

627.58  
R618 m  
1970  
F. Ing. Arq.  
Cj. 1

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10106139

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

# Métodos de Protección y Recuperación de Playas. Consideraciones Económicas.

PROYECTO DE INGENIERIA  
PREVIA OPCION AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR

MIGUEL ANGEL RIVAS M.  
JULIO CESAR QUIÑONEZ E.  
RAFAEL BAIRES ZALDIVAR



1970



SAN SALVADOR . EL SALVADOR - CENTRO AMERICA



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

Doctor José María Méndez

SECRETARIO GENERAL

Doctor José Ricardo Martínez

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

Ingeniero Guillermo Imery

SECRETARIO

Ingeniero Rodolfo Jenkins

ESCUELA DE INGENIERIA

COORDINADOR

Ingeniero Félix Antonio Ulloa

12-VII-70 #35604

ASESOR ACADEMICO DEL PROYECTO

Ingeniero Ricardo Villacorta Benítez

CONSULTORES DEL PROYECTO

Ingeniero Miguel Angel Aquino

Ingeniero Antonio Portillo López

EXAMEN GENERAL DE GRADO

Ingeniero Ricardo Villacorta Benítez

Ingeniero Antonio Portillo López

Ingeniero Mario Angel Guzmán Urbina

DEDICATORIA:

CON PROFUNDO CARIÑO Y AGRADECIMIENTO

A MI MADRE: LUZ MONTERROSA

A MI HERMANA: ANGELA LETICIA RIVAS M.

## C O N T E N I D O

Prólogo

Introducción

### CAPITULO I

Página

	Consideraciones generales. Finalidad e importancia del presente estudio.....	1
1.1	Localización geográfica.....	1
1.2	Formaciones litorales.....	1
1.2.1	Playas.....	1
1.2.2	Esteros.....	2
1.2.3	Puntas.....	3
1.2.4	Costas rocosas.....	4
1.3	Influencia económica .....	4
1.4	Aprovechamiento de los esteros.....	5

### CAPITULO II

	Factores a considerar en el estudio.....	8
2.1	Acciones que intervienen en la formación de las playas.....	8
2.1.1	Las olas.....	9
2.1.1.1	Clasificación de las olas.....	9
2.1.1.2	Oleaje.....	13

	<u>Página</u>
2.1.1.3	Deformación de las olas.....15
2.1.1.3.1	Refracción.....20
2.1.1.3.2	Difracción.....21
2.1.1.3.3	Reflexión.....22
2.1.1.3.4	Deformaciones independientes de la dirección.....22
2.1.1.4	Acciones de las olas al romper.....24
2.1.2	Corrientes marinas. Clasificación..26
2.1.2.1	Corrientes de tipo litoral.....27
2.1.2.2	Corrientes de rezaca.....27
2.1.2.3	Corrientes de marea.....28
2.1.2.4	Otros tipos de corrientes.....29
2.1.3	El viento.....29
2.1.3.1	Clasificación de los vientos según la importancia en estructuras marí- timas.....29
2.1.3.2	Acción del viento sobre las playas.30
2.1.4	Procesos químicos.....31
2.1.5	Influencia biológica.....32
2.2	Distintos tipos de costas en El - Salvador.....32
2.2.1	Costas con acantilados. Localiza- ción.....33
2.2.2	Costas con cantos rodados y gravas. Localización.....33

	<u>Página</u>
2.2.3	Golfo de Fonseca.....33
2.2.4	Costas arenosas. Localización.....34
2.2.5	Evolución de las playas de arena... Formación de los Esteros. Comenta- rios.....34
2.3	Construcciones que limitan la ac- ción dañina de los factores consi- derados.....39
2.3.1	Datos preliminares para la elabora- ción de un proyecto.....39
2.3.2	Obras de protección de playas.....42
2.3.2.1	Obras paralelas a la playa.....42
2.3.2.2	Estructuras perpendiculares a la playa. Espigones.....55
2.3.2.2.1	Efecto del espigón.....55
2.3.2.2.2	Dimensiones de los espigones.....58
2.3.2.2.3	Espaciamiento entre espigones.....58
2.3.2.3	Otras obras.....60

### CAPITULO III

	Aplicación de los métodos de construcción a las playas de la hacienda El Encantado.....63
3.1	Planteamiento de los problemas.....63
3.1.1	Desplazamiento de la bocana del río El Encantado.....64

3.1.1.1	Alternativas al problema de la <u>de</u> semboadura del río El Encantado.....	66
3.1.1.2	Desarrollo de la tercera alterna- tiva al problema de la desembo- adura del río El Encantado. Tres soluciones.....	68
3.1.1.3	Solución recomendada.....	89
3.1.2	Erosión en los acantilados.....	90
3.1.3	Carencia de playas de arena en la <u>zo</u> na de los acantilados.....	91
3.1.4	Erosión de la playa que limita al <u>es</u> tero del Tamarindo.....	92
3.2	Consideraciones generales sobre las obras propuestas.....	97
3.3	Viabilidad.....	98
3.3.1	Consideraciones Socio-económicas so- bre las obras propuestas en la boca- na <del>del</del> río El Encantado.....	98
3.3.2	Consideraciones socio-económicas <del>so-</del> bre las obras propuestas en la zona de los acantilados.....	101
3.3.3	Consideraciones socio-económicas so- bre las obras propuestas en la zona del estero del Tamarindo.....	101



CAPITULO IV

Conclusiones y recomendaciones de caracter global...103

4.1 Aspecto general de nuestro litoral. Con  
clusiones.....103

4.2 Interés científico.....104

4.3 Desarrollo socio-económico.....105

APENDICE

Recuperación de tierras por medio de dragas.....107

BIBLIOGRAFIA .....110

FIGURAS

## P R O L O G O

Con el interés de colaborar en el desarrollo de nuestro País y a la vez cumpliendo con un requisito, previo a la opción del Título de Ingeniero Civil, hemos trabajado durante mucho tiempo en el desarrollo de este proyecto, el cual consideramos de gran utilidad, no solo por ser un tema poco abordado en nuestro medio, sino también por ser factible de aplicar en distintos lugares de nuestra costa con el consiguiente beneficio nacional.

Es de hacer notar que nuestra labor fue menos ardua de lo que esperábamos, dada la colaboración técnica y dirección de los Ingenieros: Ricardo Villacorta Benítez, Costas P. Constantinu, de grata recordación, Miguel Angel Aquino y Antonio Portillo López, los cuales, con mucho interés se mostraron explícitos para resolver los problemas planteados en nuestras peticiones.

## I N T R O D U C C I O N

Después de visitar en distintas ocasiones las playas de nuestra costa, es posible notar, por simple observación, ciertos cambios que éstas sufren, y que aparentemente parecen estar gobernados por el azar; dichos cambios ocasionan pérdidas de estructuras ya establecidas o ponen en peligro obras vecinas. Este problema expuesto de una manera general lo hemos limitado en el presente trabajo al analizar unicamente los cambios sufridos por las playas de la Hacienda El Encantado.

El haber escogido esta zona para realizar el estudio y no otra, obedece particularmente al deseo de contribuir en el desarrollo turístico que sobre estas playas existe y que será incrementado notablemente en un futuro. Otra razón importante que nos inclinó a realizar el trabajo sobre esta parte de nuestra costa es la diversidad de playas que presenta.

En el desarrollo de este tema, tal como lo presentamos hemos abarcado muchos puntos que individualmente merecen un estudio especial, pero aún habiéndolo comprendido desde el principio, decidimos continuarlo en esta forma a fin de mostrar un tópico general y llegar a soluciones reales tal como se ha logrado.-

## C A P I T U L O I

Consideraciones generales. Finalidad e importancia del presente estudio.

### 1.1 Localización geográfica. (1)

El Litoral Salvadoreño está situado sobre una línea irregular de 260 Km. de longitud aproximadamente, la cual resulta de unir los puntos extremos que tienen las siguientes coordenadas geográficas: (  $87^{\circ}50'W$ ,  $13^{\circ}10'N$  ) y (  $90^{\circ}10'W$ ,  $13^{\circ}45'N$  ). Tierra firme está localizada al Norte de esta línea y por consiguiente al Sur de ella encontramos la diversidad de playas que baña el Océano Pacífico. Fig. 1.

### 1.2 Formaciones Litorales.

Con el objeto de establecer consideraciones de carácter general acerca de las formaciones litorales, procedemos a describir brevemente las relacionadas con nuestro estudio, que merecen mayor atención ya sea por su localización, su aspecto o su extensión.

#### 1.2.1 Playas. (2)

El área plana de la costa comprendida entre los límites de bajamar y pleamar constituye lo denominado corrientemente como playa. En la Costa Salvadoreña ésta no se presenta uniforme sino que muestra en todas sus partes variaciones en su pendiente, su formación y clase de materiales que la constituyen. Puede ser constituida de limo, arena, grava, guijarros o cantos rodados o combinación de todos.

La pendiente oscila principalmente entre  $5^{\circ}$  y  $20^{\circ}$ . La arena presenta cambios en su aspecto externo, color y granulometría.

#### 1.2.2 Esteros. (1) (2)

Los Esteros son sistemas de canales que se extienden sobre largas distancias en varios lugares de la costa; están protegidos y separados del Océano por medio de Penínsulas o Barras de arena. Estos canales se comunican con el Océano por medio de Bocanas movedizas que permiten al fenómeno de las mareas hacerse presente en todos los lugares del estero. Siempre los esteros son alimentados por corrientes fluviales que desembocan en ellos. Las márgenes de los canales están constituidas por playas de arena, terrenos lodosos o bosques de mangle o madera salada. Es una característica común de todos los esteros que los terrenos que los rodean son de topo -

grafía plana, debido al mismo proceso de su propia formación.

Las ramificaciones de los canales son numerosas y muchas veces se pierden entre los bosques de mangle, sin embargo, en casi todos ellos es posible la navegación de embarcaciones pequeñas. El agua de los canales tiene velocidades pequeñas y muchas veces permanece estancada.

Las condiciones que presentan los Esteros, en lo que respecta a suelo, humedad, temperatura, etc. son ideales para el desarrollo de algunos mariscos o insectos.

Entre los Esteros principales a que podemos referirnos están: el de Jiquilisco, el de Jaltepeque, el de Santiago, el Cauta, el del Tamarindo, el de San Diego y otros de menor tamaño. La descripción anterior de los Esteros es aplicable a éstos.

### 1.2.3 Puntas. (2) (1) (3)

Se llaman así a las fajas de tierra que penetran en el mar y que terminan generalmente en extremos agudos.

Esta clase de formaciones siempre protegen del oleaje a determinadas zonas y su importancia depende de la protección que ofrezcan, así tenemos : La Punta de Remedios que protege-

al Puerto de Acajutla, la Punta de Amapala que protege a las playas del Tamarindo, la Punta del Chiquirín en el Golfo de Fonseca y otras de menor importancia.

#### 1.2.4 Costas Rocosas. (2) (3)

En último lugar citamos las Costas Rocosas, las cuales se caracterizan por su pendiente pronunciada; estas se forman debido a la acción del oleaje sobre rocas volcánicas.

#### 1.3 Influencia Económica.

En la actualidad, la explotación económica que sufren las distintas formaciones litorales es limitada a ciertas actividades, las cuales a su vez están poco desarrolladas.

Reconocemos que la actividad económica de una zona, cualquiera que sea, representa un problema muy complejo, tanto por los campos donde puede extenderse como por la diversidad de factores que intervienen en cada uno de ellos.

En nuestro caso particular, creemos que la zona costera puede influir acertadamente en el Desarrollo Económico Nacional a través de varias actividades que estén de acuerdo con los recursos naturales de la zona.

Una de las formas es la Industria Turística, la cual puede aprovechar la belleza de las playas como el atractivo principal en su explotación.

Esta alternativa de desarrollo, como muchas otras, se encuentran con situaciones adversas a su seguridad debido a los cambios producidos por los fenómenos costeros que son objeto del presente estudio.

De esta condición nació la idea de estabilizar, proteger o recuperar las playas. El alcance de dicho objetivo se basa en las inversiones actuales y futuras.

Es importante aclarar que las conclusiones generales a que llegaremos en el presente trabajo beneficiarán a todos los dueños particulares de las parcelas de playa que sufren las consecuencias de la inestabilidad de la línea de la Costa.

#### 1.4 Aprovechamiento de los Esteros.

Por considerar a los Esteros como parte especial y predominante en nuestra costa, creemos oportuno comentar sobre el aprovechamiento de ellos.

Al hablar de nuestro Litoral hicimos mención de los Esteros, y los definimos como zonas compuestas por una serie de -



canales e islas cultivadas de mangle o madera salada, poblada de muchos insectos y mariscos; pues bien, la utilidad que -- prestan actualmente estas distintas partes de los Esteros, es muy poca o quizá insignificante, por lo cual exponemos algunas formas que permitirían su mejor aprovechamiento.

Una de las maneras es incorporarles nuevos cultivos. Sabemos que para ello es necesario resolver una serie de problemas tales como: encontrar los cultivos rentables que se adapten a estos suelos salinos, proyectar drenajes en niveles -- tan bajos como los que poseen dichas zonas, utilizar correctamente el mangle talado y otros. Con dicha habilitación se lograría, entre otras cosas, disminuir la plaga de insectos, aumentar el área útil de nuestro territorio, abrir fuentes de -- trabajo, etc.

Existen además otras formas de aprovechar los Esteros como son: tecnificar la crianza de camarón u otros mariscos, -- abrir vías de navegación para facilitar determinadas actividades, incrementar la industria salinera, etc.

Para habilitar nuevas vías de navegación se recomienda -- profundizar los canales actuales y con el material obtenido -- de ellos levantar el nivel de las partes del Estero que se -- crean convenientes.

Aunque el objetivo del presente trabajo es proteger o re

cuperar las playas, hemos creído necesario hacer las observaciones anteriores con el objeto de interesar a otras personas a que dediquen parte de su tiempo y conocimientos en investigar los métodos, los sistemas y exponer las soluciones correctas para explotar esa inmensa riqueza natural que nos presentan las costas.

Nuestro interés tuvo origen en los cambios observados a ciertas playas, exactamente a las colocadas a un lado de cada Bocana de cada Estero. El punto común de los Esteros y de las playas y de influencia mutua es la Bocana.

## C A P I T U L O   I I

### Factores a considerar en el estudio.

Diversos son los factores que un Ingeniero encargado de la elaboración de un proyecto de ingeniería marítima, destinado a la creación, estabilización o mejoramiento de estructuras, debe de estudiar y conocer a fin de que el funcionamiento de dichas obras sea eficiente y cumpla en todo momento los fines perseguidos; dichos conocimientos se basan principalmente en la Hidráulica General, Hidráulica Marítima y la Geología.

#### 2.1 Acciones que intervienen en la formación de las playas.

(4).

En la formación de las playas intervienen una serie de fenómenos que actúan con intensidad variable, ya sea en conjunto o por separado, dependiendo su acción, principalmente del lugar considerado. Los fenómenos básicos a que nos referimos son:

- a) Las Olas. (Acción mecánica Hidráulica)
- b) Las Corrientes. (Acción mecánica Hidráulica)
- c) El Viento. (Acción mecánica Eólica)
- d) Los procesos Químicos.
- e) Los procesos Biológicos.

### 2.1.1 Las Olas. (5)

Se pueden definir como ondas de diferente amplitud que se producen en la superficie de las aguas.

En nuestro caso particular estudiaremos lo relativo a olas de tipo marítimo y diremos que su intensidad y tamaño dependen de:

- a) La profundidad del agua en el lugar.
- b) La velocidad del viento.
- c) La superficie del agua expuesta a la acción del viento.
- d) Del tiempo que dure la acción del viento.

El análisis matemático de las olas se basa en las características siguientes:

- L = Longitud de onda.
- h = Altura de la ola.
- T = Período de la ola.
- C = Celeridad de la ola.

#### 2.1.1.1 Clasificación de las Olas. (5)

Se clasifican en base al período, a la trayectoria de sus

partículas y a la forma en que rompen las olas.

Tomando como base el período las olas se clasifican, según Walter H. Munk, en:

<u>Nombre</u>	<u>Período</u>
Olas capilares.....	Menor de 0.1 seg.
Olas de ultra gravedad.....	De 0.1 a 1 seg.
Olas de gravedad ordinaria.....	De 1 a 30 seg.
Olas de infra gravedad.....	De 30 seg. a 5 min.
Olas de largo período.....	De 5 min. a 12 horas.
Mareas ordinarias.....	De 12 a 24 horas.
Olas de transmareas.....	De 24 horas o más.

Las olas capilares están afectadas más por la tensión superficial que por la gravedad.

Las olas de gravedad ordinaria y ultragravedad son originadas por el viento, debido a un aumento de presión en la parte de la ola sobre la cual actúa y a una disminución de presión del lado contrario; además ejercen también su acción en forma de empuje tangencial sobre la superficie del agua.

Olas de infra gravedad tienen su origen en la diferencia de nivel de agua que se produce entre una serie de ondas de alta rompiente y una de baja rompiente que le precede.

Olas de largo período tienen varios orígenes como son: gradiente barométrica, movimientos sísmicos en el fondo del mar.

Ondas de mareas ordinarias son causadas por la atracción de la luna y el sol.

Ondas de transmareas su origen no se encuentra bien definido. Aparentan estar influenciadas por las mareas lunares, solares y factores meteorológicos.

Según la trayectoria de sus partículas, las ondas se clasifican en:

- a) Ondas Oscilatorias
- b) Ondas Traslatorias

Ondas Oscilatorias se producen teóricamente en profundidades bastante considerables. Se dividen en olas de aguas profundas y olas de aguas de profundidad limitada.

Se consideran olas de aguas profundas las que cumplen la relación  $H > \frac{L_0}{2}$ .

$L_0$  = Longitud de onda inicial.

$H$  = Profundidad del agua.

Las olas de aguas profundas no tienen frente delineado y sus partículas describen órbitas circulares.

Las olas de profundidad limitada son donde se cumple la relación  $H < \frac{L_0}{2}$ .

Las partículas de las olas de profundidad limitada describen órbitas circulares que se transformen a elípticas y lineales.

Ondas Translatorias ocurren cuando se cumple la relación -  
 $H < \frac{L}{2}$ .

L = Longitud de la ola en el punto considerado.

En la fig. 2 se presenta el esquema de una ola.

Según la forma en que rompen las olas, éstas se clasifican en:

- a) Olas que rompen en voluta.
- b) Olas que rompen en derrame.

Olas que rompen en voluta tienen la particularidad de que su cresta al derramarse lo hace en forma de zambullida y las partículas describen una rotación respecto a su posición de reposo. Esto sucede en aguas profundas y es muy raro.

Olas que rompen en derrame se caracterizan por la aparición de espuma en su cresta y las partículas describen movimientos traslatorios que impiden su regreso al punto inicial.

Ya que las partículas de las olas que rompen en voluta rotan alrededor de un eje y las de las que rompen en derrame se trasladan, podemos decir, que la longitud que necesita para romper una ola en derrame es mayor que la necesaria para una ola que rompe en voluta.

#### 2.1.1.2 Oleaje. (5)

En el fenómeno del oleaje, las olas se caracterizan por descomponerse en tres etapas sucesivas:

- 1) Aquella en la cual la ola se desplaza con movimiento aproximadamente oscilatorio hasta llegar a la zona poco profunda de la costa.
- 2) Es la etapa en que se produce un cambio fundamental. De oscilatoria la ola se vuelve traslatoria.
- 3) La ola revienta.

El proceso del fenómeno del oleaje se muestra en la -  
fig. 3.



En la primera etapa, cuando la ola se encuentra en aguas profundas, la influencia que ejercen las olas sobre el fondo o viceversa es insignificante o nula.

En la segunda etapa, al volverse la ola traslatoria experimenta una mayor combadura. Difícilmente se encuentran en zonas profundas, excepto cuando son originadas por fenómenos naturales, tales como terremotos o erupciones volcánicas. Las partículas efectúan su movimiento sobre trayectorias elípticas.

El fenómeno de transformación por el cual una ola oscilatoria se convierte a partir de su línea de rotura o antes de llegar a ésta, en una ola de traslación, todavía no está bien definido, formulándose ciertas explicaciones al respecto que son todavía objeto de comprobación y estudio.

En la tercera etapa las olas rompen en una zona conocida como "zona de rompiente" y el hacerlo obedece a dos razones fundamentales que son:

- 1) Que la ola haya alcanzado el valor máximo teórico de combadura, según Stokes es de  $0.14 = 1/7$ .
- 2) Que la relación entre la profundidad del agua y la altura de la ola esté entre los valores de 1.1 y 1.5.

Además de las dos razones anteriores intervienen otros

agentes tales como la resaca y el viento.

### 2.1.1.3 Deformación de las olas. (4) (5) (6) (7)

Al volverse la ola traslatoria o sea en la segunda etapa del fenómeno del oleaje, la ola sufre deformaciones que se agrupan en dos categorías principales que son:

- 1) Unas debidas a la dirección.
- 2) Otras independientes de la dirección.

Las deformaciones debidas a su dirección son producto de los fenómenos físicos siguientes:

- a) La Refracción.
- b) La Difracción.
- c) La Reflexión.

Dada la importancia que presentan para un proyecto de estabilización, protección y recuperación de playas los efectos que se derivan de los fenómenos anteriores, es que haremos un breve estudio de ellos.

Para su análisis es preciso conocer las características y las fórmulas matemáticas que rigen su comportamiento. Partiendo del conocimiento de dichas fórmulas en aguas profundas, es posible conocer los efectos que producen los fenómenos de la Refracción, Difracción y Reflexión.

Las fórmulas a que nos referimos se explican por medio de tres teorías que son:

- a) Teoría espectral
- b) Teoría irrotacional
- c) Teoría trocoidal.

La Teoría espectral se basa en la correspondencia de las ondas del espectro electromagnético con las ondas oceánicas clasificadas según su período por Walter H. Munk (5). El problema se analiza estudiando el origen de todo el espectro con el objeto de poder producir su comportamiento final.

La Teoría irrotacional considera la existencia del transporte de masas de agua durante el fenómeno del oleaje.

En el presente trabajo usamos las fórmulas que se derivan de la Teoría trocoidal la cual supone que el movimiento

de las olas es oscilatorio. Las fórmulas siguientes corresponden a dicha teoría.

AGUAS PROFUNDAS

$$C_0 = \sqrt{\frac{g L_0}{2\pi}}$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}}$$

$$L_0 = \frac{g T_0^2}{2\pi}$$

$$L_0 = C_0 T_0$$

$$C_0 = \frac{g T_0}{2\pi}$$

AGUAS BAJAS

$$C = \sqrt{\frac{g L}{2\pi} \operatorname{Tgh} \frac{2\pi H}{L}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L}{g} \operatorname{Coth} \frac{2\pi H}{L}}$$

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \operatorname{Tgh} \frac{2\pi H}{L}$$

$$L = C T$$

$$K = \operatorname{Coth} \frac{2\pi H}{L}$$

En el límite de aguas profundas y bajas puede considerarse que:

$$T_0 = T$$

$$\therefore \sqrt{\frac{2\pi L K}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi L_0}{g}}; \text{ despejando da:}$$

$$L K = L_0 \quad \text{ó} \quad K = \frac{L_0}{L} \quad . \quad -1-$$

En las fórmulas anteriores y en las que se citarán más adelante tenemos:

- g = Aceleración de la gravedad.
- Lo = Longitud de onda inicial. (aguas profundas)
- L = Longitud de onda final. (aguas bajas)
- To = Período de la onda inicial. (aguas profundas)
- T = Período de la onda final. (aguas bajas)
- C = Celeridad de la onda. (aguas bajas)
- Co = Celeridad de la onda inicial. (aguas profundas)
- H = Profundidad del agua. (aguas profundas)
- Ho = Profundidad del agua. (aguas profundas)

La longitud de onda inicial puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$L_o = 840 \frac{h_o}{V} \quad (\text{pies}).$$

$$h_o = 0.17 \sqrt[3]{V \cdot D} \quad (\text{pies}).$$

en la que:

- h<sub>o</sub> = Altura de la ola inicial. (pies)
- V = Velocidad del viento. (millas/hora)
- D = Tirada. (millas)

Conocido  $L_0$ , por medio de la fórmula anterior, y  $H$  que se puede obtener directamente, es posible determinar los valores de  $L$  y  $K$  aplicando la fórmula -1- .

Se conoce como límite de las aguas profundas al lugar donde se cumple la relación  $H = L_0/2$  ó bien  $H/L_0 = 0,5$  entonces, si se desea estudiar el oleaje en aguas bajas, analizamos las fórmulas citadas considerando la relación  $H/L$  con valores menores de 0.5.

Plano de Oleaje, es la representación gráfica del avance sucesivo de las olas. Para estudiar los fenómenos de la Refracción, Difracción y Reflexión, es preciso contar con un plano de oleaje de la zona considerada. Para construir un plano de oleaje se procede como sigue:

Se parte del límite de aguas profundas  $H = L_0/2$ , en este lugar las crestas son normales a la acción del viento; la cresta de la ola que sirve de partida puede dividirse en un número adecuado de tramos iguales. De cada uno de ellos se trazan líneas normales. Las líneas normales lo son en todas las posiciones que se considere la cresta en movimiento, y se les llama ortogonales.

La distancia que separa a una cresta de otra se llama avance. Puede calcularse por medio de las fórmulas citadas

anteriormente, con la aproximación que sea necesaria.

La fig. 4 presenta un plano de oleaje.

#### 2.1.1.3.1 Refracción. (5) (6) (7)

Si la dirección de la ola ha cambiado debido a variaciones del fondo, decimos que se ha efectuado el fenómeno de la Refracción. Ello sucede cuando se presentan dos condiciones básicas:

- 1)  $H < \frac{L}{2}$
- 2) Que no exista paralelismo entre las crestas de las olas y las líneas isóbatas. \*

Cuando las olas sufren el fenómeno de la refracción, el movimiento de ellas se produce en forma casi paralela a la orilla; este movimiento depende de la configuración del fondo, pudiendo observarse que si se presentan protuberancias submarinas, las crestas de las olas convergen aumentando la intensidad de su acción; en el caso contrario cuando se está en presencia de hondonadas las crestas de las olas divergen,

---

\* Líneas que unen puntos de igual profundidad en el mar.

reduciendo así la intensidad de su acción.

En la fig. 4 se presenta un esquema del fenómeno de la refracción.

#### 2.1.1.3.2 Difracción. (4) (5) (6) (7)

Este fenómeno se presenta cuando la ola se ve cortada parcialmente en su avance al interponerse algún obstáculo ya sea natural o artificial.

En la fig. 5 se presenta el caso de una ola que al propagarse en profundidad constante encuentra un obstáculo al que cruza en el extremo B continuando su avance. Al faltarle el apoyo lateral, la ola se expande aprovechando la energía que cede lateralmente la zona  $AA_1BB_1$  llamada zona de alimentación.

Si en la dirección  $BB_1$  existiese una pantalla vertical indefinida, la onda continuaría su avance apoyada lateralmente en dicha pantalla. Pero como esta no existe, parte de la energía de la zona de alimentación es transmitida a la zona de expansión que está definida en la fig. 5 como el área  $BB_1C_1C$ . El agua comprendida entre el obstáculo y la línea  $CC_1$  se encuentra en calma.

El fenómeno de la Difracción puede tener muchas variantes en su comportamiento que dependen principalmente del -



número de obstáculos que encuentre y de la posición entre ellos.

#### 2.1.1.3.3 Reflexión (4) (5) (6) (7)

Cuando una ola choca contra un obstáculo, tiende a regresar y se produce así el fenómeno de la Reflexión. Las leyes de la Optica rigen el comportamiento de este fenómeno. La inclinación del talud del obstáculo determina la cantidad de energía que se refleja de la ola incidente. Se tiene una Reflexión del 100% cuando el dique es de pared vertical.

Si el choque se produce normal al obstáculo, se presentan una serie de ondas estacionarias que son resultado de la interferencia del sistema incidente con el reflejado, comunmente se dice que el mar está picado. Si el choque se efectúa en forma oblicua, la interferencia de las olas produce una serie de crestas blancas espumosas a las cuales se denominan cabri-las. Este fenómeno se intensifica cuando el viento es fuerte.

En la fig. 6 se presenta un esquema del fenómeno de la Reflexión.

#### 2.1.1.3.4 Deformaciones independientes de la dirección.

(4) (5) (6) (7)

La ola, antes de romper, sufre una serie de deformaciones. El Período es la única característica que permanece inalterable, las otras varían en función de la relación  $H/L$  y son:

- 1) Disminución de la longitud de onda.
- 2) Disminución de la velocidad de propagación.
- 3) Aumenta la relación entre la altura de la ola y la longitud de onda. (combadura)
- 4) Desaparición o notable reducción de las olas de cresta corta, es decir, de las ondulaciones irregulares que frecuentemente perturban el oleaje en aguas profundas. Resulta entonces, tendencia a formar ondas uniformes.
- 5) Transformación del movimiento rotatorio de las moléculas a movimiento con trayectoria elíptica.
- 6) Creciente asimetría del perfil de la ola. La parte delantera se hace más abrupta con relación a la parte posterior.

De las seis deformaciones citadas anteriormente, las tres primeras pueden comprobarse por medio de las fórmulas antes mencionadas. Las tres restantes se deben principalmente a la relación  $H/L$ , ya que cuando ésta alcanza valores menores de 0.5 la influencia que ejerce el fondo produce dichas deformaciones.

2.1.1.4 Acciones de las olas al romper. (4) (5) (6) (7)

Las acciones de las olas que rompen sobre una playa son:

- a) Excavación vertical cuando rompe en voluta.
- b) Efecto de rodadura, diseminación y escogido en el vaivén.
- c) Puesta en suspensión en el rompimiento y embestida.
- d) Depósito de materiales al final de la embestida.
- e) Efecto de erosión durante el descenso laminar de retroceso.

Si las olas al romper, lo hacen sobre paredes verticales rocosas, tales como acantilados, se efectúa una variedad de acciones físicas, entre las que se pueden mencionar:

- a) Presión hidrostática.
- b) Choque o impacto dinámico.
- c) Succión.
- d) Ametrallamiento.
- e) Efecto de rebote vertical.

La presión hidrostática se ejerce sobre las rocas o sobre el aire que el agua comprime entre las fisuras o grietas.

La acción del choque es capaz de mover masas de gran peso y volumen. Puede además erosionar los materiales de un acantilado que no se encuentren consolidados.

La succión ejecuta su acción cuando la ola se refleja arrastrando las partículas de roca que se han desmembrado.

El ametrallamiento es un impacto continuo de todas las partículas de roca acarreadas por la ola, las cuales efectúan procesos altamente abrasivos, pues al chocar, raspan en una forma lenta y progresiva la roca hasta erosionarla y fragmentarla por completo haciéndola desaparecer.

Rebote vertical se produce cuando la ola encuentra un obstáculo en su avance y al saltar e incidir verticalmente sobre él, produce efectos erosivos debido a la fuerza de caída. El peso de la masa de agua es tan grande que algunas veces produce el desplazamiento de las estructuras.

El estudio mecánico de la acción de la ola, muestra que al chocar ésta en forma normal a la costa, todo el impulso de que viene investida actúa en forma destructora. Si la incidencia se efectúa en forma oblicua la fuerza mecánica de la ola se divide en dos componentes, la componente normal a la línea litoral que es la que ejerce la acción destructora y la componente paralela que al convertirse en

corriente transporta los materiales disgregados y los deposita en las playas vecinas.

Todos estos fenómenos han producido grandes desastres en varias partes del mundo debido a que no se han previsto sus efectos, por lo tanto, es de vital importancia ampliar su conocimiento mediante una mayor investigación.

#### 2.1.2 Corrientes marinas. Clasificación. (4) (5) (6)

Las corrientes marinas son desplazamientos de agua de mar debido a diversos factores y que ejercen marcada influencia en la morfología litoral.

Existen muchos tipos de corrientes y al clasificarlas se toma como base las causas que las generan. Dicha clasificación comprende:

- 1) Corrientes de orilla o de tipo litoral.
- 2) Corrientes de resaca.
- 3) Corrientes de marea.
- 4) Corrientes de convección.
- 5) Corrientes de viento.
- 6) Corrientes de presión.

No todas las corrientes antes citadas revisten igual importancia en el presente trabajo, por tal razón, haremos solamente un estudio breve de las principales.

#### 2.1.2.1 Corrientes de tipo literal. (5) (6)

Su origen es muy variado, sin embargo, una de las causas principales es la oblicuidad con que las olas inciden en la costa. La dirección de su movimiento es variable, en muchos casos predomina la forma casi paralela a la orilla. La Refracción hace que las oblicuidades mayores de  $10^{\circ}$  sean prácticamente raras. La velocidad que alcanzan tales corrientes es proporcional a la oblicuidad. La importancia de estas corrientes se debe a que sirven como agentes transportadores de grandes cantidades de materiales finos.

#### 2.1.2.2 Corrientes de resaca. (4) (5) (6)

Reciben el nombre de corrientes de resaca las originadas por las olas en su movimiento de retroceso. Estas corrientes se deben al exceso de agua que las olas conducen hacia la orilla y que, al llegar a ésta, tiende a escapar y regresar hacia el mar en forma de corrientes angostas en las cuales la velocidad es mayor que la de las aguas superiores que la limitan. Este tipo de corrientes depende en gran parte de las depresiones que se encuentran

en el mar, lo que dificulta su localización, pues la configuración de los lugares varía con el tiempo.

### 2.1.2.3 Corrientes de marea. (4) (5)

Las corrientes producidas por las mareas, aunque en cierta forma son ineficaces en las playas regulares y abiertas, pueden causar graves consecuencias en playas de forma irregular. En playas irregulares las mareas producen corrientes de tipo local en las orillas cuya velocidad y fuerza son bastante considerables y dan lugar a que el acarreo de sedimentos y los efectos erosivos se desarrollen en forma intensa. Es posible observar la acción de estas corrientes en los estrechos que comunican mares u océanos que tienen distintas horas para sus mareas, aunque la diferencia entre las alturas de ellos sea poca. Se puede dar también el caso contrario en donde a pesar de que no exista gran diferencia en la hora en que se realizan las mareas, el desnivel que existe entre ambas si es considerable. Este caso se observa principalmente en estrechos en donde la corriente es encausada.

Todas estas mareas revisten un carácter reversible con excepción de ciertos tipos de bahías, ya que en mar afuera la reversibilidad siempre se manifiesta.

En los estuarios también sucede lo mismo, únicamente con la diferencia de que los caudales que suben en el período de

flujo son menores que los que bajan en el período de refluo debido a que éstos están incrementados por las aguas propias del río. En los estuarios se puede comprobar que durante el período de flujo poseen cierto grado de salinidad hasta determinada zona, variando el límite y la salinidad según la época del año, la hora en que tiene lugar la marea y el régimen que posea el río. Aguas arriba del río, a partir de dicha zona, la salinidad desaparece y el agua transportada es dulce. Se dice entonces que se realiza la marea dinámica.

#### 2.1.2.4 Otros tipos de corrientes. (4)

Existen otras corrientes, ya mencionadas en la clasificación anterior, que por carecer de mayor importancia en este trabajo no serán descritas.

#### 2.1.3 El viento. (4) (5) (6)

Se denomina viento al desplazamiento que experimentan las masas de aire en forma horizontal. La dirección y la velocidad del viento están determinadas principalmente por las diferencias de presión atmosférica existente. Es conocido que los vientos soplan de las regiones de alta presión a las de baja presión.

##### 2.1.3.1 Clasificación de los vientos según la importancia en estructuras marítimas.



- a) Vientos ciclónicos tropicales.
- b) Vientos permanentes.
- c) Vientos locales.

Vientos ciclónicos tropicales son los que dan origen a las olas más peligrosas para la estabilidad de las estructuras marítimas.

Vientos permanentes llamados también oceánicos, son los que producen el oleaje reinante o dominante. Son base para el estudio de los cambios que sufren las costas debido al oleaje.

Vientos locales son brisas diurnas y nocturnas que se producen a lo largo de las costas debido a variaciones de temperatura. Su importancia consiste en la influencia que ejercen en el diseño de obras costeras, para la orientación de los muelles y en su comportamiento como agente transportador de material arenoso. Las olas formadas por estos vientos son de poca importancia en los cambios morfológicos litorales.

#### 2.1.3.2 Acción del viento sobre las playas. (4) (5)

Se conocen dos tipos de acción que ejerce el viento sobre las playas. Una directa y otra indirecta.

Acción directa es la que ocasiona el traslado de los materiales. La fuerza del viento determina el tipo de materiales transportados. La morfología de las playas se altera cuando el viento deposita materiales en ella.

Acción indirecta es la que da origen a las olas. Ya ha sido considerada.

#### 2.1.4 Procesos químicos. (4)

Los procesos químicos que se realizan en la formación de las playas son muchos y muy variados, sin embargo, las investigaciones hechas por científicos aún no los han definido satisfactoriamente. De manera global se establece la existencia de tres procesos importantes que son:

- a) Corrosión de las calizas.
- b) Consolidación de los sedimentos calcáreos.
- c) Disgregación de las rocas.

Los procesos químicos en las playas pocas veces logran ser los factores principales de su cambio, mas bien son acciones secundarias que actúan muy poco.

#### 2.1.5 Influencia biológica. (4)

En los mares cálidos existen ciertos seres vivientes como corales y algas calcáreas que se encargan de construir arrecifes y formar los relieves litorales que se extienden a lo largo de ellos.

Determinado tipo de algas tienen la facultad de poder resistir los efectos de las olas cuando estas rompen, ayudando a disipar, en cierta forma, la energía de que vienen investidas.

Las rocas calizas experimentan con mayor intensidad un proceso de disolución causado por animales perforadores los cuales ejercen su acción en forma mecánica o química (secreción de ácidos).

No está determinada con suficiente precisión la acción ejercida por los crustáceos, moluscos y peces, pero parece ser que también contribuyen al desmembramiento de las rocas.

#### 2.2 Distintos tipos de costas en El Salvador.

El litoral salvadoreño presenta varios tipos de costas, ellas son:

- a) Costas con acantilados.
- b) Costas con cantos rodados y gravas.
- c) Golfo de Fonseca.
- d) Costas de arena.

#### 2.2.1 Costas con acantilados. Localización

Se localizan en las zonas siguientes: Entre la Punta Remedios y el Puerto de La Libertad, entre los balnearios El Espino y El Cuco, entre los balnearios Las Tunas y Playas Negras y en otras porciones aisladas de nuestro litoral. La fig. 1 presenta su localización.

#### 2.2.2 Costas con cantos rodados y gravas. Localización.

Se encuentran principalmente entre las playas El Sunzal y San Diego. La fig. 1 presenta su localización.

#### 2.2.3 Golfo de Fonseca.

En el extremo Este de la costa encontramos el Golfo de Fonseca que presenta gran variedad de costas, incluye regiones extensas cultivadas de mangle similares a las descritas en los Esteros, costas rocosas, playas y deltas de ríos con islas sedimentarias. El Golfo está protegido

del oleaje por una serie de islas de origen volcánico. El agua del océano entra o sale durante las mareas a través de canales estrechos con una corriente fuerte. La parte interior del Golfo es ensanchada.

#### 2.2.4 Costas arenosas. Localización.

Están ubicadas en el resto del litoral. La fig. 1 presenta su localización.

Consideramos que de la clasificación anterior, son las playas de arena las que sufren mayores cambios en su morfología, por tal razón, haremos a continuación una descripción general de su comportamiento.

#### 2.2.5 Evolución de las playas de arena.

##### Formación de los Esteros. Comentarios. (4) (5)

Los materiales de que están constituidas las playas de arena sufren constantes desplazamientos debidos principalmente a las corrientes. Unas veces dichos materiales son transportados a las profundidades del mar, otras hacia tierra adentro y muchas veces el movimiento de estos materiales es lateral. El arrastre lateral es el que analizaremos.

Las componentes paralelas a la costa de las fuerzas que

actúan sobre una playa como son las olas y las mareas, producen la corriente litoral que a la vez sirven para transportar los materiales de que están constituidas las playas. En la fig. 7 se presenta el proceso de esta corriente.

Cuando se presenta el caso de una playa con acarreo constante sin que se produzcan zonas de erosión ni de azolve, se dice que la playa se encuentra en equilibrio dinámico; y cuando sucede que los materiales son removidos pero no transportados como en el caso de una playa con oleaje normal, entonces se está en presencia del llamado equilibrio estático de las playas.

En nuestro litoral podemos observar en forma global que el acarreo sucede de la siguiente manera: en la zona comprendida entre la Punta Remedios y la frontera con Guatemala, el acarreo se efectúa en la dirección Este-Oeste; y en la zona comprendida entre la Punta Remedios y el Golfo de Fonseca en la dirección Oeste-Este. La anterior aseveración se hace en base a la observación hecha a la dirección que toman las barras de arena que se encuentran a lo largo del litoral.

Podemos decir, para complementar lo anterior, que la dirección hacia donde están dirigidas las barras, es la dirección hacia donde se mueve la corriente litoral.

En un mapa de nuestro litoral podemos observar que la barra de San Juan del Gozo, la del estero de Jaltepeque, la del Encantado, la del Tamarindo, etc., todas al Este de la Punta Remedios, están dirigidas de Oeste a Este indicando que esta es la dirección del acarreo litoral en esta zona; mientras que la Barra de Santiago y la Barra que se ha formado en la bocana del río Cauto que están localizadas al Oeste de la Punta Remedios, se orientan de Este a Oeste.

La formación de las Barras de arena ocurre generalmente en las playas que se encuentran en equilibrio dinámico y se inicia cuando éstas son interceptadas por una descarga fluvial que rompe dicho equilibrio cambiando desde ese momento la morfología de la playa. El proceso de cambio está representado en la fig. 8.

Juntamente con las Barras de arena se forman una serie de canales en tierra adentro que vienen a constituir los llamados esteros; de ellos podemos decir: que están alimentados por corrientes fluviales de caudales variables, que al llegar a la desembocadura sufren desviaciones a causa de la influencia de la corriente litoral; en estos casos, al desplazarse la desembocadura, disminuye el gradiente hidráulico de la zona cercana a ella produciéndose por consiguiente una reducción de la velocidad de la corriente. La disminución de esta velocidad obliga a una ma-

por sedimentación en los canales ya que los materiales suspendidos en la corriente descienden con mayor facilidad.

El fenómeno de sedimentación y el proceso de inundación que sufren los terrenos aledaños al cauce son los factores principales que determinan la formación de un estero.

Debemos también considerar que la influencia ejercida por las mareas a través de las bocanas es importante ya que las corrientes de flujo y reflujo disminuyen o aumentan la gradiente hidráulica, varían el índice de salinidad del agua en el estero y permiten el desarrollo a determinado tipo de fauna y flora.

La gradiente hidráulica entre la bocana y el punto más alejado de ella dentro del estero, varía según el estado de la marea, llegando a alcanzar valores muy pequeños o negativos con respecto a los terrenos aledaños y es entonces cuando se produce el fenómeno de la inundación.

La salinidad del agua en el estero está influenciada por las corrientes de marea y la corriente fluvial que a él llega, dicha salinidad interviene en los suelos, en la fauna y en la flora.



En último caso podemos decir que los Esteros están formados por un cordón litoral de arena y que los suelos inundados son limos arenosos o limos arcillosos que han llegado allí transportados por cualquier agente natural.

Otra característica de los Esteros son los bajíos o bancos de arena que se forman en las bocanas a ambos lados de lo que sería la zona de playa. Estos bajíos son producto de la sedimentación producida por la baja velocidad del agua en esa zona.

Las características mencionadas anteriormente se adaptan a los Esteros del Encantado y del Tamarindo en los cuales se puede notar: el avance de la Bocana, la ramificación de los canales, la clase de vegetación, la poca gradiente hidráulica que se manifiesta en la presencia de zonas inundadas permanentemente, la Barra de arena que separa al mar del Estero, los Bancos de arena a la entrada y salida de la Bocana y el proceso erosivo en las parcelas vecinas.

La diferencia significativa que podemos encontrar entre varios Esteros es únicamente su tamaño, es decir, el área inundada, longitud de canales, ancho de canales, amplitud de la Bocana y corriente fluvial que reciben.

En atención a lo anterior, podemos decir que el estero de Jiquilisco es el que ofrece mayores dimensiones y por

consiguiente mejores condiciones para un desarrollo económico; su proyecto puede contar con las siguientes obras: dragado en determinados canales, puertos de pesca, control del movimiento litoral, control de la sedimentación de la materia suspendida, control de erosión, obras de protección, estudios sobre el desplazamiento de la Bocana, control de los Bancos de arena que se producen a la entrada y salida de la bocana, etc.

### 2.3 Construcciones que limitan la acción dañina de los factores considerados.

En el numeral 2.1 de este capítulo hemos citado los factores que intervienen en la formación de las playas, describiendo a la vez los daños y beneficios que les causan; corresponde ahora enfocar de una manera general las construcciones que protegen o mejoran las playas.

El cálculo de dichas obras se basa en el conocimiento de datos propios de la zona.

#### 2.3.1 Datos preliminares para la elaboración de un proyecto. (5) (6)

- a) Dirección predominante del transporte litoral y estimación de la cantidad de material transporta-

do y perdido.

- b) Plano de oleaje para deducir condiciones más desfavorables (tormentas).
- c) Energía de la ola incidente y otras características.
- d) Cambios periódicos del oleaje y de la costa. Investigación hecha por medio de fotografías aéreas. Comparación.
- e) Propiedades físicas de los materiales que constituyen las playas. Granulometría, densidad, etc.
- f) Pendiente de la playa.
- g) Conocimiento de las mareas.

Para establecer la dirección predominante del transporte litoral, no es indispensable conocer el transporte en cada época del año, sino que basta observar los efectos que se producen en las playas, ya sea en estructuras naturales o artificiales, para luego deducir de éllo la cantidad de material retenido, erosionado y perdido.-En la fig. 5 se presenta el comportamiento de distintos de distintos tipos

de estructuras.

Existen lugares en la playa en los cuales no se experimenta el transporte litoral, éstos se conocen como zonas Nodales. En la fig. 10 se presenta un caso de ellos.

En la fig. 11 se presenta el comportamiento del transporte litoral a través de una punta.

Para la elaboración de un proyecto, interesa también conocer el oleaje en aguas profundas como base para trazar el plano de olas de la zona considerada. Ahora bien, lo que se hace es elaborar el plano de olas de la dirección reinante, la cual se ha determinado a través de observaciones hechas durante varios años por medio de fotografías aéreas.

Conociendo la dirección y características de las olas se puede calcular la componente de su energía que causa el arrastre litoral. Estos cálculos no son exactos puesto que se derivan de hipótesis ideales, sin embargo, son aceptables. La forma correcta de calcular estos datos es por medio de instrumentos que registran periódicamente lecturas de dichos valores.

La pendiente de la playa depende de la granulometría y densidad de la arena; es importante el conocimiento de

ello ya que cuando se alimenta la playa con arena de otra zona que presenta características distintas, surgen cambios en la pendiente de la playa o simplemente el material que se le aporta se traslada a las profundidades del mar.

El conocimiento de las mareas es necesario para determinar los niveles de agua que sirven luego para diseñar la altura de las obras.

### 2.3.2 Obras de protección de playas. (5) (6)

La selección de la obra que debe construirse para proteger una playa determinada, se basa, además de las condiciones señaladas anteriormente, en el estudio económico del proyecto. Dichas obras podemos dividir las o clasificarlas de la siguiente manera:

- a) Obras paralelas a la playa.
- b) Obras perpendiculares a la playa.
- c) Otras obras.

#### 2.3.2.1 Obras paralelas a la playa. (5) (6) (8)

Estas presentan función de protección o recuperación en la zona a lo largo de la cual están construídas,

es decir, protegen lo que cubren.

Según los fines que se pretenden, las obras pueden construirse en la parte seca de la playa o en la parte cubierta por el agua; en el primer caso la obra simplemente protege mientras que en el segundo corrige el alineamiento de la playa ganándole terreno al mar.

La sección del muro de protección puede tener varias formas y el nombre que se les asigna depende de la disposición del paramento mojado, así tenemos: paramento vertical, paramento inclinado y paramento curvo.

La clase de materiales usados en la construcción de las obras varía según las condiciones locales; depende de los materiales disponibles en el lugar, de la ubicación de la obra, de funciones especiales para lo cual se halla proyectada la obra, de la razón beneficio-costos y de otros motivos propios del diseño. Atendiendo a la clase de materiales de que están constituidas toman los siguientes nombres: muros de mampostería, de concreto, de tablestacas, de enrocamiento, con revestimiento asfáltico, etc.

El diseño de las estructuras se hará considerando la ola máxima que se espera tener en el sitio, pero dado que es difícil hacer observaciones sistemáticas de las carac-

terísticas de las olas (dirección, altura y período), en casos comunes es preferible consultar las "cartas de Estado de agitación" donde se tienen estadísticas de la frecuencia, dirección y altura de las olas correspondientes a un período de 10 años.

Con los datos obtenidos de las estadísticas anteriores se elabora el plano de olas para aguas bajas y se define el ángulo de incidencia de las crestas de las olas con respecto a la línea de playa para estudiar el régimen de la costa.

Partiendo de los mismos datos estadísticos podemos calcular, con las fórmulas de las olas para aguas bajas, la altura de la ola máxima en el lugar de la obra, con lo cual se efectuará el cálculo.

El impacto que producen las olas sobre las estructuras costeras puede ser en situaciones distintas:

- 1) Antes de romper las olas.
- 2) En el momento de romper las olas.
- 3) Ya rotas las olas.

Las condiciones de choque entre la ola y la estructura son muy diversas. La ola puede incidir sobre el muro

a través de su velle, de su cresta u otra posición; aguas abajo del muro al nivel de las aguas puede presentar distintos valores. Si consideramos la posición más desfavorable nos es posible calcular el momento máximo a que está sometido el muro.

Las presiones originadas por las olas antes de romper sobre estructuras costeras se pueden calcular a través del método de Sainflou. (5) (6)

Si una ola incidente, de longitud  $L$  y altura  $h$  se refleja sobre una pared vertical, se origina el fenómeno llamado Clapotis ó Chapoteo.

El análisis de las fuerzas y momentos que actúan sobre el mar es como sigue (ver fig. 12): Supongamos la pared vertical A-C; los puntos A y G indican el máximo y el mínimo nivel de agua sobre el muro. El punto D marca el nivel de reposo del agua. El punto K marca el nivel medio del agua en movimiento, localizado a una distancia  $h^1$  arriba del punto D.

$$h^1 = \frac{\eta h^2}{L} \operatorname{Coth} \frac{2\pi d}{L}$$

$$DA = h + h^1$$

$$DG = h - h^1$$

La presión hidrostática en la base del muro C, cuando el agua se encuentra en reposo es  $Wd$ , su variación la representa



el triángulo CDE.

Al presentarse el fenómeno del Chapoteo el nivel del agua sobre el muro se mueve arriba y abajo del punto D produciendo aumento o disminución de presión en la base del muro con un valor igual a:

$$P_1 = \frac{w h}{\cos h \frac{2\pi d}{L}}$$

Las líneas  $\overline{AB}$  y  $\overline{GF}$  limitan la distribución de presiones en la pared vertical para las condiciones límites, las presiones máxima y mínima en la base del muro se indican por los segmentos  $\overline{CF}$  y  $\overline{CB}$  respectivamente.

Cuando se tiene un mismo nivel de agua a ambos lados del muro, las presiones hidrostáticas a que están sometidos son las mismas. El triángulo CDE representa dichas presiones.

Cuando incide la cresta de la ola sobre el muro se presenta una presión representada por el área ABED ó AD<sup>1</sup>B<sup>1</sup>C. Esta es la máxima presión del lado del mar.

Cuando la ola incide a través de su valle la presión resultante actúa hacia el mar y está dada por el área DEFG ó DG<sup>1</sup>F<sup>1</sup>C.

Si el muro no permitiera la existencia de agua al lado de la playa, la presión máxima a que estaría sujeto sería la representada por el área ACB cuando la cresta acciona sobre el muro.

Si existe oleaje del lado de la playa y del lado del mar, la condición más desfavorable para el lado del mar es cuando al lado de la playa se presenta la cresta de la ola y al lado del mar el valle.

Las fuerzas y momentos respecto a la base del muro son:

Lado exterior:

$$R_e = \frac{(wd+P_1)(d+h^1+h)}{2} - \frac{wd \cdot d}{2}$$

$$R_e = \frac{(wd+P_1)(d+h^1+h)}{2} - \frac{wd^2}{2}$$

$$M_e = \frac{(d+h^1+h)(wd+P_1)}{2} \times \frac{(d+h^1+h)}{3} - \frac{wd^2}{2} \times \frac{d}{3}$$

$$M_e = \frac{(d+h^1+h)^2 (wd+P_1)}{6} - \frac{wd^3}{6}$$

Lado interior:

$$R_i = \frac{wd^2}{2} - \frac{(d+h^1-h)(wd-P_1)}{2}$$

$$M_i = \frac{wd^3}{6} - \frac{(d+h^1-h)^2 (wd-P_1)}{6}$$

Presiones que originan las olas que rompen sobre las estructuras. Método de Miniken. (5) (6)

La presión total es debida a la combinación de presiones hidrostática y dinámica.

La presión dinámica está concentrada en el nivel de agua en reposo y está dada por la fórmula:

$$P_m = \frac{493 w h_r}{L_d} \cdot \frac{d}{D} \cdot (D + d)$$

$P_m$  = presión dinámica (Kg/m<sup>2</sup>)

$w$  = peso específico del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

$h_r$  = altura de la ola al romper ( m )

$L_d$  = longitud de la ola correspondiente a la profundidad  $D$  ( mts )

$D$  = profundidad de la ola a una distancia  $L_d$  de la obra ( mts )

$d$  = profundidad del agua al pie de la estructura ( mts )

La presión hidrostática del lado del mar en el nivel de agua en reposo es  $P_s$ . A la profundidad  $d$  es  $P_d$ .

$$P_s = \frac{w h_r}{2}$$

$$P_d = w \left( d + \frac{h_r}{2} \right)$$

La presión dinámica se considera que tiene su valor máximo a la altura del nivel de agua en reposo y que decrece rápidamente hasta cero, a una distancia arriba y abajo - igual a  $\frac{h_r}{2}$ .

La presión hidrostática del lado de la playa, de sentido contrario a la anterior, se representa por el triángulo de altura  $d$  y base  $wd$ .

La variación de la presión resultante se indica en la fig. 13.

La fuerza resultante por metro de estructura es:

$$F = \frac{P_m h_r}{3} + P_s \left( d + \frac{h_r}{4} \right)$$

Momento respecto a la base:

$$M = \frac{P_m h_r}{3} d + \frac{P_s d^2}{2} + \left( \frac{P_s h_r}{4} \right) \left( d + \frac{h_r}{6} \right)$$

Si no existe agua del lado interior.

$$F = \frac{P_m h_r}{3} + \frac{P_d}{2} \left( d + \frac{h_r}{2} \right)$$

$$M = \frac{P_m h_r d}{3} + \frac{P_d}{6} \left( d + \frac{h_r}{2} \right)^2$$

Diseño de las estructuras que reciben el impacto de las olas ya rotas. (5) (6)

Después de rota la ola, la playa queda dividida en dos partes: zona de mar y zona de tierra; la divisoria de estas zonas es la línea de intersección entre las aguas en reposo y la propia playa.

Las obras de protección en este caso se pueden localizar en cualquiera de las dos zonas.

Estructuras localizadas en la zona del mar. (5) (6)

Teóricamente se considera que la altura y la velocidad de la ola no decrecen entre la zona de rompiente y la línea de intersección.

En pruebas de laboratorio se ha observado que el 70% de la altura de la ola al romper, queda arriba del nivel del agua en reposo.

La velocidad de propagación es:

$$C = \sqrt{g d_T} ; \quad d_T = \text{profundidad en la rompiente.}$$

Las presiones sobre las estructuras son dinámicas y estáticas.

Estructuras localizadas en la zona de tierra: (5) (6)

Ya rota la ola, al subir por la playa asciende hasta una altura igual a  $2 h_r$ , siendo nulas en ese punto su velocidad y su altura. La variación se considera lineal. La fig.15 muestra el análisis del proceso.

La velocidad  $V_1$  del agua, en cualquier punto entre la línea de playa y el punto máximo que alcanza el agua, está dado por:

$$V_1 = C \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right) = C X$$

La altura en la misma zona será:

$$h^1 = h_c \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right) = h_c X$$

$$C = \text{Velocidad de propagación. } C = \sqrt{g d_r}$$

$x_1$  = Distancia de la línea de playa al punto donde se ubique la obra.

$x_2$  = Distancia de la línea de playa al punto máximo donde puede alcanzar el agua en la playa.

$\alpha$  = Angulo entre la playa y la horizontal

$$x_2 = 2 h_r \cot \alpha$$

$$\text{Presión dinámica} = P_m = \frac{w C^2}{2g} = \frac{w d_T}{2}$$

La presión dinámica se considera que se distribuye uniformemente desde el nivel del agua en reposo hasta una altura  $h_c = 0.7 h_T$  arriba de ese nivel.

La presión estática varía desde cero a una altura  $h_c = 0.7 h_T$  hasta  $P_s = w (d + h_c)$  en la base del muro.

La fig. 14 muestra esta condición.

La fuerza a que está sometida la estructura es:

Fuerza total = Fuerza dinámica + Fuerza estática.

$$F = F_m + F_s$$

$$F = P_m h_c + \frac{d + h_c}{2} P_s$$

$$F = \frac{w d_T h_c}{2} + \frac{w}{2} (d + h_c)^2$$

Los momentos respecto a la base:

$$M = M_m + M_s$$

$$M = F_m \left( d + \frac{h_c}{2} \right) + F_s \left( \frac{d + h_c}{3} \right)$$

$$M = \frac{w d_T h_c}{2} \left( d + \frac{h_c}{2} \right) + \frac{w}{6} (d + h_c)^3$$

En este caso la obra también sufre presiones dinámicas y estáticas.

Presión dinámica ( $P_m$ )

$$P_m = \frac{w V_1^2}{2g}$$

Presión hidrostática ( $P_s$ )

$$P_s = w h^1$$

Las fuerzas y momentos que resiste el muro son:

Fuerza total = Fuerza dinámica + Fuerza hidrostática.

$$F = F_m + F_s$$

$$F = P_m h^1 + P_s \frac{h^1}{2}$$

$$F = \frac{w V_1^2}{2g} h^1 + \frac{P_s h^1}{2}$$

Sustituyendo  $V_1$ ,  $P_s$  y  $h^1$  por sus valores dados en las fórmulas anteriores, se tiene:

$$F = \frac{w C^2 X^2 \cdot h_c X}{2g} + \frac{w h_c^2 X^2}{2}$$

Sustituyendo  $C$  por su valor:

$$F = \frac{w g d_r X^3 h_c}{2g} + \frac{w h_c^2 X^2}{2}$$



$$F = \frac{w d_r \cdot h_c}{2} \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right)^3 + \frac{w h_c^2}{2} \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right)^2$$

$$M = M_m + M_s$$

$$M = F_m \cdot \frac{h^1}{2} + F_s \cdot \frac{h^1}{3}$$

$$M = \frac{w h_c^2 d_r}{4} \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right)^4 + \frac{w h_c^3}{6} \left( 1 - \frac{x_1}{x_2} \right)^3$$

Los momentos obtenidos en los casos descritos anteriormente son aproximados ya que también se parte de valores - aproximados.

Cuando la obra no es una pared vertical sino inclinada, el análisis es análogo, reduciéndose solo la presión dinámica.

El valor de la presión dinámica efectiva en los muros con paramento inclinado ( $P_m^1$ ) corresponde a la componente horizontal de la presión normal al muro, es decir:

$$P_m^1 = P_m \cos \Theta$$

El ángulo  $\Theta$  es el ángulo obtuso que forma el paramento del muro con el terreno natural.

Conociendo las fuerzas y momentos a que están someti-

das las obras por efecto del mar sólo nos resta hacer el análisis del empuje de tierras, activo y pasivo, que actúa sobre las estructuras.

Por considerar un tanto fuera del tema el cálculo del empuje de tierras, éste no lo analizaremos.

#### 2.3.2.2 Estructuras perpendiculares a la playa. (Espigones)

(5) (6) (8)

Estas obras son trampas de arena que sirven para detener o retardar el arrastre litoral.

Según los fines para los cuales se proyectan, las obras tendrán determinada longitud, deberán ser permeables o impermeables, altas ó bajas, fijas o ajustables.

Los materiales de que pueden construirse son: madera, acero, piedra ó concreto.

Cuando se presenta un trecho de playa amplio y se necesite defenderlo por medio de espigones, entonces se construyen varios, constituyendo una serie de espigones.

##### 2.3.2.2.1 Efecto del espigón. (5) (6) (8)

El efecto que produce la construcción de un espigón en

una playa depende:

- a) De la altura del espigón
- b) De la longitud del espigón
- c) De la permeabilidad de la obra
- d) De la incidencia del oleaje referida a la línea original de la playa.

Con la construcción del espigón se presenta: acumulación de arena a un lado y erosión de arena al otro, y la nueva playa se orienta paralela a las crestas de las olas incidentes.

En la fig. 16 tenemos: la línea original de la playa es e-a-i. Al construir el espigón j-c la playa se modifica volviéndose estable según la línea f-b, en el lado de sedimentación y según la línea d-i en el lado contrario. La erosión se debe a la suspensión del aporte litoral y la orientación que toma se debe a la dirección del oleaje incidente.

Cuando se tiene una serie de espigones la zona comprendida entre dos de ellos se orienta paralela a las crestas de las olas incidentes y evitan la tendencia al transporte litoral.

Los espigones se utilizan para:

- a) Estabilizar una playa sujeta a variaciones periódicas de avance y erosión.
- b) Reducir la velocidad del transporte litoral y modificar la orientación de la línea de playa, tendiendo a la orientación de equilibrio.
- c) Proporcionar una trampa total, durante cierto tiempo, al paso de las arenas.
- d) Evitar la pérdida de material de las playas confinándolas entre espigones.
- e) Estabilizar las playas que están sujetas a transporte litoral en una sola dirección.

Los espigones no deben construirse:

- a) Cuando la zona de erosión que se forma sea perjudicial a obras de mayor importancia.
- b) Cuando resulte más económico alimentar la playa con material de otro sitio.
- c) Cuando no se puede asegurar el suficiente abastecimiento de arena para un funcionamiento adecuado de los espigones.
- d) Cuando es imposible asegurar en tierra firme el arranque del espigón. De lo contrario es facti-

ble que se erosione su arranque.

#### 2.3.2.2.2 Dimensiones de los espigones.(5) (6)

La altura, la longitud y el espaciamiento entre espigones depende de la protección o funcionamiento que se espera lograr. El área y forma de la sección depende del oleaje y del diseño. Otras características de las olas definen los materiales y el procedimiento de construcción a usarse.

Los espigones tienen que estar unidos a tierra firme, conservando la altura de ésta hasta interceptar la línea de playa. La parte del espigón localizada después de la línea de playa puede tomar una altura diferente, que depende de la cantidad de material que se quiere retener. En varios casos se construye con una pendiente paralela a la playa.

La longitud del espigón depende de la distancia hasta donde se desea evitar el arrastre litoral y de la profundidad de la zona. Generalmente termina después de la zona de rompientes.

#### 2.3.2.2.3 Espaciamiento entre espigones. (5) (6)

Decimos anteriormente que cuando se construye un

espigón o una serie de espigones, la línea de playa resultante queda orientada paralela a las crestas de las olas incidentes, produciéndose a un lado del espigón azolve y al otro erosión. El reacondicionamiento del material es tal que la zona A pasa a ocupar la zona B, fig. 17. Con lo anterior podemos estudiar las dos variaciones que son: el espaciamiento entre espigones y la distancia que es necesaria construir tierra adentro para evitar un deterioro en el arranque.

Si el aporte litoral continúa y logra depositar material en la zona A, después de sobrepasar el espigón anterior, la playa tomará la forma representada por la línea discontinua de la fig. 17.

Cuando el arrastre litoral cambia de dirección se pueden presentar dos condiciones límites de las playas como se representa en la fig. 18.

De lo anterior establecemos que para calcular la longitud de los espigones es necesario conocer:

- a) La hidrología de la zona por defenderse.
- b) Las condiciones del transporte litoral.
- c) El plano de oleaje con la dirección resultante y con las direcciones extremas.

- d) El espacio que se desea retroceder la línea de playa original.
- e) El espacio que se desea avance la playa.

La máxima eficiencia en el funcionamiento de los espigones se obtiene cuando están orientados según la dirección del oleaje; cuando ésta es variable se tomará la dirección resultante.

La construcción de los espigones se efectúa en sentido contrario a los acarreos.

Otros tipos de espigones son los que tienen forma de T o de L.

#### 2.3.2.3 Otras obras. (8) (9) (10)

Existen otros tipos de protección de playas diferentes de los ya citados o simplemente variantes de ellos como son:

- 1) Planta de bombeo de arena.
- 2) Bloques de concreto.
- 3) Gaviones.
- 4) Espigón permeable de madera o concreto.
- 5) Enrocamiento.

6) Revestimiento.

La planta de bombeo de arena se utiliza: para trasladar material de un lugar donde existe sedimentación a otro donde hay erosión. Generalmente sucede a uno y otro lado de un espigón natural como lo es la desembocadura de un río. La cantidad de material a trasladarse, la granulometría, la operación y mantenimiento de la planta de bombeo, el estudio económico, lo mismo que el acarreo litoral, son los factores principales que deben de considerarse en el proyecto de una estación de bombeo de arena.

Bloques de concreto: La forma que presentan son muy variadas siendo los más importantes los mostrados en la fig.19. La colocación de ellos en la playa puede ser paralelos a la playa o perpendiculares a ella, colocados sin ningún ordenamiento. Los bloques llegan a pesar varias toneladas.

Los gaviones: son cubos o paralelepípedos formados por malla metálica dentro de los cuales se depositan piedras que aunque no alcancen gran tamaño desempeñan bien su función sin peligro de socavación ya que en conjunto forman un bloque de gran tamaño y peso. La colocación de ellos puede ser paralela o perpendicular a la playa dependiendo del proyecto.



Espigón permeable de madera o pilotes de concreto: tienen la ubicación de un espigón y se colocan en zig-zag espaciados cierta distancia como se muestra en la fig. 20.

Enrocamiento: cuando se presenta cerca de la playa a protegerse alguna cantera de donde es posible obtener rocas de gran tamaño que puedan sustituir a los bloques de concreto o a los gaviones, entonces se hace uso de ella. La colocación y disposición es la misma que en los casos anteriores.

Revestimiento: en muchos casos se presentan condiciones de la costa tales que dan la apariencia de una obra de protección de tipo paralelo a la playa con el peligro de erosión. En estos casos el talud que tiende a erosionarse se protege por medio de revestimientos que pueden ser esfálticos, de laja, de ladrillo u otro material adaptable al caso.

C A P I T U L O   I I I

Aplicación de los métodos de construcción a las playas de la hacienda El Encantado.

3.1 Planteamiento de los problemas.

La hacienda El Encantado, propiedad del Instituto de Colonización Rural, cuenta con playas bañadas por el Océano Pacífico, unas localizadas en el Golfo de Fonseca y otras en mar abierto.

Las expuestas a mar abierto presentan los problemas siguientes:

- A) Desplazamiento de la desembocadura del río El - Encantado.
- B) Erosión de los acantilados.
- C) Carencia de playas de arena en la zona de los acantilados.

Las playas localizadas en el Golfo de Fonseca, presentan el siguiente problema:

- D) Erosión de la playa que limita al estero en la Punta del Tamarindo.

### 3.1.1 Desplazamiento de la bocana del río El Encantado.

Se explica a través del fenómeno de arrastre litoral que expusimos en el capítulo anterior. Decimos en él que el movimiento litoral en esta zona se efectúa de Oeste a Este. Si observamos el plano de la fig. 21 en el cual se presenta la zona de la bocana del río El Encantado en los años 1962, 63, 64 y 68, podemos apreciar el cambio acontecido y deducir de éllo el daño que ha causado a la lotificación allí establecida.

De haber tenido la oportunidad de localizar la ubicación de esta bocana hace unos 25 años, sin temor a equivocarnos podemos establecer que la hubiéramos encontrado unos 200 o más metros al Oeste de la posición que tenía en 1964.

El aceptar como un hecho evidente el desplazamiento de la bocana permite también establecer varias preguntas como son: En qué forma se efectúa el desplazamiento? Qué influencia tiene este desplazamiento en tierra firme? Qué rumbo toma la arena de la playa que se pierde?

La corriente litoral, con dirección definida en esta zona, transporta material suspendido que toma de un lugar y lo deposita en otro localizado a cierta distancia de aquel. Cuando esta corriente de agua que entra o sale a

través de la bocana, su velocidad disminuye hasta un valor tal, que permite al material suspendido sedimentarse. Este proceso se efectúa constantemente y produce en consecuencia la sedimentación a un lado de la bocana.

La corriente litoral que se inicia nuevamente en el otro lado de la bocana comienza a tomar material para trasladarlo hasta donde encuentre otro obstáculo o hasta donde la playa se presenta paralela a las crestas del oleaje, es decir, donde la corriente litoral desaparece.

Entonces, concluimos, que el proceso del desplazamiento de la bocana se efectúa porque a la vez que hay sedimentación a un lado existe erosión en el otro.

Un efecto importante producido por el desplazamiento de la bocana es la inundación de mayor área. Esto ocurre debido a varios factores como son: estancamiento de agua en zonas de costa baja, que permitieron con facilidad la llegada del agua pero tienen malos drenajes; disminución del gradiente hidráulico de la zona, y en consecuencia disminución de la velocidad del agua, erosión de las orillas de los canales y sedimentación de varias partes de ellos, etc.

La arena de que está formada la playa que permite el traslado de la bocana, también se traslada. Una parte

se pierde en las profundidades del mar y la otra es llevada a través de la corriente litoral a otras playas. En este caso, parte de la arena erosionada se ha trasladado a las playas que presentan los acantilados, principalmente los inmediatos a la desembocadura.

### 3.1.1.1 Alternativas al problema de la desembocadura del río El Encantado.

Cómo evitar que se desplace la desembocadura?, o más ampliamente, Cómo resolver el problema de la desembocadura? Es la pregunta que analizamos a continuación:

Se presentan tres alternativas al problema:

- 1.- Permitir que se desplace la bocana, tal como lo ha hecho a la fecha, hasta alcanzar la zona rocosa.
- 2.- Efectuar obras de protección que mantengan estática la bocana en ese lugar.
- 3.- Cambiar la bocana de lugar.

La primera alternativa presenta el inconveniente de disminuir aún más el escaso gradiente hidráulico que tiene, lo que trae por consecuencia una mayor cantidad de terreno inundado. Por tal razón, no es una solución que beneficie

a los lotes agrícolas y la otra razón de peso que se opone a esta alternativa es la pérdida evidente de la parte de la lotificación que aún se encuentra.

La segunda alternativa representa en pocas palabras, aceptar la situación actual, evitando en lo posible, por medio de obras de protección, que la bocana se desplace. Esta solución nos parece de poco alcance y de mucha inversión.

En la tercera alternativa sugerimos cambiar la bocana de lugar; con esta cambio debemos de buscar: a) aumentar el gradiente hidráulico al máximo, con el fin de incrementar la velocidad del refluo y por consiguiente mejorar el drenaje de la zona inundada, b) proteger y aumentar la lotificación de la playa.

El lugar que cumple dichas condiciones está localizado al Oeste de la bocana actual. La ubicación exacta se puede obtener por dos métodos:

- 1) Mediante un levantamiento topográfico de la zona.
- 2) Estimación, de tal manera que la nueva bocana equidiste de las porciones inundadas o de los volúmenes de agua existentes. Esto se sugiere por conocer que la zona es bastante llana.

Una vez localizado el lugar, desde el punto de vista de la pendiente, es preciso investigar las condiciones geológicas partiendo de un criterio económico.

En el supuesto de que hemos trasladado la bocana al lugar ideal, es obvio que tendremos nuevamente el desplazamiento natural de ella, volviendo a encontrarnos con el problema que hoy tratamos. En tal caso, procedemos a elaborar un estudio sucinto de los aspectos principales, necesarios de analizar, a fin de tomar una determinación acertada sobre el futuro de la bocana.

3.1.1.2 Desarrollo de la tercera alternativa al problema de la desembocadura del río El Encantado. Tres soluciones.

En primer lugar tenemos que determinar el volumen de arena transportada. Partiendo del plano de la fig.21 y de varios perfiles de la zona erosionada mostrados en la misma figura nos ha sido posible establecer que la cantidad de arena transportada es como sigue:

Entre los años 62/63	_____	23,880	m <sup>3</sup>
" " " 63/64	_____	17,720	"
" " " 64/67	_____	101,560	"
" " " 67/68	_____	12,640	"
Total entre los años 62/68	_____	155,800	"

Promedio anual transportado 25,000 m<sup>3</sup> aproximadamente.

Este dato aún cuando se ha determinado en pocos años y para una zona específica, es muy significativo para analizar problemas similares en esta parte de nuestra costa.

De lo anterior deducimos que el problema se limita a encontrar la forma de transportar los 25,000 m<sup>3</sup> de arena de la parte donde se sedimenta a la que se erosiona.

Hay cuatro soluciones posibles:

- 1) Instalar una planta de bombeo que traslade arena en suspensión de la zona de sedimentación a la de erosión. fig. 22.
- 2) Construir un espigón en el lado erosionado a fin de evitar que la componente paralela a la plya de la fuerza de que viene investida la ola, arrastre el material que corresponde a la zona que normalmente se erosiona. La fig. 23 muestra este caso. Posteriormente será analizado con detalle.
- 3) Permitir el avance natural de la Bocana hasta alcanzar cierta distancia de su posición inicial para luego volverla a su lugar de origen.



4) Construir una trampa de arena en la Bocana (Fosa)

Consideremos que las dimensiones de la nueva Bocana tal como se muestran en la fig. 22 son: Longitud = 100 m. Ancho = 40 m. Profundidad media = 4 m. La longitud se estima en base al ancho de la barra de arena que separa el estero del mar y la sección por medio de comparación con la existente. No queremos decir que dichas dimensiones sean las correctas ya que para conocer su longitud exacta es indispensable establecer la ubicación y para determinar la sección es preciso partir del volumen de agua que entra o sale del Estero.

PRIMERA SOLUCION

Las obras que comprende son:

- 1) Planta de bombeo
- 2) Tubaría de conducción
- 3) Construcción de un espigón que retenga los materiales a transportarse.

El estudio de dichas obras es como sigue:

1) La Planta de bombeo consta de las siguientes partes principales:

- a) Equipo de Bombeo.
- b) Pozo para alimentar el equipo de bombeo.

c) Estructura para soportar el equipo de bombeo.

a) El equipo de bombeo tiene que impulsar una mezcla de agua con arena de 19 a 1 aproximadamente. Esta mezcla (su proporción) fue sugerida por el Ingeniero Costas P. Constantinu después de haber hecho él ciertos ensayos con materiales similares a los de la zona. Si el volumen de arena a reponerse es de  $25,000 \text{ m}^3$ , el volumen de mezcla a transportarse será de  $25,000 \times 20 = 500,000 \text{ m}^3$ .

Por ser esta una mezcla de agua y arena, necesitamos que su velocidad en la tubería sea tal que evite la sedimentación. Dicha velocidad según estudios que sobre el particular ha realizado el Ingeniero Costas P. Constantinu, es de más o menos  $3.5 \text{ m/seg.}$  en ese rango de descarga.

El caudal trasladado con esta velocidad depende de la sección de la tubería usada.

Suponemos tubería de  $0.15 \text{ m.}$ ;  $0.20 \text{ m.}$ ;  $0.25 \text{ m.}$ ;  $0.30 \text{ m.}$ ;  $0.35 \text{ m.}$ ;  $0.40 \text{ m.}$

Aplicando las fórmulas:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} ; \quad Q = AV; \quad \text{tenemos:}$$

DIAMETRO m.	AREA m <sup>2</sup>	CAUDAL m <sup>3</sup> /seg.
0.15	0.0177	0.0620
0.20	0.0314	0.1099
0.25	0.0491	0.1719
0.30	0.0707	0.2475
0.35	0.0962	0.3367
0.40	0.1256	0.4396

Conociendo el caudal de cada tubería y la cantidad total de la mezcla a trasladar nos es posible encontrar el tiempo de operación del sistema de bombeo.

$$T = \frac{\text{mezcla a trasladar}}{\text{caudal}} ; \text{ tenemos:}$$

DIAMETRO m.	TIEMPO DE OPERACION
0.15	8,064,516 seg. $\approx$ 2240.1 horas
0.20	4,545,460 seg. $\approx$ 1262.6 horas
0.25	2,906,976 seg. $\approx$ 807.5 horas
0.30	2,020,202 seg. $\approx$ 561.2 horas
0.35	1,485,001 seg. $\approx$ 412.5 horas
0.40	1,137,397 seg. $\approx$ 315.9 horas

Dado el caudal, la sección de la tubería, la longitud y todos los cambios de dirección, nos es posible calcular las pérdidas de carga, que comprende: pérdidas a la entrada, pérdidas en la tubería de succión y de descarga y pérdidas por cambios de dirección (codos). (5) (6) (11) (12).

Las pérdidas de carga a la entrada se pueden calcular por la fórmula:

$$h_e = K_e \frac{V^2}{2g}$$

$K_e$  = depende de la forma del borde de la tubería en la entrada.

En el presente trabajo, suponemos que las aristas son ligeramente redondeadas, por lo cual  $K_e$  toma un valor de 0.23.

$$\therefore h_e = 0.23 \times \frac{(3.5)^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_e = 0.14 \text{ m.}$$

Las pérdidas de carga, debidas a la fricción, a lo largo de la tubería de succión y descarga, las calculamos por medio de la fórmula de Darcy Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

El valor de "f" se obtuvo de los valores calculados por Fanning, tomada del Manual de Hidráulica de Horace W. King.

Ø mts.	VELOCIDAD m/s.	LONGITUD mts.	f (tablas)	Hf mts.
0.15	3.5	90	0.0217	8.13
0.20	3.5	90	0.0210	5.90
0.25	3.5	90	0.0204	4.58
0.30	3.5	90	0.0199	3.73
0.35	3.5	90	0.0195	3.13
0.40	3.5	90	0.0191	2.68

Pérdidas en los codos:

$$h_c = K_c \frac{V^2}{2g}$$

Para codos de 120°  $K_c = 0.20$

$$\therefore h_c = 0.20 \times \frac{(3.5)^2}{2 \times 9.81} = 0.125$$

Según la fig. 22 hay cuatro codos de 120°

$$\therefore h_c = 4 \times 0.125 = 0.50 \text{ mts.}$$

Para codos de 90°  $K_c = 0.25$

$$\therefore h_c = 0.25 \times \frac{(3.5)^2}{2 \times 9.81} = 0.156$$

Según la fig. 22 hay un codo de  $90^\circ$

$$\therefore h_c = 0.156 \approx 0.16 \text{ mts.}$$

Pérdidas totales en los codos:  $0.50 + 0.16 = 0.66 \text{ mts.}$

Considerando la diferencia máxima entre la marea alta y la marea baja en 4.0 mts. según el Almanaque del Servicio Meteorológico Nacional, y estimando que la entrada a la bomba siempre debe permanecer bajo el agua por lo menos 1.0 mt. con el objeto de evitar varios fenómenos, entre ellos el de cavitación, hemos tomado el valor entre el nivel inferior y la descarga en 5.0 mts., que corresponde al caso de baja marea.

Carga dinámica total = carga estática + suma de pérdidas en el sistema +  $\frac{v^2}{2g}$

$$\text{Es decir: } H_t = H_{est.} + \sum \Delta H_{sistema} + \frac{v^2}{2g}$$

Para el cálculo, tomaremos el caso más desfavorable, es decir, cuando  $H_{est} = 5.0 \text{ mts.}$

Según "American Civil Engineer's Handbook" de Merri-  
man - Wiggan (5a. Edición, pag.1338-1339), cuando se está  
en presencia de una mezcla de arena y agua, las pérdidas

en el sistema se calculan como si se tratara únicamente de agua y posteriormente se corrigen por la presencia de la arena, de tal forma que un contenido de 1% de arena, produce un incremento de 25% de pérdidas, comparado con agua sola.

En nuestro caso, se tiene un contenido aproximado del 5% de arena, por tanto el factor de corrección para pérdidas de carga será  $F = 2.25$ .

$\emptyset$ mts.	$\Sigma \Delta H$ mts.	$\Sigma \Delta H \times F = \Delta H_{\text{efectivo}}$ mts.
0.15	8.93	20.09
0.20	6.70	15.08
0.25	5.38	12.11
0.30	4.53	10.19
0.35	3.93	8.84
0.40	3.48	7.83

$\frac{v^2}{2g}$  = energía cinética de salida, por unidad de peso.

Ø mts.	Hest mts.	ΔH mts.	$\frac{V^2}{2g}$	H(dinámica total) mts.
0.15	5.0	20.09	0.62	25.71
0.20	5.0	15.08	0.62	20.70
0.25	5.0	12.11	0.62	17.73
0.30	5.0	10.19	0.62	15.81
0.35	5.0	8.84	0.62	14.46
0.40	5.0	7.83	0.62	13.45

Conociendo la carga dinámica total y el caudal, podemos calcular la potencia del equipo de bombeo. Se asumirá una eficiencia del grupo Motor-Bomba de 70%, así como también igual frecuencia de trabajo para marea alta o baja

$$\text{Potencia consumida: HP} = \frac{QwH}{76 E}$$

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

w = Peso específico de la mezcla en Kg/m<sup>3</sup>

H = Carga total de bombeo en mts.

E = Eficiencia del grupo motor-bomba.

El valor de "w" para agua salada es de 1025 Kg/m<sup>3</sup> y el de la arena de mar de 1500 Kg/m<sup>3</sup> (Manual de King, la. Edición en español, pag. 8). Como se tiene una mezcla en la proporción de 1:19, podemos calcular el "w"



de la mezcla el cual resulta de  $1048 \text{ Kg/m}^3$ .

$\emptyset$ mts.	Q $\text{m}^3/\text{s.}$	H mts.	POTENCIA H. P.	POTENCIA Kw
0.15	0.0620	25.71	$31.4 \approx 32$	24
0.20	0.1099	20.70	$44.8 \approx 45$	34
0.25	0.1719	17.73	60	45
0.30	0.2475	15.81	77	58
0.35	0.3367	14.46	$95.9 \approx 96$	72
0.40	0.4396	13.45	$116.5 \approx 117$	87

Consumo eléctrico anual: (1 KWH = ₡ 0.06)

Costos motivados por el consumo eléctrico: (horas x Kw x ₡ 0.06/KWH) en colones.

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.15$  mts. = ₡ 3,225

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.20$  mts. = ₡ 2,575

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.25$  mts. = ₡ 2,180

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.30$  mts. = ₡ 1,950

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.35$  mts. = ₡ 1,780

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.40$  mts. = ₡ 1,650

Precios aproximados de los equipos de bombeo: considerando los precios de nuestro mercado, son:

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.15$  mts.  $\approx$  ₡ 6,000

Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.20$  mts.  $\approx$  ₡ 8,000  
Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.25$  mts.  $\approx$  ₡10,500  
Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.30$  mts.  $\approx$  ₡13,500  
Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.35$  mts.  $\approx$  ₡16,000  
Sistema de bombeo con  $\emptyset = 0.40$  mts.  $\approx$  ₡20,000

Se asumirá que estos equipos se deprecian en cinco años. Consideraremos depreciación lineal.

Costos motivados por los salarios anuales. Suponemos que permanecerán dos encargados durante todo el año con sueldo de ₡ 6.00 y ₡ 4.00 respectivamente y que aunque no trabajen todos los días operando el sistema de bombeo, éstos permanecerán en sus labores. Total de salario diario = ₡ 10.00.

Entonces, en cualquiera de los casos con distintos equipos de bombeo que instalemos, el salario anual será:  
Salario = ₡ 3,650.00  
Prestaciones por servicio si hay despido =  $30 \times 10 = 300.00$   
Aguinaldos = ₡ 75.00  
Total de salarios = ₡ 4,025.00

En cualquiera de los tres sistemas, el número de horas semanales de trabajo podría determinarse dividiendo el total de horas anuales de operación del sistema, entre el

número de semanas laborales en el año, es decir:

DIAMETRO mts.	TIEMPO LABORABLE SEMANAL (HORAS)
0.15	43
0.20	25
0.25	16
0.30	11
0.35	8
0.40	6

b) El pozo tiene que servir para efectuar la mezcla con la cual se alimenta la planta de bombeo. Este será formado por tablitas de mangle de tal manera que estabilicen la forma del pozo y serán hincados hasta lograr la profundidad que sea recomendada según las condiciones.

Las dimensiones del pozo se estiman en: profundidad 2 ó 3 mts., sección circular de más o menos 2 mts. de diámetro. Los costos se estiman según la experiencia tenida en la zona, precios, mano de obra, rendimiento, etc.

Costos motivados por el pozo:

70 tablitas de mangle *	a	₡ 4.00 c/u	_____	₡ 280.00
Mano de obra imprevista			_____	₡ 80.00
				_____
		TOTAL		₡ 360.00

La estructura para sustentar el equipo de bombeo consistirá en un pequeño muelle de madera de mangle.

c) Las dimensiones del muelle son: longitud aproximada- 20.00 m. ancho 3.00 m. altura 1.5 m. arriba de la marea más alta. La estructura formada por este tipo de materiales, según experiencia en obras existentes, presenta buena seguridad.

El costo de la estructura es:

c/m. de longitud se estima en ₡ 100.00  
Costo del muelle ₡ 2,000.00

2)  
Tubería de conducción.

El costo de la tubería de conducción incluirá la instalación y la protección previa. Será calculada para un período de vida de 10 años.

---

\* cortadas y colocadas.

∅ mts.	COSTOxMT. ₡	LONGITUD mts.	COSTO TOTAL ₡
0.15	20.00	90	1,800.00
0.20	25.00	90	2,250.00
0.25	30.00	90	2,700.00
0.30	35.00	90	3,150.00
0.35	40.00	90	3,600.00
0.40	45.00	90	4,050.00

Los costos indicados para la tubería se basan en los costos de instalaciones urbanas, las cuales han sido aumentadas para adaptarlas a las condiciones del proyecto considerado.

Los costos anuales de operación se detallan a continuación:

RUBROS	∅ mts.					
	.15	.20	.25	.30	.35	.40
Mano de obra	4025	4025	4025	4025	4025	4025
Depreciación tubería	180	225	270	315	360	405
Depreciac.equipo bomba	1200	1600	2100	2700	3200	4000
Mantenimiento	300	400	525	675	800	1000
T O T A L E S ₡	5705	6250	6920	7715	8385	9430

El mantenimiento se ha tomado como el 5% del costo del equipo de bombeo.

Comparando los costos anuales de operación con los costos anuales de energía eléctrica para cada sistema a través de gráficas, es posible estimar cual es el diámetro óptimo económico para el proyecto. Las gráficas de la fig. 24 muestran un mínimo que corresponde al diámetro óptimo económico. Dicho diámetro resulta ser de 20 cms. aproximadamente.

El proyecto obliga a que el agua dentro de cualquiera de las tuberías propuestas se mantenga a una velocidad standard. Esta condición difiere de la usada corrientemente para sistemas de distribución de agua donde la variable que se mantiene constante es el caudal. Por tal razón, en el presente caso, al aumentar el diámetro de la tubería aumentaría el caudal y la potencia del conjunto motor bomba, aún cuando la carga H se reduce. La condición inversa se presenta cuando el caudal permanece constante, ya que si se aumenta el diámetro de la tubería, disminuye el caudal y la potencia del conjunto motor bomba.

Tomar un diámetro mayor sería aumentar la inversión obteniendo los mismos resultados y casi iguales condiciones de seguridad en el servicio. Por ejemplo, en caso de tomar un diámetro de 30 cms., aumentaríamos la vida útil del

del equipo de bombeo y reduciríamos los costos de energía eléctrica, pero a la vez, incrementaríamos los costos de operación, los cuales ejercen mayor influencia en la curva de costos totales.

Por otra parte, al tomar un diámetro menor, por ejemplo 15 cms., nos haría disminuir los costos totales, pero también reduciría la vida útil del equipo de bombeo. Además, ya que existen condiciones imprevistas tales como un posible aumento futuro en el volumen de trabajo del sistema, creemos que no es conveniente reducir el diámetro.

Por tales razones consideremos que un diámetro económica que presenta buenas condiciones en el funcionamiento tanto previsto como imprevisto es el de 0.20 m. y es el que proponemos.

3) Construcción de un espigón para retener los materiales a transportarse. Esto se puede construir con madera de mangle. Su longitud será tal que sobrepase la zona de rompiente, aproximadamente 100 m.

El costo de esta obra es:

Longitud total aproximada 200 m.

Tablestacas de mangle 2000 a \$ 4.00 c/u.

Valor del espigón.....\$ 8,000.00

Estos costos están basados en los precios establecidos en la

zona a través de experiencia propia.

Inversión inicial de la obra:

Valor del equipo de bombeo.....	₡ 8,000.00
Instalación de tubería.....	₡ 2,250.00
Pozo.....	360.00
Sustentación de la bomba.....	₡ 2,000.00
Espigón.....	₡ 8,000.00
	<hr/>
	₡ 20,610.00

Número de años de operación = 5

Costo total de operación =  $5 \times 6250 =$  ₡ 31,250.00

Costo total de energía eléctrica =  $5 \times 2575 =$  ₡ 12,875.00

TOTAL ..... ₡ 64,735.00

A estos costos les falta el valor de apertura de la bocana, el cual se describe en la tercera solución.

SEGUNDA SOLUCIÓN

Construir un espigón en el lado erosionado de la bocana actual, como lo muestra la fig. 23.

El espigón se iniciaría en tierra firme y terminaría en el banco de arena localizado a la entrada de la bocana. Con esta solución aprovecharíamos: primero, que los materiales arrastrados por la corriente litoral a través de la bocana se sedimentarían en el lado A al encontrar el



espigón y segundo, que la arena que logre pasar al otro lado del espigón a través del banco de arena, se sedimentaría en la zona B, fig. 23, ya que la velocidad de la corriente disminuiría considerablemente.

Esta solución es muy interesante ya que aprovecha el banco de arena actual el cual permite un paso franco de los materiales arrastrados por la corriente litoral al otro lado de la bocana y es esto precisamente lo que se persigue.

Es de hacer notar, que esta solución se propone muy particularmente en esta zona, por las consideraciones locales, ya que en la zona B, según el comportamiento básico de un espigón descrito anteriormente, se formarían una zona de erosión. En este caso se pudo comprobar durante varias semanas de observación, que el espigón funcionó adecuadamente. Entre los factores no considerados, probablemente estaría una reversibilidad de la corriente litoral debida a la zona rocosa situada al Este del sitio de la obra. Estos factores influyen notablemente en el buen funcionamiento de la solución propuesta.

El costo de esta segunda solución es:

Espigón de mangle 200 m. .... \$ 8,000.00

La vida de esta solución es practicamente larga, puede que pase de los 10 años, todo depende del mantenimiento que se le dé al espigón en los primeros meses de instalada. Lo anterior se basa en que el manglè es una madera que se desarrolla en arena y agua salada, de tal forma que en estas condiciones, se conservará bastante bien.

### TERCERA SOLUCION

El avance natural de la bocana, establecido en los últimos seis años es de: 420 m., es decir, un promedio de 70 m. anuales.

La apertura de una nueva bocana implica un movimiento de tierra que se calcula así:

Ancho de la bocana a construirse = 12 m.

Longitud aproximada = 100 m.

Corte promedio = 1.5 m.

Volumen de arena a removerse = 1,800 m<sup>3</sup>.

El ancho de 12 m. y el corte 1.5 m. se estiman suficientes ya que la corriente se encarga de ampliar la sección según la necesidad y hasta donde se establezca de antemano. El corte propuesto es suficiente para que exista corriente en marea baja.

El costo de la obra se estima así:

Costo de m<sup>3</sup> cortado de arena ↘ 1.50  
Valor de la apertura ↘ 2,700.00

El costo unitario se establece en esta cantidad basado en la experiencia propia sobre el lugar.

El abrir una nueva bocana obliga también a cerrar la actual, esta operación se hace de la siguiente manera:

Se construye una serie de balsas con madera de mangl... Se colocan estas a lo ancho de la bocana actual, procurando hacerlo en la marca baja y luego se cargan las balsas con material pesado. De esta manera se consigue una especie de presa de enrocamiento. Las balsas funcionan como las zapatas en un edificio pues distribuyen la carga en un área mayor y evitan así el fácil hundimiento de las rocas y por consiguiente, su pérdida.

El costo de esta operación sería:

Construcción de 40 m. de balsas a 10 c/m. = 2400.00  
Acarreo de 90 m<sup>3</sup> de piedra a 24.00 c/u. = 2160.00  
TOTAL.....2760.00

Este tipo de obra es necesario construirlo cada año debido a que el desplazamiento de la bocana no se evita.

#### CUARTA SOLUCION

Construir una trampa de arena en la bocana que consista en una fosa, equivale a estar trasladando por medios mecánicos la arena que se deposita en el foso desde él hasta el lugar donde se produce la erosión; esta solución implica la presencia de equipo pesado.

Esta solución la hemos mencionado más bien como una información.

#### 3.1.1.3 Solución recomendada.

De la comparación entre las soluciones expuestas para el problema de la desembocadura del río El Encantado, se prefiere y se recomienda la segunda, que consiste en construir un espigón en el lado erosionado de la bocana.

Los motivos son los siguientes:

La primera solución resulta demasiado cara en comparación con el desarrollo turístico y económico de la zona, sabemos que con ella se estabiliza la bocana, pero también reconocemos que actualmente las condiciones del lugar permiten un desplazamiento de la bocana sin que se perjudiquen mayormente los terrenos vecinos.

La tercera solución implica una inversión anual. Establece también un requisito consistente en la necesidad de poder trabajar a ambos lados de la bocana y esto no es posible debido a que la bocana sirve de lindero a dos propiedades de distinto dueño, los cuales difícilmente se ponen de acuerdo, ya que una propiedad aumentaría de área mientras la otra disminuiría.

La cuarta solución presenta los problemas que se encuentran en la tercera solución.

La segunda solución, que es la que se recomienda, no presenta el problema de estar invirtiendo anualmente ni tampoco la condición de trabajar en propiedad privada, más bien parecería que la bocana se desplaza como un fenómeno natural. Sin embargo es preciso establecer que cuando el espigón ha recuperado cierta cantidad de arena se experimenta la necesidad de construir uno nuevo en una posición que se determinará cuando se conozcan las condiciones de recuperación.

### 3.1.2 Erosión en los acantilados.

Este fenómeno lo produce el impacto de la ola o la corriente litoral que actúa sobre la base de los acantilados.

El proceso de la erosión en estas zonas, es continuo como el movimiento del mar. Como producto de ello estas zonas presentan huecos o cavernas que obligan a la parte superior a permanecer en voladizo durante cierto tiempo. Alcanzado su límite de rigidez, el voladizo cae y da lugar a que se inicie nuevamente el fenómeno.

Si se conoce el proceso destructivo del oleaje y la altura hasta donde actúa, se puede determinar las obras que limiten esta acción. Ellas son: muros paralelos a la playa, empotrados en los acantilados. En ciertos casos tendrá que modificarse el alineamiento del acantilado o del muro a construirse y siempre tienen que ser diseñados para resistir el impacto del oleaje. En el caso considerado, El Encantado, no existe actualmente una justificación económica para que se construyan estas obras, pues los terrenos adyacentes son de muy bajo precio.

### 3.1.3 Carencia de playas de arena en la zona de los acantilados.

Ya que el arrastre litoral transporta gran cantidad de arena desde zonas distantes, como es la bocana del río El Encantado hasta lugares alejados como la Punta del Tamerindo, es lógico suponer que para formar playas de arena en ciertas zonas de los acantilados sea necesaro

rio detener el transporte de estas arenas. Para ello necesitamos espigones. La ubicación y características de estos espigones dependen del proyecto.

Estas obras tampoco tienen justificación económica por la misma razón: los terrenos adyacentes tienen muy bajo valor.

#### 3.1.4 Erosión de la playa que limite al Estero del Tamarindo.

En la fig. 25 se presenta el Estero del Tamarindo (A) el cual acepta aguas del río Bananera y aguas de la marea a través de la bocana (B).

La corriente de marea penetra al estero llevando consigo una gran cantidad de materiales en suspensión, principalmente arena que deposita en determinados lugares del estero y forma así los llamados bancos de arena (C). Este fenómeno se presenta en iguales circunstancias con la corriente del río Bananera. Los bancos de arena producidos por la corriente de marea están localizados cerca de la bocana y los producidos por el río la Bananera cerca de la entrada del río al estero.

Las dos corrientes, de marea y fluvial, que llegan al estero, tienden a distribuirse a través de él. Como estas corrientes provocan sedimentaciones que impiden el fácil desplazamiento de estos volúmenes de agua, dadu cimos que es preciso que existan canales de corrientes rá pidas encargados de transportar, a lo largo del estero, la masa de agua que llega o sale. Estos canales, limitados por materiales arenosos de poca estabilidad, permiten una fácil socavación de sus orillas y luego el desprendimiento de ellas en forma de bloque.

El proceso erosivo así descrito, se debe a varias razones principales que son:

- 1) Desviación de la corriente de flujo y reflujó hacia las orillas debido a la isla localizada al frente de la zona erosionada.
- 2) Carencia de plantación de mangle u otra planta que tenga raíces acuáticas.
- 3) La plantación de coníferas, localizada precisamente en la zona erosionada, es también una causa de la erosión.



En la fig. 26 se muestra la zona erosionada como 1-2-3. En ella está localizado un canal principal que al permitir el paso de gran cantidad de agua, ocasiona erosión en la zona de la playa.

La zona erosionada comprende un área aproximada de 10,000 m<sup>2</sup>, formada por una franja de 500 m. de longitud y 20 m. de ancho. Esta franja ha sido erosionada en un período de 6 años.

Conocidos los efectos dañinos y la causa que los produce, es posible plantear las soluciones que eviten el proceso erosivo o bien la forma de recuperar la zona perdida.

Este problema se considera fluvial puesto que tenemos que analizar corrientes definidas. Por observaciones hechas en el lugar se comprobó que la mayor cantidad de playa erosionada se produce cuando la corriente se dirige hacia el mar.

La solución a este tipo de problemas son los espigones o diques transversales que parten de la orilla y se dirigen hacia el estero. La longitud y la separación de estos diques, lo mismo que la inclinación con respecto a la dirección de la corriente, se determinan de acuerdo con las observaciones realizadas durante el primer año.

Ciertas normas establecidas para esta clase de obras se indican a continuación (13):

- a) El material de que se construyen puede ser: rocas, concreto, madera, bloques, etc.
- b) Según la facilidad con que permiten el paso al agua, pueden ser: permeables o impermeables.
- c) La inclinación de los espigones oscila entre los  $75^{\circ}$  y  $80^{\circ}$  con la dirección de la corriente.
- d) La longitud de los espigones está de acuerdo con la zona que se quiere proteger o recuperar.
- e) La separación entre espigones no será mayor de 5 veces su longitud.
- f) Se evita colocar los espigones normales a la dirección de la corriente por producir remolinos.
- g) Cuando la corriente cambia de sentido constantemente, se procurará construir los espigones en la dirección en que se pueda recibir mayor material suspendido.

En la fig. 26 se muestran las formas recomendables de usar los espigones en la playa del estero de la Punta del Tamarindo.

Una vez contruidos los espigones, la corriente que actualmente circula próxima a la orilla, tendrá que ir cambiando con tendencia a buscar la parte central del estero. Si este proceso se quiere acelerar es recomendable la construcción de un canal en el centro del estero. Este canal permitiría el paso a mayor cantidad de agua y con más facilidad por lo cual los canales de la orilla llevarían menos agua y por consiguiente producirían menor erosión. La construcción de este canal se puede llevar a cabo por medios mecánicos.

El costo de los espigones se estima de la siguiente manera:

Costo directo local de cada tablestaca hincada de mangle \$ 2.00.

Longitud de la zona a protegerse 500 m.

Longitud de cada espigón 20 m.

Separación entre espigones 40 m. aproximadamente.

Número de espigones =  $\frac{500}{40}$  = 12 aproximadamente.

Tablestacas promedio por cada espigón 120.

Costo de cada espigón  $120 \times 2 = \$ 240.00$ .

Costo de 12 espigones  $240 \times 12 = \$ 2,880.00$ .

### 3.2 Consideraciones generales sobre las obras propuestas.

La protección de estas costas, ya sea por medio de las obras propuestas o por otras que se consideren adecuadas, es una necesidad imperante que no debe evadirse, pues con el transcurso del tiempo estas playas pueden alcanzar situaciones que dañen considerablemente las inversiones realizadas.

Si recordamos el desplazamiento que ha sufrido la bocana del río El Encantado, podemos apreciar la pérdida total de la inversión hecha en las parcelas de la playa que destruye, igualmente las pérdidas que sufren las parcelas agrícolas al ser inundadas constantemente.

Al referirnos a la zona de los acantilados podemos decir que la erosión producida alcanza valores altos, aún cuando su proceso es lento. Existe entonces el peligro de erosionar poco a poco las parcelas.

En la zona de los acantilados es raro encontrar amplias playas de arena. Crearlas es mostrar un incentivo a los inversionistas.

El problema expuesto sobre las playas del Tamarindo puede volverse muy complejo, pues existe el peligro de que el

estero se una con el mar por medio de un nuevo canal. Esta condición traería consigo una pérdida bastante grande.

Dadas las consideraciones que anteceden, estimamos como un deber recomendar enfáticamente el pronto desarrollo de las obras de protección, pues de lo contrario se corren los peligros citados.

### 3.3 Viabilidad.

El desarrollo de las obras de protección en las playas tiene que basarse en un análisis económico, es decir, la inversión a realizarse debe estar en relación con la inversión que necesita protegerse.

Partiendo de esta condición, es preciso estudiar económicamente, aún con cifras aproximadas las obras planteadas anteriormente.

#### 3.3.1 Consideraciones Socio-económicas sobre las obras propuestas en la bocana del río El Encantado.

En el año de 1960/61 fué lotificada la playa que actualmente ha sido erosionada. El precio de venta por m<sup>2</sup> en esa fecha fué de \$ 1.00. Nueve años más tarde, es decir a esta fecha, el precio por m<sup>2</sup> ha subido a \$ 2.50.

El valor alcanzado por estos inmuebles es producto de la aceptación o demanda que tienen. A este rédito obtenido llamado plus-valía, lo podemos considerar como bueno en base a las razones siguientes.

Si suponemos una inversión inicial de ₡ 1,000.00 en la compra de un lote y lo comparamos con el precio de venta actual de ₡ 2,500.00, nos damos cuenta que en un período de nueve ■ diez años, los ₡ 1,000.00 invertidos inicialmente han dado un rédito de ₡ 1,500.00, es decir han trabajado con un interés aproximado anual del 15%, que si lo comparamos con el interés comercial bancario del 8% anual, nos parece favorable.

En realidad la plusvalía no siempre tiene un ascenso acelerado, necesita un atractivo físico, comercial o cualquier otro, que sea lo suficientemente convincente para acelerarla.

En el caso que nos ocupa podemos considerar que, lejos de haber un atractivo, hay una situación adversa como es la continua erosión que sufre la playa. Pero aún así, a los lotes que todavía no ha alcanzado el efecto erosivo han sido favorecidos con el alza de precio. De esto concluimos que al recobrar la playa que ha sido erosionada, es posible venderla al precio de ₡ 2.50 m<sup>2</sup> o más.

El área aproximada de los lotes perdidos obtenida del plano de la fig. 21 es de 40,000 m<sup>2</sup> que si se venden a \$ 2.50 c/m<sup>2</sup> representa un total de \$ 100,000.00; es obvio entonces, que esta cantidad es mayor que el costo de cualquiera de las soluciones propuestas.

Además de las consideraciones anteriores, se necesita reconocer que la recuperación de los lotes perdidos no se efectúa en un año, sino que es preciso que transcurran varios años; pero también es cierto que en esos años, el valor de los lotes tiene que haber alcanzado precios más altos.

Unido a lo anterior, podemos decir que en los próximos cinco años el desarrollo turístico de la zona mejorará notablemente, ya que los proyectos que existen son de mucho alcance.

Al referirnos a los proyectos de explotación turística que existen, es preciso aclarar que el motivo principal para la concepción de estos proyectos fue la belleza natural de sus playas y que si éstas se ven amenazadas, como sucede en la actualidad, puede esto ser motivo suficiente para abandonar el proyecto.

Si comparamos el valor de la obra a ejecutarse con la cantidad de dinero posible de colectarse al vender los lotes, notamos que la relación beneficio-costos está arriba de 2:1, la cual se puede considerar buena. Esta es la condición económica, pero si consideramos el desarrollo social que incrementaría el proporcionar nuevas fuentes de trabajo, tanto en la ejecución de las obras como en el mantenimiento de ellas, encontramos un incentivo muy poderoso.

### 3.3.2 Consideraciones socio-económicas sobre las obras propuestas en la zona de los acantilados.

En esta zona los lotes han alcanzado los mismos precios que los de la zona del río El Encantado, pero la plusvalía no ofrece mantener una aceleración constante o mayor a la actual, pues las condiciones topográficas exigen una gran inversión para lograr un mejor aspecto. La efectiva recuperación y mejoramiento de estos lotes obliga a invertir más de lo que se necesita en otras playas de la hacienda para presentar un aspecto semejante.

### 3.3.3 Consideraciones socio-económicas sobre las obras propuestas en la zona del estero del Tamarindo.

Sin duda alguna, las playas de la punta del Tamarindo son las más atractivas de las aquí consideradas. Esta condi-



ción favorece enormemente el alza de precio de los lotes y la plusvalía es mejor aquí que en otras zonas. El valor del m<sup>2</sup> en el año de 1960 era de \$ 1.00. En esta fecha, el m<sup>2</sup> se cotiza a \$ 5.00.

Analizando estas condiciones y comparándolas con el valor de las obras propuestas, podemos concluir que es un gran beneficio el que obtendrían estas playas a un costo muy bajo.

Sumado a lo anterior podemos expresar que dichas obras proporcionarían nuevas fuentes de trabajo a la zona, con lo cual se beneficiaría económica y socialmente a sus habitantes.

## C A P I T U L O   I V

### Conclusiones y recomendaciones de carácter global.

Al terminar el presente trabajo creemos haber logrado un objetivo principal, cual es despertar la atención que merecen nuestras playas. Reconocemos que en varios tópicos hemos sido muy escuetos, pero esto obedece, entre otras cosas, a la falta de información, de aparatos, de tiempo, personal y experiencia necesarios, para hacer investigaciones.

Aún aclarado lo anterior, creemos que el estudio realizado, va a favorecer el desarrollo de trabajos similares más específicos.

#### 4.1 Aspecto general de nuestro litoral. Conclusiones.

El litoral de El Salvador presenta cinco formaciones básicas acompañadas de varias condiciones y problemas especiales:

- 1) Acantilados con procesos erosivos y poca playa de arena.
- 2) Playas con cantos rodados y poca arena.

- 3) Playas de arena formando barras o bancos, que presentan desplazamiento de sus materiales componentes a causa de la corriente litoral.
- 4) Desembocadura de los ríos, las cuales sufren desplazamientos continuos y producen sedimentación en determinados lugares.
- 5) Esteros que aceptan agua de las mareas e inundan zonas agrícolas.

#### 4.2 Interés científico.

El conocimiento exacto de los fenómenos que suceden en las playas constituye un atractivo científico poderoso y podemos decir que entre los aspectos más importantes por investigar se encuentran:

- 1) Determinar el arrastre litoral.
- 2) Determinación del poder erosivo de las olas y de la corriente litoral, bajo diversas condiciones.
- 3) Análisis de los esterros, a fin de lograr un mejor aprovechamiento.
- 4) Análisis del comportamiento de los canales de comunicación entre los esterros y el océano. Determinar sedimentación.

- 5) Estudio de las condiciones en las cuales las bocanetas cierran el paso a la corriente fluvial.

Los temas anteriores y otros más que podríamos enunciar, son sin duda alguna, aspectos necesarios e indispensables para la elaboración de proyectos relacionados con nuestro litoral.

#### 4.3 Desarrollo socio-económico.

El desarrollo económico y social de nuestro pueblo es un objetivo general. El problema entonces, es encontrar la forma de como realizar este desarrollo.

Las diversas inversiones que puedan ejecutarse en la zona litoral, ofrecen beneficios económicos y por consiguiente un desarrollo social.

Como ejemplo de estas posibles inversiones tenemos:

- 1) Desarrollo turístico en la zona del Tamarindo o cualquier otra playa.
- 2) Desarrollo de puertos de pesca localizados en los esteros.
- 3) Desarrollo urbanístico de los esteros con acceso a los lotes por medio de carreteras y canales na

gablas.

- 4) Establecimiento de fábricas procesadoras de mariscos, a la orilla de los esteros.

Además de los anteriores ejemplos están los descritos en el punto 1.4 que se refieren al aprovechamiento de los esteros.

Como se pueda apreciar, nuestro litoral necesita y puede desarrollarse.

A P E N D I C E

Recuperación de tierras por medio de dragas (14)

La solución de algunos problemas mencionados en este trabajo exigen la construcción de canales. Estos canales pueden construirse de una manera más rápida y eficiente por medio de dragas.

Existen otros casos, que no los tratamos con detalle en este estudio pero que sí los mencionamos, como son la incorporación de los esteros a actividades más productivas, en dichos casos es indispensable la existencia de buenos canales de navegación, lo cual solo puede ser resuelto aplicando dragas para su construcción.

Dadas las razones anteriores creemos conveniente hacer algunas consideraciones acerca de las dragas.

Existen dos tipos fundamentales de dragas que son:

- a) Dragas con funcionamiento hidráulico.
- b) Dragas con funcionamiento mecánico.

Las dragas con funcionamiento hidráulico mezclan con agua

los materiales a excavar y después bombean esta mezcla fluída. Estas dragas tienen un alto rendimiento y economía porque los trabajos de excavación y descarga se llevan a cabo en un ciclo continuo.

Las dragas con funcionamiento mecánico toman los materiales sólidos de sus formaciones en el agua y los traen a la superficie, donde generalmente se emplean equipos auxiliares como barcazas, remolcadores, etc., para descargarlos. Estas dragas se utilizan principalmente cuando los materiales a extraerse son muy duros.

Para la determinación de la draga más conveniente en el desarrollo de un trabajo es preciso conocer las condiciones siguientes:

- 1) Clase de trabajo que realizará la draga. Estos pueden ser: recuperación de terrenos por relleno, construcción de canales y vías navegables, dragado fluvial, etc.
- 2) Condiciones del diseño: distancia de descarga elevación de descarga, profundidad de dragado, altura de corte, etc.
- 3) La clasificación del material a dragarse.
- 4) Condiciones marítimas o fluviales y atmosféricas,

tales como: altura de mareas, velocidad de corrientes, velocidad del viento, etc.

Para la recuperación de tierras, como en el caso de los esteros, son recomendables las dragas con funcionamiento hidráulico debido a las siguientes razones:

- a) Los materiales de que están formados los suelos de los esteros son de consistencia blanda.
- b) Permiten depositar los materiales extraídos en el lugar deseado, por medio de tuberías.

La fig. 27 muestra esquemas de dragas.





B I B L I O G R A F I A

- (1) Mapa de la República de El Salvador, Dirección General de Cartografía.
- (2) Comunicaciones, revista del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador, Nos. 3 - 4 Julio-Diciembre de 1957.
- (3) Comunicaciones, revista del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador, No. 3 Julio de 1952.
- (4) Morfología Litoral y Submarina, por Andrés Guilcher. Ediciones Omega, S. A.
- (5) Ingeniería Marítima, autores: Roberto Bustamante Ahumada, Manuel Coria Treviño, Héctor M. Paz Puglia Víctor Figueroa Castillo, Francisco J. Berzunza Valdez y Miguel Bustamante Ahumada México 1959. Consejo Técnico Consultivo de la Secretaría de Marina.
- (6) The Bulletin of the Beach Erosion Board, Special Issue No. 2, Shore protection Planning and Design. (Preliminary, subject to revision). Department of Army Corps of Engineers. March 1953.

- (7) Cours D'HYDRAULIQUE MARITIME et de TRAVAUX MARITIMES  
par J. Larras. Dunod Paris 1961.
- (8) Coastal Protection for Florida, publicada por Florida  
Engineering and Industrial Experiment Station, Colle-  
ge of Engineering, University of Florida, Gainesville.  
Agosto 1963.
- (9) The Design of Defence Works, by Roland Berkeley Thorn  
London 1960.
- (10) Studies and Recommendations for the Control of Beach  
Erosion in Florida, Florida Engineering and Industrial  
Experiment Station. College of Engineering. University  
of Florida, Gainesville. Julio 1955.
- (11) Hydraulics, by King, Wisler, Woodburn. New York. Octu-  
bre 1960.
- (12) Manual de Riegos y Avenamientos, por Enrique Blair F.  
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Zona  
Andina, Lima - Perú, Julio 1957.
- (13) Manual del Ingeniero, por G. Colombo. Barcelona 1961.
- (14) Dragas Ellicott, Ellicott Machine Corporation, Boletín  
1960.

Otras Obras de Consulta

- (15) Coastal Engineering Study of Port Pierce Beach, Florida Engineering and Industrial Experiment Station. College of Engineering, University of Florida, Gainesville.
- (16) Coastal Engineering and Engineering and coastal Protection by Per Bruun. Florida Engineering and Industrial Experiment Station. College of Engineering. University of Florida, Gainesville.
- (17) Tidal Inlets and Littoral Drift Stability of Coastal Inlets. Vol. 2 by Per Bruun.
- (18) Manual de Hidráulica. Horace Williams King 1962.
- (19) Oceanographical Engineering by R. L. Wiegel. Prentice Hall. Co.
- (20) Beaches and Coasts. by C.A.M King. Edward Arnold Ltd. (Publishers) LONDON.
- (21) Geología para Ingenieros de Joseph M. TREFETHEN. Editorial CECSA.
- (22) Ingeniería de Recursos Hidráulicos de Lislav y Frenzing.
- (23) Coast Erosion and Protection por MINIKEN. Editores: Chapman et Mall, Londres.



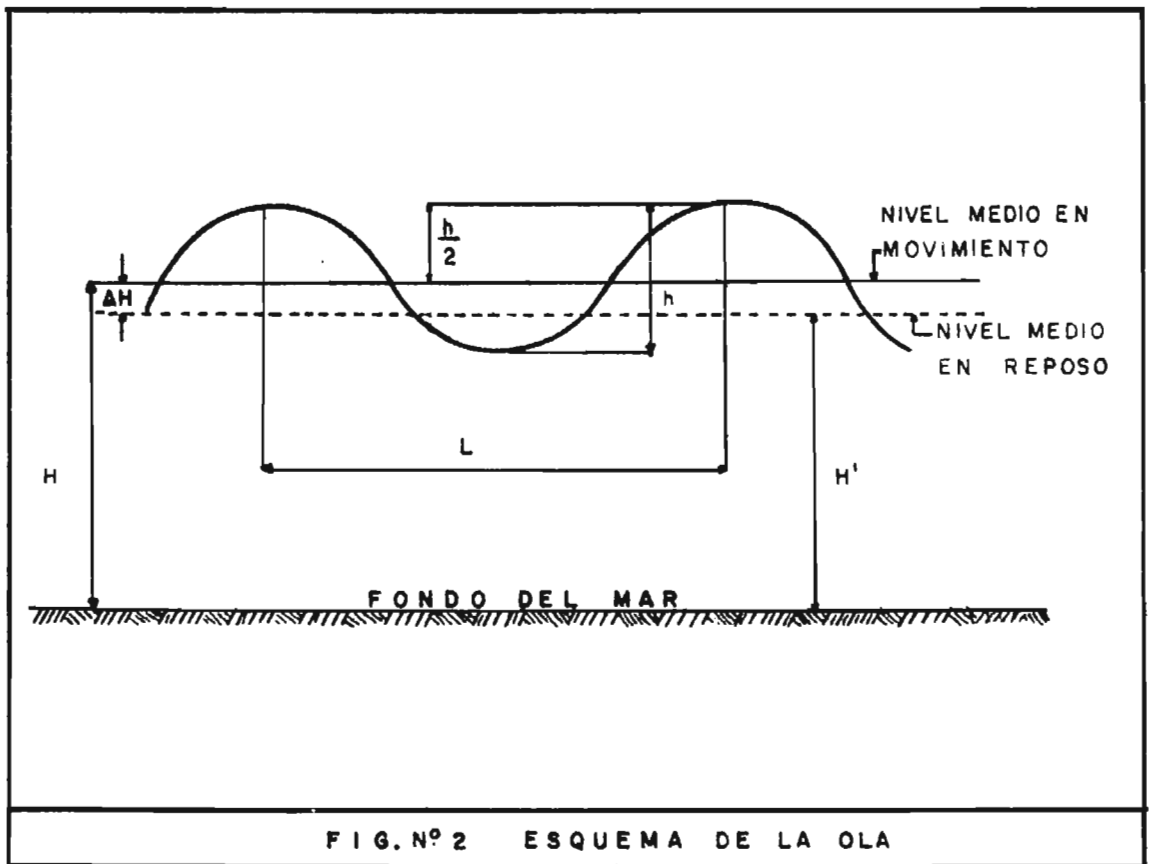
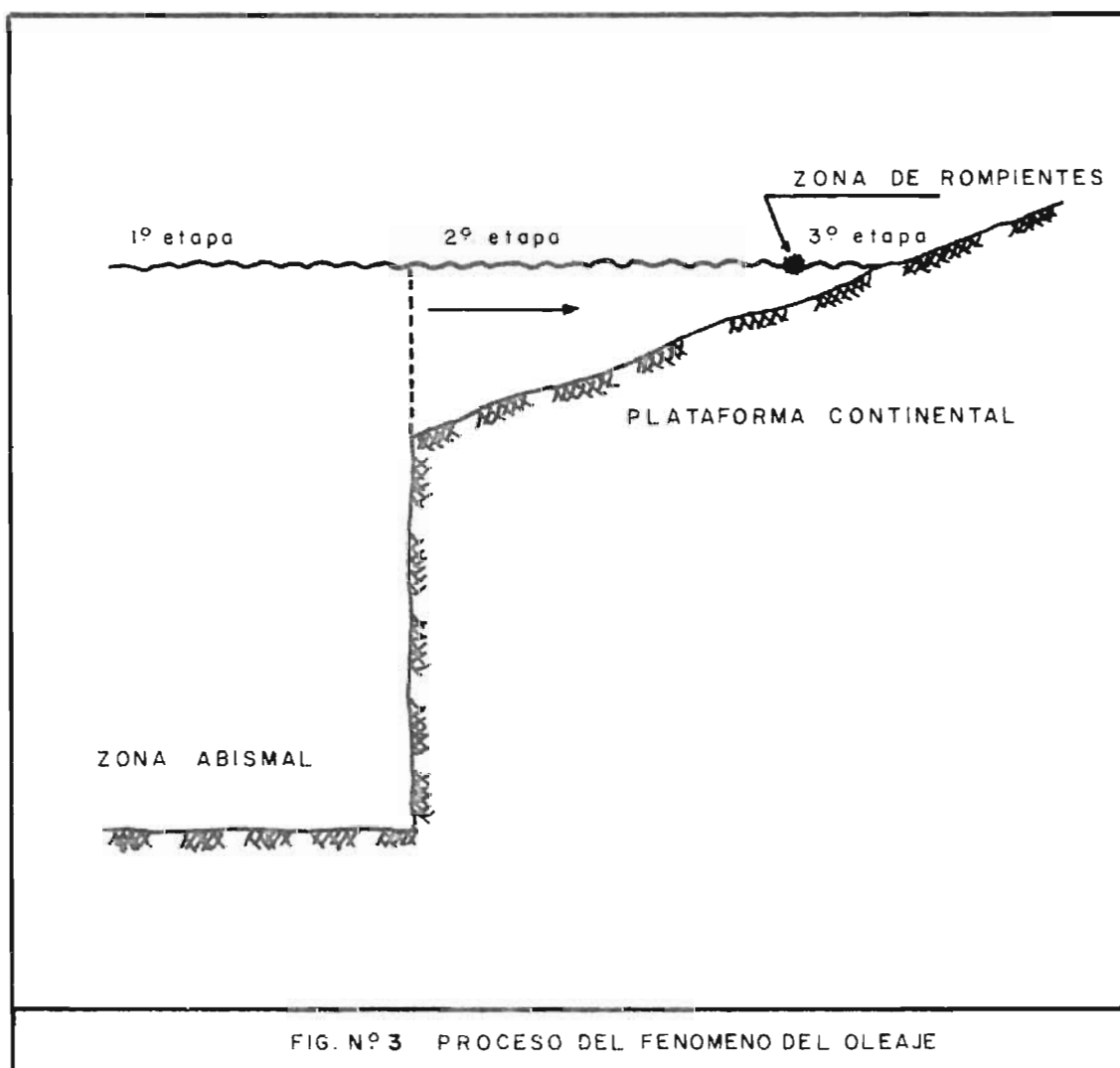


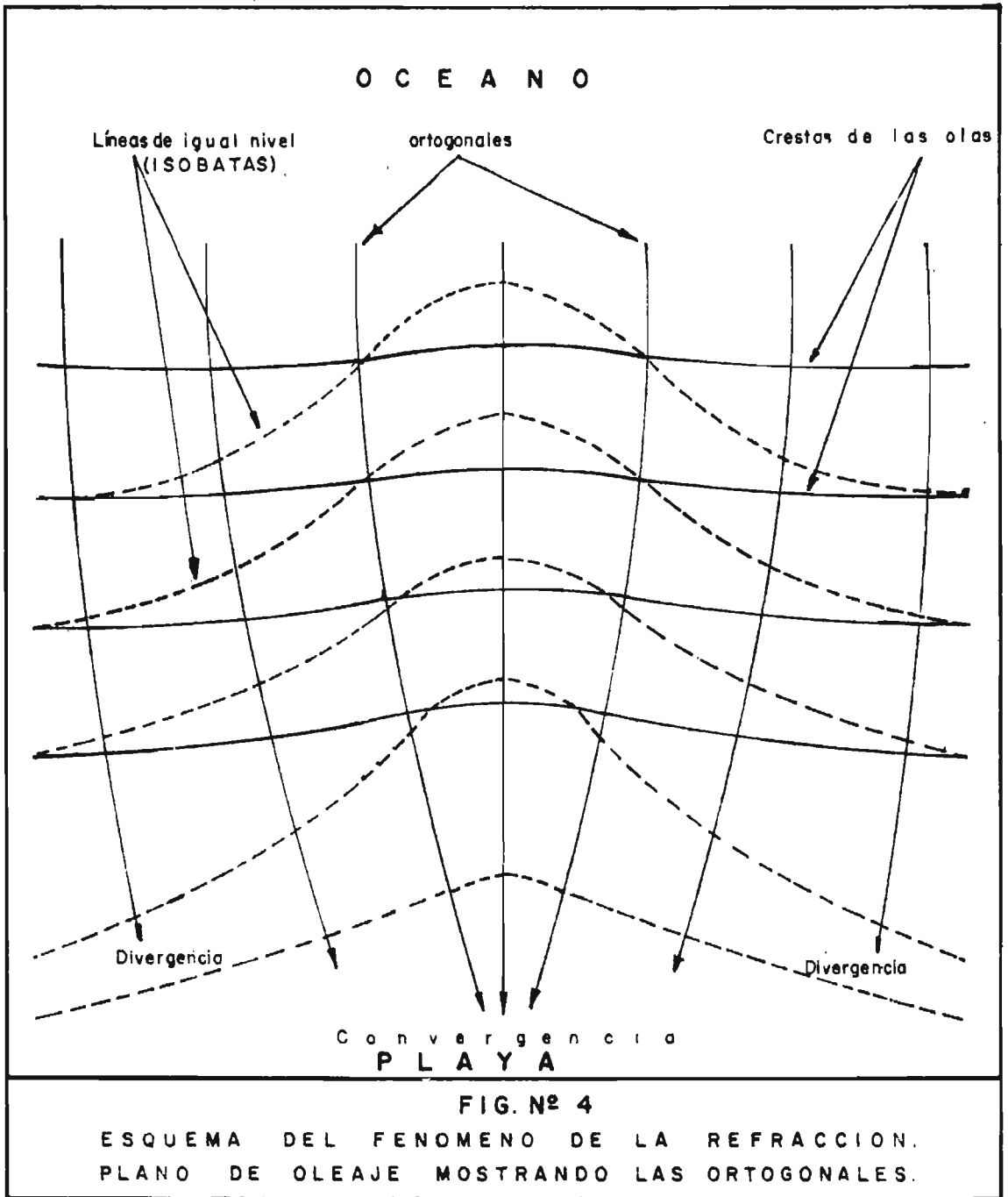
FIG. Nº 2 ESQUEMA DE LA OLA

SIMBOLOS :

- $L$  = LONGITUD DE ONDA
- $h$  = ALTURA DE LA OLA.
- $H$  = DISTANCIA DEL NIVEL MEDIO EN MOVIMIENTO AL FONDO DEL MAR
- $H'$  = DISTANCIA DEL NIVEL MEDIO EN REPOSO AL FONDO DEL MAR.



- 1º ETAPA : LA OLA TIENE MOVIMIENTO OSCILATORIO  
 2º ETAPA : LA OLA TIENE MOVIMIENTO TRASLATORIO  
 3º ETAPA : LA OLA REVIENTA



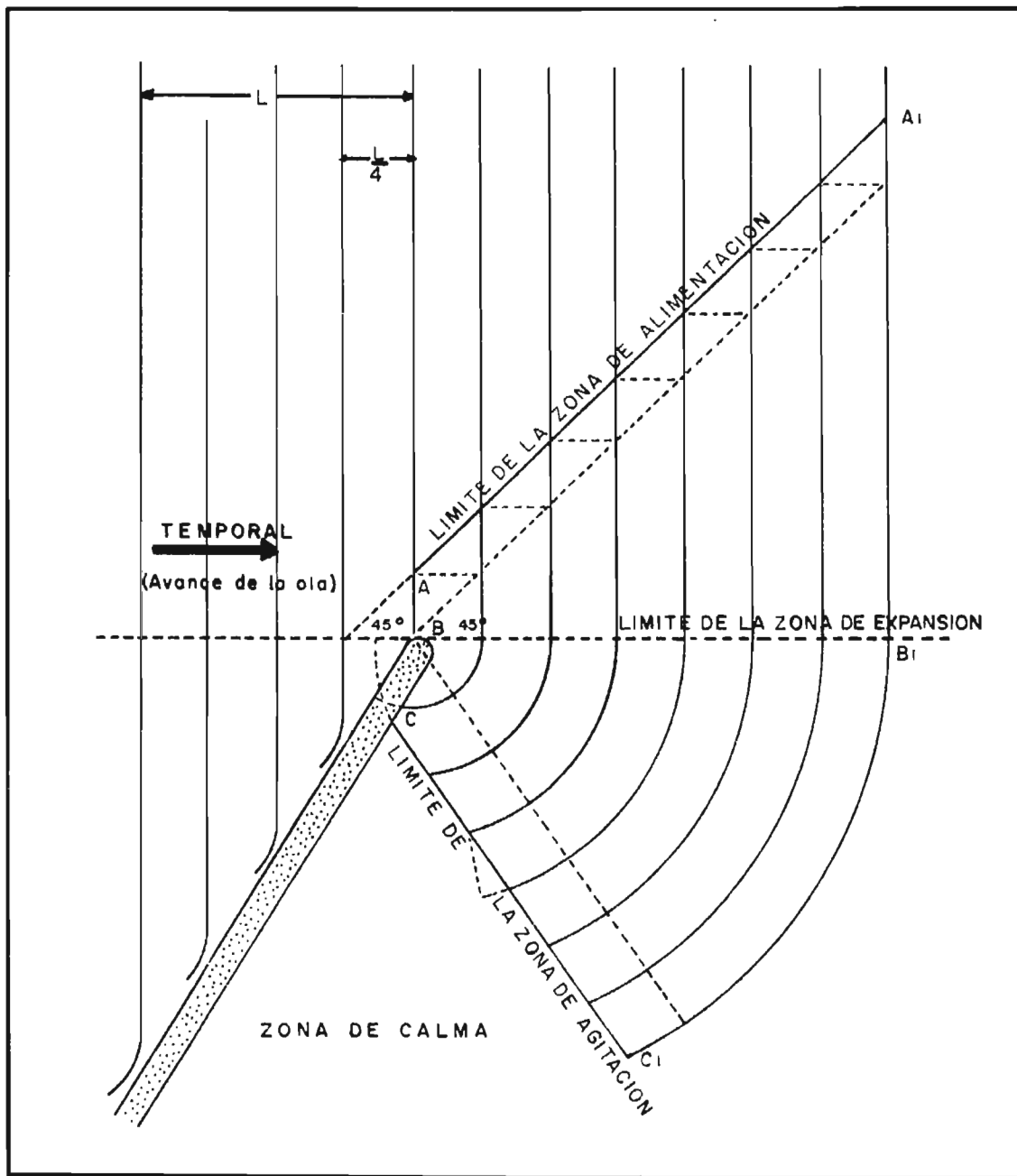


FIG. Nº 5 EXPANSION LATERAL PROFUNDIDAD CONSTANTE.

FENOMENO DE LA DIFRACCION



O C E A N O

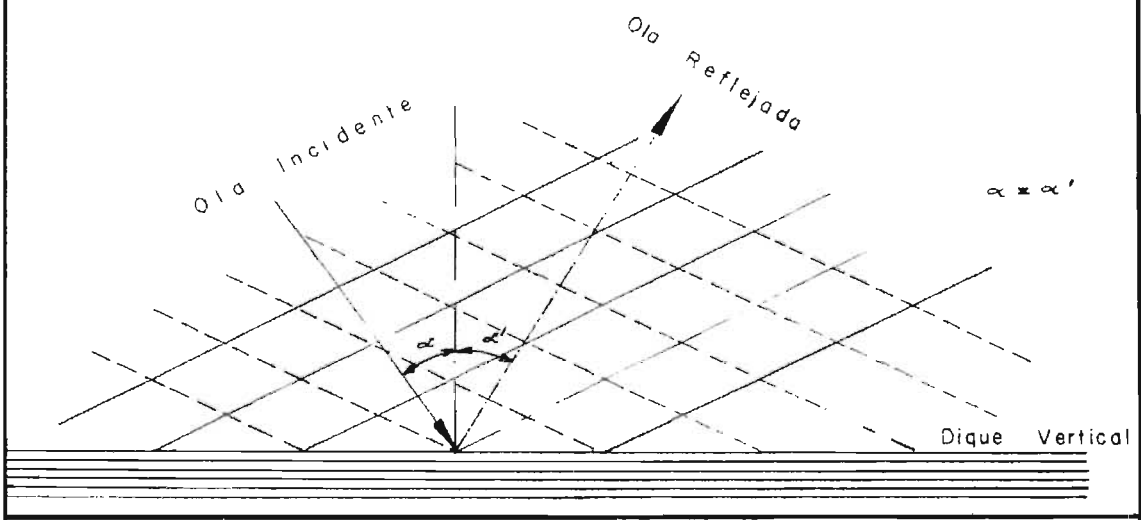
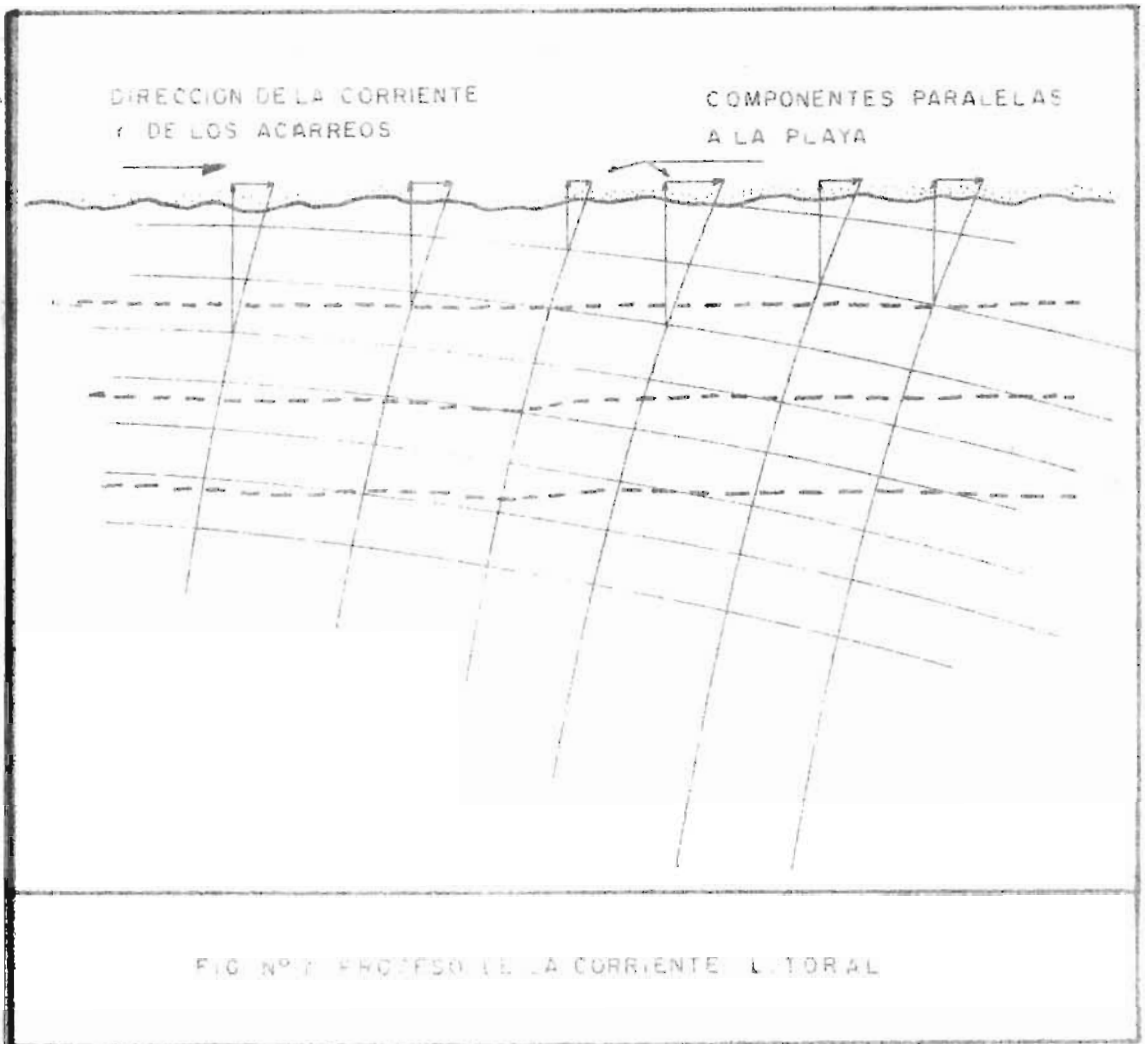


Fig. Nº 6

R e f l e x i ó n d e l a o l a



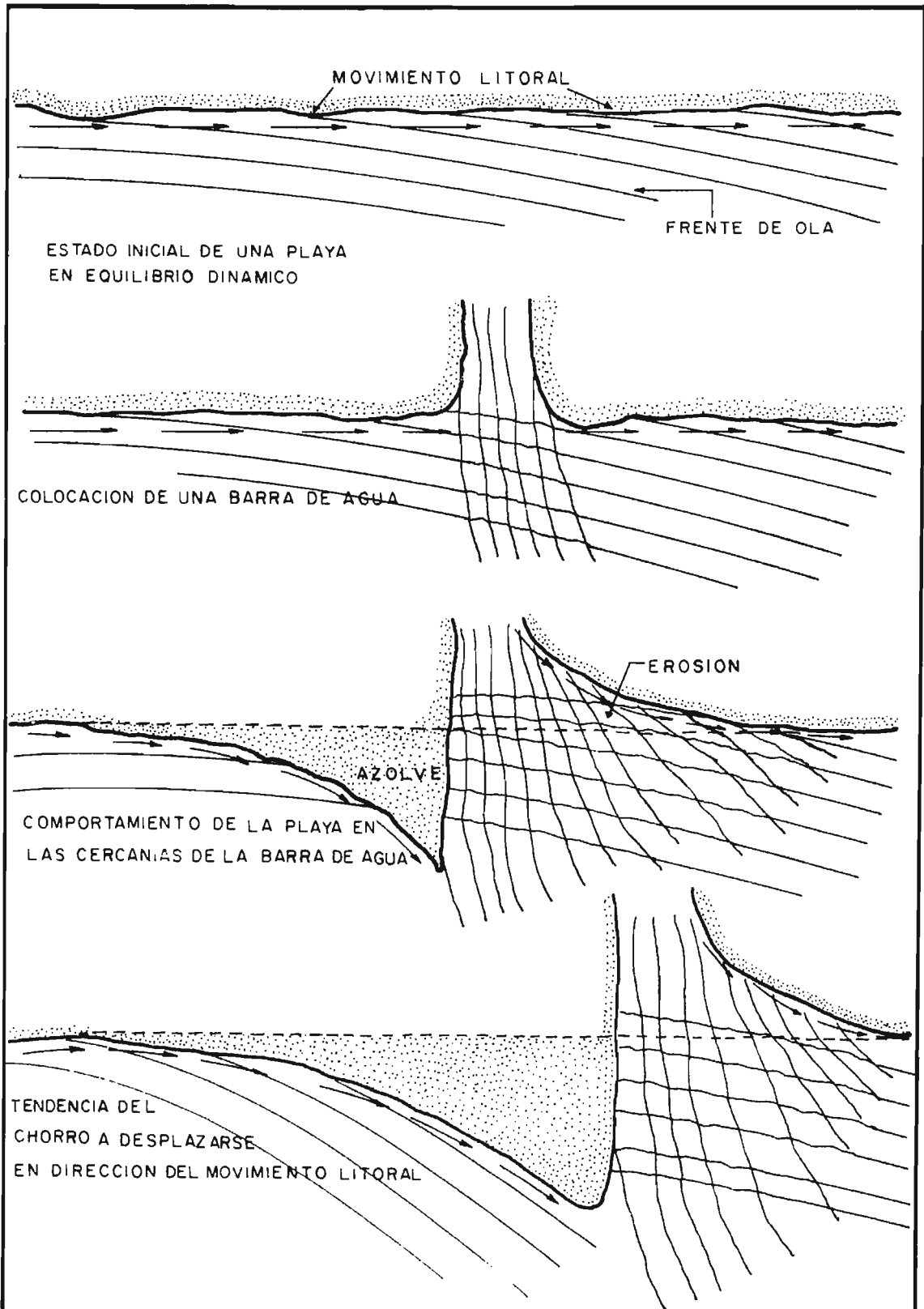


FIG. Nº 8

COMPORTAMIENTO DE UNA PLAYA CON EQUILIBRIO DINAMICO AL SER CORTADA POR UN OBSTACULO..

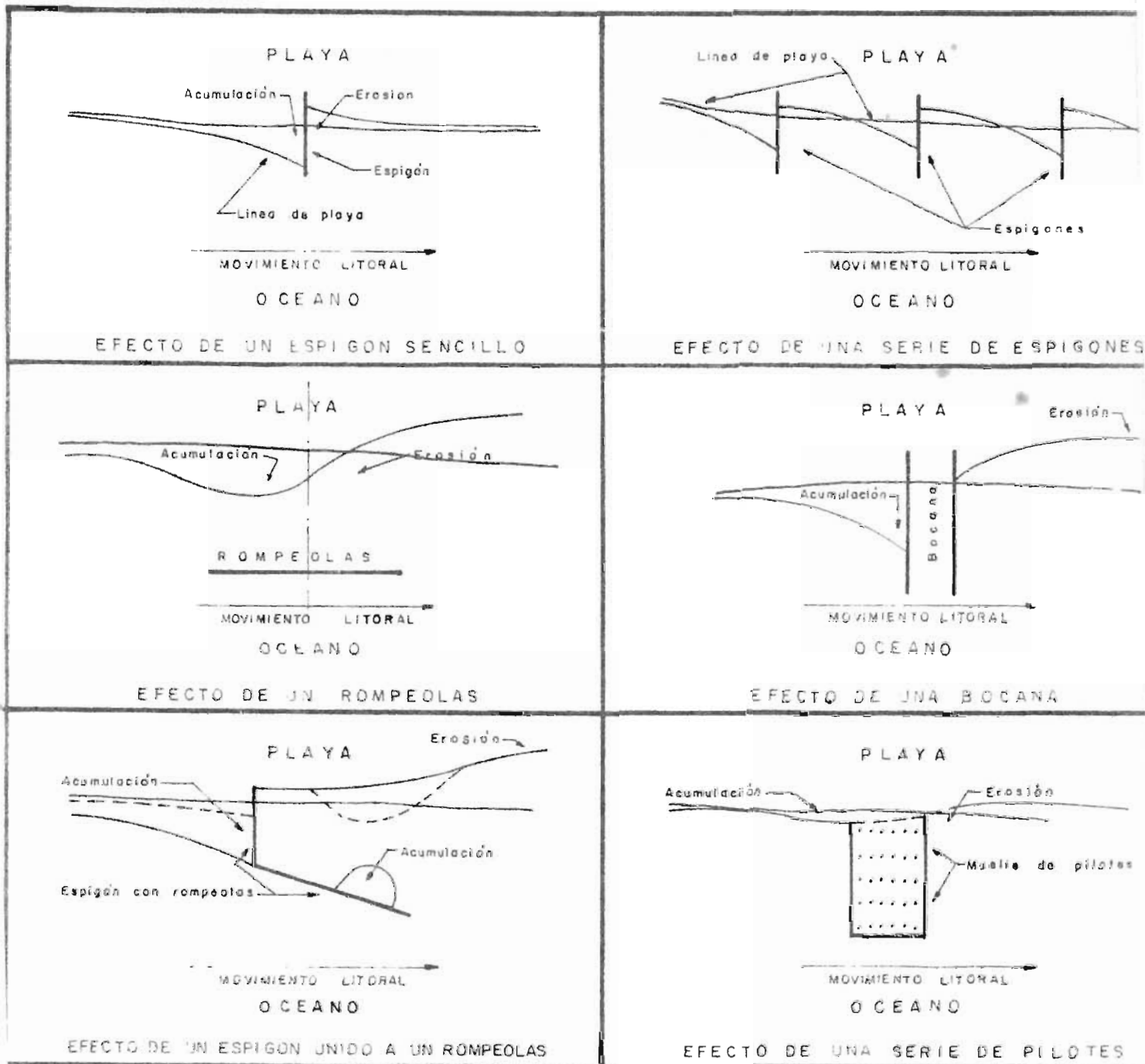


FIG. Nº 9

COMPORTAMIENTO DE DISTINTOS TIPOS DE ESTRUCTURAS ANTE EL MOVIMIENTO LITORAL

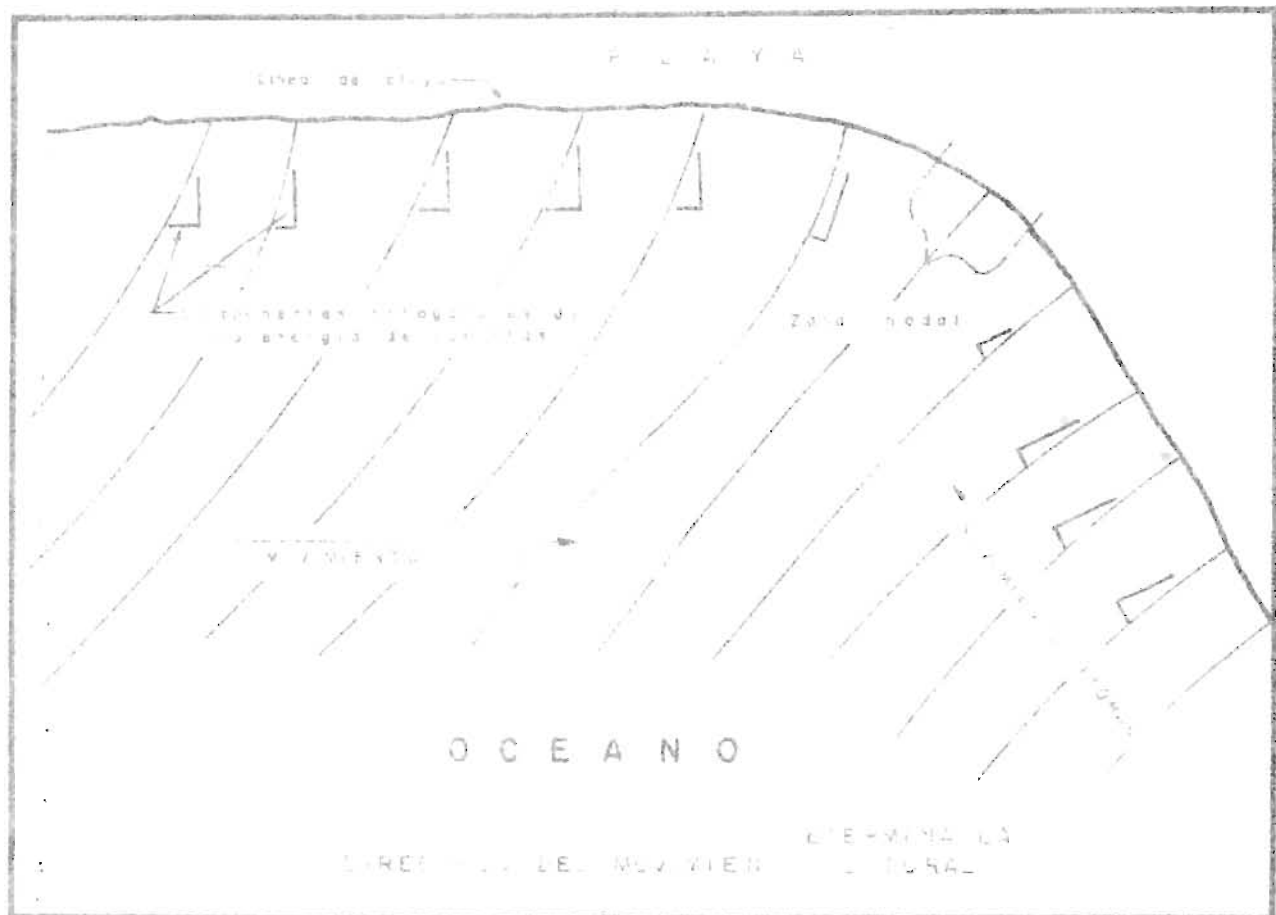
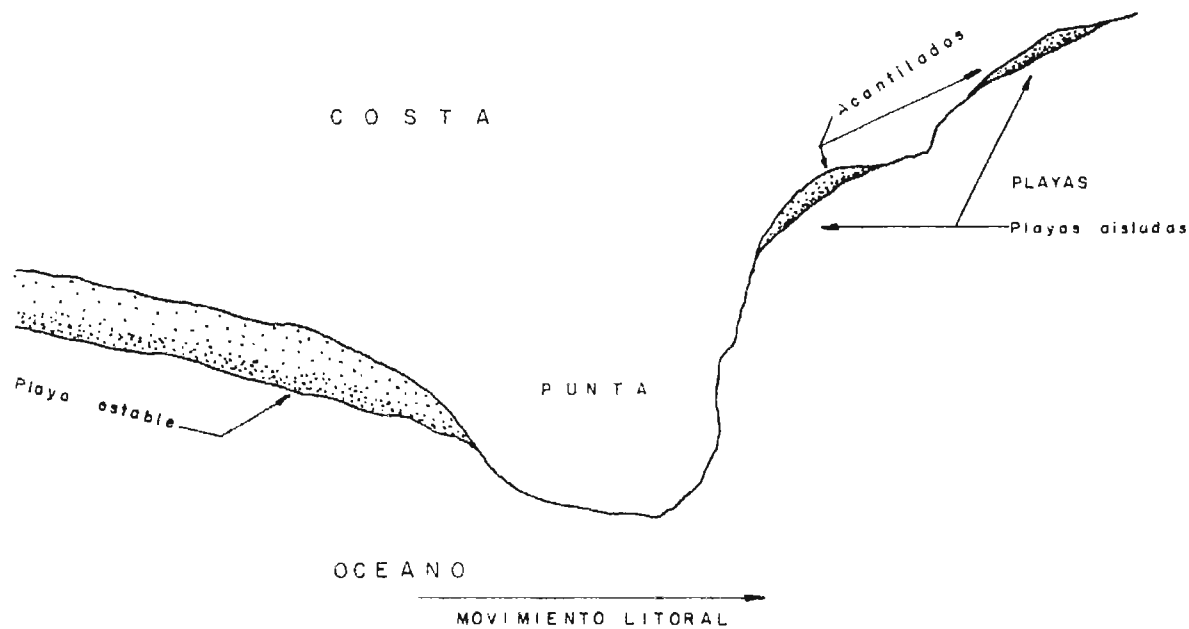
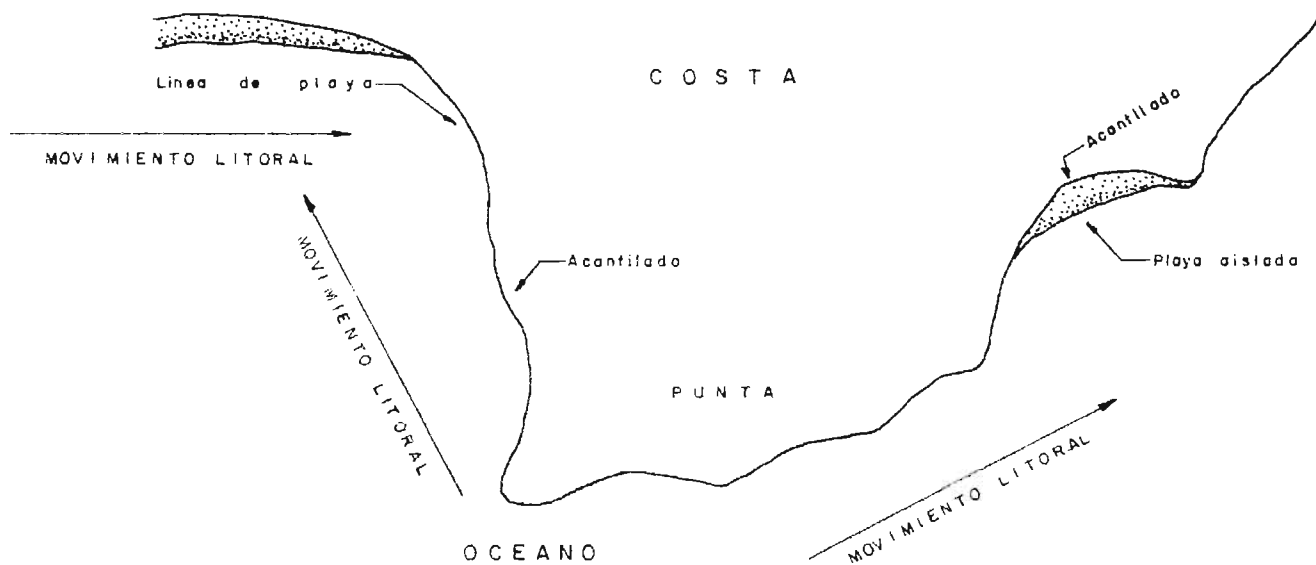


FIG. N° 10  
ZONA NODAL



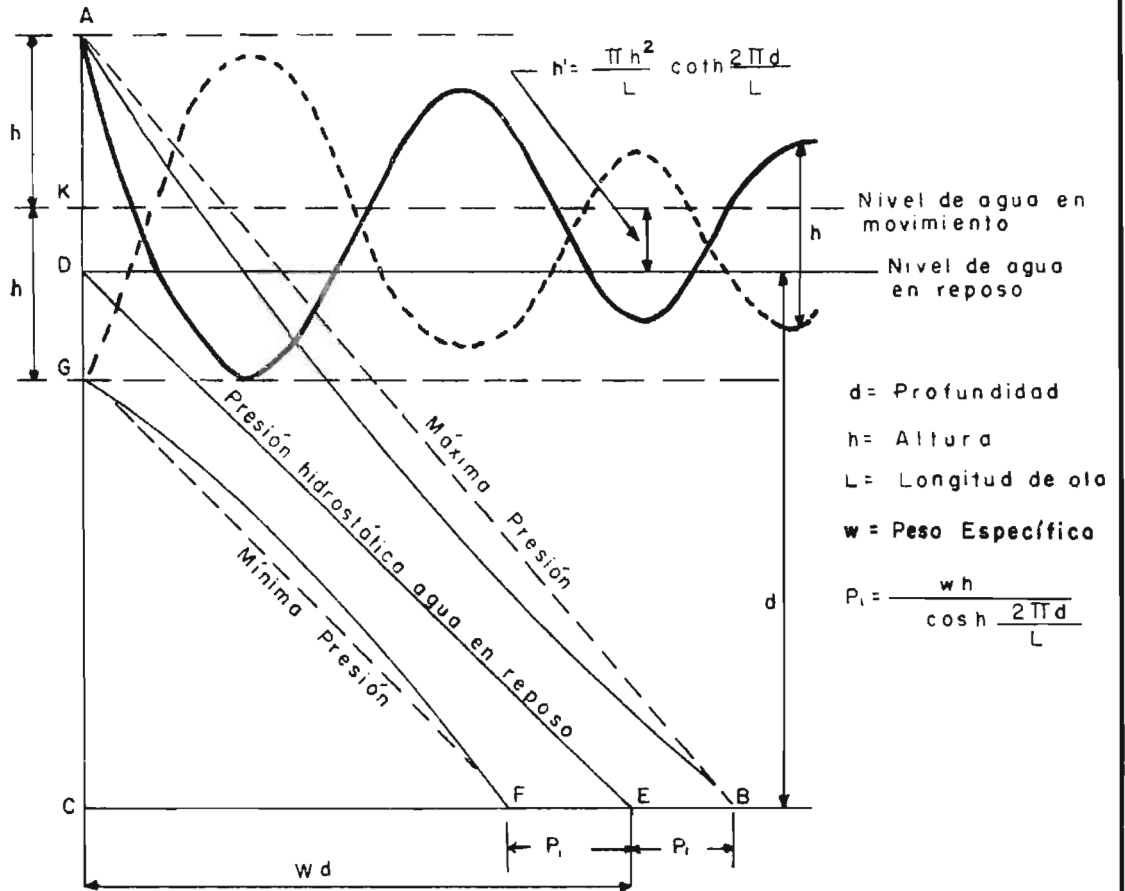
LA PUNTA PERMITE EL PASO DEL MOVIMIENTO LITORAL



LA PUNTA ACTUA COMO UNA BARRERA AL PASO DEL MOVIMIENTO LITORAL

FIG. Nº II  
EFFECTO DEL MOVIMIENTO LITORAL ANTE UNA PUNTA

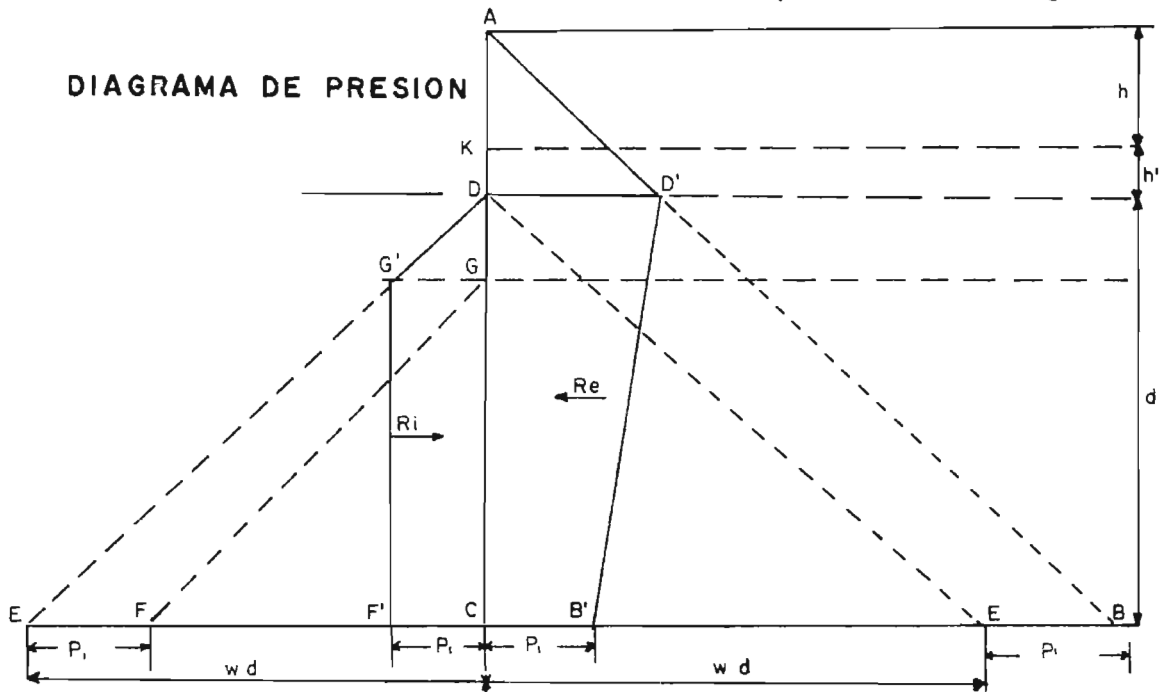
FIG. Nº12 PRESIONES ORIGINADAS POR LAS OLAS ANTES DE ROMPER SOBREF ESTRUCTURAS COSTERAS. METODO DE SAINFLOU.



$P_i =$  Presión de chapoteo, sumada a/o restada de la presión del agua en reposo.

$h' =$  diferencia entre niveles estático y dinámico del agua

**DIAGRAMA DE PRESION**



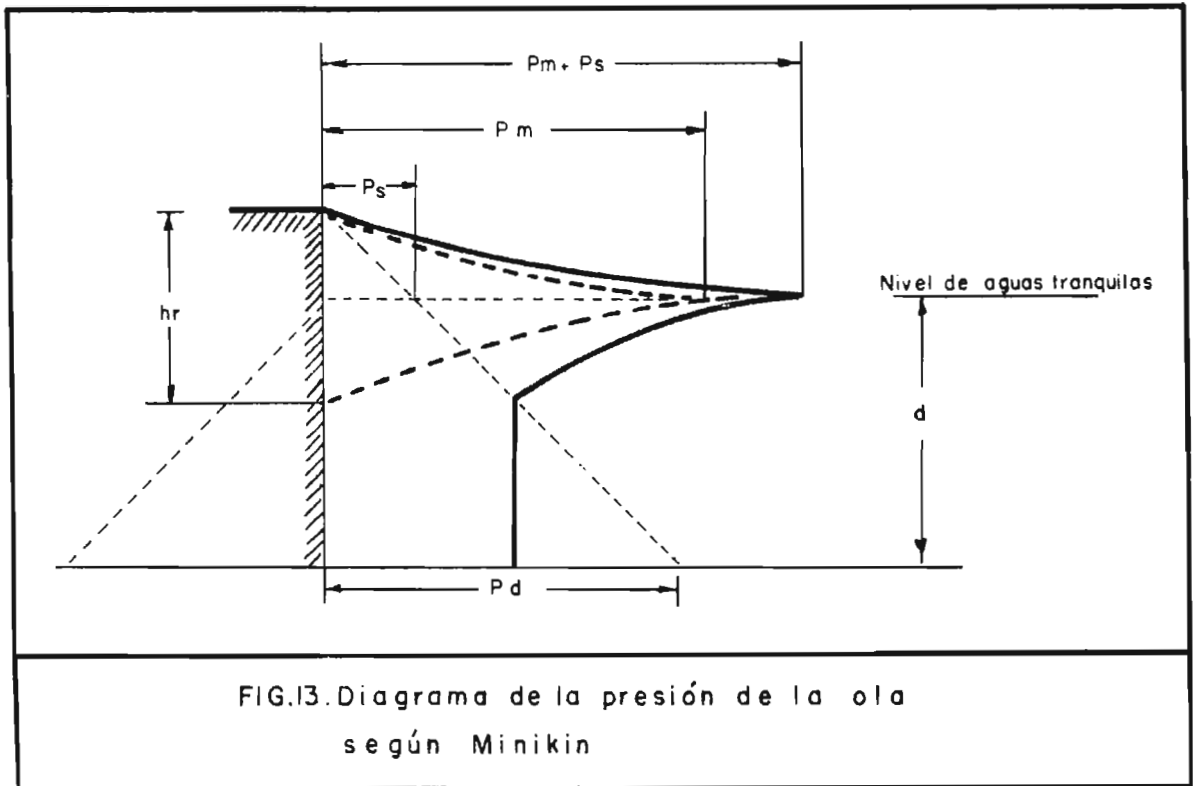


FIG.13. Diagrama de la presión de la ola según Minikin

$P_m$  = Presión dinámica concentrada en el nivel del agua en reposo.

$P_d$  = Presión hidrostática del lado del mar a la profundidad  $d$ .

$P_s$  = Presión hidrostática del lado del mar en el nivel del agua en reposo

$h_r$  = Altura de la ola al momento de romper (mts)

$d$  = Profundidad del agua al pie de la estructura desde el nivel en reposo (m)

$D$  = Profundidad del agua a una distancia  $L_d$  de la obra (mts)

$L_d$  = Longitud de ola correspondiente a la profundidad  $D$ . (mts)

$w$  = Peso específico del agua ( $Kg/M^3$ )

$$P_m = \frac{493 \cdot h_r \cdot w}{L_d} \cdot \frac{d}{D} (D + d) \dots \dots (Kg/M^2)$$

$$P_s = \frac{w \cdot h_r}{2} \dots \dots (Kg/M^2)$$

$$P_d = w \left( d + \frac{h_r}{2} \right) \dots \dots (Kg/M^2)$$



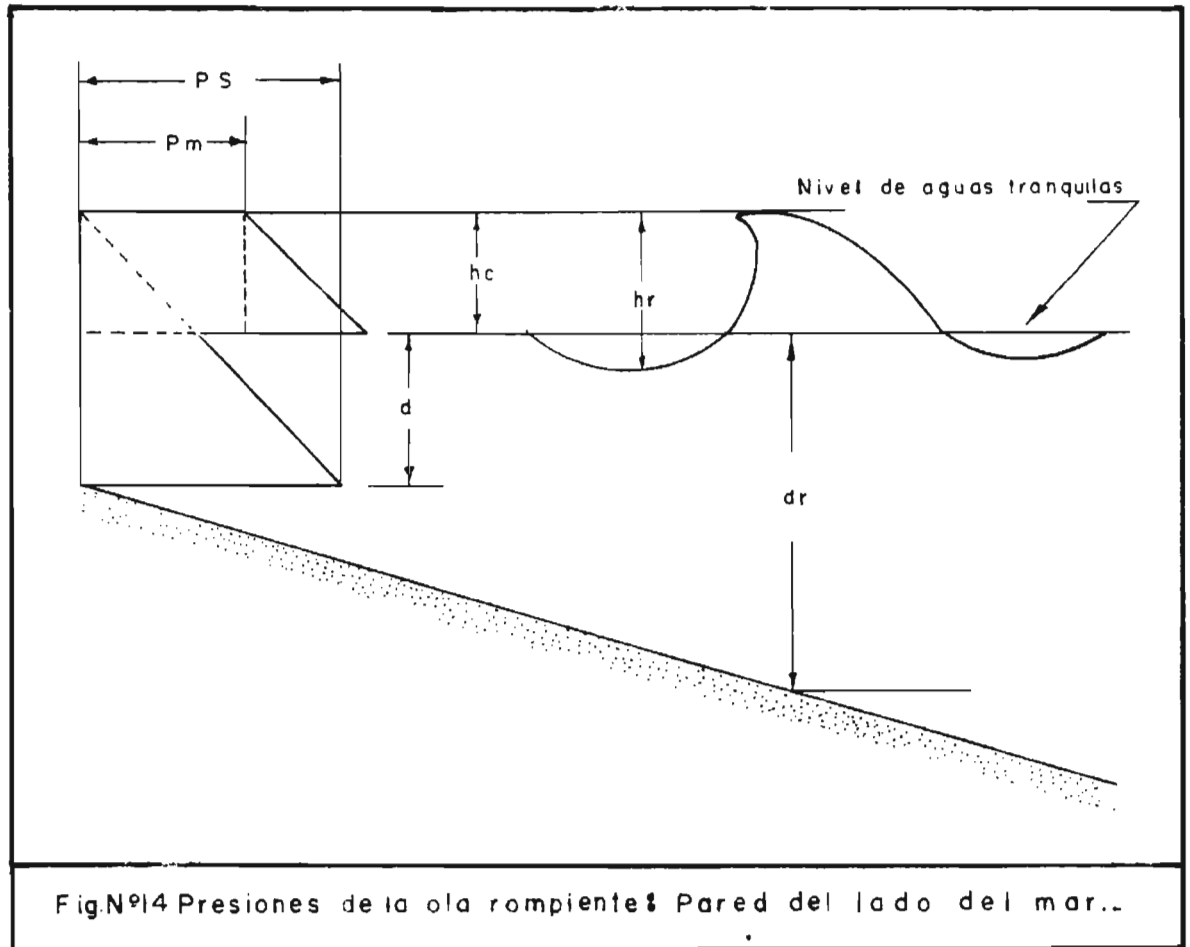


Fig.Nº14 Presiones de la ola rompiente: Pared del lado del mar..

$d$  = Profundidad al pie de la estructura

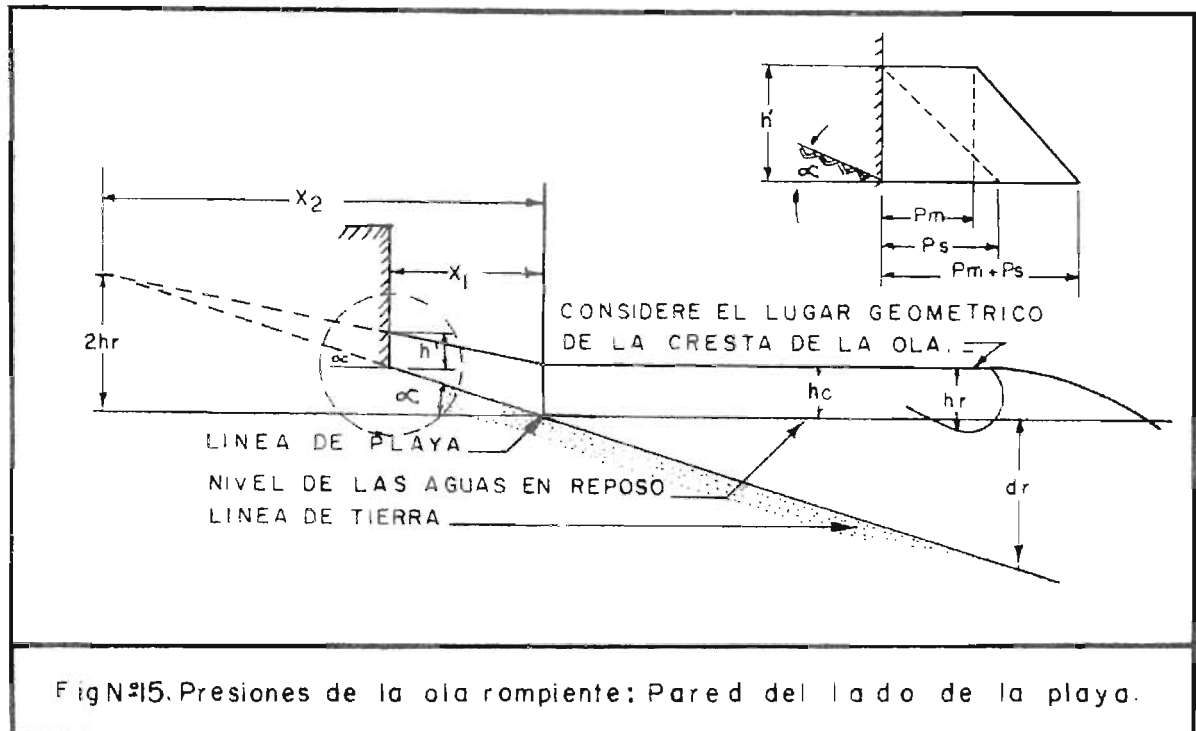
$d_r$  = Profundidad en la rompiente

$h_r$  = Altura de la ola al momento de romper

$h_c$  = Altura entre el nivel máximo de la ola al romper  
y el nivel de aguas tranquilas.

$P_s$  = Presión estática

$P_m$  = Presión dinámica



$dr$  = Profundidad en la rompiente

$hc$  = Diferencia de niveles entre la parte máxima de la ola al romper y el nivel del agua tranquila.

$hr$  = Altura de la ola al romper

$P_m$  = Presión dinámica

$P_s$  = Presión estática

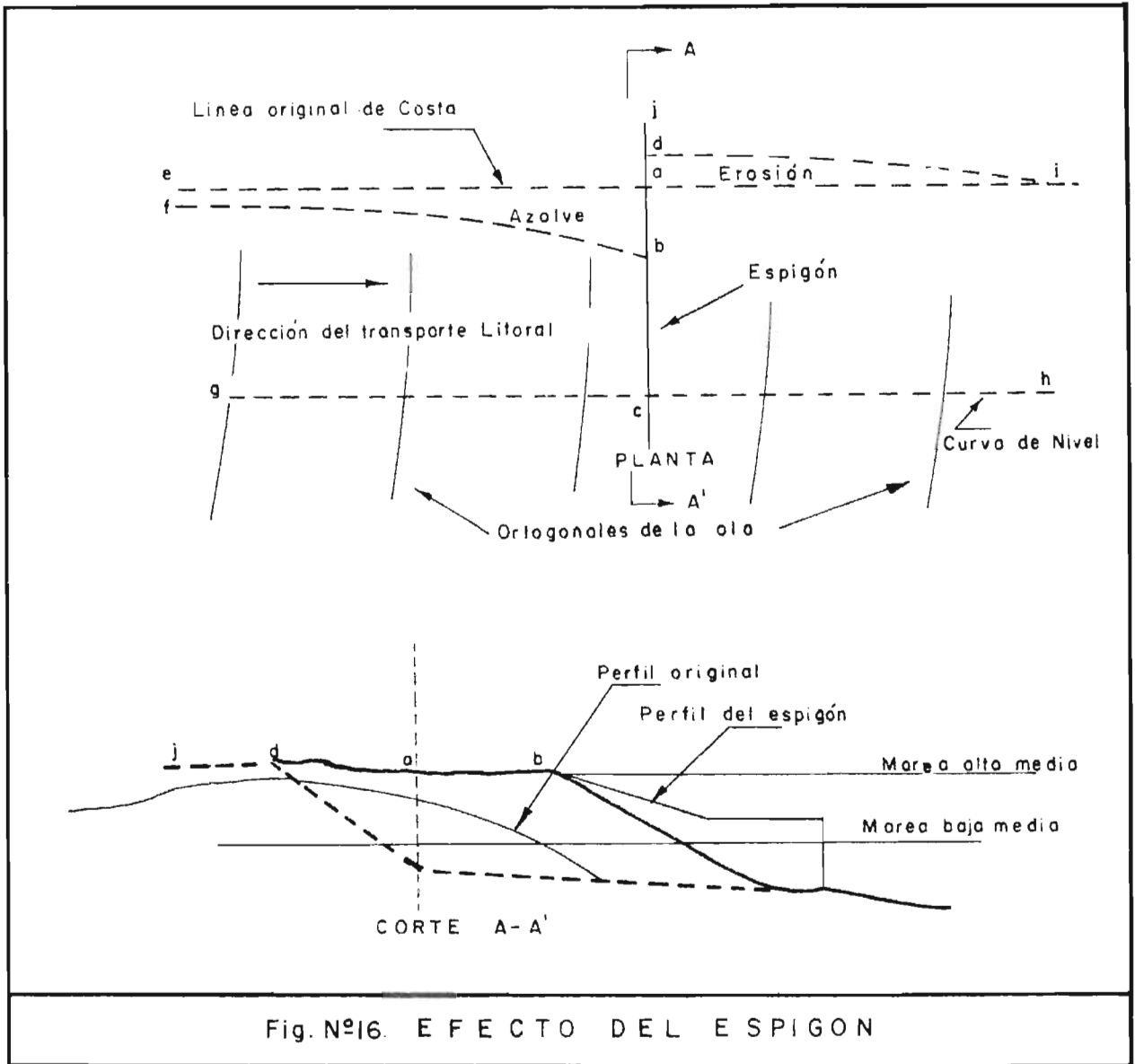
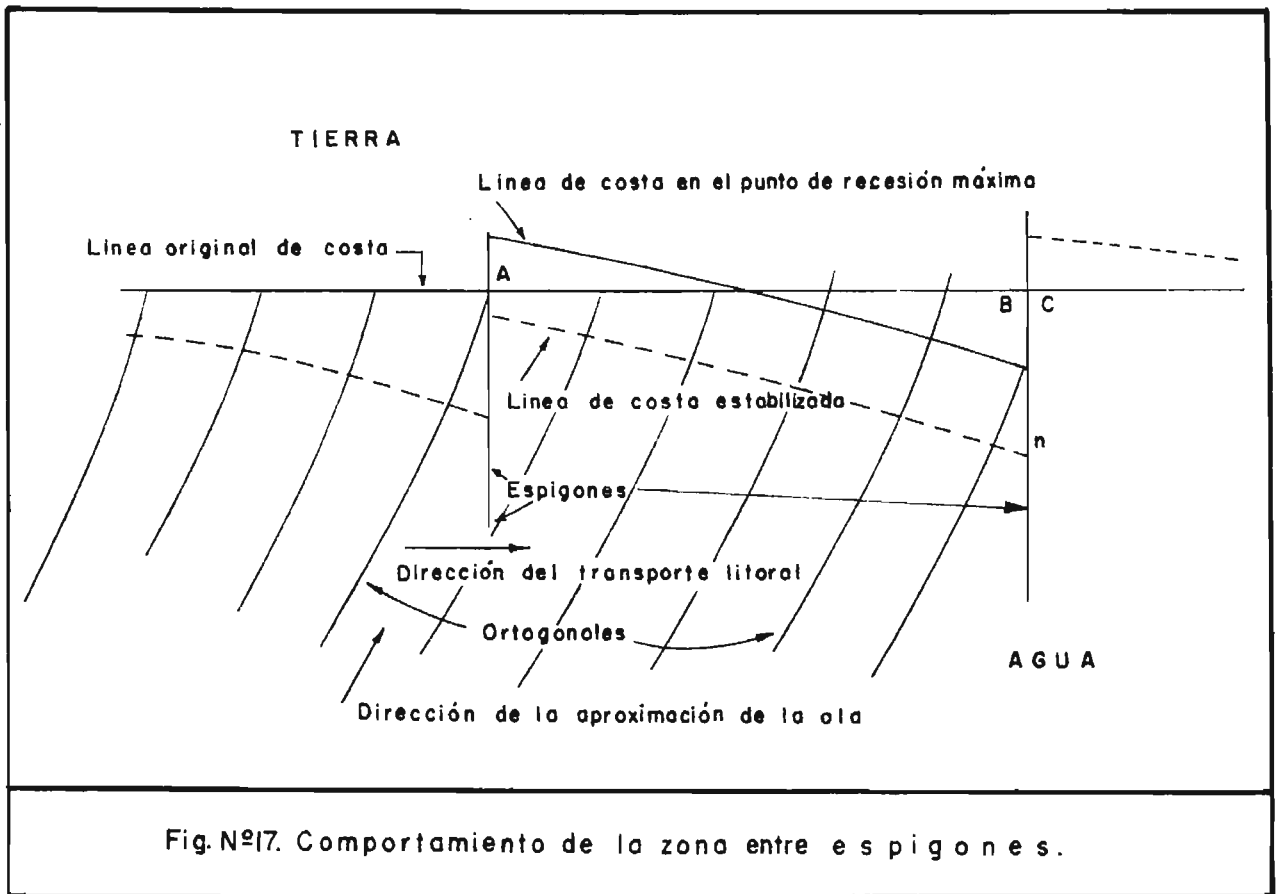


Fig. Nº16. EFECTO DEL ESPIGÓN



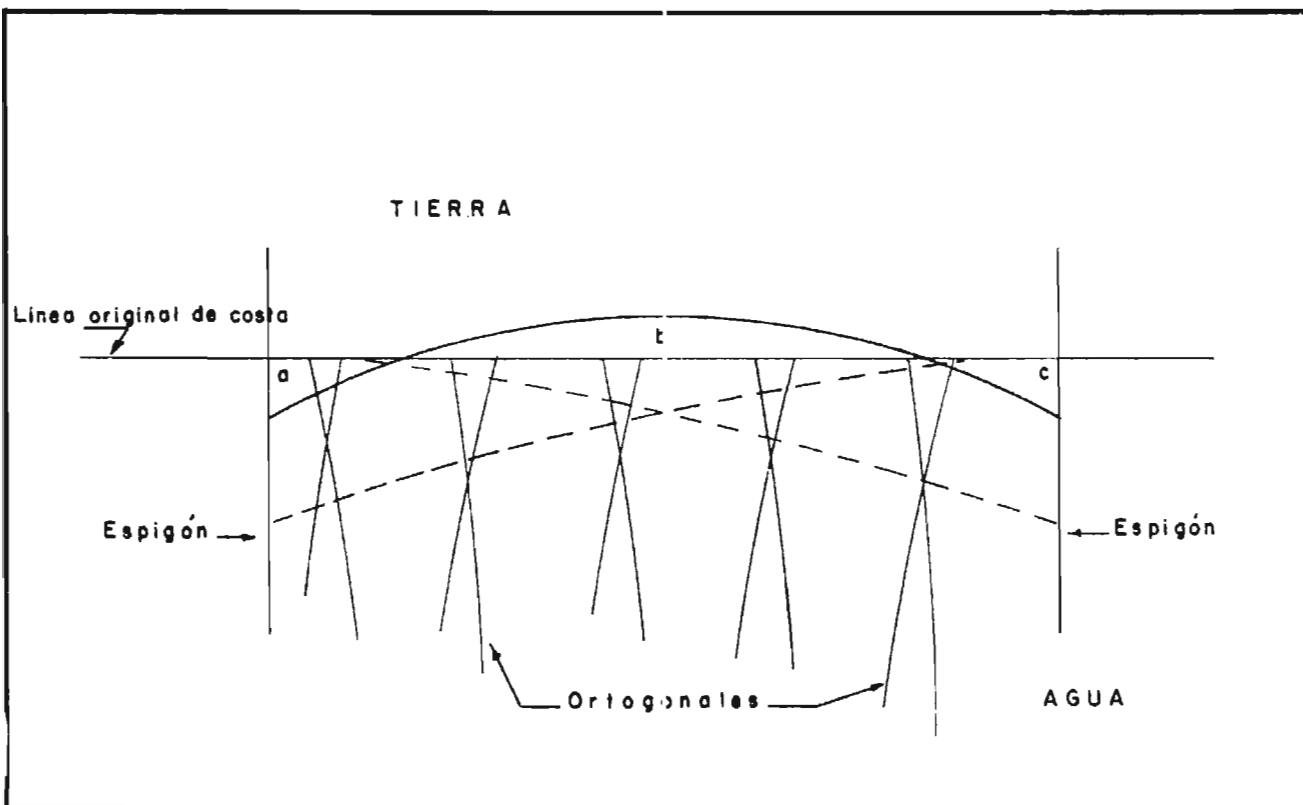
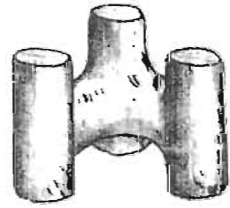
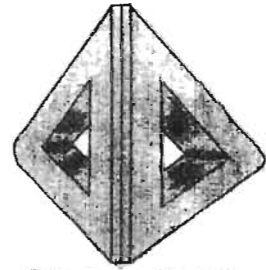


Fig. Nº 18. FUNCIONAMIENTO DE LA ZONA ENTRE ESPIGONES  
CON INVERSION DEL TRANSPORTE LITORAL



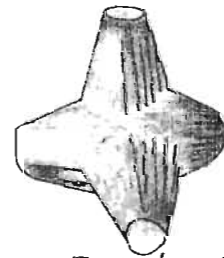
Barra triple



Bloque hueco



Stabit



Tetrápodo

Fig. N<sup>o</sup>19. Bloques de concreto usados en protección de playas

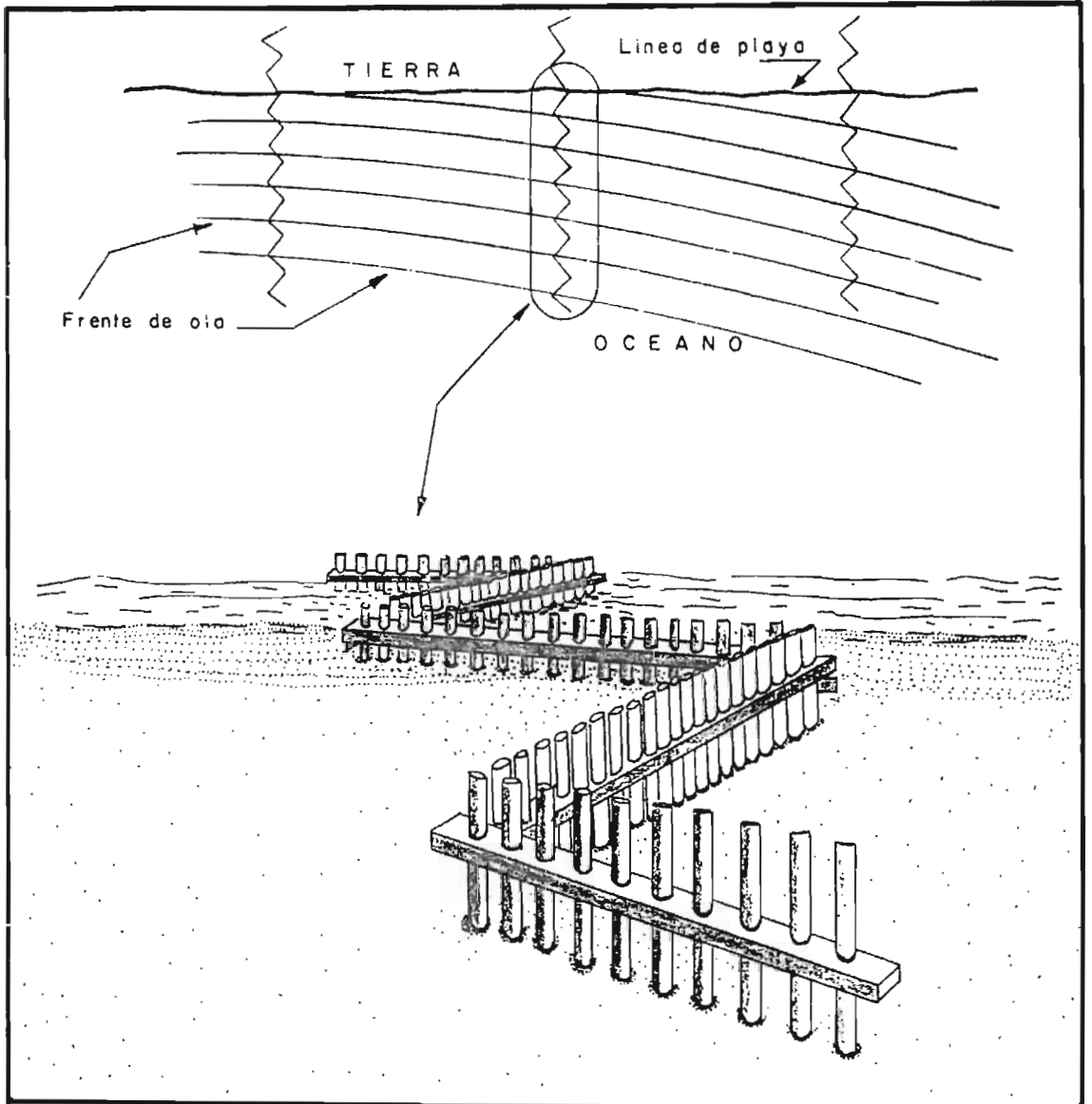


FIG. Nº20. EPIGON PERMEABLE DE PILOTES DE MADERA  
O DE CONCRETO.

E.S.C. 1:2000

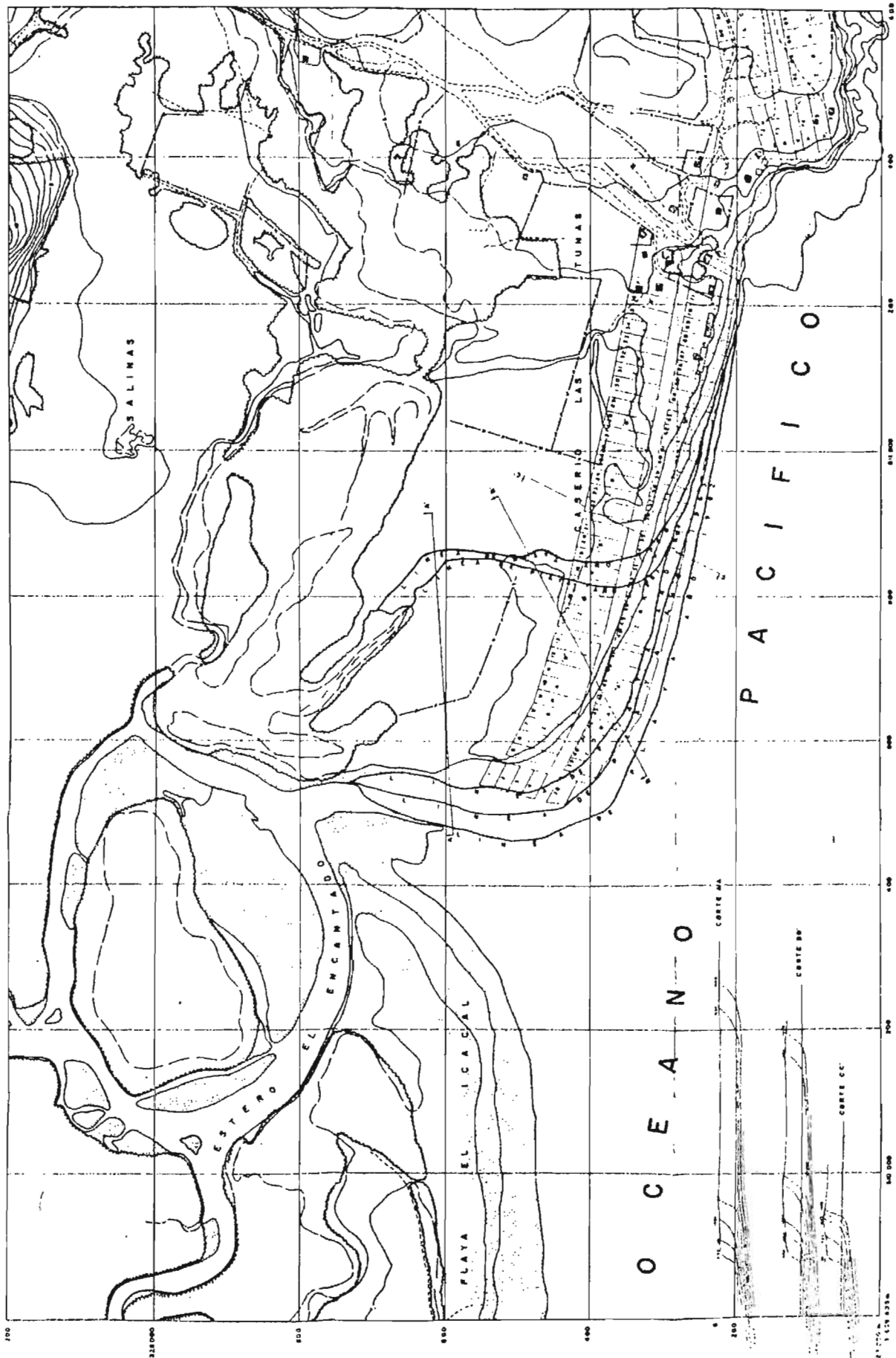


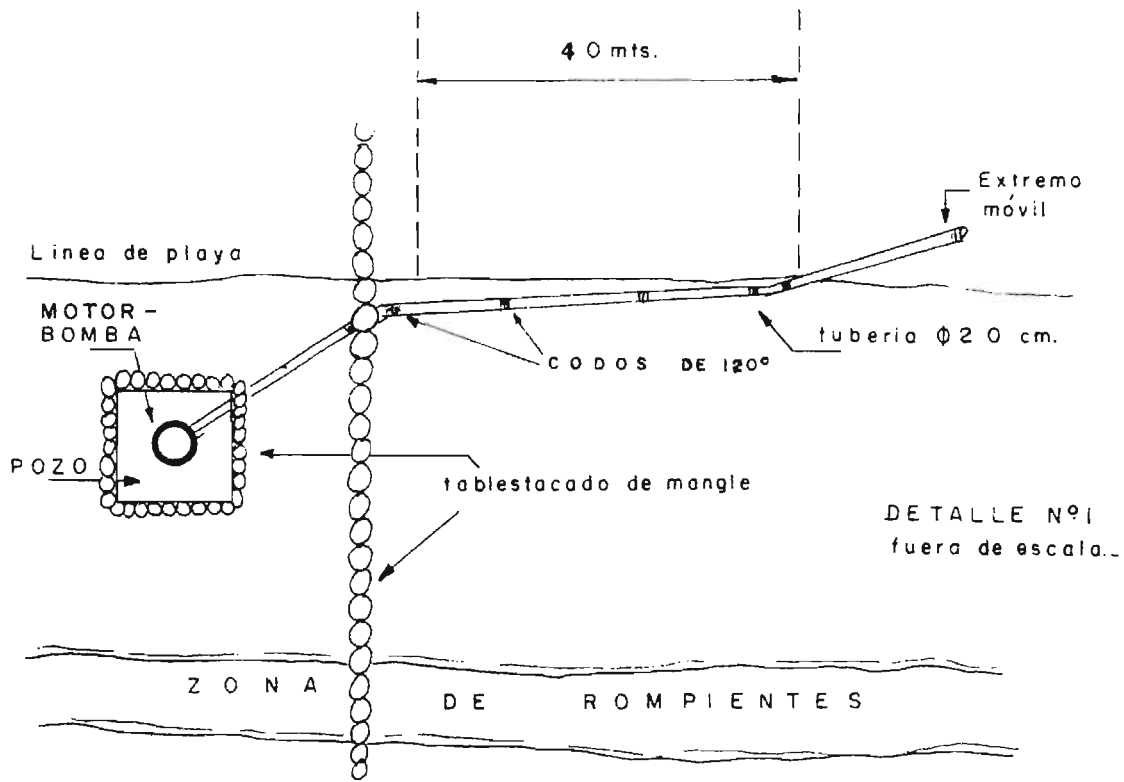
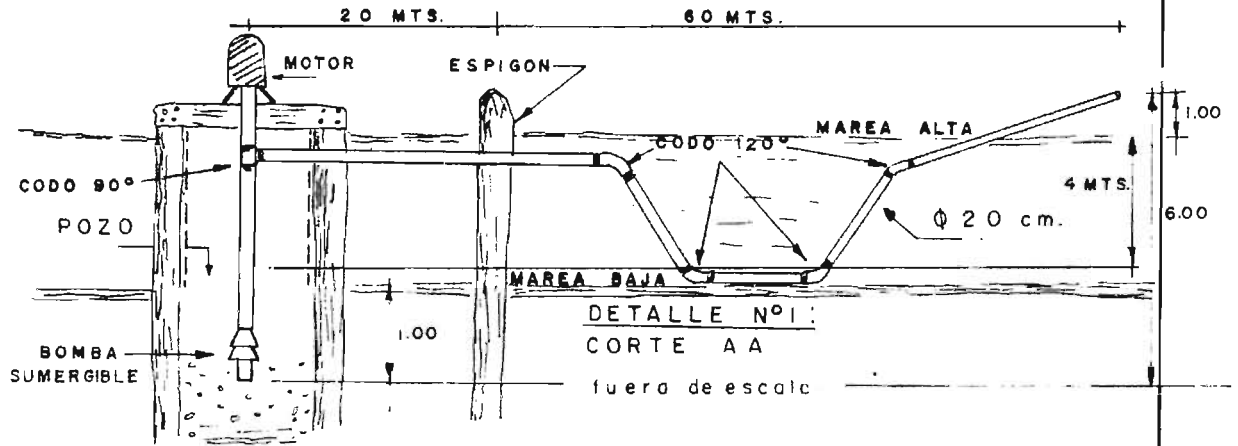
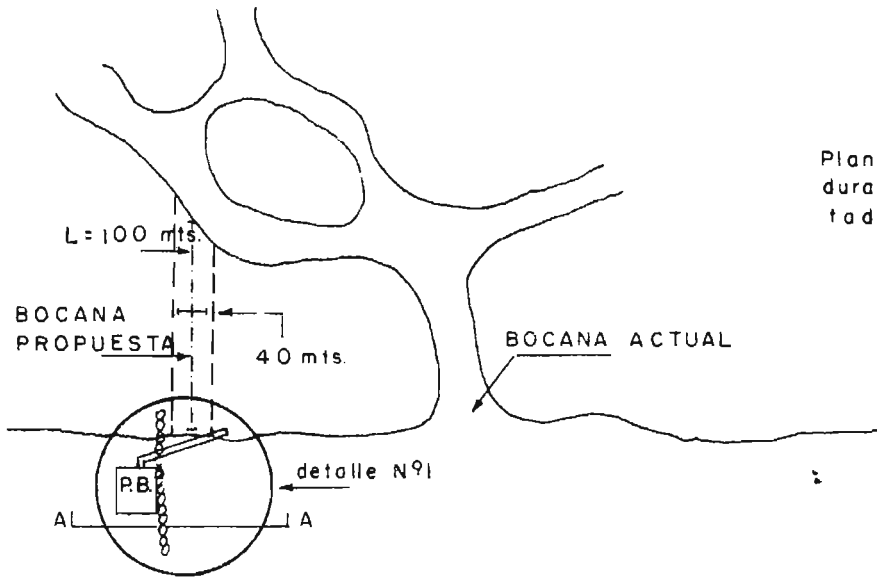
FIG. Nº 21  
LÍNEAS DE PLAYA SUCESIVAS OBTENIDAS POR MEDIO  
DE LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DEL I.C.R.

CALCA DE PLANO ORIGINAL LEVANTADO POR LA  
DIRECCION GENERAL DE CARTOGRAFIA-1954.



FIG. Nº 22

Planta de la desembocadura del río El Encantado. Fuera de escala.



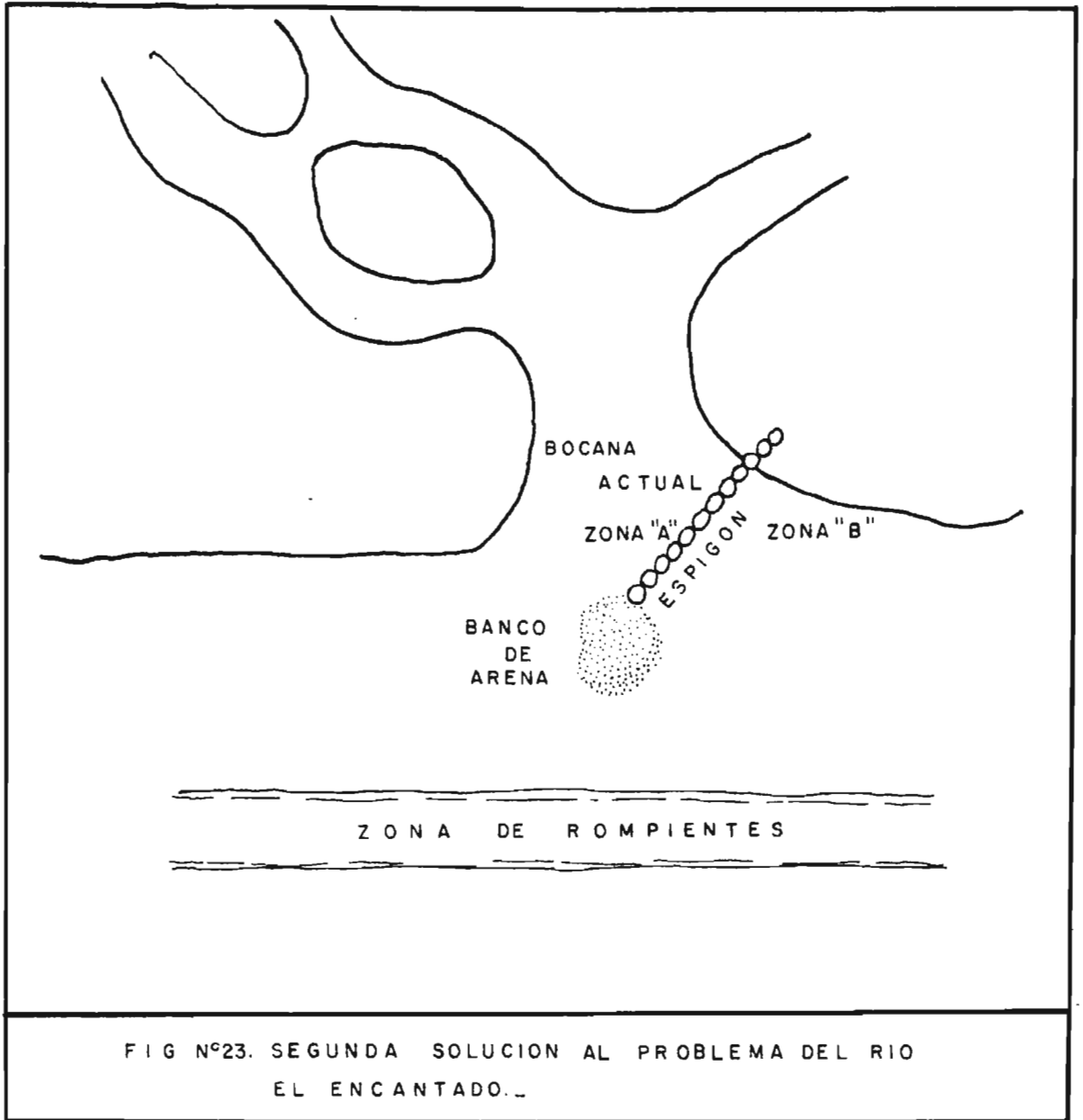


FIG N°23. SEGUNDA SOLUCION AL PROBLEMA DEL RIO  
EL ENCANTADO.

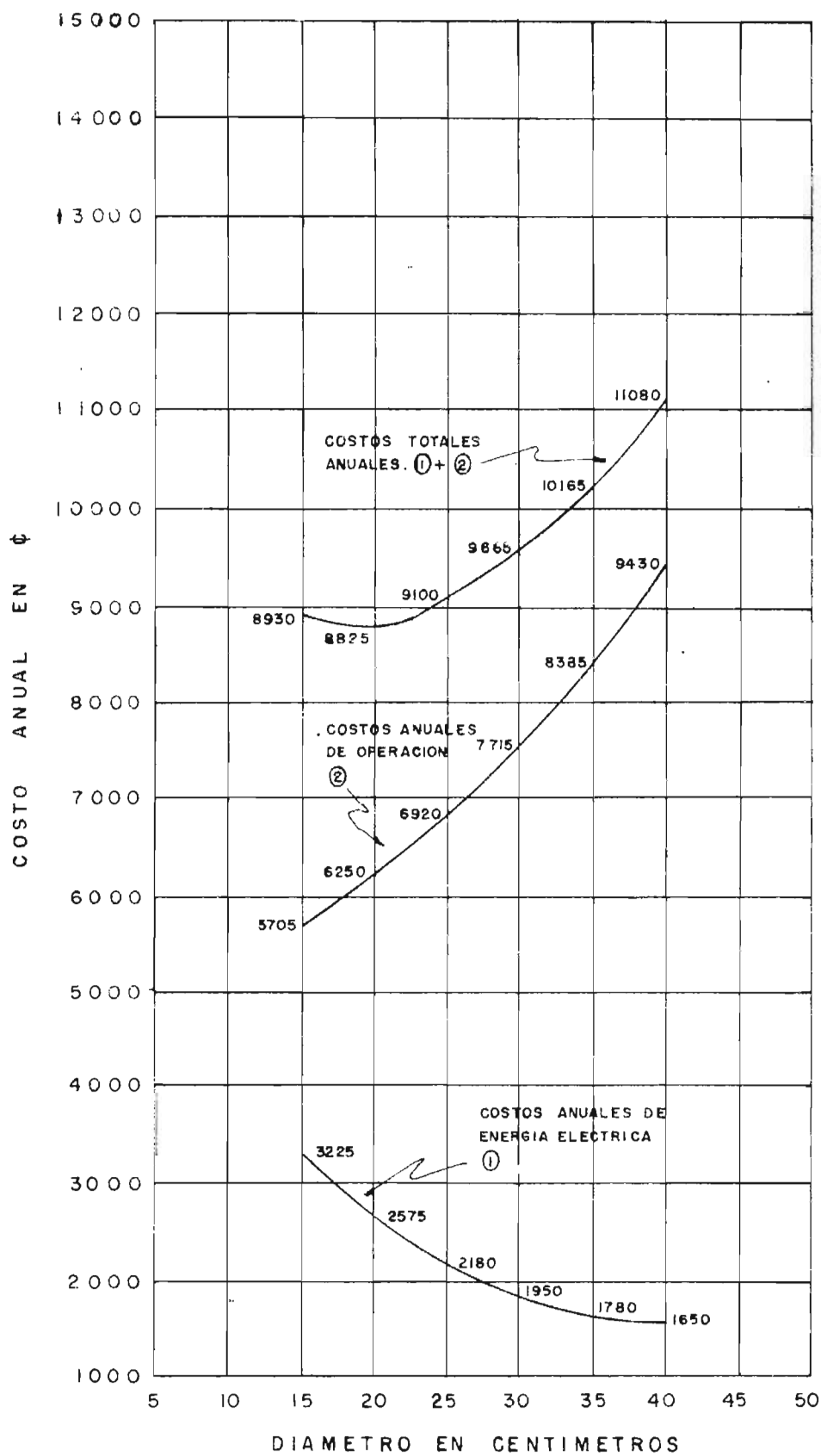
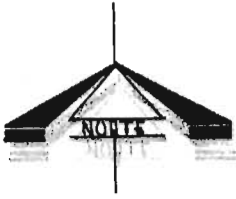


FIG. Nº 24 DETERMINACION DEL DIAMETRO MAS ECONOMICO EN LA PRIMERA SOLUCION AL PROBLEMA DE LA DESEMBOCADURA DEL RIO EL ENCANTADO.



c = bancos de arena

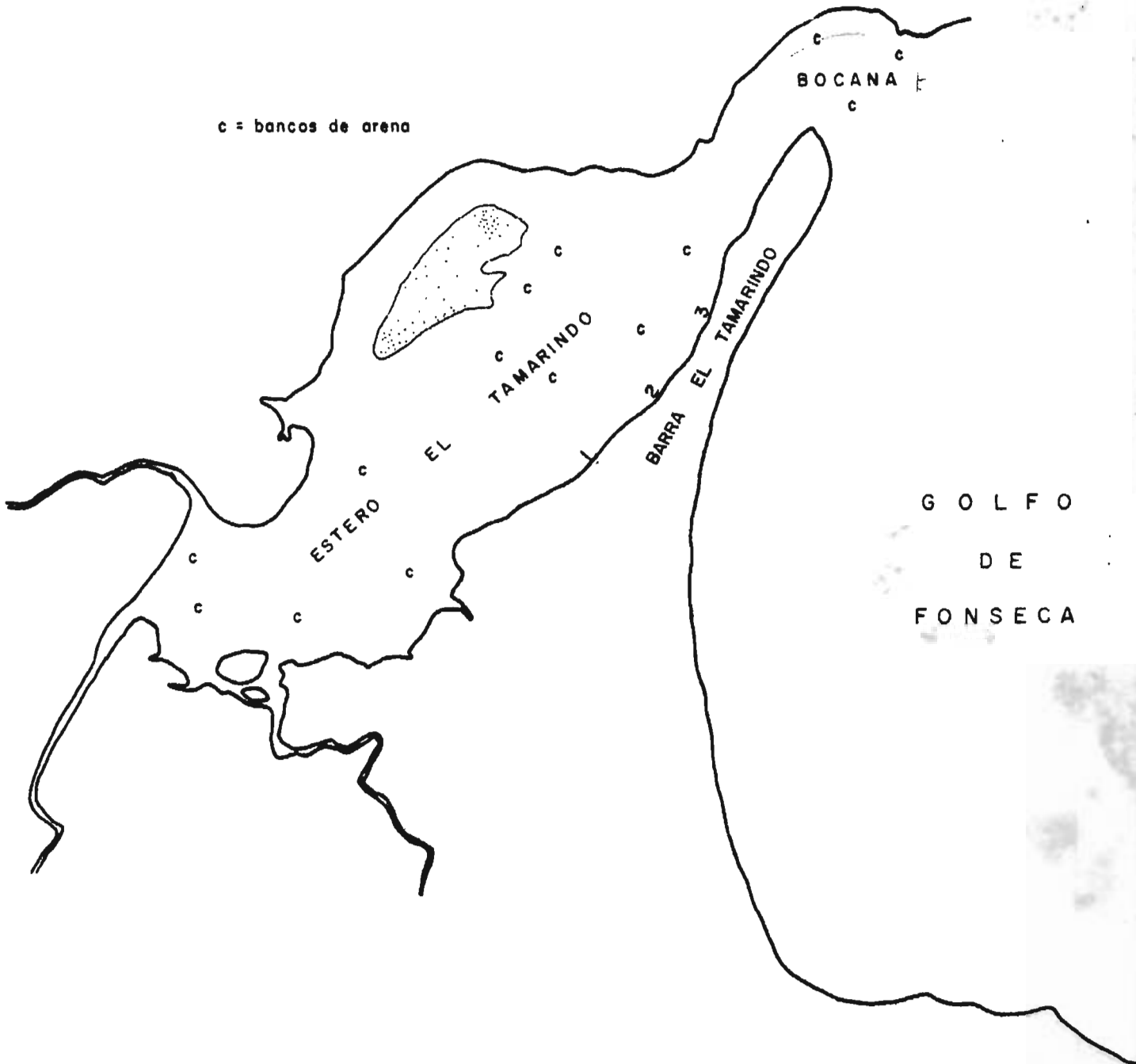


FIG. Nº 25

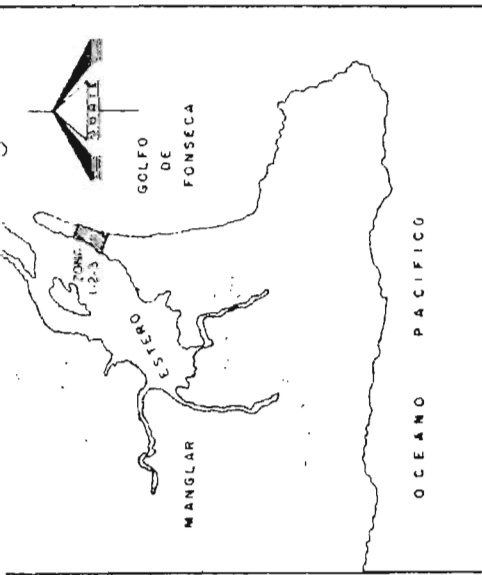
CANALES DE ENTRADA DE AGUA AL ESTERO EL TAMARINDO

# ZONA EROSIONADA DE LA PUNTA EL TAMARINDO

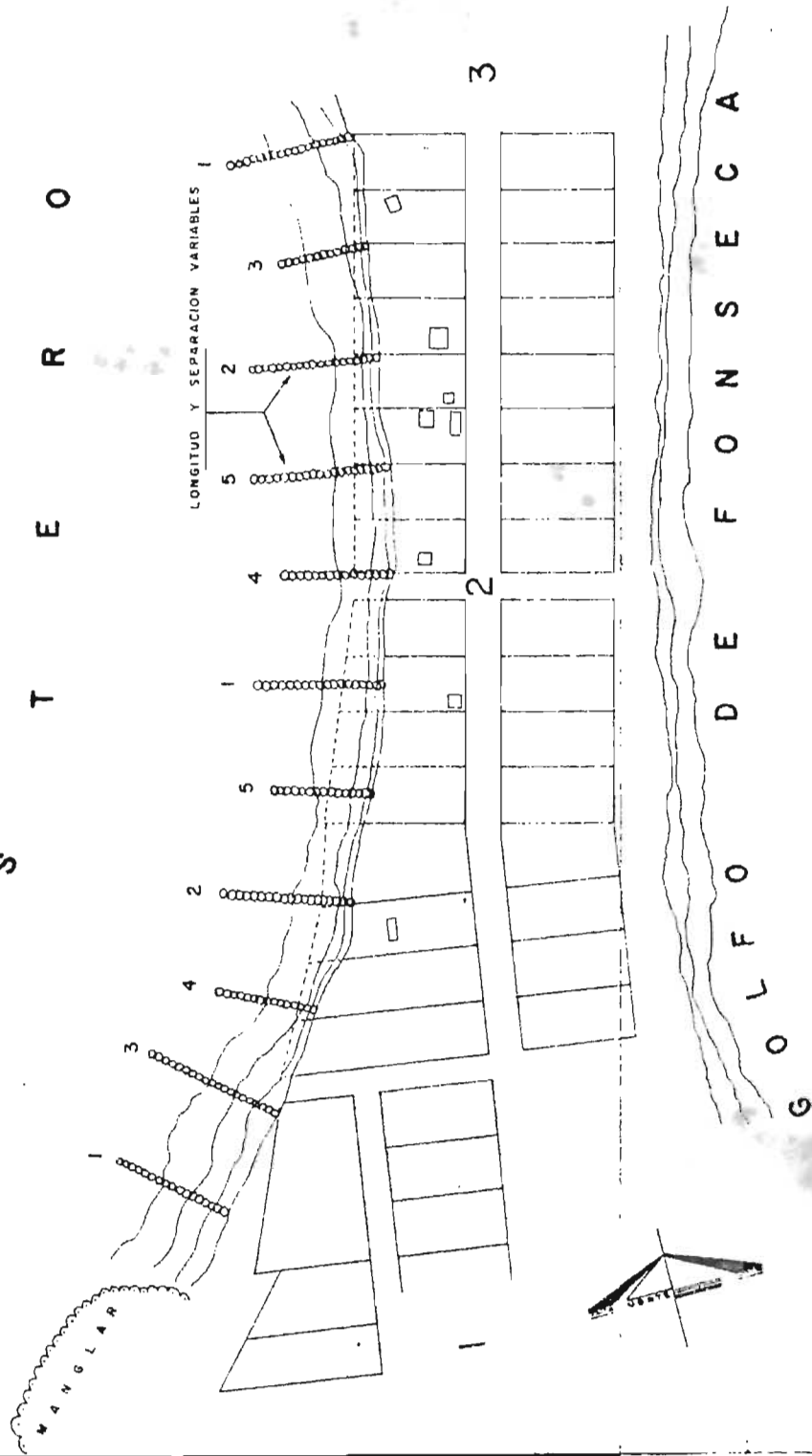
SOLUCION PROPUESTA :

USO DE ESPIGONES

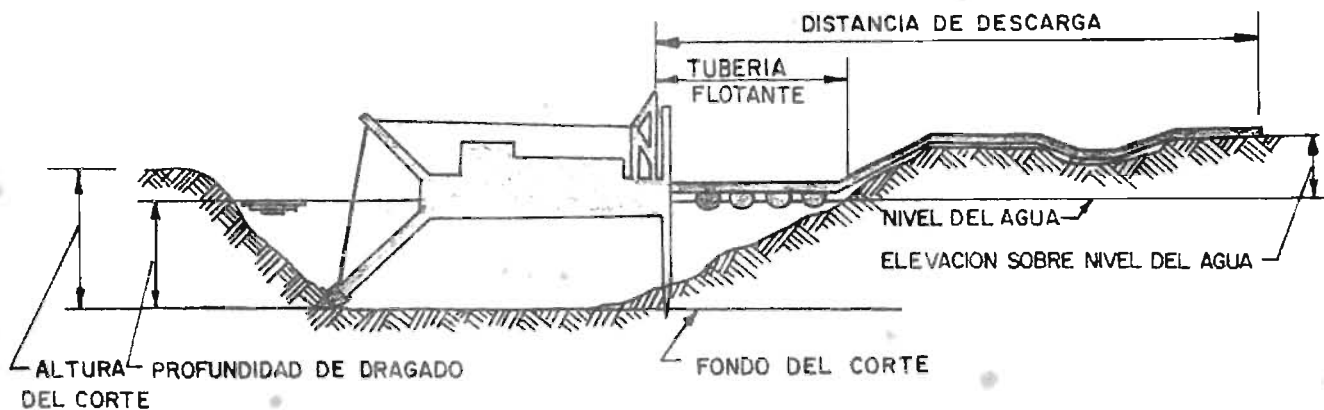
NOTA. LOS NUMEROS INDICAN EL ORDEN DE SU CONSTRUCCION -



## E S T E R O

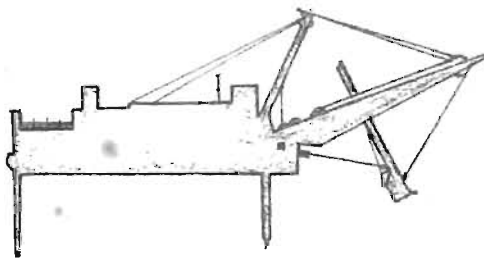


ESCALA = 1:2000

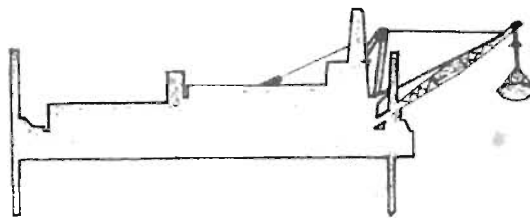


DRAGA DE FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

DRAGA DE CUCHARA



DRAGA DE CUCHARON DE ALMEJA



DRAGAS DE FUNCIONAMIENTO MECANICO

FIG. Nº 27

DISTINTOS TIPOS DE DRAGAS