.16
2.97	4.47
3.90	7.07
4.60	10.00

Si la masa de los datos se sitúan bien dentro de una desviación estandar a partir de la línea media esperada hay confianza en que la ley de extrapolación es válida, si los puntos se colocan más allá de tres desviaciones estandar a partir de la media, la validez de la ley expuesta de extremos es dudosa. El segundo conjunto de bandas de confianza esta localizado en uno u otro lados de los extremos máximos de "x" a la distancia:

$$x_i = f_i (n)/a$$

donde la función de  $f_i(n)$  depende del índice de rango y del número de desviaciones estandar de la dispersión. Se aplica la tabla 5-1.

Tabla 5-1

Valores de  $f_i(n)$

i	n	
	1	2
1	1.140	3.07
2	0.754	1.78
3	0.589	1.35
4	0.538	1.17

En la práctica sólo los valores correpondientes a  $i = 1$  son de interés.

El período de retorno se calcula a partir de

$$T_r = \exp(y) + 1/2$$

una expresión que es válida mientras  $T_r > 7$ . El riesgo se determina del período de vida útil deseado de la estructura  $T_1$  y del período de retorno de diseño  $T_d$ . Para períodos de re--

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 $-\ln[-\ln(p)]$
		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:

$$T_d = \frac{100}{n(1-0.1)} = 949 \text{ años}$$

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:

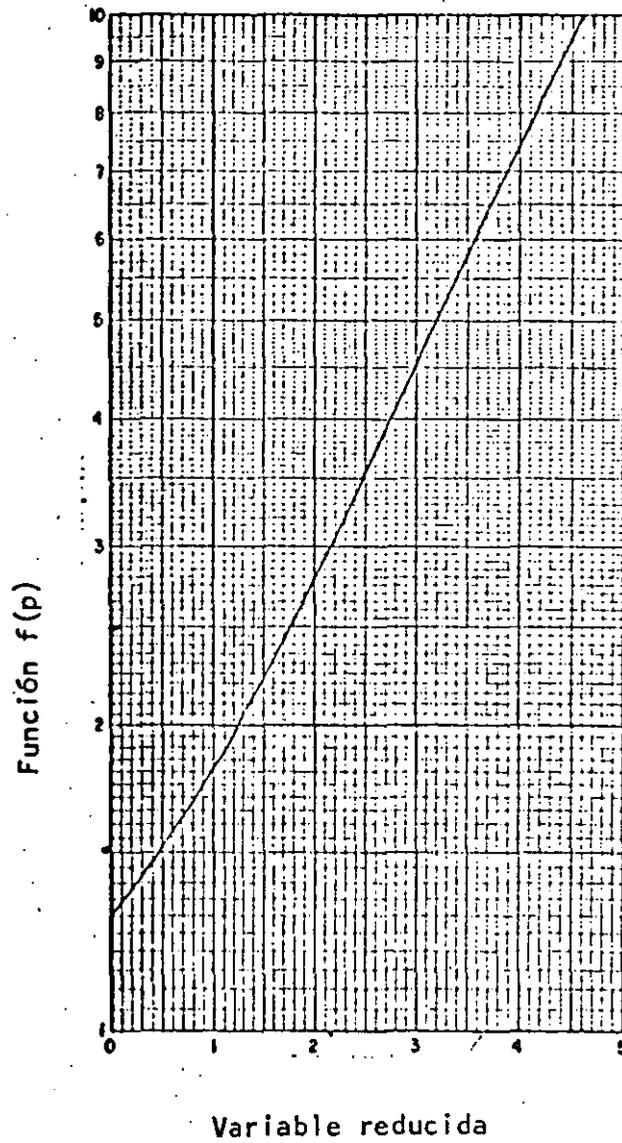
$$12.94 + 3.49 = 16.43 \text{ ft}$$

Referencias:

## REFERENCIAS

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



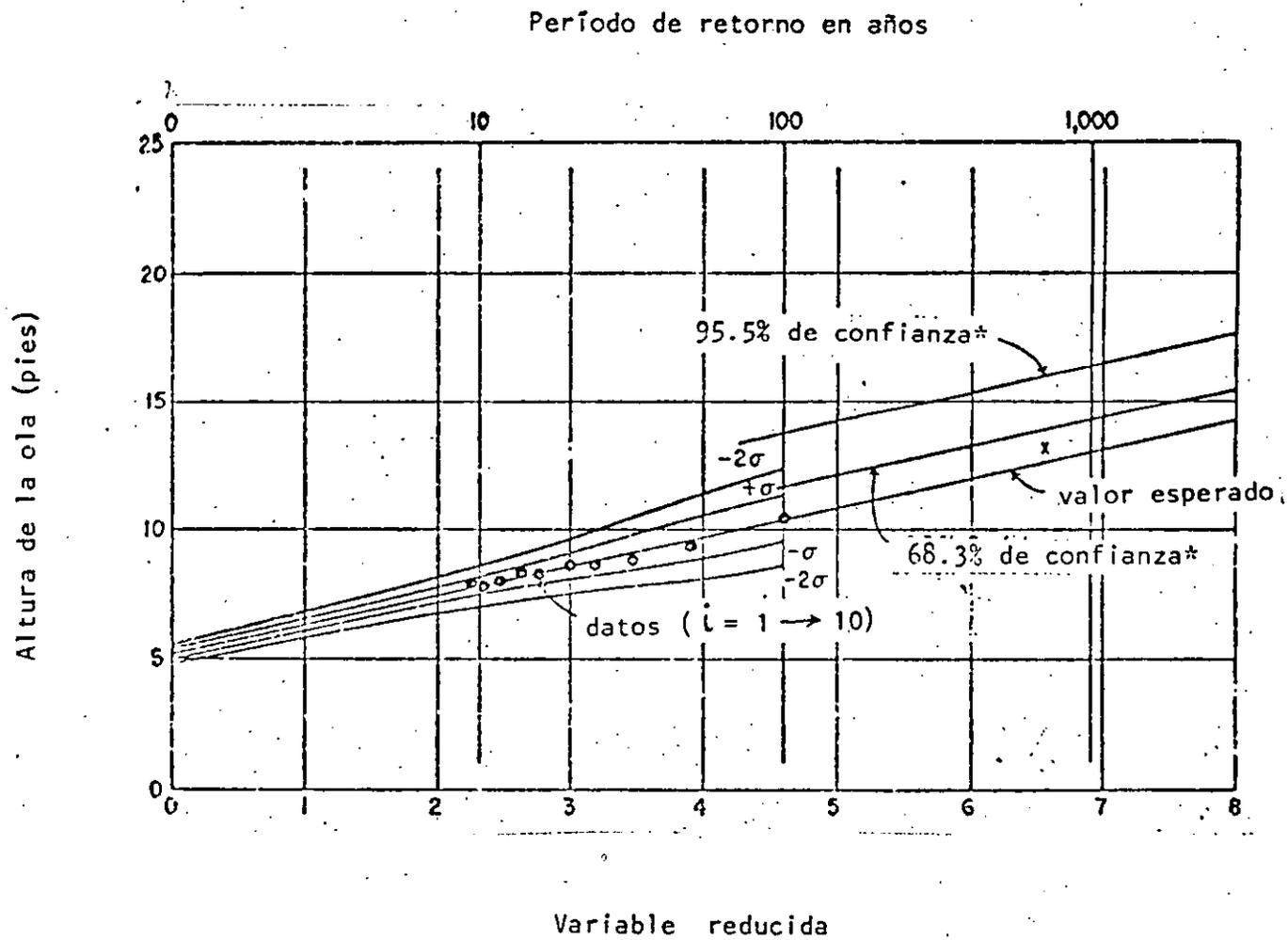
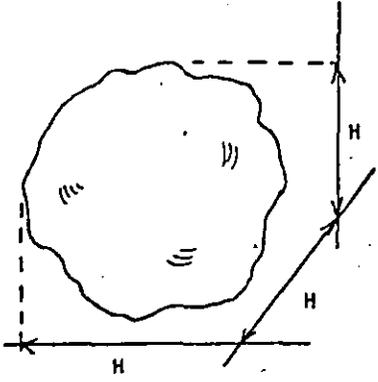
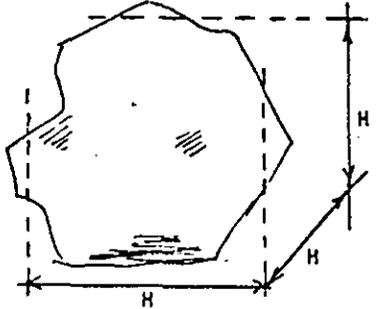
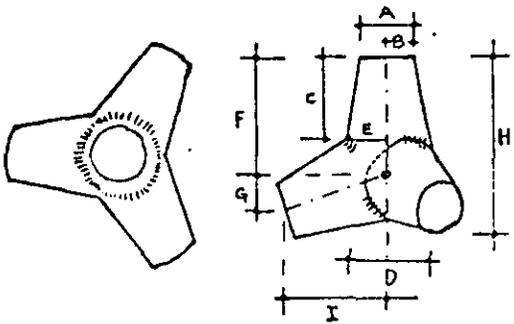
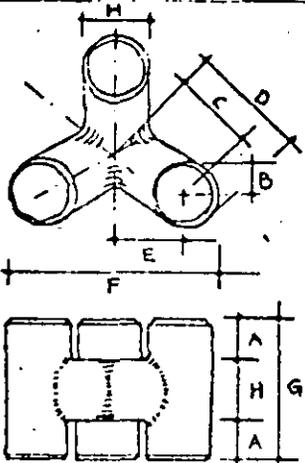
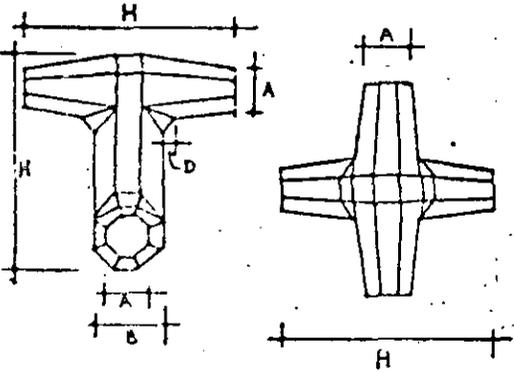
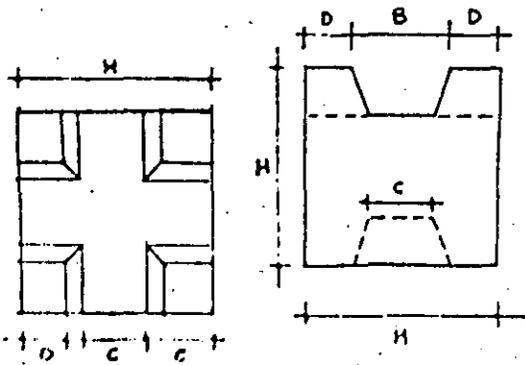


Fig. 5.2

ELEMENTO CONSTITUTIVO DE LA CORAZA	DIMENSIONES APROX. DEL ELEMENTO EN FUNCION DE SU PESO				N° CAPAS	COLOCACION	VALORES K <sub>D</sub> (SIN DAÑO)					EFICIENTE CAPA Y POROSIDAD								
	PESO	H <sup>2</sup>	VOLUMEN	DIMENSION			TRONCO		MORRO		TALUD	K <sub>Δ</sub>	P (%)							
							OLA ROMP.	NO ROMP.	OLA ROMP.	NO ROMP.				COT θ						
ROCA REDONDA							h													
	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		3	AL AZAR	2.8	3.2	2.1	2.3			1.5 a 3						
	15000	1.83		E																
	17500	1.93		F																
	20000	2.01		G		Para n = 1, K = 1.02 y Peso esp. de la roca = 2.6 Ton/m <sup>3</sup>														
	25000	2.17		I																
	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		2	AL AZAR	3.5	4.0	2.5			2.8	2.0						
15000		2.06		E																
17500		2.17		F																
20000		2.27		G		3	AL AZAR	3.9	4.5	3.7			4.2	1.5 a 3						
25000		2.45		I											2	ESPECIAL	4.8	5.5	3.5	4.5
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	5.9	6.6	1.5	1.04	50							
	7500	2.35		B																
	10000	2.59		C																
	12500	2.78		D					2	AL AZAR	7.2			8.3	5.5	6.1	2.0			
	15000	2.96		E																
	17500	3.12		F																
	20000	3.25		G					Concreto ciclópeo: 2.3 Ton/m <sup>3</sup>											
	25000	3.51		I																

ELEMENTO CONSTITUTIVO DE LA CORAZA	DIMENSIONES APROXIMADAS DEL ELEMENTO EN FUNCIONES DE				N° CAPAS	COLOCACION	VALORES K <sub>D</sub> (SIN DAÑO)					COEFICIENTE DE CAPA Y POROSIDAD													
	PESO	H <sub>0</sub>	VOLUMEN	DIMENSION			TRONCO		MORRO		TALLADO	K	P (%)												
							OLA ROMP.	OLA NO ROMP.	OLA ROMP.	OLA NO ROMP.				COT B											
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	0.83		B	0.5 H										8.3	9.0	1.5								
	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											1	UNIFORMES	12.0	15.0	7.5	9.5	1.5 a 3	1.13	47		
	* Aproximadamente (para fines de ante proyecto)																								
	DOLLOS 	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																						

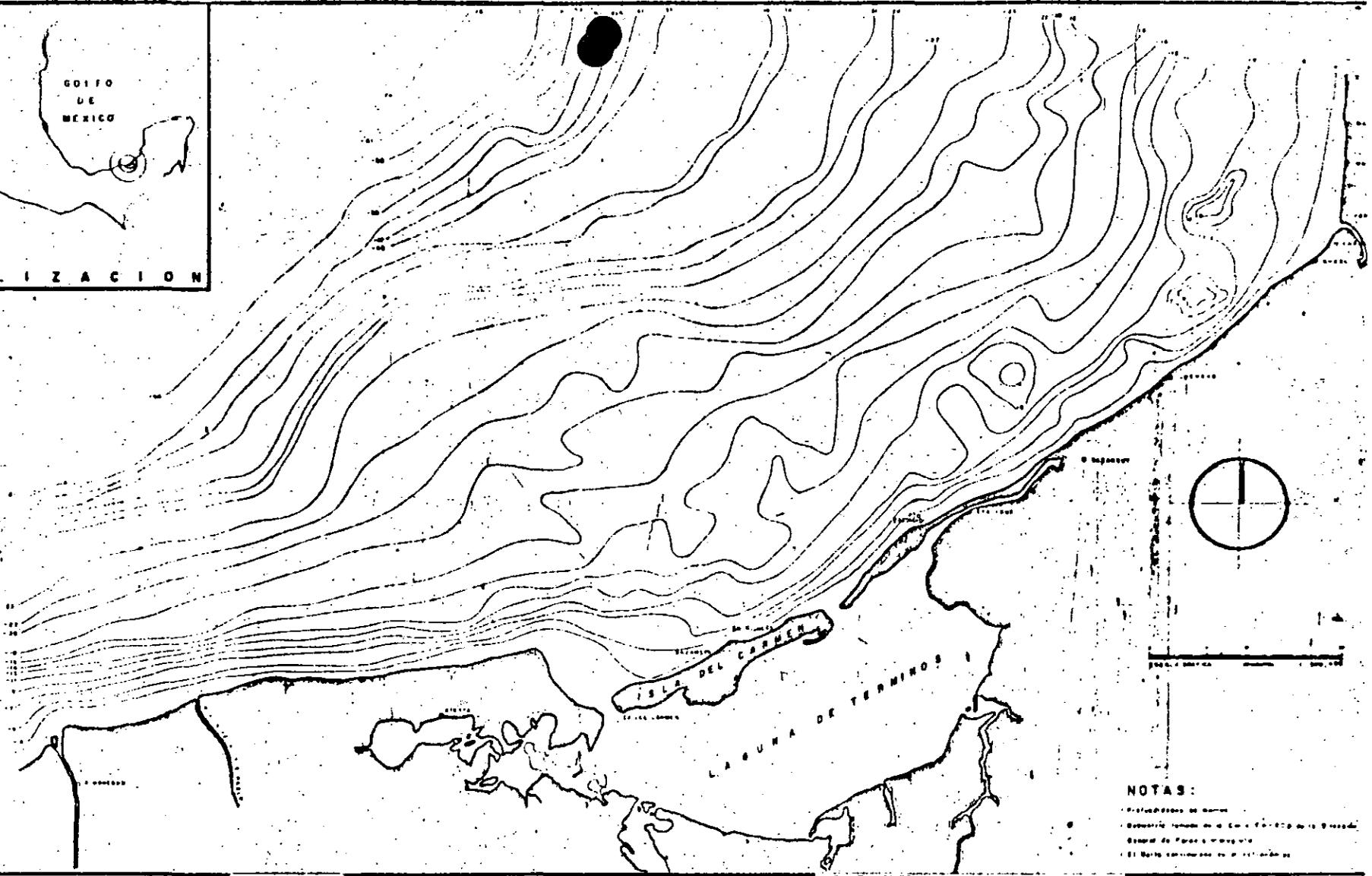


**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA  
FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.**

DESARROLLO COSTERO

TEMA: CASOS PRACTICOS.

DICIEMBRE, 1984.



NOTAS:

Profundidades en metros

Sección tomada en el Canal de Terminos de la Bahía General de Pinar del Rio

El Mapa continuará en el siguiente

C.I.F.S.A. INGENIEROS EN INGENIERIA

1952

SECRETARIA DE MARINA

DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

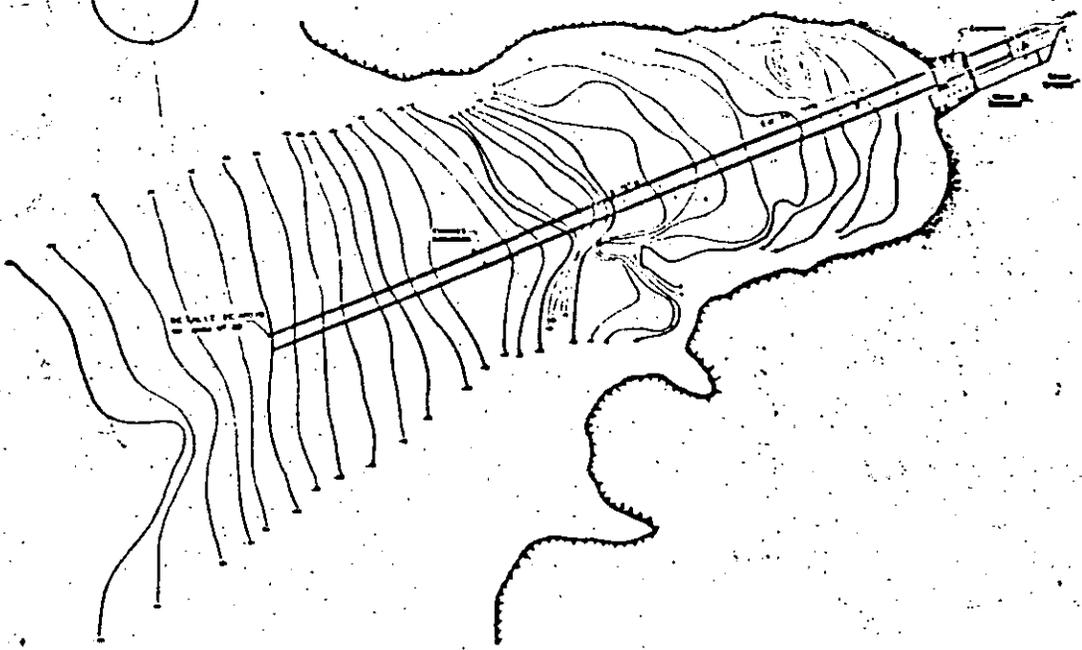
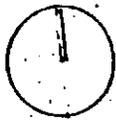
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

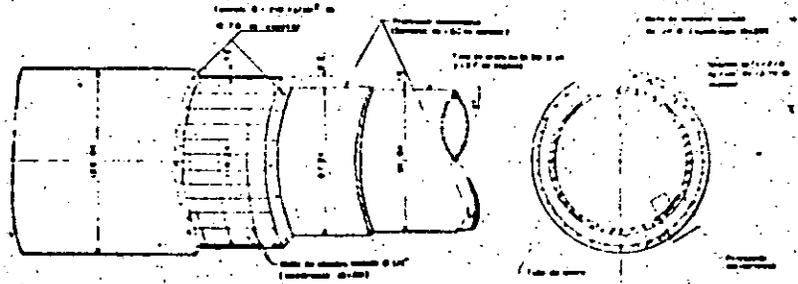
ESTUDIO DE LA LAGUNA DEL CARMEN, CUBA

PLANO GENERAL

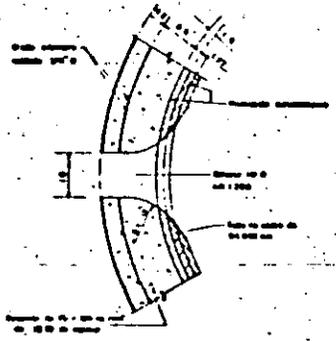




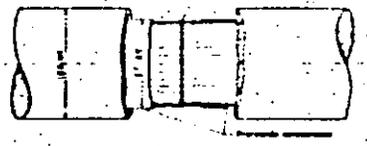
L O C A L I Z A C I O N



VISTA LONGITUDINAL CORTE TRANSVERSAL  
ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL EMISOR



DETALLE DEL DIFUSOR



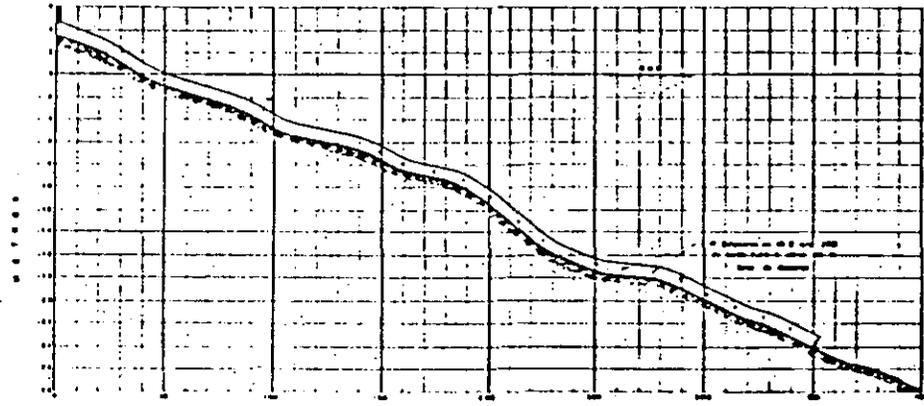
DETALLE TIPICO DE JUNTA DE UNION



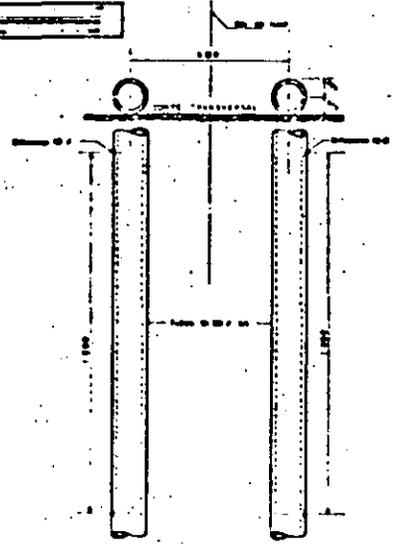
DETALLE DE SOLDADURA

NOTAS:

- 1. Dimensiones en centímetros salvo que se indique lo contrario.
- 2. El material de construcción será el que se indique en el presente proyecto.
- 3. El emisor deberá ser capaz de operar a una profundidad máxima de 100 metros.
- 4. El emisor deberá ser capaz de operar a una temperatura ambiente de 10°C.
- 5. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.
- 6. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.
- 7. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.
- 8. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.
- 9. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.
- 10. El emisor deberá ser capaz de operar a una velocidad de flujo de 100 cm/s.



PERFIL LONGITUDINAL DEL EMISOR



SEPARACION ENTRE EMISORES Y DIFUSORES

SC 9 001-828

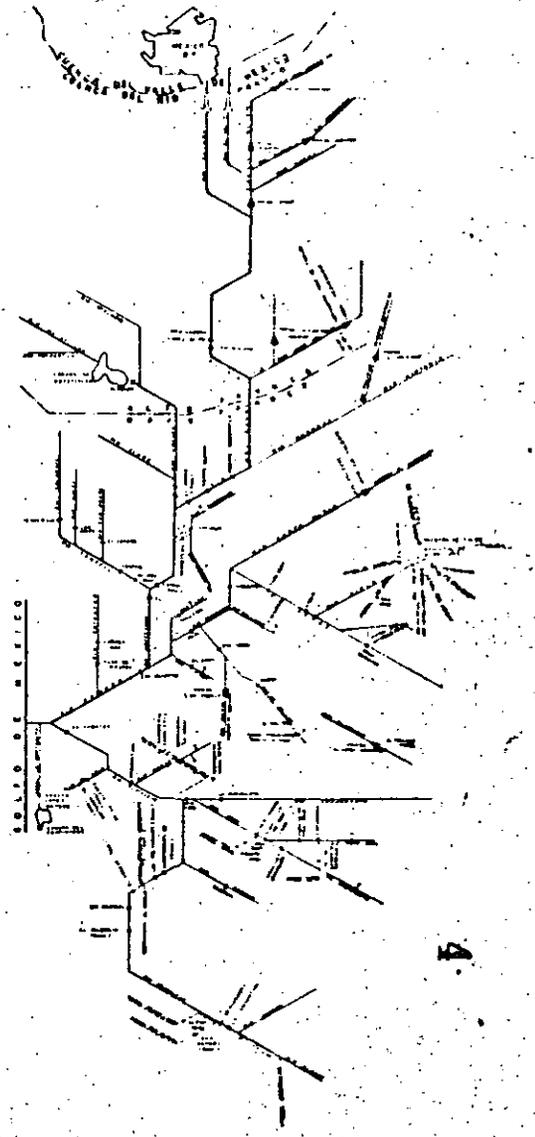
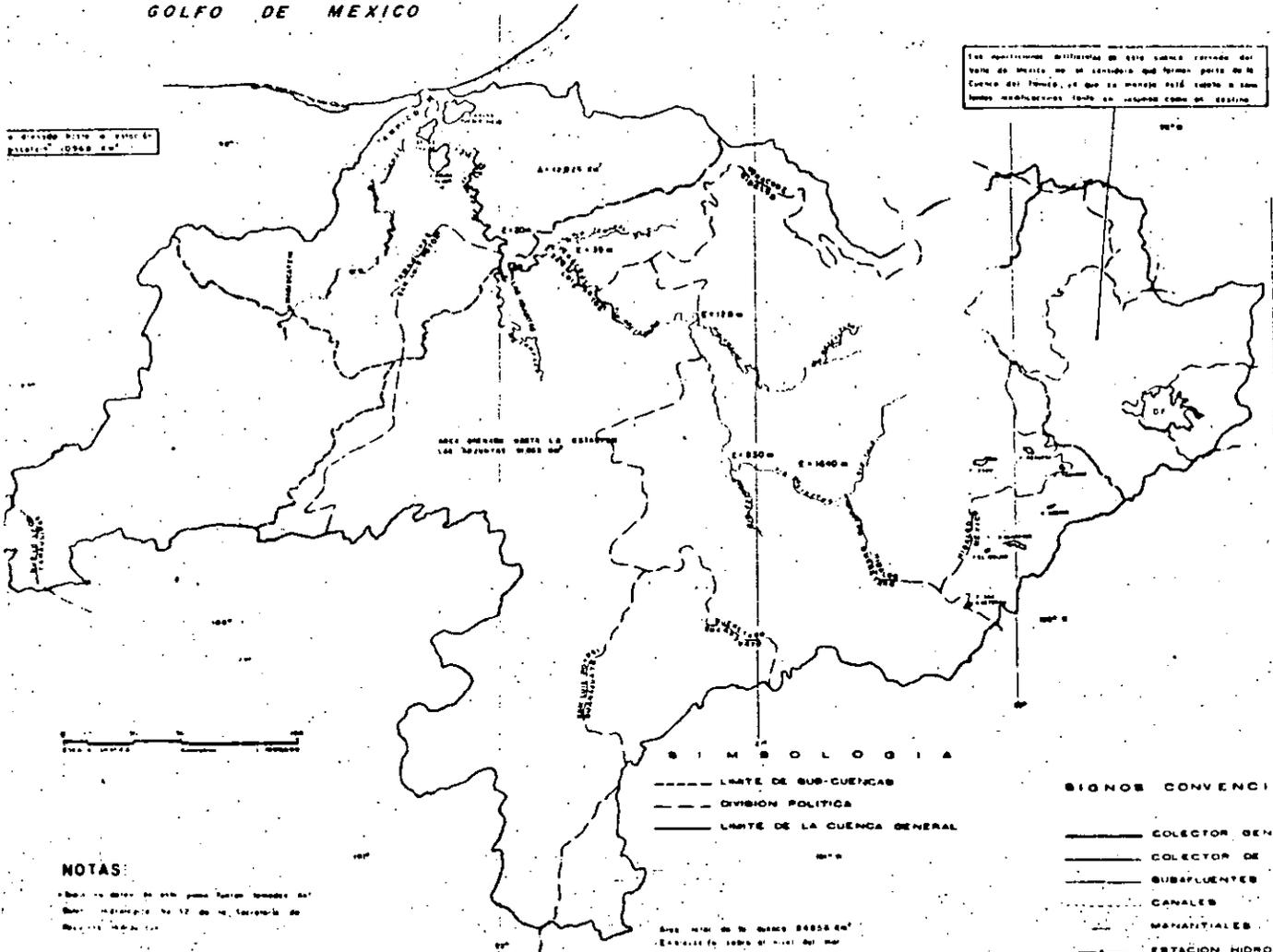
Revisado: [Signature]

**CISA**  
 INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 S.A.  
 CARRERAS 1000, MONTEVIDEO, URUGUAY  
 TELEFONO 22.000

SECRETARIA DE RECURSOS MINERALES  
 SUBSECRETARIA DE CONSTRUCCION  
 COMISION GENERAL DE OBRAS PUBLICAS Y PLANTAS AEREA  
**EMISOR SUBMARINO**  
 (PLAYA OLVIDADA)  
 1958

1:500,000

Los aperturas militares de este campo cerrado del Valle de Mexico, en el sentido que forma parte de la Cuenca del Panuco, se que se maneja está sobre a sus lomas modificadas todo en conjunto como un sistema.



SI M B O L O G I A

- LÍNEA DE SUB-CUENCAS
- DIVISION POLITICA
- LÍNEA DE LA CUENCA GENERAL

SIGNOS CONVENCIONALES

- COLECTOR GENERAL
- COLECTOR DE AFLUENTES
- SUBAFLUENTES
- ..... CANALES
- ..... MANANTIALES
- |— ESTACION HIDROMETRICA
- |— PRESA DERIVADORA
- |— PRESA DE ALMACENAMIENTO

NOTAS:  
 Escala horizontal 1:500,000  
 Escala vertical 1:100,000

Escala horizontal 1:500,000  
 Escala vertical 1:100,000

C.I.F.S.A. (Comisión Interamericana de Fomento y Asesoría)

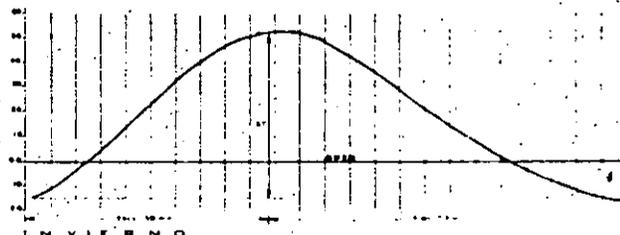
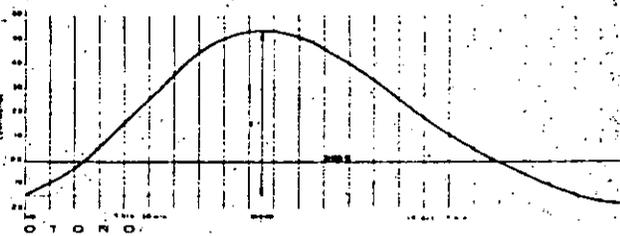
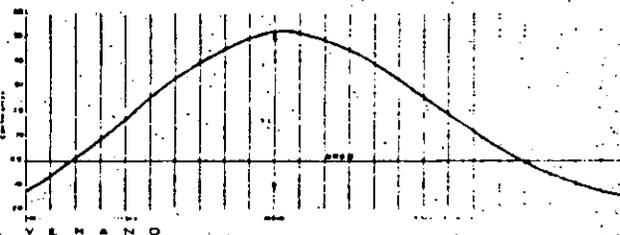
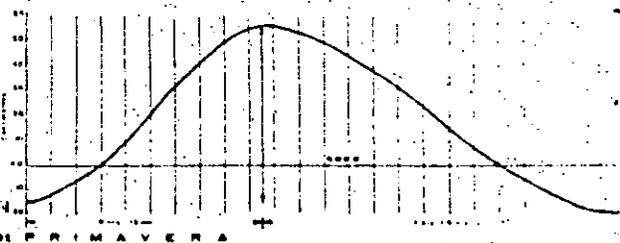
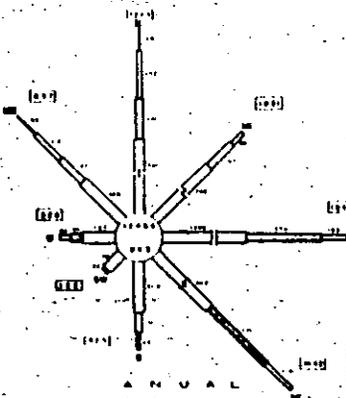
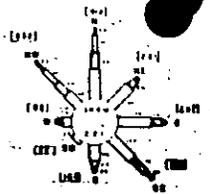
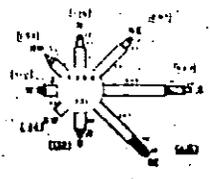
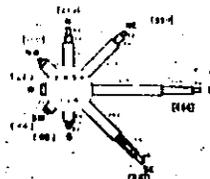
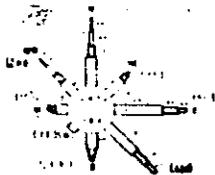

SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE DRAGADO  
 DEPARTAMENTO DE PLANEACION

*[Signature]*

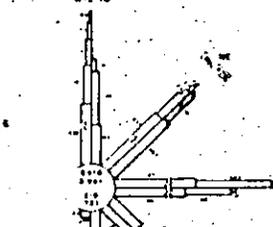
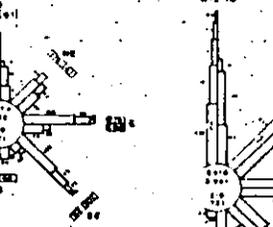
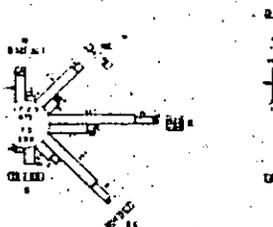
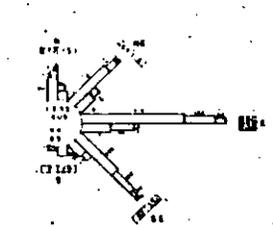
FORMULARIO DE REGISTRO


CUENCA GENERAL DEL RIO PANUCO

PA-01

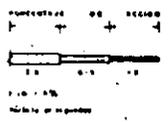


VIENTOS



OLEAJES

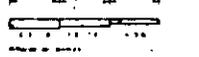
CLAVE PERIODOS DE OLAJE



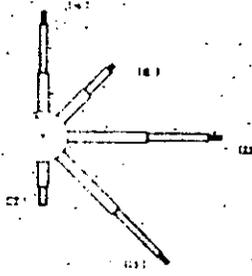
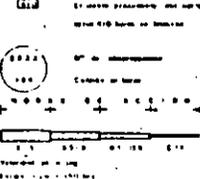
CLAVE OLAJE



OLEAJE DISTANTE



CLAVE VIENTOS



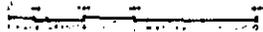
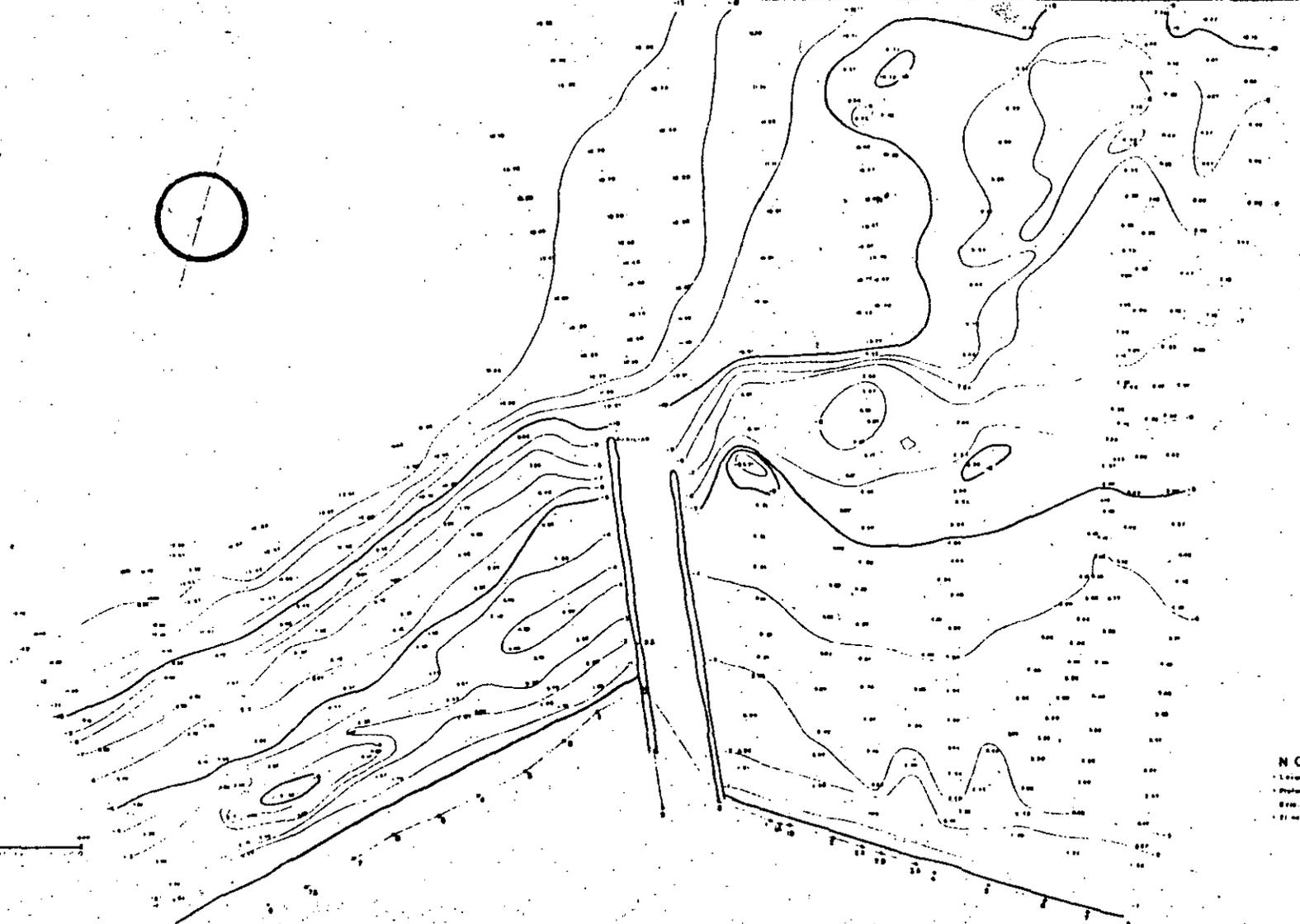
NOTAS:

Los datos de viento y mareas son tomados del Observatorio de San Pedro de Macoris, Dirección General de Dragado, Departamento de Planeación y Estadística.  
 Los datos de temperatura son tomados de los registros de la Estación Meteorológica de San Pedro de Macoris (1960-1971).

C.I.F.S.A. *[Handwritten signatures and stamps]*

SECRETARIA DE MARINA  
 DIRECCION GENERAL DE DRAGADO  
 DEPARTAMENTO DE PLANEACION Y ESTADISTICA

DATOS OCEANOGRAFICOS  
 Y METEOROLOGICOS  
 AGOSTO 1971 PA-0



6

**NOTAS:**

- 1. Levantamiento efectuado en Julio de 1973
- 2. Profundidades en metros sobre el nivel del Mar
- 3. E.T.M. 1960
- 4. El mar en calma

**C.I.F.S.A.**

**SECRETARIA DE MARINA**  
**DIRECCION GENERAL DE DRAGADO**  
**DEPARTAMENTO DE PLANEACION**

ALFONSO RODRIGUEZ

**LEVANTAMIENTO BATIMETRICO**  
**FRENTE MARITIMO**  
**(JULIO DE 1973)**

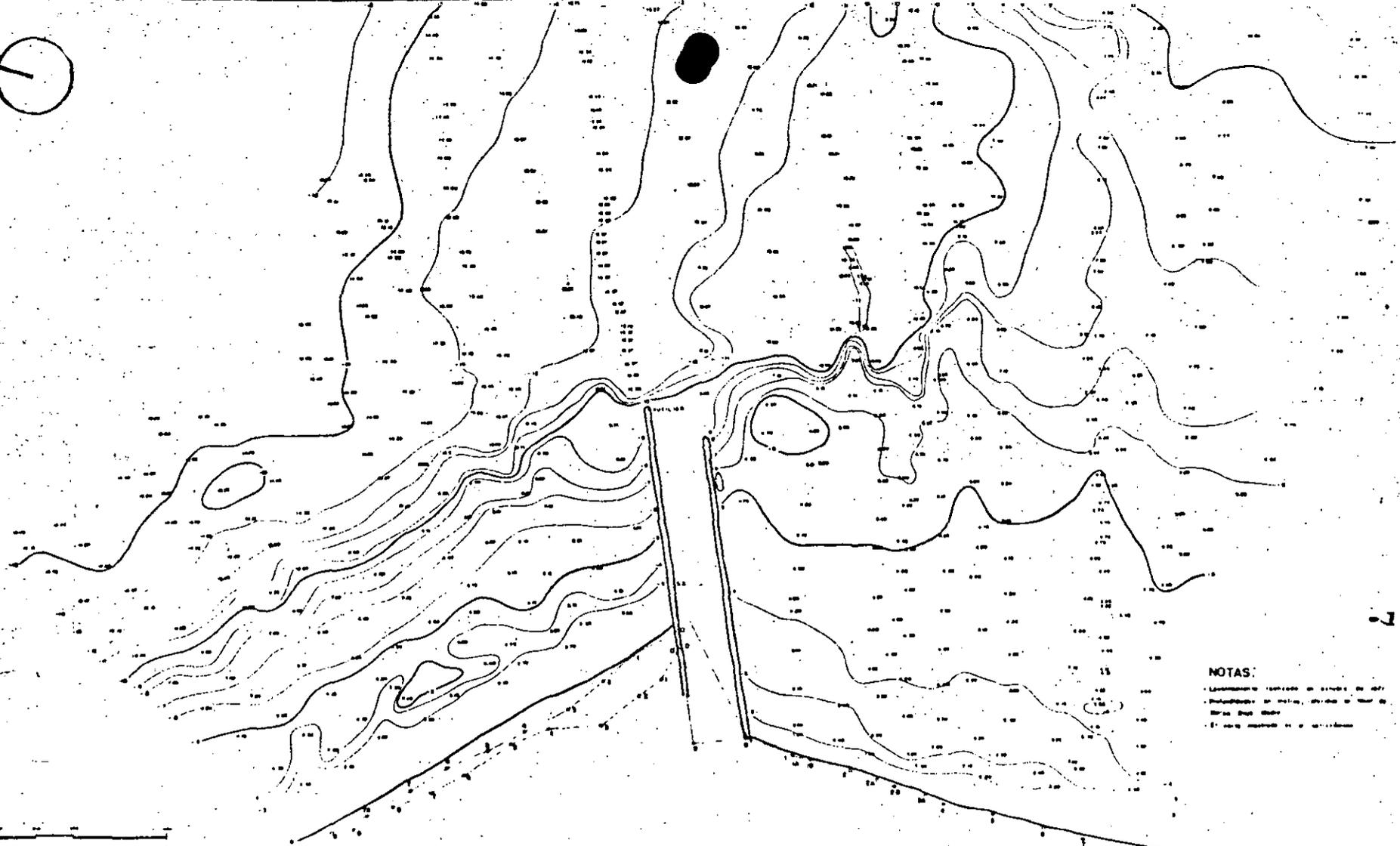
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ELABORADO POR: *[Signature]*  
 REVISADO POR: *[Signature]*  
 APROBADO POR: *[Signature]*

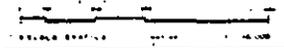
ELABORADO POR: *[Signature]*  
 REVISADO POR: *[Signature]*  
 APROBADO POR: *[Signature]*

PA-07

7



**NOTAS:**  
 - Levantamiento realizado en aguas de 100 m.  
 - Profundidades en metros, salvo en caso de  
 fondeo que están en brazas.  
 - El fondo aparece en su verdadera forma.



**C.I.F.S.A.** COMPAÑIA INTEROCEANICA DE FLOTAS SA  
 DE NAVIGACION Y TRANSPORTES SA

NO. DE PLAN	FECHA	ESTADO	PROYECTO	ESCALA	PROYECTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR

**SECRETARIA DE MARINA**  
**DIRECCION GENERAL DE DRAGADO**  
**DEPARTAMENTO DE PLANEACION**

LUIS B. ZARZA CANALES  
 CARLOS GONZALEZ  
 CARLOS GONZALEZ  
 CARLOS GONZALEZ

ESTADO	PROYECTO	ESCALA	PROYECTADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR

**LEVANTAMIENTO BATIMETRI-  
 FRENTE MARITIMO**  
 OCTUBRE DE 1971

ENERO DE 1967 A JULIO DE 1967

AGOSTO DE 1967 A JULIO DE 1968

AGOSTO DE 1968 A OCTUBRE DE 1968

NOVIEMBRE DE 1968 A JUNIO DE 1969

JULIO DE 1969 A OCTUBRE DE 1969

NOVIEMBRE DE 1969 A ABRIL DE 1970

MAYO DE 1970 A JUNIO DE 1971

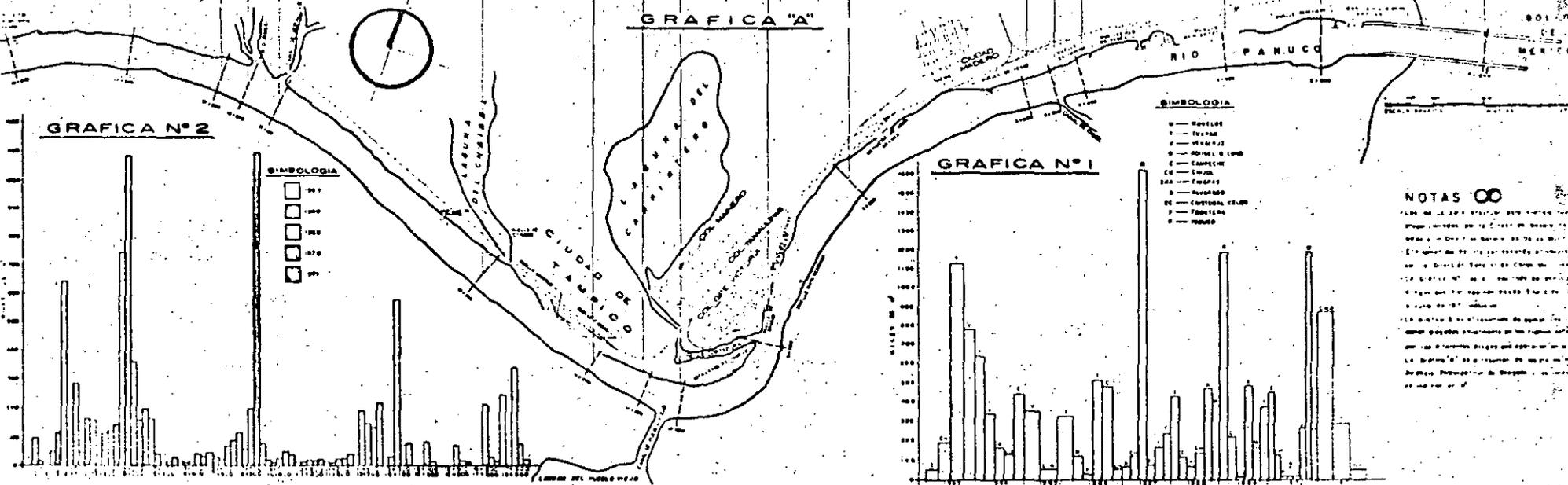
GRAFICA "A"

GRAFICA N° 2

GRAFICA N° 1

SIMBOLOGIA

NOTAS



**C.I.F.S.A.** INSTITUCION DE INVESTIGACIONES Y ESTADISTICAS

FECHA	1971
PROYECTO	ESTUDIO DEL CAUCE DEL RIO PARUQUE
ENCARGADO	[Signature]
ELABORADO POR	[Signature]

**SECRETARIA DE MARINA**  
DIRECCION GENERAL DE DRAGADO  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANEACION

ENCARGADO	[Signature]
ELABORADO POR	[Signature]

ENCARGADO	[Signature]
ELABORADO POR	[Signature]

**ANALISIS COMPARATIVO Y CUANTITATIVO DE LA EVOLUCION DEL CAUCE**

PA-72

ESPECION	LONGITUD	NÚMERO	LOCALIZACION
1	10	0 10' 00" N	00 01 000
2	10	0 10' 00" N	00 01 000
3	10	0 10' 00" N	00 01 000
4	10	0 10' 00" N	00 01 000
5	10	0 10' 00" N	00 01 000
6	10	0 10' 00" N	00 01 000
7	10	0 10' 00" N	00 01 000
8	10	0 10' 00" N	00 01 000
9	10	0 10' 00" N	00 01 000
10	10	0 10' 00" N	00 01 000
11	10	0 10' 00" N	00 01 000
12	10	0 10' 00" N	00 01 000
13	10	0 10' 00" N	00 01 000
14	10	0 10' 00" N	00 01 000
15	10	0 10' 00" N	00 01 000
16	10	0 10' 00" N	00 01 000
17	10	0 10' 00" N	00 01 000
18	10	0 10' 00" N	00 01 000

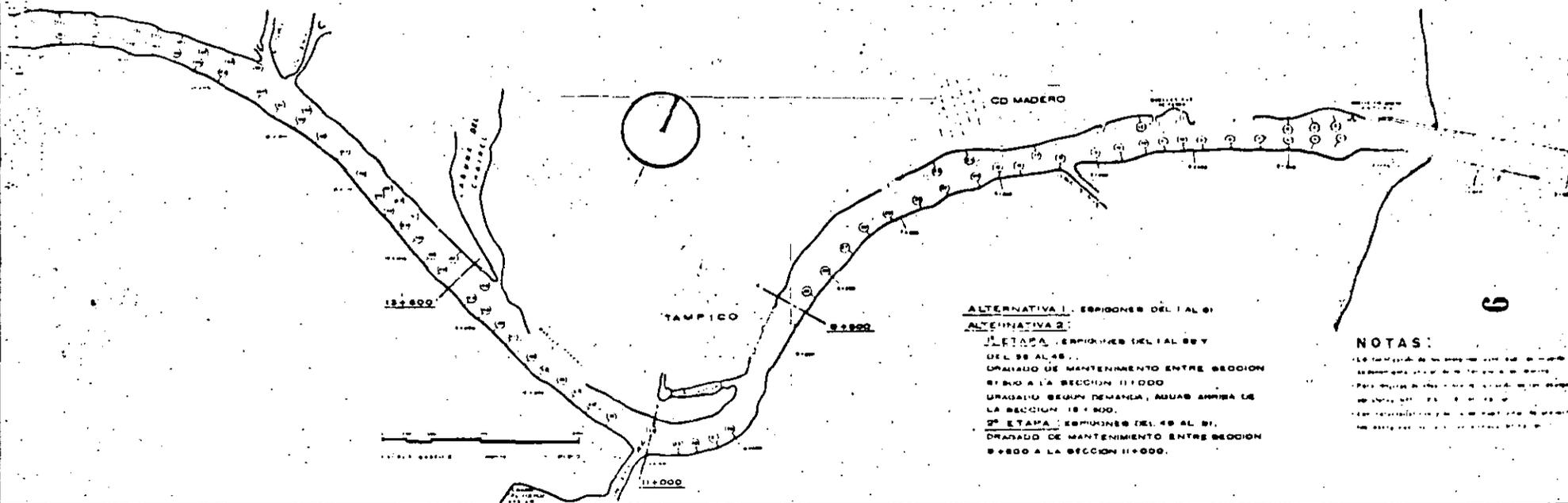
ESPECION	LONGITUD	NÚMERO	LOCALIZACION
19	10	0 10' 00" N	00 01 000
20	10	0 10' 00" N	00 01 000
21	10	0 10' 00" N	00 01 000
22	10	0 10' 00" N	00 01 000
23	10	0 10' 00" N	00 01 000
24	10	0 10' 00" N	00 01 000
25	10	0 10' 00" N	00 01 000
26	10	0 10' 00" N	00 01 000
27	10	0 10' 00" N	00 01 000
28	10	0 10' 00" N	00 01 000
29	10	0 10' 00" N	00 01 000
30	10	0 10' 00" N	00 01 000
31	10	0 10' 00" N	00 01 000
32	10	0 10' 00" N	00 01 000
33	10	0 10' 00" N	00 01 000
34	10	0 10' 00" N	00 01 000
35	10	0 10' 00" N	00 01 000

ESPECION	LONGITUD	NÚMERO	LOCALIZACION
36	10	0 10' 00" N	00 01 000
37	10	0 10' 00" N	00 01 000
38	10	0 10' 00" N	00 01 000
39	10	0 10' 00" N	00 01 000
40	10	0 10' 00" N	00 01 000
41	10	0 10' 00" N	00 01 000
42	10	0 10' 00" N	00 01 000
43	10	0 10' 00" N	00 01 000
44	10	0 10' 00" N	00 01 000
45	10	0 10' 00" N	00 01 000
46	10	0 10' 00" N	00 01 000
47	10	0 10' 00" N	00 01 000
48	10	0 10' 00" N	00 01 000
49	10	0 10' 00" N	00 01 000
50	10	0 10' 00" N	00 01 000

ESPECION	LONGITUD	NÚMERO	LOCALIZACION
51	10	0 10' 00" N	00 01 000
52	10	0 10' 00" N	00 01 000
53	10	0 10' 00" N	00 01 000
54	10	0 10' 00" N	00 01 000
55	10	0 10' 00" N	00 01 000
56	10	0 10' 00" N	00 01 000
57	10	0 10' 00" N	00 01 000
58	10	0 10' 00" N	00 01 000
59	10	0 10' 00" N	00 01 000
60	10	0 10' 00" N	00 01 000
61	10	0 10' 00" N	00 01 000
62	10	0 10' 00" N	00 01 000
63	10	0 10' 00" N	00 01 000
64	10	0 10' 00" N	00 01 000
65	10	0 10' 00" N	00 01 000
66	10	0 10' 00" N	00 01 000
67	10	0 10' 00" N	00 01 000
68	10	0 10' 00" N	00 01 000
69	10	0 10' 00" N	00 01 000
70	10	0 10' 00" N	00 01 000
71	10	0 10' 00" N	00 01 000
72	10	0 10' 00" N	00 01 000
73	10	0 10' 00" N	00 01 000
74	10	0 10' 00" N	00 01 000
75	10	0 10' 00" N	00 01 000
76	10	0 10' 00" N	00 01 000
77	10	0 10' 00" N	00 01 000
78	10	0 10' 00" N	00 01 000
79	10	0 10' 00" N	00 01 000
80	10	0 10' 00" N	00 01 000
81	10	0 10' 00" N	00 01 000
82	10	0 10' 00" N	00 01 000
83	10	0 10' 00" N	00 01 000
84	10	0 10' 00" N	00 01 000

ESPECION	LONGITUD	NÚMERO	LOCALIZACION
85	10	0 10' 00" N	00 01 000
86	10	0 10' 00" N	00 01 000
87	10	0 10' 00" N	00 01 000
88	10	0 10' 00" N	00 01 000
89	10	0 10' 00" N	00 01 000
90	10	0 10' 00" N	00 01 000
91	10	0 10' 00" N	00 01 000
92	10	0 10' 00" N	00 01 000
93	10	0 10' 00" N	00 01 000
94	10	0 10' 00" N	00 01 000
95	10	0 10' 00" N	00 01 000
96	10	0 10' 00" N	00 01 000
97	10	0 10' 00" N	00 01 000
98	10	0 10' 00" N	00 01 000
99	10	0 10' 00" N	00 01 000
100	10	0 10' 00" N	00 01 000

M D = MARGEN DERECHA  
M I = MARGEN IZQUIERDA



**ALTERNATIVA 1:** ESPIGONES DEL 10 AL 81.  
**ALTERNATIVA 2:**  
1ª ETAPA: ESPIGONES DEL 10 AL 87.  
DEL 88 AL 85.  
DRAJADO DE MANTENIMIENTO ENTRE SECCION 81800 A LA SECCION 11+000.  
URAGANO SEGUN DEMANDA, AGUAS ARRIBA DE LA SECCION 12+800.  
2ª ETAPA: ESPIGONES DEL 49 AL 81.  
DRAJADO DE MANTENIMIENTO ENTRE SECCION 9+800 A LA SECCION 11+000.

**NOTAS:**  
1. El proyecto de los espigones del 10 al 81...  
2. Para espigones de otros tipos...  
3. El mantenimiento...  
4. El mantenimiento...

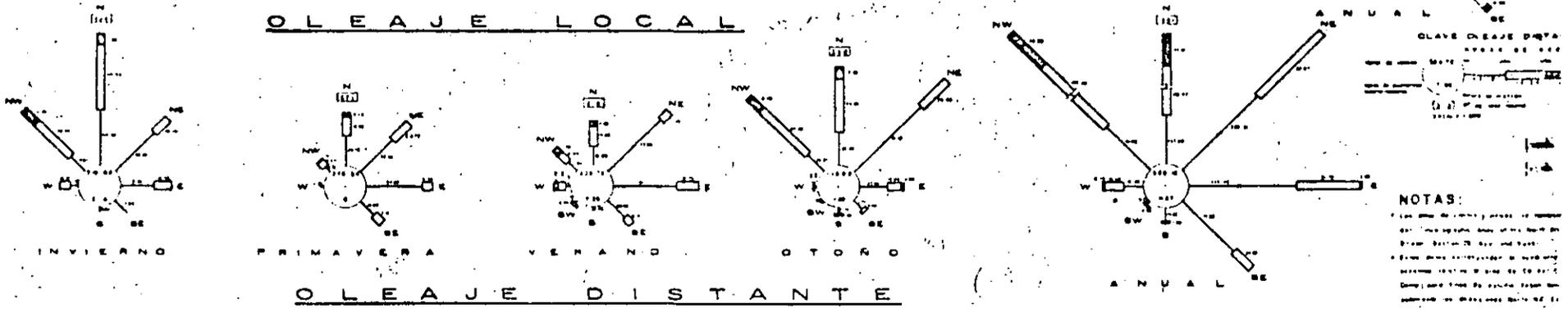
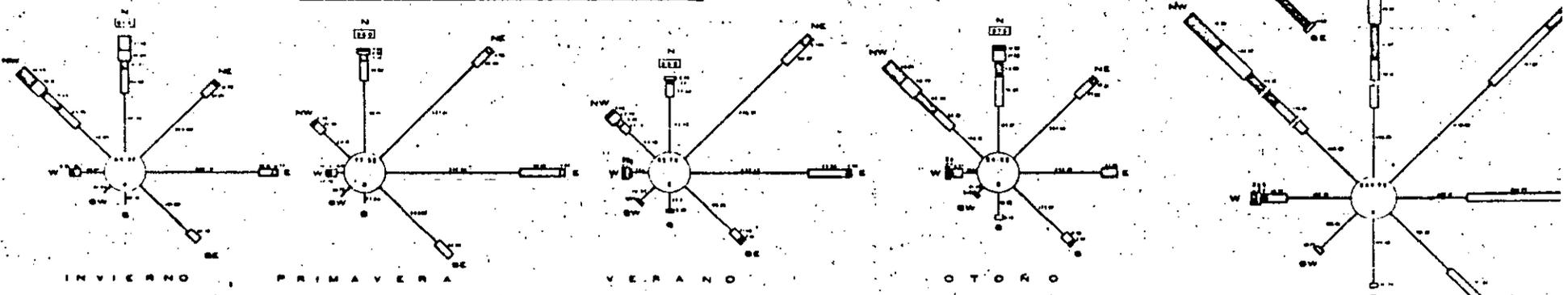
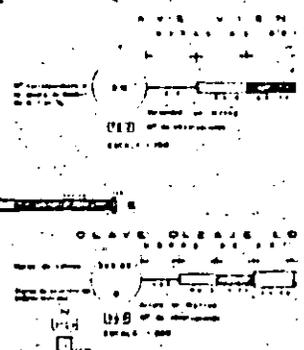
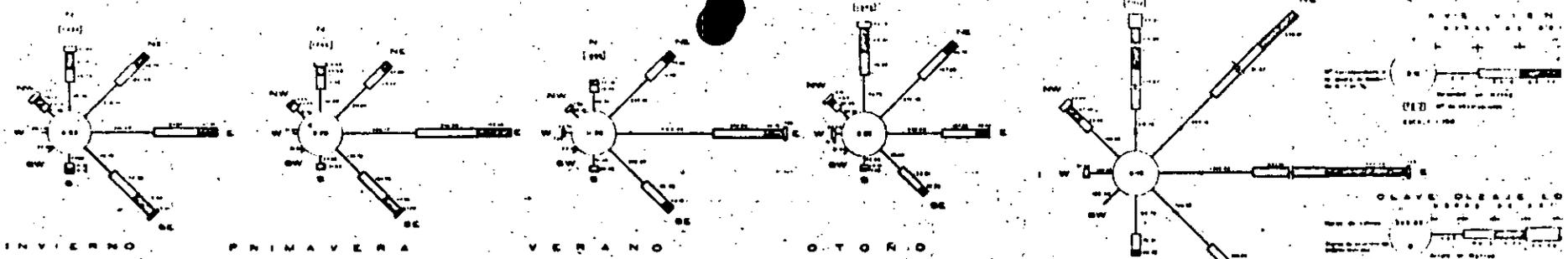
C.I.F.S.A.

SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE DRAGADO  
DEPARTAMENTO DE PLANEACION

PROYECTO DE ENCAUZAMIENTO DEL  
ALTERNATIVAS 1 y 2

Elaborado por: [Firma]  
Revisado por: [Firma]  
Aprobado por: [Firma]





NOTAS:

1. Los datos de esta obra son el resultado de las mediciones hechas en el Observatorio de Vientos y Olas de la Estación de Estudios y Laboratorios de la Secretaría de Marina.

2. Los datos de esta obra son el resultado de las mediciones hechas en el Observatorio de Vientos y Olas de la Estación de Estudios y Laboratorios de la Secretaría de Marina.

3. Los datos de esta obra son el resultado de las mediciones hechas en el Observatorio de Vientos y Olas de la Estación de Estudios y Laboratorios de la Secretaría de Marina.

C.I.F.S.A.

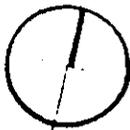
SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
JEFATURA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS  
OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

ESTABLECIMIENTO DE ESTUDIOS Y PROYECTOS  
DATOS DE VIENTO Y OLAJES







CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL PLAYERO

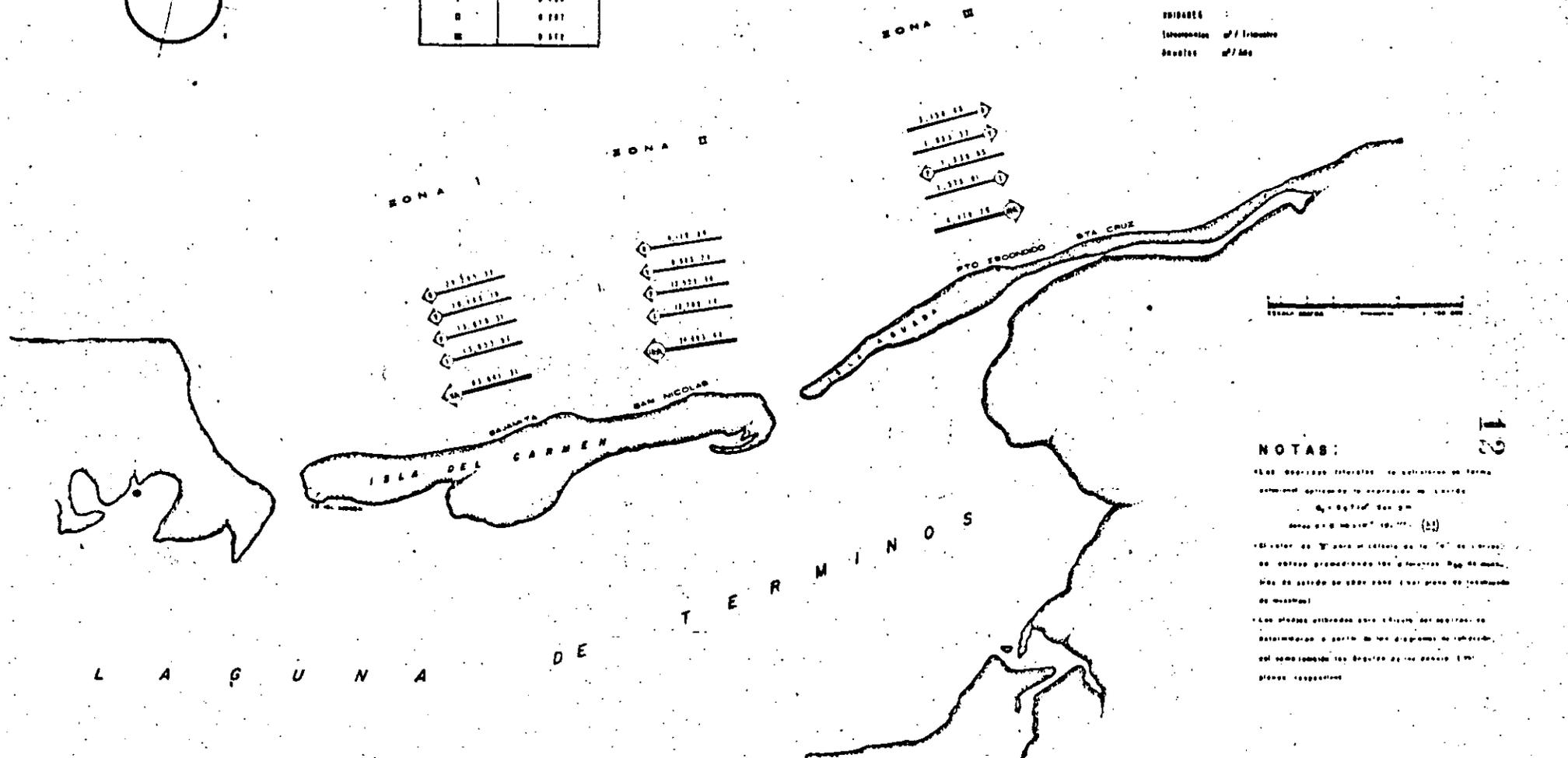
ZONA	Velocidad (cm/s)
I	0.400
II	0.200
III	0.100

CONTINUACION DE SIGUROS

(+) Señales 0-1  
(-) Señales 1-0

UNIDADES

Longitudinal m/100 metros  
Anchuras m/100 metros



NOTAS:

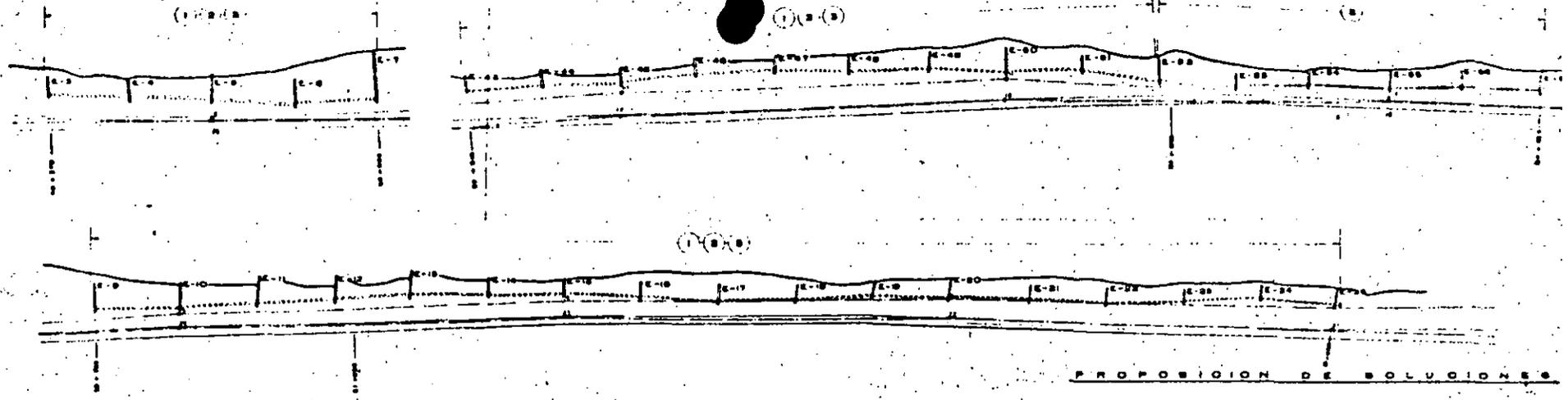
- Los diagramas literales de secciones de forma normal aplicados en secciones de terreno...
- Elector de T para secciones de la T de terreno...
- Los planos adjuntos con el tipo de secciones...

**C.I.F.S.A.** COMISIÓN INTERMUNICIPAL DE FORTALECIMIENTO Y SERVICIOS AL TURISMO

**SECRETARIA DE MARINA**  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
JEFATURA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

**DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS**  
OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

ESTUDIO DE LA COSTA DEL CARMEN, 1960  
**TENDENCIAS GENERALES DE ACARREO LITORAL**

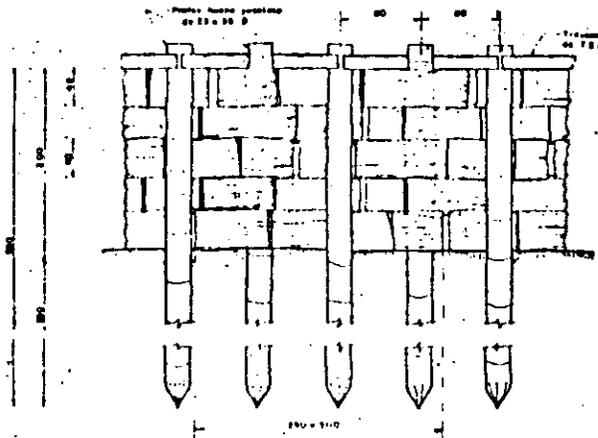


**PUERTO ESCONDIDO**

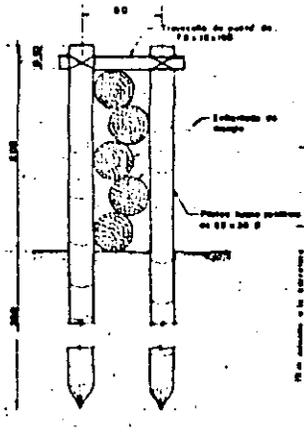
**PROPOSICION DE SOLUCIONES**

- 1 OBSERVACION Y CONTROL PLAYERO (SI NO SE PRESENTA SITUACION CRITICA, DEJAR CONDICIONES ACTUALES)
- 2 SI EL FENOMENO EVOLUCIONA, RELLENAR ARTIFICIALMENTE LA PLAYA
- 3 SI EL FENOMENO EXCEDE CONDICION CRITICA (SI LA ORILLA CARRETERA CONSTRUYE BARRERA PARALELA COMO LA EXISTE Y RELLENAR LA PARTE POSTERIOR)

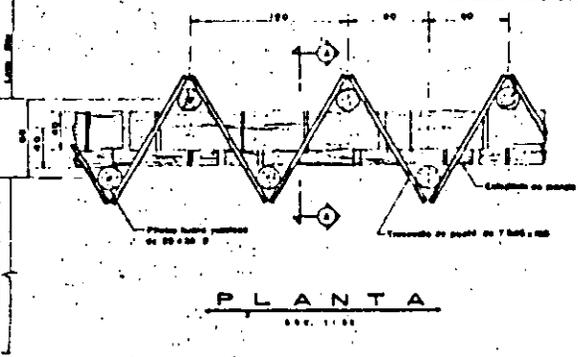
NOTA: LA PROPOSICION DE SOLUCIONES QUE SE REALIZAN, EN LOS CASOS EN QUE SE APLIQUE EN UN MOMENTO DETERMINADO, SE DEBE CON LA SOLUCION DEL FENOMENO



**ELEVACION**



**CORTE A-A**



**PLANTA**

**NOTAS:**

- Las estructuras deben tenerse por un momento de estructura de concreto armado de tipo mixto.
- Las estructuras de tipo mixto de concreto armado deben tenerse por un momento de estructura de tipo mixto.
- Las estructuras de tipo mixto de concreto armado deben tenerse por un momento de estructura de tipo mixto.

**CIFSA**

CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES

APROBACIONES

**SECRETARIA DE MARINA**

DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS

JEFATURA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

APROBACIONES

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

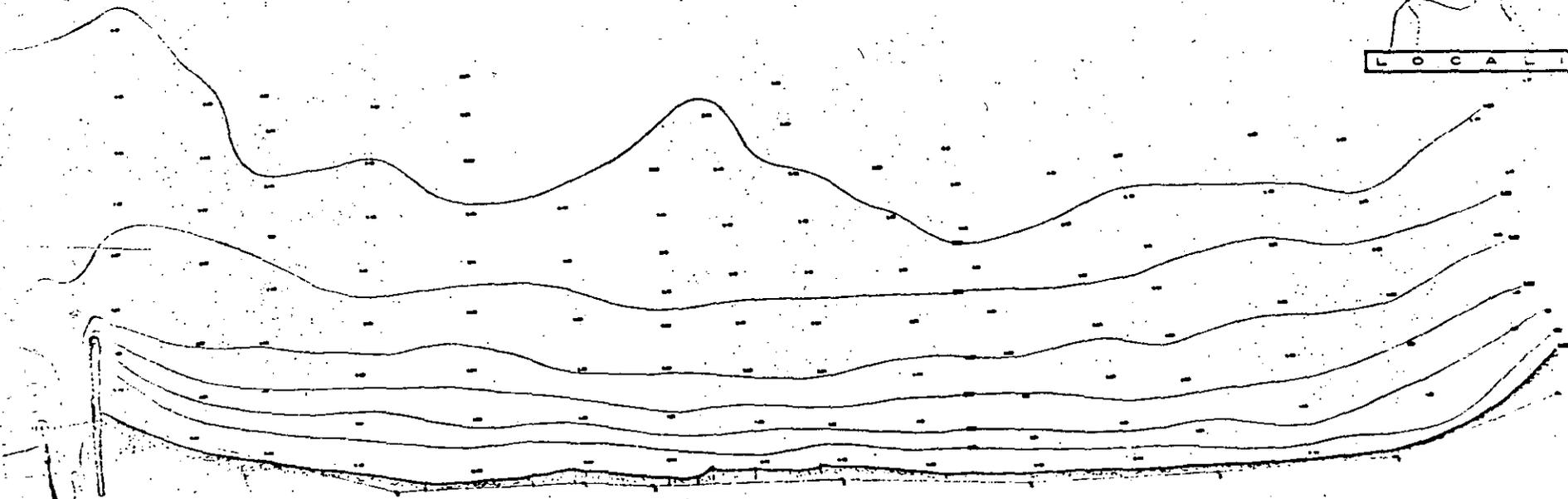
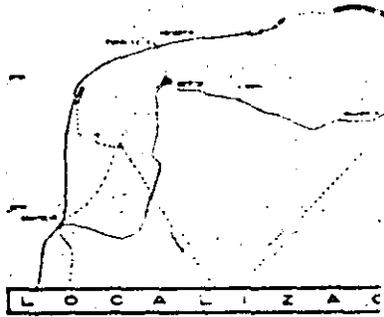
OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

APROBACIONES

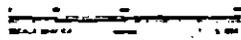
OBRA DE PROTECCION I

PUERTO ESCONDIDO

APROBACIONES



14



NOTAS  
-----  
-----  
-----

IFSA CONSULTORES EN INGENIERIA  
CONSTITUCION S.A.

SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

SUBSECRETARIA DE INGENIERIA  
PLANO DE PLANOS COMPLETADOS

ESTUDIO DE  
BATIMETRIA  
DEL P

APROBACION  
*[Signature]*

SECCION DE ESTUDIOS DE OBRAS MARITIMAS  
CORTE ESTADISTICO

FECHA DE ELABORACION: 1964  
Escala: 1:5000

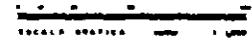
SEÑALES CONVENCIONALES

-----	SEÑAL 1970
-----	SEÑAL 1971
-----	SEÑAL 1972
-----	SEÑAL 1973
-----	SEÑAL 1974
-----	SEÑAL 1975
-----	SEÑAL 1976
-----	SEÑAL 1977

SEÑALES CONVENCIONALES

-----	SEÑAL 1970
-----	SEÑAL 1971
-----	SEÑAL 1972
-----	SEÑAL 1973
-----	SEÑAL 1974
-----	SEÑAL 1975
-----	SEÑAL 1976
-----	SEÑAL 1977

LÍNEAS DE PLAYA AL OESTE DEL CANAL DE ACCESO



NOTAS

15

LÍNEAS DE PLAYA AL ESTE DEL CANAL DE ACCESO

I.F.S.A. INSTITUTO FEDERAL DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS

SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

SUBSEPTORA DE INGENIERIA  
PLAZA DE LA D.D. PLAZA COMPLETA

EVOLUCION DE LAS  
LÍNEAS DE PLAYA

PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS  
ESTUDIO DE EVOLUCION DE LAS LINEAS DE PLAYA  
AL OESTE DEL CANAL DE ACCESO  
AL ESTE DEL CANAL DE ACCESO

PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS  
ESTUDIO DE EVOLUCION DE LAS LINEAS DE PLAYA  
AL OESTE DEL CANAL DE ACCESO  
AL ESTE DEL CANAL DE ACCESO

PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS  
ESTUDIO DE EVOLUCION DE LAS LINEAS DE PLAYA  
AL OESTE DEL CANAL DE ACCESO  
AL ESTE DEL CANAL DE ACCESO

PROYECTO DE OBRAS MARITIMAS  
ESTUDIO DE EVOLUCION DE LAS LINEAS DE PLAYA  
AL OESTE DEL CANAL DE ACCESO  
AL ESTE DEL CANAL DE ACCESO

ZONA AL OESTE DE ESPIGONES

ZONA ENTRE ESPIGONES

ZONA AL ESTE DE ESPIGONES

PRIMER MESTRE

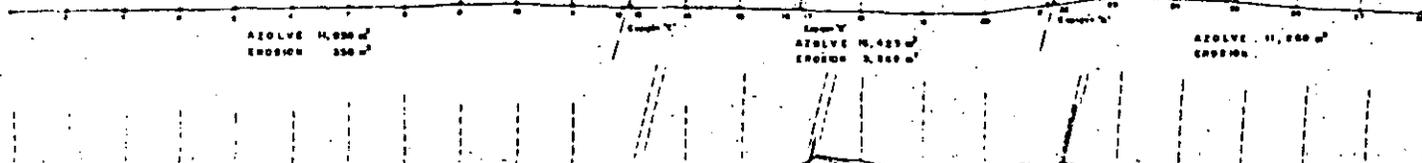


AZOLVE 11,000 m<sup>2</sup>  
EROSION 350 m<sup>2</sup>

AZOLVE 11,425 m<sup>2</sup>  
EROSION 3,000 m<sup>2</sup>

AZOLVE 11,000 m<sup>2</sup>  
EROSION

SEGUNDO MESTRE



AZOLVE 8,000 m<sup>2</sup>  
EROSION 10,000 m<sup>2</sup>

AZOLVE 6,315 m<sup>2</sup>  
EROSION 13,000 m<sup>2</sup>

AZOLVE 80 m<sup>2</sup>  
EROSION 10,000 m<sup>2</sup>

TERCER MESTRE



AZOLVE 4,000 m<sup>2</sup>  
EROSION

AZOLVE 2,000 m<sup>2</sup>  
EROSION 4,000 m<sup>2</sup>

AZOLVE 5,000 m<sup>2</sup>  
EROSION

CUARTO MESTRE



AZOLVE  
EROSION 10,000 m<sup>2</sup>

AZOLVE 0,315 m<sup>2</sup>  
EROSION 7,400 m<sup>2</sup>

AZOLVE 10,000 m<sup>2</sup>  
EROSION

--- 20 de 1900  
 --- 22 de 1900  
 --- 24 de 1900  
 --- 26 de 1900

--- 28 de 1900  
 --- 30 de 1900  
 --- 31 de 1900  
 --- 32 de 1900

--- 33 de 1900  
 --- 34 de 1900  
 --- 35 de 1900  
 --- 36 de 1900

--- 37 de 1900  
 --- 38 de 1900  
 --- 39 de 1900  
 --- 40 de 1900

NOTAS

Nota: Se han tomado  
 mediciones en el canal  
 de acceso al puerto de  
 San Pedro de Macoris  
 para determinar el  
 estado de las obras de  
 construcción.

16

RESUMEN ANUAL

Este resumen anual  
 muestra el estado de  
 las obras de construcción  
 en el puerto de San Pedro  
 de Macoris.

**f.s.a.** CONSULTORES EN INGENIERIA  
 S. C. R. L.

**SECRETARIA DE MARINA**  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

SUBSEPTORA DE INGENIERIA  
 PLANOS ANUALES DE OBRAS MARITIMAS

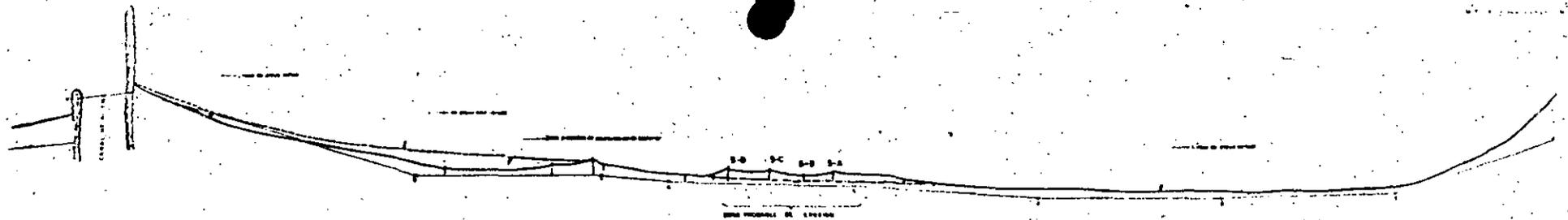
ESTUDIO DE LA EVOLUCION ESTADISTICA  
 DE LA BATIMETRIA DEL PUERTO DE  
 SAN PEDRO DE MACORIS

No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900

No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900

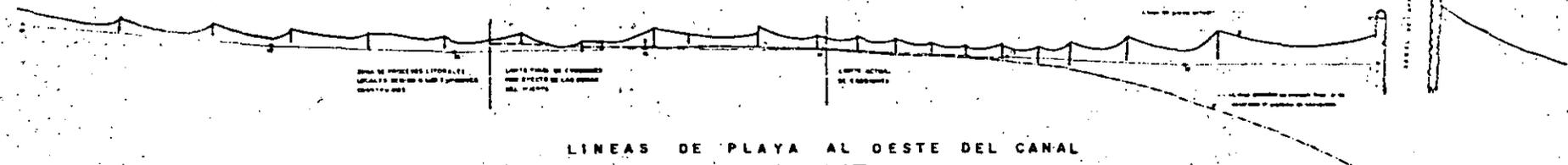
No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900

No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900  
 No. 1000 de 1900



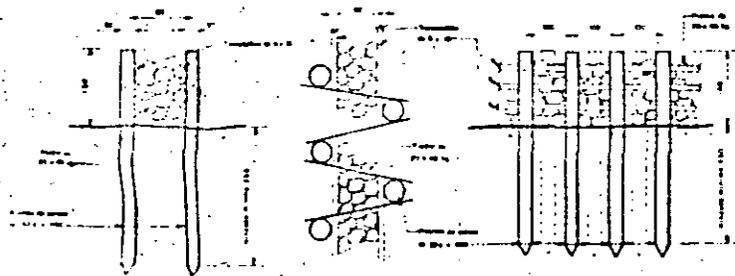
LÍNEAS DE PLAYA AL ESTE DEL CANAL

ESCALA 1:5,000



LÍNEAS DE PLAYA AL OESTE DEL CANAL

ESCALA 1:5,000



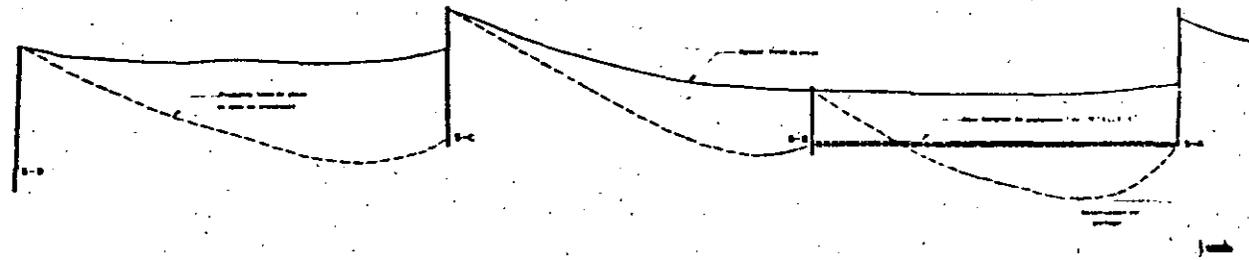
CORTE TRANSVERSAL

PLANTA

CORTE LONGITUDINAL

DETALLE "X"

ESCALA 1:20



ZONA PROBABLE DE EROSION Y OBRA

MARGINAL DE PROTECCION PROPUESTA

NOTAS

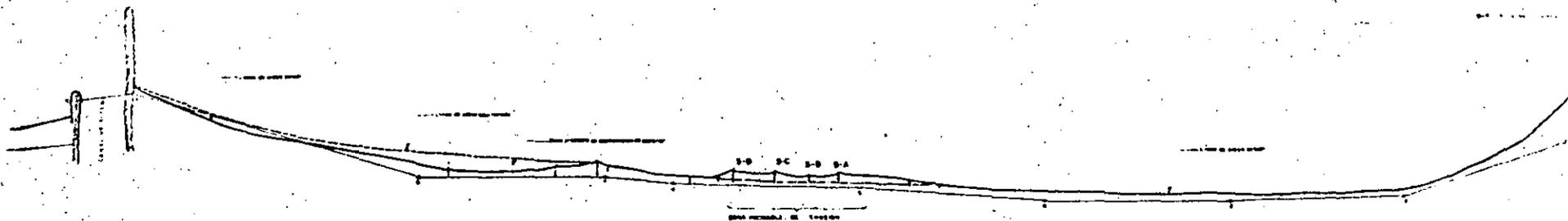
- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...

I.F.S.A. CONSULTORES EN INGENIERIA  
S.L. - MADRID - ESPAÑA

SECRETARIA DE MARINA  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

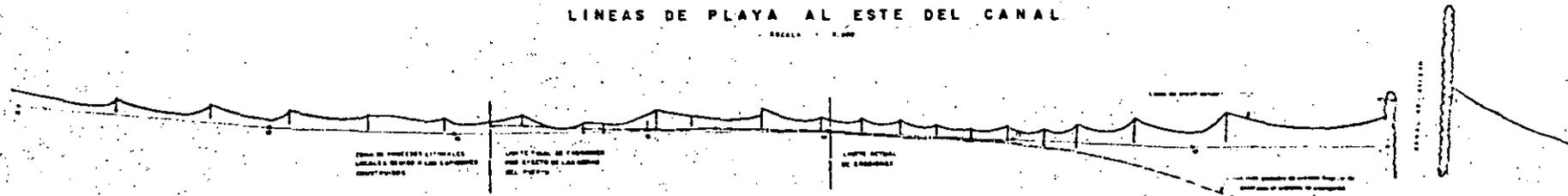
SUBDIRECCION DE INGENIERIA  
DE OBRAS MARITIMAS Y PUERTOS

Estación de  
PREDICCIÓN  
PLAYA Y PR  
PROTECCIÓN



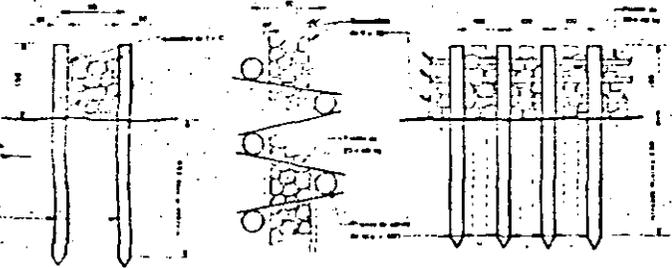
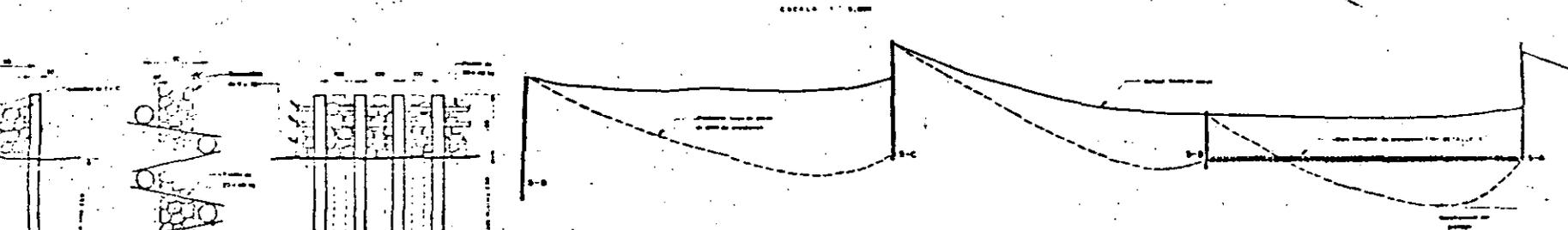
LÍNEAS DE PLAYA AL ESTE DEL CANAL

ESCALA 1:5,000



LÍNEAS DE PLAYA AL OESTE DEL CANAL

ESCALA 1:5,000



DETALLE "X"

ESCALA 1:20

ZONA PROBABLE DE EROSIÓN Y OBRA

MARGINAL DE PROTECCIÓN PROPUESTA

NOTAS:

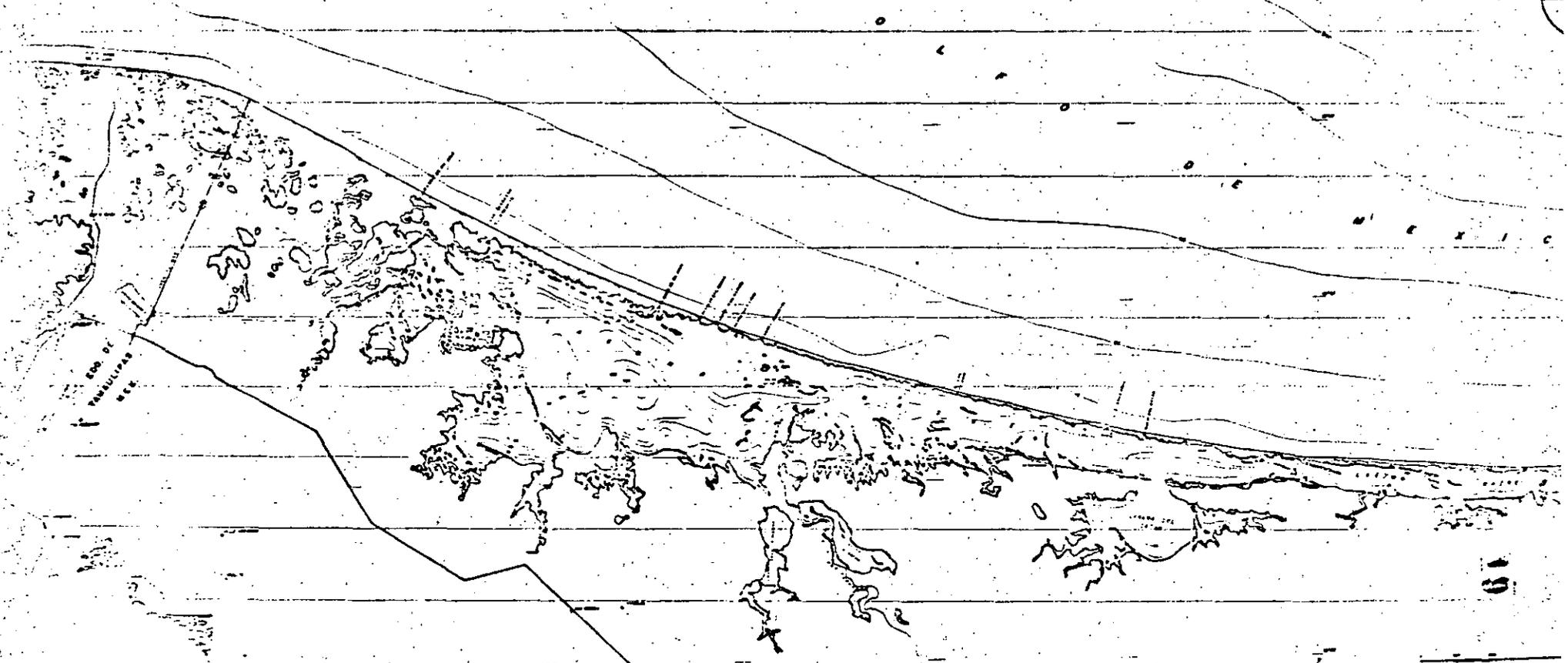
- 1. Sección de obra propuesta.
- 2. Sección de terreno actual.
- 3. Sección de terreno futuro.
- 4. Sección de terreno actual con obra propuesta.

**C.I.F.S.A.** CONSULTORES EN INGENIERIA  
FLUVIOVIARIAS S.A.

**SECRETARIA DE MARINA**  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS

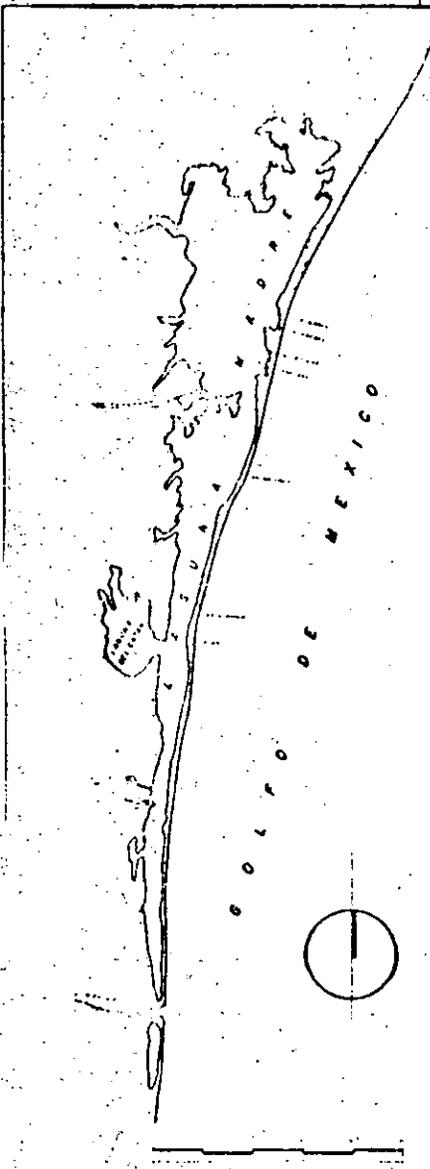
**SUBSECRETARIA DE INGENIERIA**  
DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS

ESTUDIO DE  
PREVISIONE  
PLAYA Y PP  
PROTECCION

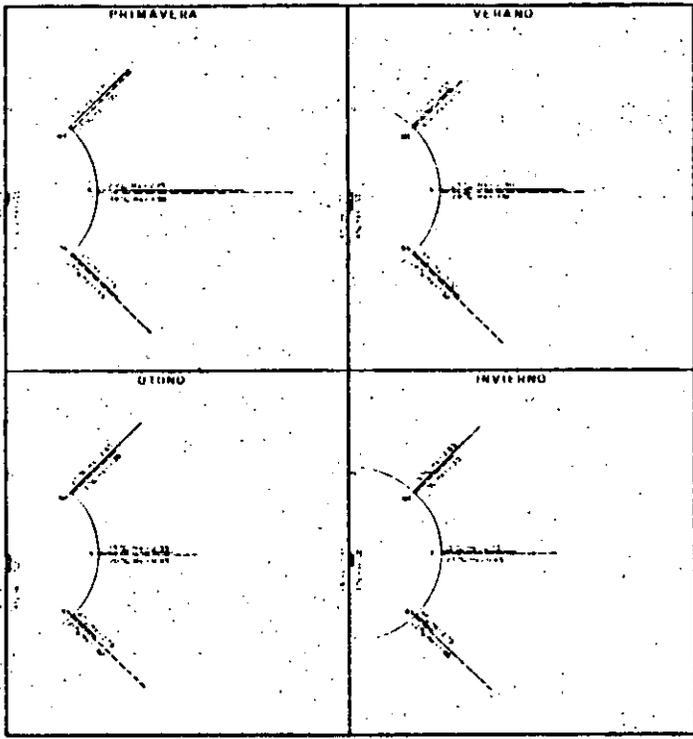



NOTAS: Este mapa fue levantado por el Sr. J. M. ... en el mes de ... del año ... en el territorio de ...


19



**OLEAJES ESTACIONALES**

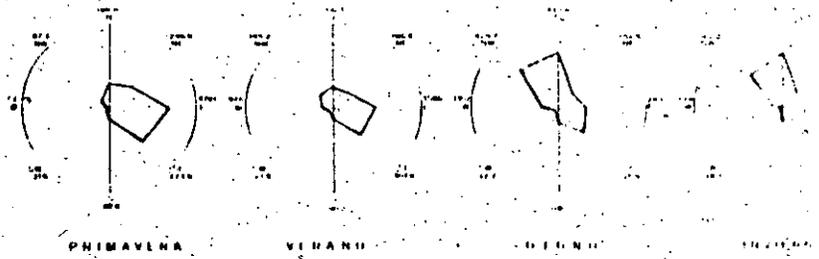


100 m/s  
100 m/s  
100 m/s (Wind)  
100 m/s (Wave)

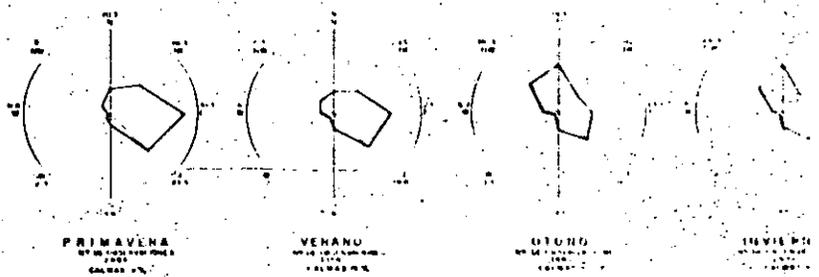
**NOTAS :**

Las fuentes de información son:  
 1. Meteorología, Oficina del Sur de México, Estación No. 10.  
 2. Centro de Estudios de Estudios Meteorológicos de la República Mexicana.  
 3. Oficina de Estudios y Cálculo de la Oficina de Estudios Meteorológicos.  
 4. Servicio Meteorológico Nacional, Sección de Agricultura y Ganadería.

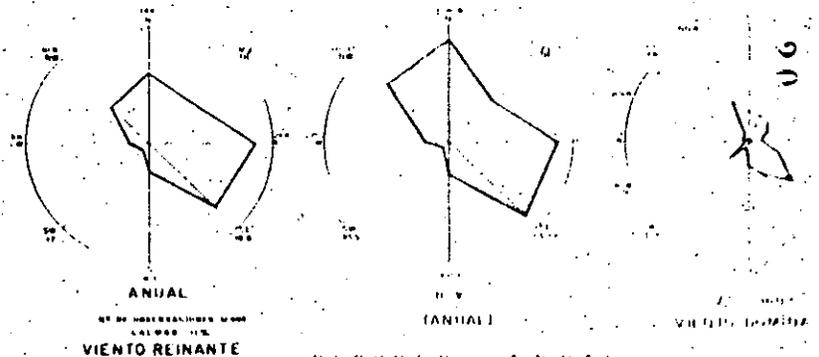
**VIENTOS**



**DIAGRAMAS DE VIENTOS ESTACIONALES**



**FRECUENCIAS (en porcentaje) ESTACIONALES**



**RESUMEN ANUAL  
DIAGRAMAS DE VIENTOS**

SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA  
 DIRECCION DE LA PLANTA  
 INSTITUTO NACIONAL DE LA TIERRA MARITIMA

SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA  
 DIRECCION DE LA PLANTA  
 INSTITUTO NACIONAL DE LA TIERRA MARITIMA  
 VIENTOS Y OLEAJES ESTACIONALES  
 ESTACION: ...  
 ESCALA: 1:1000

LOCALIZACION

TENDENCIAS DE ACARPIO ESTACIONAL

- (A) Primavera
- (B) Verano
- (C) Otoño
- (D) Invierno

(E) Corrientes de aguas subterráneas

NOTAS

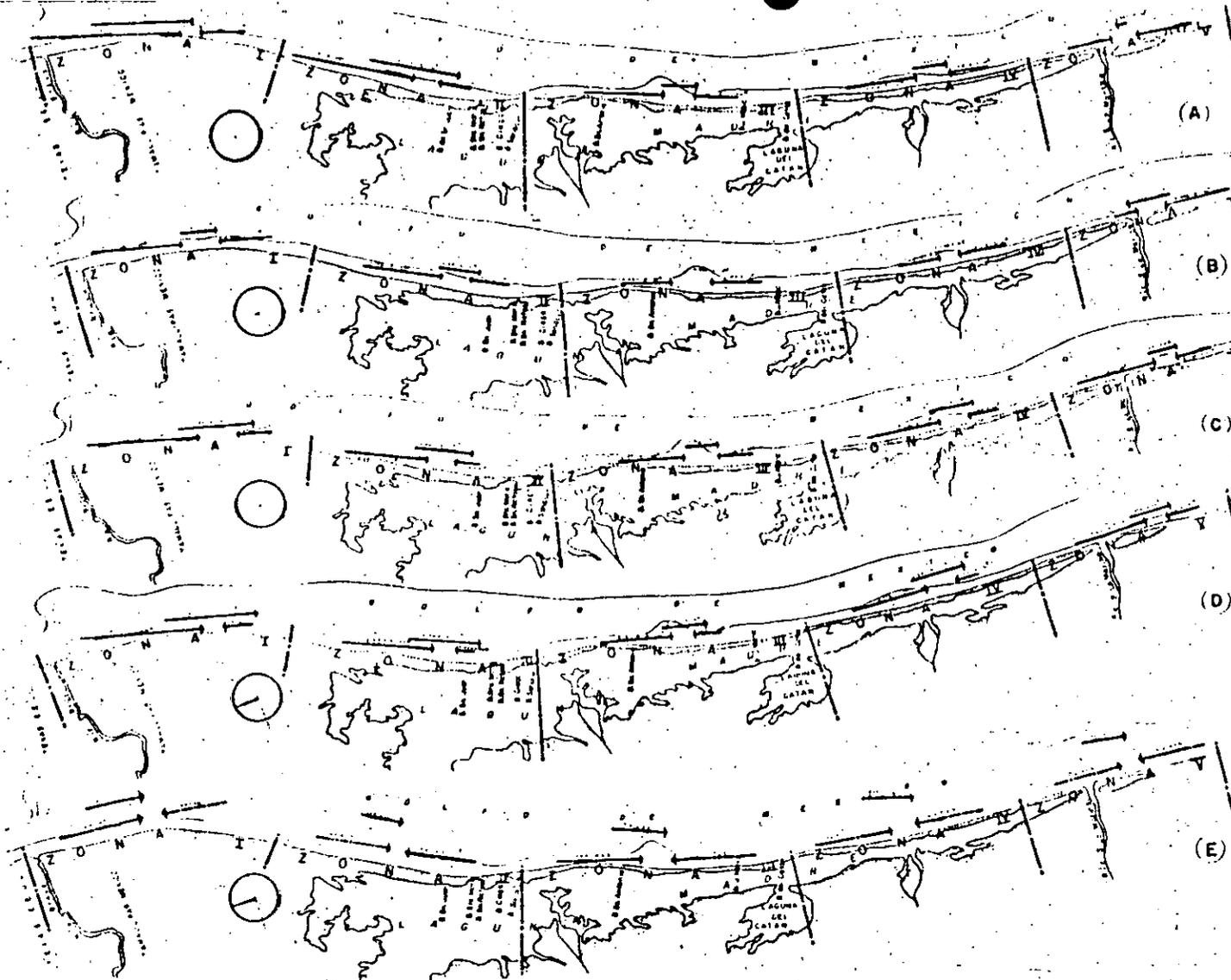
ESTADO DE TEXAS

SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA  
DIRECCION DE PLANEACION

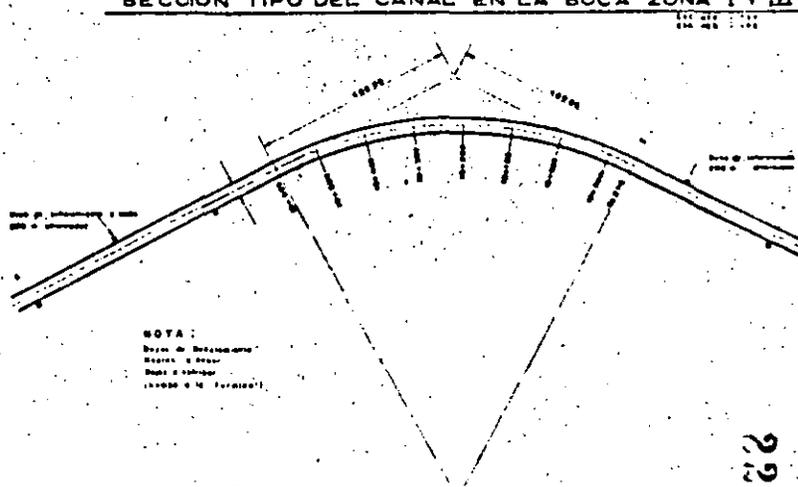
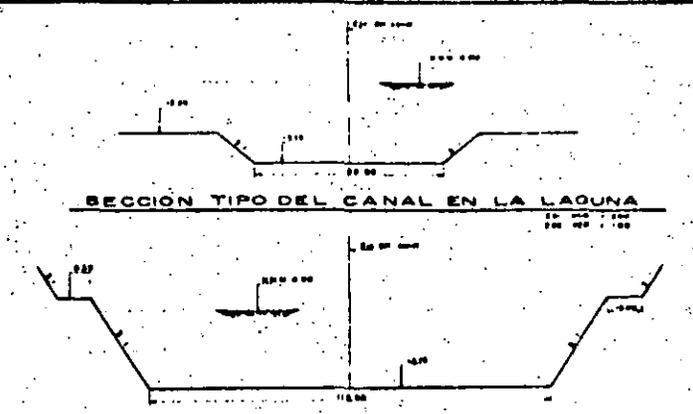
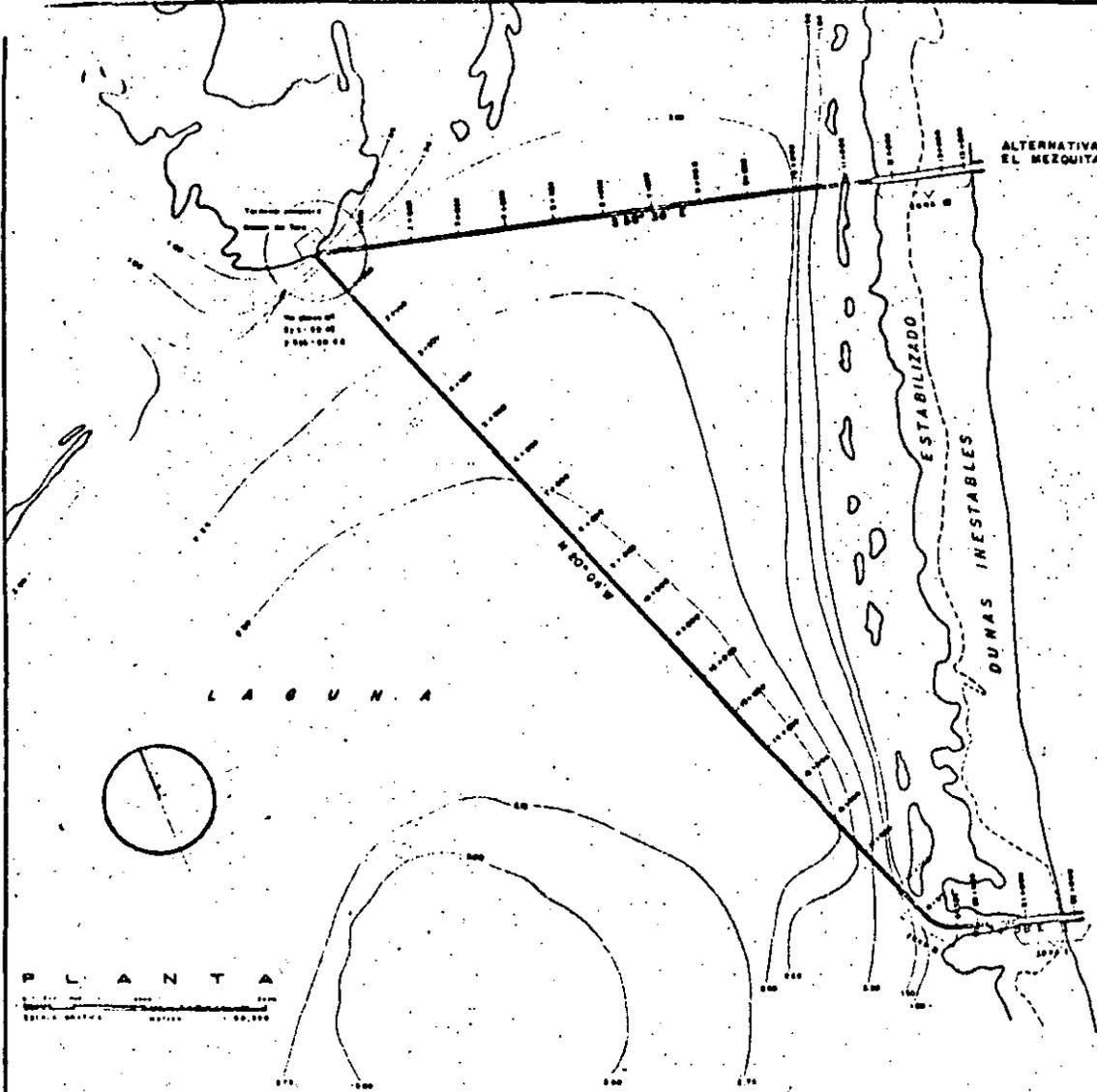
ESTADO DE TEXAS

TENDENCIAS DE ACARPIO ESTACIONAL Y  
SOLIDOS ANO

LM-35



ESCALA GRAFICA 1:100,000



LUGAR	EQUIPO	SAN JUAN	MEZQUITAL
CANAL LITORAL	ROTACORCA	20000	10000
CANAL LITORAL	BALSA	20000	10000
A A R	BALSA	20000	10000
A A BARRA	BALSA	100000	100000

NOTAS:  
 - Sección de Referencia: Nivel a 0.00m.  
 - Base a 10.00m.  
 - Escala: 1:2000 o 1:4000.

**C.I.F.S.A.** INSTITUTO FEDERAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

PROYECTO	FECHA	ESTADO

**SECRETARIA DE MARINA**  
 DIRECCION GENERAL DE OBRAS MARITIMAS  
 JEFATURA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS

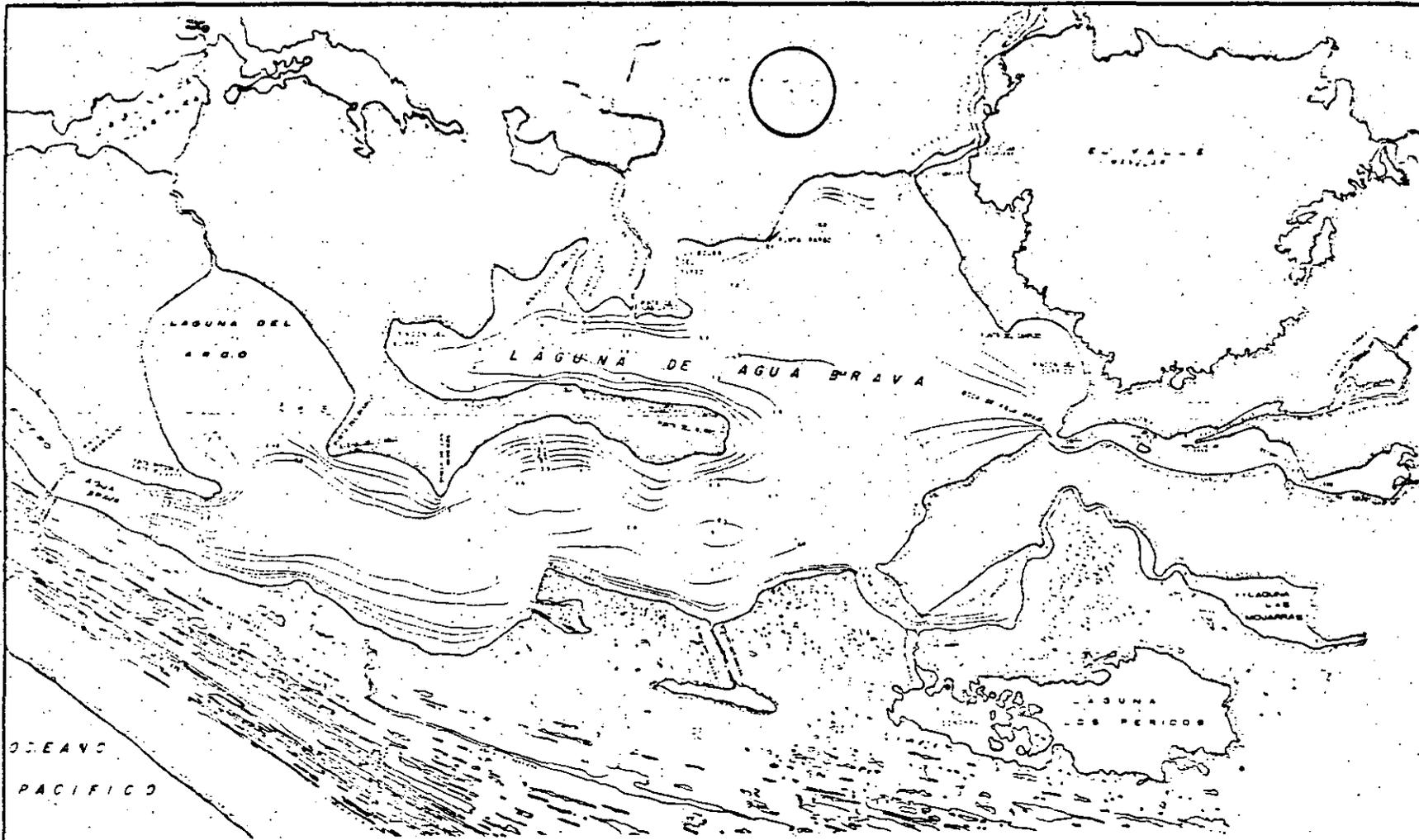
APROBADO EL SECRETARIO: *[Signature]*  
 EL DIRECTOR: *[Signature]*  
 EL JEFE DEL AREA: *[Signature]*

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y LABORATORIOS  
 OFICINA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS HIDRAULICOS

ELABORADO POR: *[Signature]*  
 REVISADO POR: *[Signature]*  
 APROBADO POR: *[Signature]*

ESTUDIO DE LAS OBRAS MARITIMAS  
**CANAL EN LA LAGUNA**

FECHA: 1977  
 ESCALA: 1:2000



NOTAS

1. Este mapa fue levantado por el Comodoro de Armada don Juan Manuel de Rosas, en el año 1825, y publicado en 1826. 2. El presente mapa es una reproducción de la obra citada, con las modificaciones que se han introducido en virtud de los trabajos de hidrografía que se han ejecutado en el presente siglo.

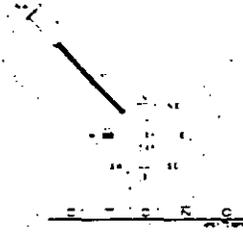
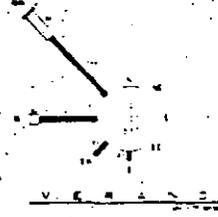
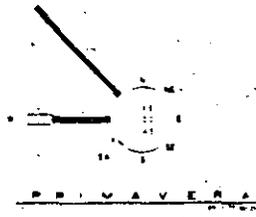
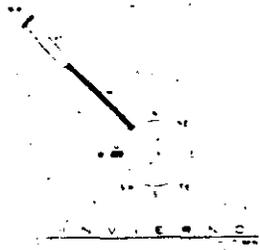
23

OCEANO  
PACIFICO

<p>ESTADO DE CHILE MINISTERIO DE MARINA DIRECCION DE LA FUERZA ARMADA DIRECCION DE LA FUERZA AEREA DIRECCION DE LA FUERZA NAVAL</p>		<p>DIRECCION DE LA FUERZA NAVAL DIRECCION DE LA FUERZA AEREA DIRECCION DE LA FUERZA ARMADA</p>
---	--	--

SECRETARIA DE MARINA
PLAN
<p>1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.</p>

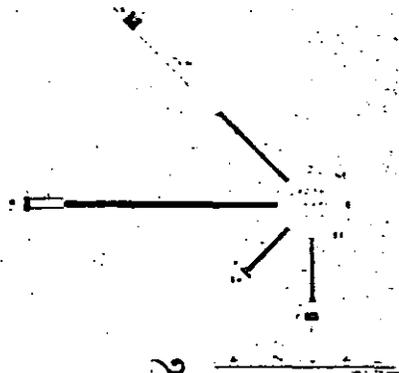
HORAS DE ACCION DEL CLEAJE LOCAL



1. DIRECCION DE VIENTO  
 2. VELOCIDAD DE VIENTO  
 3. HORAS DE ACCION  
 4. ANGULO DE CALZADA  
 5. HORAS DE ACCION DE CLEAJE EN OTROS PUNTOS

HORAS DE ACCION DEL CLEAJE DISTANTE

SIGNOS CONVENCIONALES



O L E A J U N

24

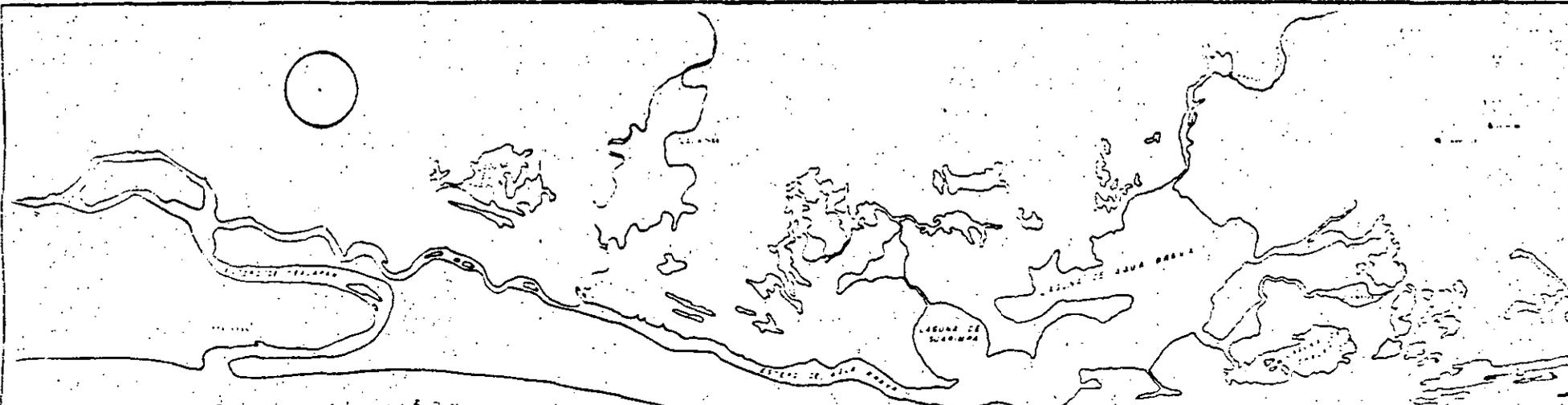
NOTAS

FRECUENCIA EN EN

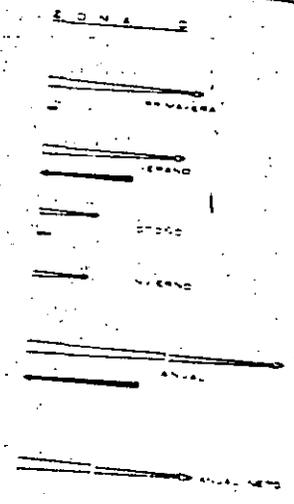
VELOCIDAD MEDIA EN N.E.S.

V I E N T O S

DOCUMENTO DE REGISTRO - FORM. 1 MINISTERIO GENERAL DE PLANEACION Y POL.	
DATOS DE CLEAJE Y VIENTOS	
NOMBRE DEL PROYECTO	FECHA DE ELABORACION
NOMBRE DEL DISEÑADOR	NOMBRE DEL INGENIERO
NOMBRE DEL EJECUTIVO	NOMBRE DEL INGENIERO



PLANTA



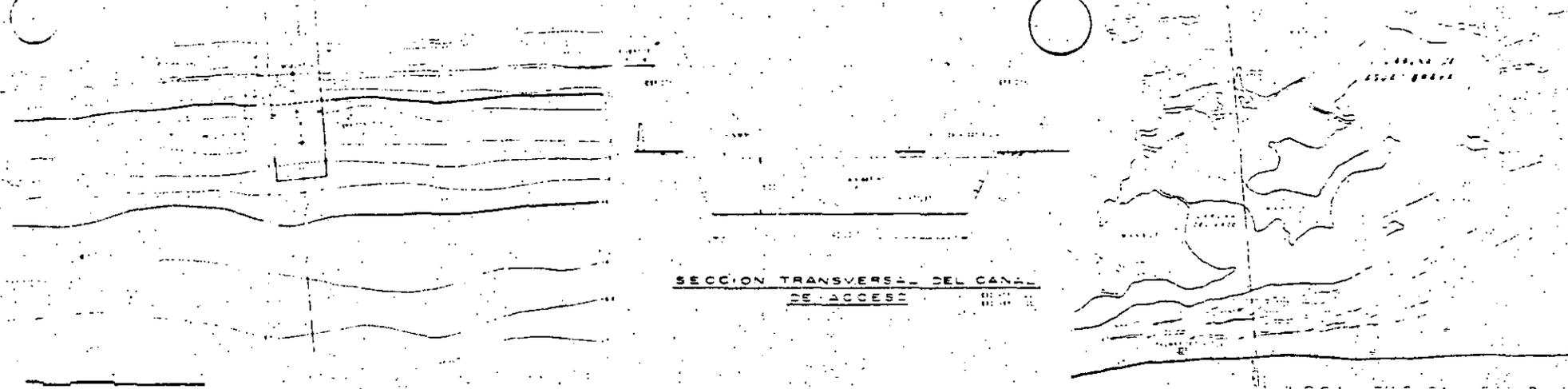
NOTAS

25

SECRETORIAL DE PES. PISC.	
INVESTIGACION	
2028400	

--	--	--

SECCION TRANSVERSA DEL CANAL DE ACCESO

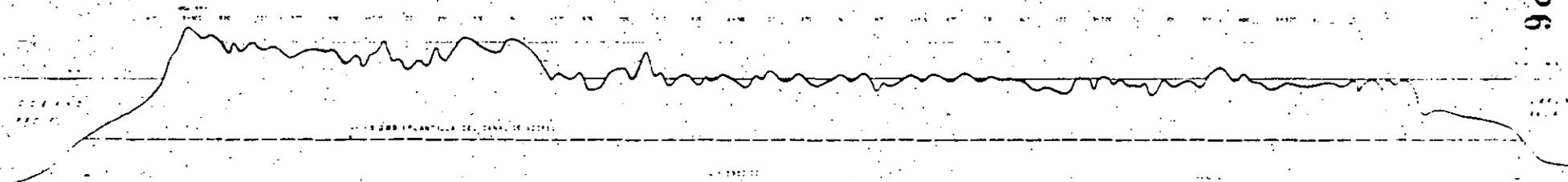


0 2 4 6 8 10

LOCALIDAD DE E. P. A.

96

PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL DE ACCESO



NOTAS

1. El presente proyecto de canal de acceso tiene por objeto facilitar el acceso a las explotaciones agrícolas y ganaderas de la zona, mejorando las condiciones de riego y drenaje de las mismas.

2. El canal de acceso se proyecta con una longitud total de 1.200 metros, distribuidos en tres tramos de 400 metros cada uno.

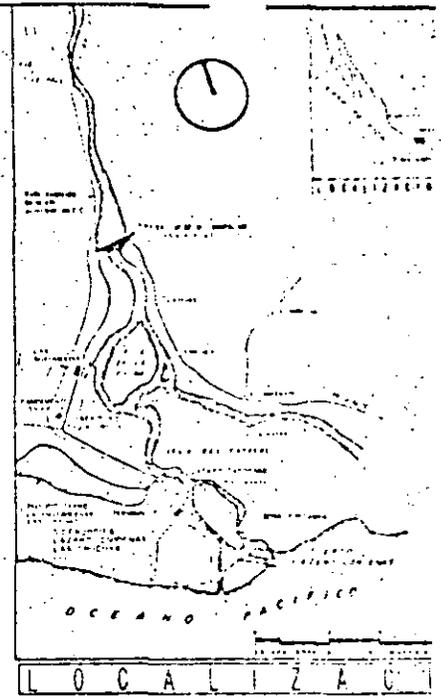
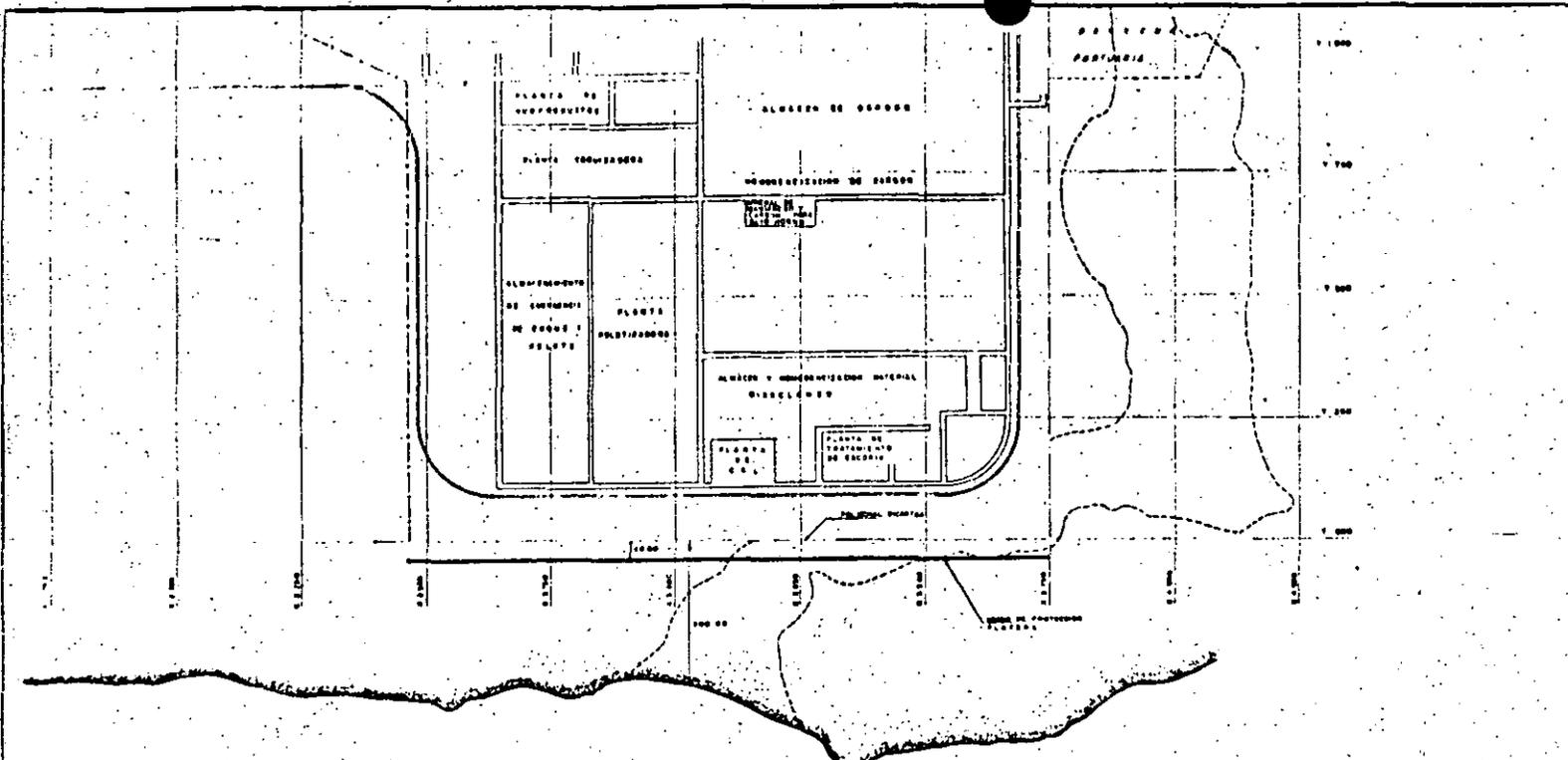
3. El canal de acceso se proyecta con una anchura de 1,50 metros en su parte superior y una anchura de 0,80 metros en su parte inferior.

4. El canal de acceso se proyecta con una pendiente longitudinal de 0,005 metros por metro.

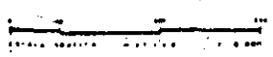
5. El canal de acceso se proyecta con una capacidad de conducción de 1,50 metros cúbicos por segundo.

SECRETARIA DE FOMENTO
PROYECTO DEL CANAL DE ACCESO

--	--	--



O C E A N O P A C I F I C O



P L A N T A



SECCION PROPUESTA

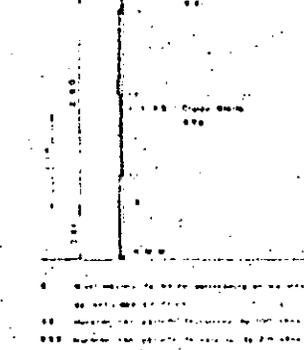
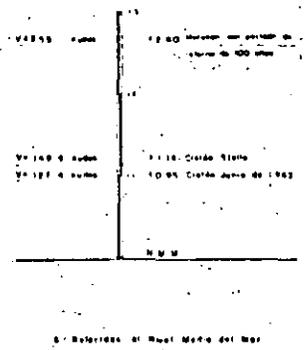
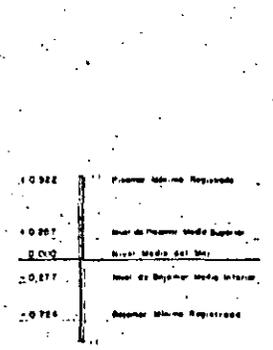
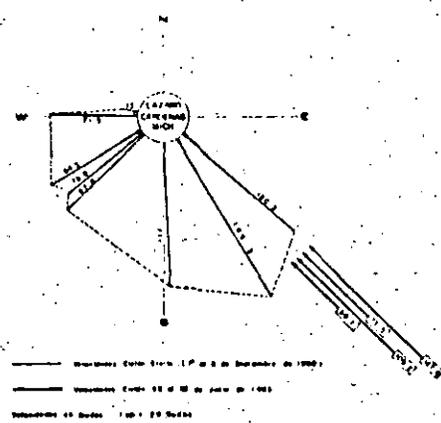
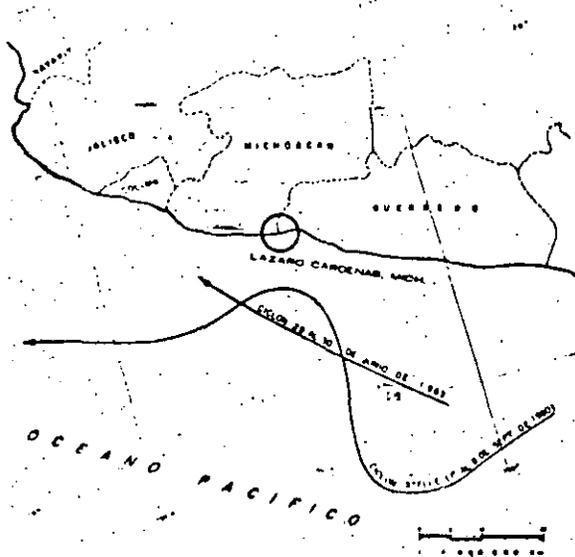
NOTAS

1. Se debe considerar el efecto de las olas en el diseño de la estructura.
2. Se debe considerar el efecto de las mareas.
3. Se debe considerar el efecto de las corrientes.
4. Se debe considerar el efecto de las vibraciones.
5. Se debe considerar el efecto de las cargas de viento.
6. Se debe considerar el efecto de las cargas de nieve.
7. Se debe considerar el efecto de las cargas de hielo.
8. Se debe considerar el efecto de las cargas de agua.
9. Se debe considerar el efecto de las cargas de tierra.
10. Se debe considerar el efecto de las cargas de personas.
11. Se debe considerar el efecto de las cargas de mobiliario.
12. Se debe considerar el efecto de las cargas de vehículos.
13. Se debe considerar el efecto de las cargas de maquinaria.
14. Se debe considerar el efecto de las cargas de equipos.
15. Se debe considerar el efecto de las cargas de materiales.
16. Se debe considerar el efecto de las cargas de residuos.
17. Se debe considerar el efecto de las cargas de agua residual.
18. Se debe considerar el efecto de las cargas de agua de lluvia.
19. Se debe considerar el efecto de las cargas de agua de riego.
20. Se debe considerar el efecto de las cargas de agua de drenaje.

PROVISIONAL

27

<p>CICSA</p>					<p>INGENIERIA LAZARO CAMERON S.R.L. BORDO DE PROT PLAYERA</p>
--------------	--	--	--	--	---



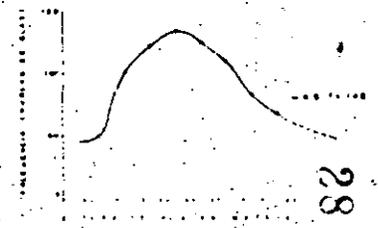
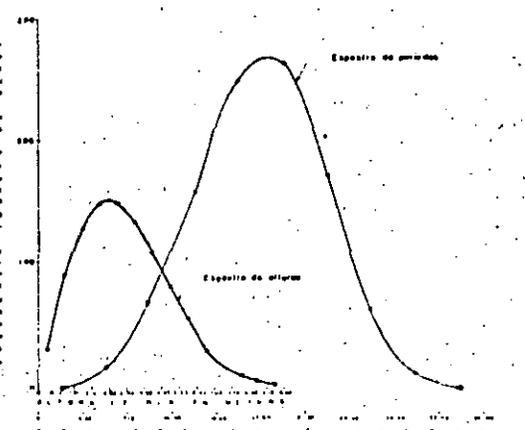
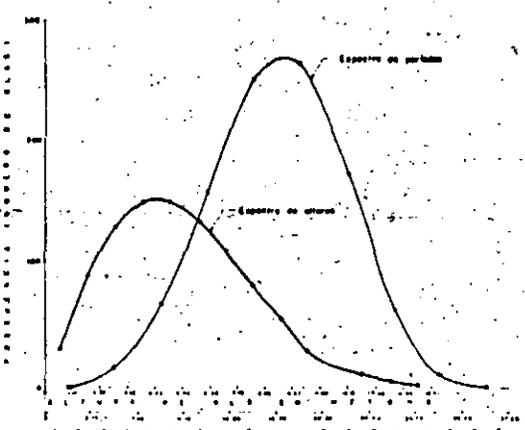
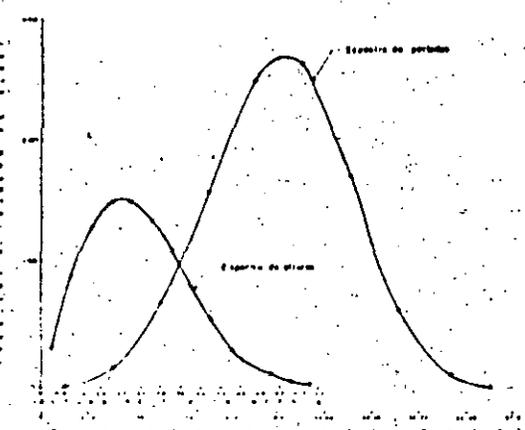
VIENTOS CICLONICOS

MAREAS ASTRONOMICAS

MAXIMAS SOBREELEVACIONES DE TORMENTA

MAREAS DE TORMENTA

TRAYECTORIAS CICLONICAS



CICLON STELLE  
MIZB = 0.41 m      Tm = 10.8 seg

CICLON STELLE  
MIZB = 0.37 m      Tm = 10.8 seg

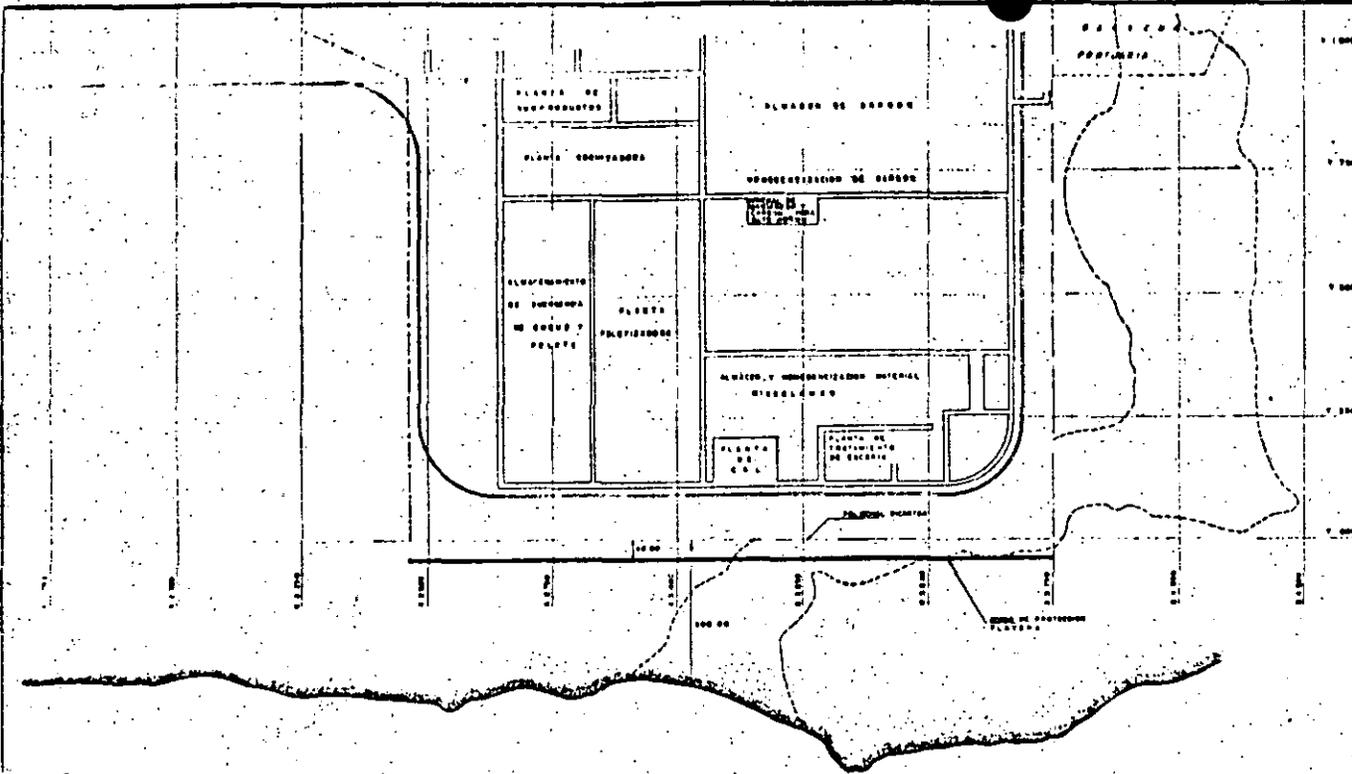
CICLON STELLE  
MIZB = 0.43 m      Tm = 17.0 seg

HURACAN STANDARD DE PROYECTO

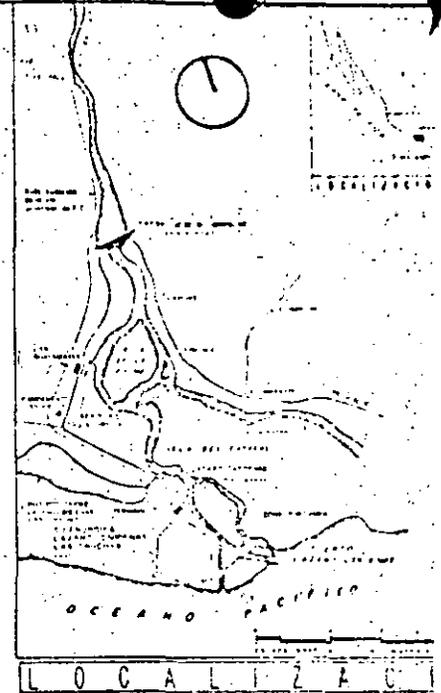
NOTAS:  
1. Las curvas de este tipo son de naturaleza de carácter general y no deben ser usadas para fines de diseño de estructuras.  
2. Las curvas de este tipo son de naturaleza de carácter general y no deben ser usadas para fines de diseño de estructuras.  
3. Las curvas de este tipo son de naturaleza de carácter general y no deben ser usadas para fines de diseño de estructuras.

F.S.A. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS

SICMORFICA LAZARO CARDENAS - LAS TUNAS  
CONDICIONES OCEANOGRAFICAS EXTRAORDINARIAS



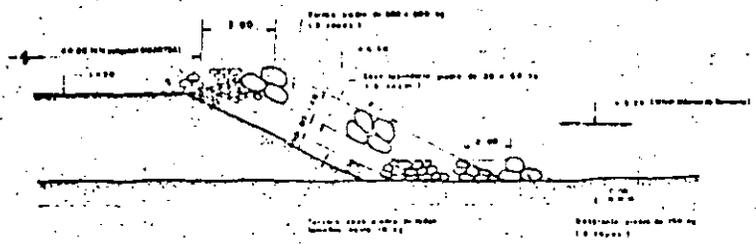
1 000  
 700  
 500  
 300  
 100



O C É A N O P A C Í F I C O



P L A N T A



SECCION PROPUESTA

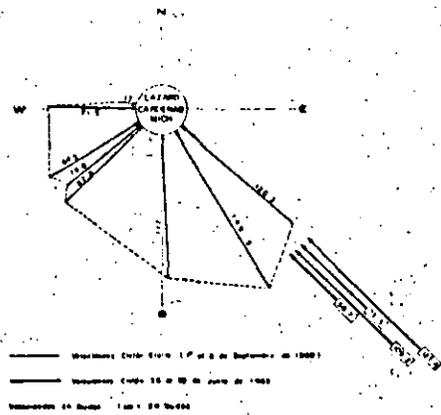
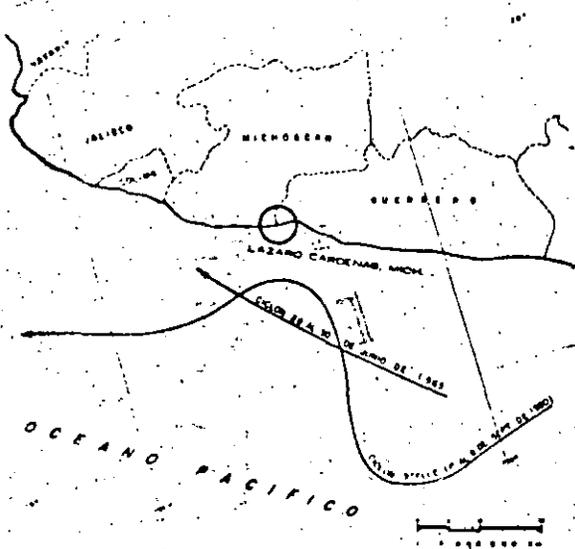
NOTAS

1. El terreno es de propiedad del Sr. ...
2. El terreno es de propiedad del Sr. ...
3. El terreno es de propiedad del Sr. ...
4. El terreno es de propiedad del Sr. ...
5. El terreno es de propiedad del Sr. ...
6. El terreno es de propiedad del Sr. ...
7. El terreno es de propiedad del Sr. ...
8. El terreno es de propiedad del Sr. ...
9. El terreno es de propiedad del Sr. ...
10. El terreno es de propiedad del Sr. ...

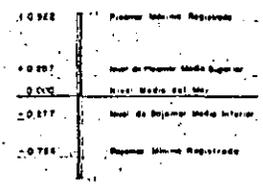
PROVISIONAL

27

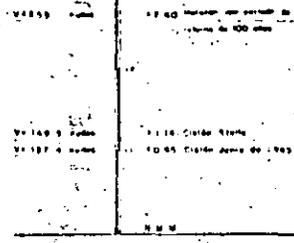
<p><b>CICSA</b></p>					<p>INGENIERO LAZARUS CAMERON</p> <p><b>BORDO DE PROYECTO PLAYERA</b></p>
---------------------	--	--	--	--	--



VIENTOS CICLONICOS



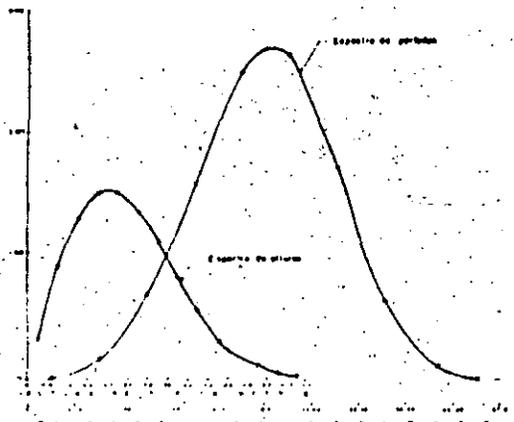
MAREAS ASTRONOMICAS



MAXIMAS SOBREELEVACIONES DE TORMENTA

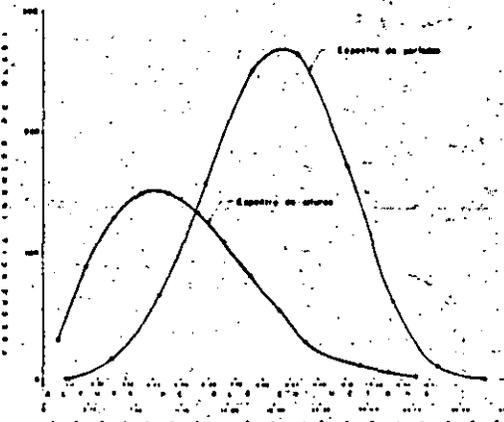
MAREAS DE TORMENTA

TRAYECTORIAS CICLONICAS



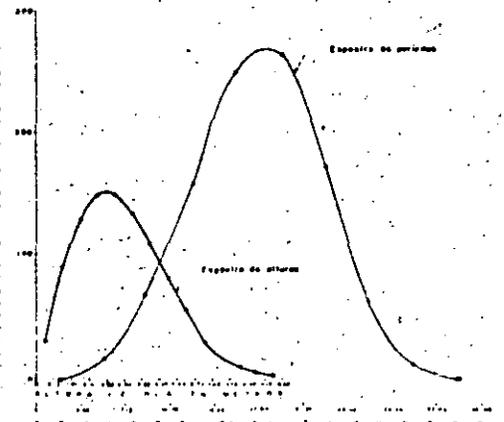
CICLON STELLE

M (75 - 9.43 m) Tm = 18.0 seg



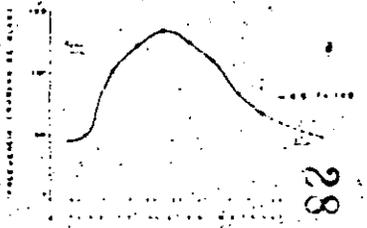
CICLON STELLE

M (75 - 9.43 m) Tm = 18.0 seg



CICLON STELLE

M (75 - 9.43 m) Tm = 18.0 seg



HURACAN STANDARD DE PROYECTO

NOTAS:

1. Los datos de este informe son el resultado de mediciones efectuadas en el Golfo de México y el Caribe.

2. Los datos de este informe son el resultado de mediciones efectuadas en el Golfo de México y el Caribe.

3. Los datos de este informe son el resultado de mediciones efectuadas en el Golfo de México y el Caribe.



CIENFUEGOS LAZARO CARDENAS LAS TRINIDAD

CONDICIONES OCEANOGRAFICAS EXTRAORDINARIAS

DIRECTORIO DE ALUMNOS DEL CURSO "DESARROLLO COSTERO" IMPARTIDO EN ESTA DIVISION  
DEL 26 DE NOVIEMBRE AL 7 DE DICIEMBRE DEL PRESENTE AÑO.

- 1.- ALVARADO THOMASSINY ARMANDO  
INGENIERIA Y PROCESAMIENTO ELEC.  
JEFE DE PROYECTOS  
SAN LORENZO No. 153-6o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
575-40-77  
CARUSO No. 321-101  
COL. VALLEJO  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07870 MEXICO, D.F.  
759-21-19
- 2.- AQUINO ADRIAN CARLOS  
C. F. E.  
AUXILIAR TECNICO  
MISSISSIPPI No. 71 DEPTO. 206  
COL. CUAUHTEMOC  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
525-78-80 ext. 3163  
U. H. MILITAR EDIF. E-1 DEPTO. 301  
CUAUTITLAN IZCALLI
- 3.- AVILA ARZANI DORA LUZ  
S. C. T.
- 4.- CABELLO RANGEL ROBERTO  
COMISION NACIONAL COORDINADORA PUERTOS  
JEFE DE PROYECTOS  
INSURGENTES SUR No. 617-1er. PISO  
COL. NAPOLES  
548-10-56  
AMSTERDAM No. 215-11  
COL. HIPODROMO CONDESA
- 5.- CARDONA ELIZALDE DAVID PROSPERO  
DIREC. GRAL. OPERAC. DESARROLLO POR.  
ANALISTA ESPECIALIZADO  
EUGENIA No. 197  
DELEGACION COYOACAN  
396-00-24  
RET. 13 No. 9 DE J. GALINDO Y VILLA  
COL. JARDIN BALBUENA  
DELEGACION VENUSTIANO CARRANZA  
15400 MEXICO, D.F.  
571-14-17
- 6.- CHAVEZ TORRES JOSE LUIS  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
ANALISTA ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-34-19  
VESUBIO No. 52  
COL. LOS ALPES  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01010 MEXICO, D.F.  
550-07-59
- 7.- CORTES PETERSEN THOMAS  
S. C. T.  
JEFE OFNA. PROGRAMAS DIRECTORES  
COL. DEL VALLE  
523-34-19  
MONTES URALES No. 35  
COL. LOMAS DE CHAPULTEPEC  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11000 MEXICO, D.F.  
540-29-08

111 111 111  
111 111 111  
111 111 111

111 111  
111 111  
111 111  
111 111  
111 111

111 111  
111 111  
111 111  
111 111  
111 111  
111 111

8.- DRAGO SERRANO CESAR  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
INGENIERO ESPECIALISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE

CAMPO LAS PIEDRAS No. 7  
COL. AMPLIACION PETROLERA  
DELEGACION ATZCAPOTZALCO  
02720 MEXICO, D.F.  
561-71-05

9.- ENRIQUEZ TERVEL ENCARNACION

10.- ETERNOD AGUILAR ALICIA  
INSTITUTO GEOGRAFIA  
PROFESOR  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
DELEGACION COYOACAN  
04510 MEXICO, D.F.  
550-52-15 ext. 7295

IRAPUATO No. 149 DEPTO. 1  
COL. CLAVERIA  
DELEGACION ATZCAPOTZALCO  
02030 MEXICO, D.F.  
396-30-21

11.- FLORES DE DIOS RUBEN  
S. C. T.

12.- GAXIOLA ANGULO LUIS ARMANDO  
GEOSISTEMAS, S.A.  
PROFESIONISTA "C"  
ANICETO ORTEGA No. 1306  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
534-37-20

EDIF. 82 H-102 UNIDAD LINDAVISTA  
COL. VALLEJO  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07720 MEXICO, D.F.  
587-47-09

13.- GONZALEZ AGUIRRE FDO. GMO.  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
ANALISTA ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-48-53

DR. ERAZO No. 106 A  
COL. DOCTORES  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
06000 MEXICO, D.F.  
588-08-64

14.- GONZALEZ MIRANDA FEDERICO  
OBRAS MARITIMAS, S. C. T.  
JEFE DE OFICINA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-34-19

MARISCAL No. 70  
COL. SAN ANGEL INN  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01060 MEXICO, D.F.  
548-49-95

15.- GONZALEZ SALAS DANTE ARTURO  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SINALOA  
MAESTRO DE ASIGNATURA  
CARRET. INTERNACIONAL NTE.  
2-46-12

MARIANO RIVAS No. 302  
COL. LOPEZ MATEOS  
MAZATLAN, SIN.  
3-38-46

16.- JIMENEZ REAL ROGELIO JAIME  
CIEMS. S. C.  
JEFE GRUPO PROYECTOS  
CORDOVA No. 127 COL. ROMA  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
584-16-99

18 DE JULIO No. 85-6  
COL. TACUBAYA  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11870 MEXICO, D.F.

17.- LEYVA MARTINEZ CARLOS RICARDO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
DISEÑADOR  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
523-45-28

MOMELOS No. 166  
COL. DEL CARMEN  
DELEGACION COYOACAN  
04100 MEXICO, D.F.  
658-01-41

18.- PEDRO NOLASCO LOPEZ CUIEL  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
ANALISTA ESPECIALIZADO  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
523-48-53

2a. CERRADA 1a. DEL NOGAL No. 2 BIS  
COL. STA. MARIA LA RIBERA  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
06400 MEXICO, D.F.  
592-66-34

19.- LOPEZ JUAREZ JESUS MARINO  
DIREC. DE DRAGADO  
JEFE SECCION ANALISIS MATERIALES  
PROVIDENCIA No. 806  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-64-24

CAMINO REAL No. 14=B  
PUEBLO LUCAS XOCHIMANCA XOCHIMILCO  
16300 MEXICO, D.F.  
553-05-65

20.- LOPEZ VILLAFANA MIGUEL AL.  
S. C. T.  
INGENIERO CIVIL  
INSURGENTES SUR No. 664=6o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ

21.- MARTINEZ MEDINA GABRIEL  
S. C. T.  
ANALISTA  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-45-38

PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ

22.- MELENDEZ VARGAS SAMUEL  
SECRETARIA DE MARINA  
JEFE DEPTO. TECNICO  
DR. MORA No. 15-8o. PISO  
COL. CENTRO  
DELEGACION CUAUHTEMOC  
06050 MEXICO, D.F.  
518-79-95

CERRADA PLAN DE AYALA No. 15-2  
COL. NEXTITLA  
DELEGACION MIGUEL HIDALGO  
11420 MEXICO, D.F.  
547-42-38

23.- MORALES DIAZ JOSE ADRIAN  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
PROFESIONAL ASISTENTE  
AV. 100 METROS No. 152  
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
567-66-00

SANCHEZ AZCONA No. 1563  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
688-42-23

020  
0300  
DEPT. OF  
COI  
1000  
1100  
1200  
1300

31

1400  
1500  
1600  
1700  
1800  
1900  
2000

30

2100  
2200  
2300  
2400  
2500  
2600  
2700

29

2800  
2900  
3000  
3100  
3200  
3300  
3400

28

3500  
3600  
3700  
3800  
3900  
4000  
4100

4200  
4300  
4400  
4500  
4600  
4700  
4800

4900  
5000  
5100  
5200  
5300  
5400  
5500

100  
200  
300  
400  
500  
600  
700  
800  
900  
1000

1100  
1200  
1300  
1400  
1500  
1600  
1700  
1800  
1900  
2000

2100  
2200  
2300  
2400  
2500  
2600  
2700  
2800  
2900  
3000

3100  
3200  
3300  
3400  
3500  
3600  
3700  
3800  
3900  
4000

4100  
4200  
4300  
4400  
4500  
4600  
4700  
4800  
4900  
5000

5100  
5200  
5300  
5400  
5500  
5600  
5700  
5800  
5900  
6000

6100  
6200  
6300  
6400  
6500  
6600  
6700  
6800  
6900  
7000

24.- MOYA SANCHEZ JUAN CARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROFESOR  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
DELEGACION COYOACAN  
550-52-15

PUERTO ACAPULCO No. 16  
COL. CASAS ALEMAN  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07580 MEXICO, D.F.  
781-71-02

25.- OGARRIO GONZALEZ RUBIO ENRIQUE  
INGENIERIA PROCESAMIENTO ELECTRONICO  
JEFE DE GRUPO  
CALLE SAN LORENZO No. 153  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
575-12-42

CALLE HERA No. 67-3  
COL. FLORIDA  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03240 MEXICO, D.F.  
524-53-57

26.- ORTIZ PEREZ MARIO ARTURO  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
INVESTIGADOR  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
DELEGACION COYOACAN

ACOXPA No. 52 EDIF. B-1  
COL. HUIPULCO  
DELEGACION TLALPAN  
14000 MEXICO, D.F.  
655-40-80

27.- PEREZ CAS\_RO DAVID

28.- RAMIREZ SANTILLAN MA. MARTHA  
U. N. A. M.  
BECARIO  
CIUDAD UNIVERSITARIA  
04510 MEXICO, D.F.  
548-09-50

SOLEDAD No. 3  
COL. TETELPAN  
DELEGACION

29.- RIOS REYES MARIO  
BANCO NACIONAL PESQUERO Y PORTUARIO  
COORDINADOR  
REFORMA No. 122-2o. PISO  
535-18-49 y 535-16-30

AV. FERNANDO AMILPA No. 84  
CTM. EL RISCO  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07090 MEXICO, D.F.

30.- RIVERA VALDEZ ARTURO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
JEFE OFICINA  
S. C. T.  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, D.F.  
523-48-53

PROL. TAJIN No. 581  
COL. STA. CRUZ ATOYAC  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03310 MEXICO, D.F.  
688-64-51

31.- SANCHEZ CASAO JAVIER  
FONDO NACIONAL DESARROLLOS PORTUARIOS  
JEFE DEPTO. DE PROYECTOS  
JOSE MA. IBARRARAN No. 47-7  
COL. SAN JOSE INSURGENTES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03900 MEXICO, D.F.  
680-53-77-252

JOSE MA. IBARRARAN No. 47  
COL. SAN JOSE INSURGENTES  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03900 MEXICO, D. F.

253-48-97  
03100  
DEFECTION  
CONF. DEF  
BIOGRAPHY  
REFE  
ORKE  
XV350

BSY  
DEFECTION  
CONF  
DEFE  
ALTE

21  
AMS

22  
C  
D  
CO  
23  
I  
I  
I  
I

24  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

25  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

26  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

27  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

28  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

29  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

30  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

31  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

32  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

33  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

34  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

35  
S  
C  
C  
C  
C  
C  
C

32.- SOLIS CARRERA RIGOBERTO  
SECRETARIA DE PESCA  
JEFE DE DEPARTAMENTO  
LONDRES Y SEVILLA-7o. PISO  
COL. JUAREZ  
DELEGACION CUAUHEMOC  
525-90-60 ext. 167

MALAQUITA No. 70 BIS  
COL. ESTRELLA  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
07810 MEXICO, D.F.  
750-11-34

33.- SOLIS RODRIGUEZ DANIEL  
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
INGENIERO CIVIL  
EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS No. 152  
COL. SAN BARTOLO ATEPEHUACAN  
DELEGACION GUSTAVO A. MADERO  
567-66-00

ALCANFORES M-269 L-20  
COL. VILLA DE LAS FLORES  
DELEGACION COACALCO  
55700 MEXICO, D.F.  
874-84-11

34.- TORRES LOBATON ERNESTO TOMAS  
PETROLEOS MEXICANOS  
COORDINADOR DE PROYECTOS  
HERECHAL No. 119-8o. PISO  
COL. CASA BLANCA  
DELEGACION CUAUHEMOC  
254-35-34

SUR 114 No. 29  
COL. COVE  
DELEGACION ALVARO OBREGON  
01120 MEXICO, D.F.  
271-19-91

35.- TREJO MELENDEZ JORGE JAVIER  
IPESA  
INGENIERO "B"  
SAN LORENZO No. 153-5o. PISO  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, DF..  
575-40-77

ADOLFO PRIETO No. 1626-9  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, DF.  
575-12-42

36.- VARGAS GODINEZ ADOLFO  
S. C. T.

37.- VILLEDA MARTINEZ MODESTO  
DIREC. GRAL. OBRAS MARITIMAS  
JEFE DE OFNA.  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
523-45-38

TAMPICO No. 5  
EL PUERTO  
TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO  
391-47-84

38.- ZARCO GARCIA DAVID  
OBRAS MARITIMAS  
JEFE DE SECCION  
PROVIDENCIA No. 807  
COL. DEL VALLE  
DELEGACION BENITO JUAREZ  
03100 MEXICO, DF.  
523-48-53

AGAVE No. 23  
COL. JARDINES DE COYOACAN  
DELEGACION COYOACAN  
04890 MEXICO, D.F.  
677-01-60

