

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA

"REGIMEN DE COSTAS"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A
ENRIQUE GONZALEZ SOSA

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. TERMINOLOGIA Y MORFOLOGIA DE LAS COSTAS	6
III. ACCION DEL OLEAJE SOBRE LAS PLAYAS	13
IV. PROCESOS COSTEROS Y TRANSPORTE LITORAL	28
V. FORMAS DE CUANTIFICARSE EN CAMPO Y CRITERIOS EMPIRICOS	66
VI. EJEMPLOS	110
VII. CONCLUSIONES	132
VIII. BIBLIOGRAFIA	134

I. INTRODUCCION

Historia y Filosofía de la protección costera, sitúa el comienzo de lo que técnicamente podría calificarse de verdadera Historia de la Ingeniería de Costas, en los trabajos efectuados en las costas Holandesas a partir del Siglo XI.

En efecto, en aquellos años remotos se construyeron terraplenes de tierra protegidos por diques, con los que se pretendían evitar inundaciones y pérdidas de terreno. Se utilizaban un tipo de defensa constituida por una pared continua de arcilla, denominada "un fuerte", empleando para su ejecución palas, carretillas de mano y horquillas para colocar el césped que reforzaba los diques.

De esta tradicional lucha de los holandeses contra el mar surgieron maestros de construcción de diques, y se crearon lemas conocidos, como el de Bruun que dice: "El agua no debe ser constreñida por ninguna fuerza o se volverá esa fuerza contra tí".

Importantes han sido los esfuerzos de los holandeses, que han ganado al mar más de 70 000 Hectáreas, mediante movimientos de tierras para drenarlas, limpieza de canales y separación de campos. En total, se piensa que dichos movimientos de tierra, hechos a mano, equivalen a 100 veces el dragado del Canal de Suez.

Con esto no podemos olvidar que el hombre, a lo largo de los siglos, ha imitado tozudamente los ejemplos destructivos de la naturaleza. Afortunadamente, ésta no sólo ha demostrado como erosionar sino como proteger.

Se puede decir con seguridad que no hay protección iniciada por el hombre que antes no haya sido inventada por la naturale-

za y que ésta obtuvo los buenos y malos resultados antes que el hombre.

De acuerdo con Bruun, veámos los fenómenos de erosión y protección costera natural y su equivalencia humana.

CAUSAS DE EROSION

NATURALEZA

HOMBRE

Elevación del nivel del mar.

Presas, diques y otras estructuras costeras que causan la elevación y concentración de marea.

Promontorios salientes y -- arrecifes que causan erosión aguas abajo.

Espigones y rompeolas.

Entradas de mareas y ríos -- que causan interrupción del transporte litoral.

Entradas hechas por el hombre - (canales).

Geometría de la costa que -- causa rápida variación de la cantidad de transporte.

Rellenos salientes en el océano en tal extensión que cambian la Geometría local costera radicalmente.

Fragmentación de la desembocadura de los ríos que transportan sedimentos a la costa por barreras de nivel de avenidas, cambio de situación de desembocaduras debido a las avenidas, erosión, movimientos tectónicos, etc.

Represado de los ríos sin proveer compuertas de salida de materiales.

Remoción de materiales de las playas para construcción y otros usos.

PROTECCION COSTERA

NATURALEZA	HOMBRE
Rocas en la orilla.	Defensa longitudinal de escolle- ra.
Arrecifes.	Terraplén sumergido.
Islas rocosas.	Dique externo.
Promontorios.	Grandes diques perpendiculares o en ángulo a la costa.
Rocas normales a la orilla.	Espigones.
Vegetación submarina.	Algas artificiales.
Vegetación superficial.	Rompeolas flotante.
Dunas.	Muros de defensa.

Las observaciones de los fenómenos de protección o erosión costera, bien sean naturales o, como acabamos de ver, imitados por el hombre, nos impulsa al estudio y el mejoramiento de las técnicas, de la relación mar-tierra.

Este estudio provocará el modelamiento del perfil y la planta de las costas y playas, en menor o mayor grado de acuerdo -- con las circunstancias climatológicas y fisiográficas.

Temas tan importantes como la dinámica de materiales de fondo serán siempre temas de reflexión. ¿Qué forma debe darse y a qué calado de llevarse, por ejemplo, la bocana de un puerto?

La línea de actuación es esencial para el ingeniero que, muchas veces, sin llegar a poder captar el fenómeno más que en -- sus más visibles consecuencias, ha de proponer, puesto que así se esperan de él, soluciones concretas. Así deba saber que no se puede proyectar una defensa de costas sin conocimiento cuantitativo de la energía marina y la dirección en que se ejerce, sin saber si existe o no transporte de materiales, en que dirección y en que volumen.

II. TERMINOLOGIA Y MORFOLOGIA DE LAS COSTAS.

La Costa se define como la franja de tierra que se encuentra rodeada de cualquier cuerpo de agua que esté expuesto de manera alternada o cubierto por mareas y olas.

Una Costa de material no consolidado se le denomina generalmente playa. Las Costas se encuentran continuamente cambiando y en el mejor de los casos bajo un equilibrio dinámico.

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

Algunos autores definen la Costa como una frontera que separa el agua de la tierra. Si se trata de agua dulce le denominan RIBERA; si se trata de arena la definen como PLAYA y si existe un manto rocoso se le llama ACANTILADO.

En cuanto a su origen las Costas se clasifican en:

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

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

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

RIOS: Una corriente erosiona el valle cercano al mar,

es decir, su desembocadura, permitiendo el paso del agua. Este proceso sucede después de miles de años.

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

Las Costas de Emersión se presentan cuando la porción terrestre avanza hacia el mar mediante un proceso de depósito de sedimentos. En este proceso la acción del viento puede influir de manera preponderante.

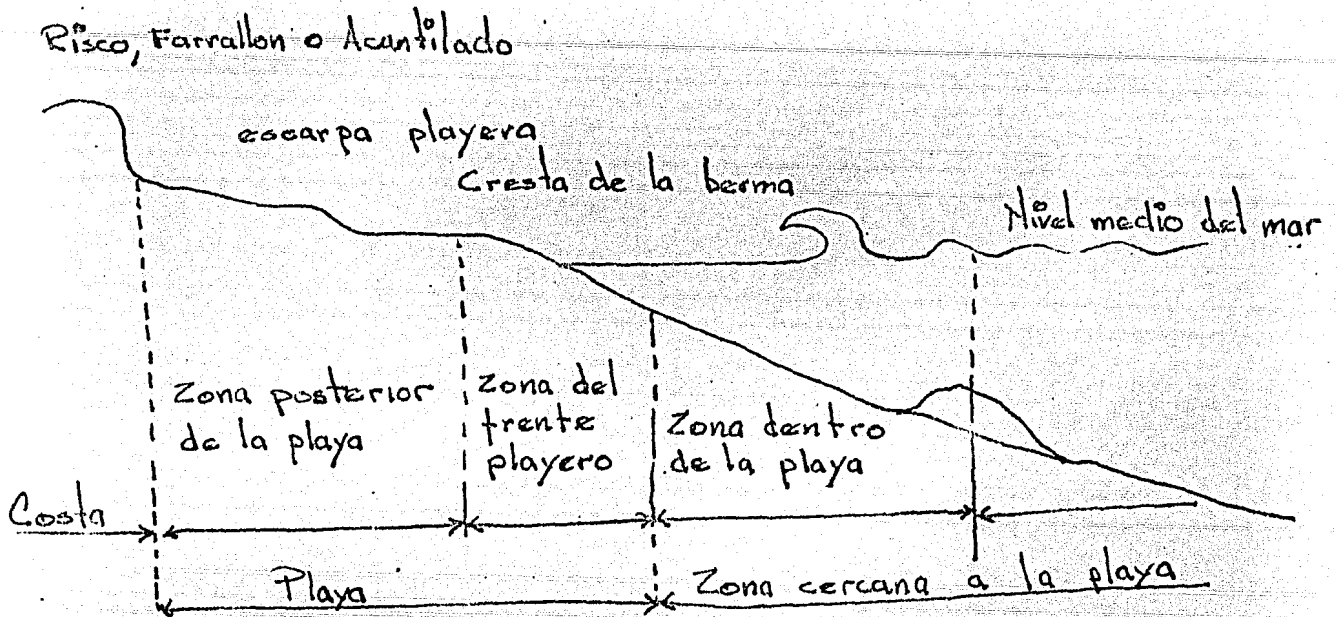
Las Costas Mixtas se conforman debido a efecto conjunto y de sedimentación. Ver figuras 1.1 y 1.2.

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

Las Costas de pendiente suave generalmente están constituidas por materiales finos, tales como limo, arcilla o arena.

Las zonas limosas o embalsadas y pantanosas conforman costas con pendiente extremadamente suaves. Los materiales gruesos como los cantos rodeados y planos, así como la grava, conforman las Costas de pendiente pronunciada.

Algunas formaciones típicas costeras se esquematizan en la figura siguiente:



Formación típica costera

Todas ellas se extienden por lo menos por encima del nivel de baja marea y en algunos casos se presentan arriba del nivel de marea alta. Las formaciones que siempre se mantienen bajo el nivel del agua se les denomina Bajos.

Las playas se encuentran contiguas a las costas, permanentes a lo largo de toda su longitud.

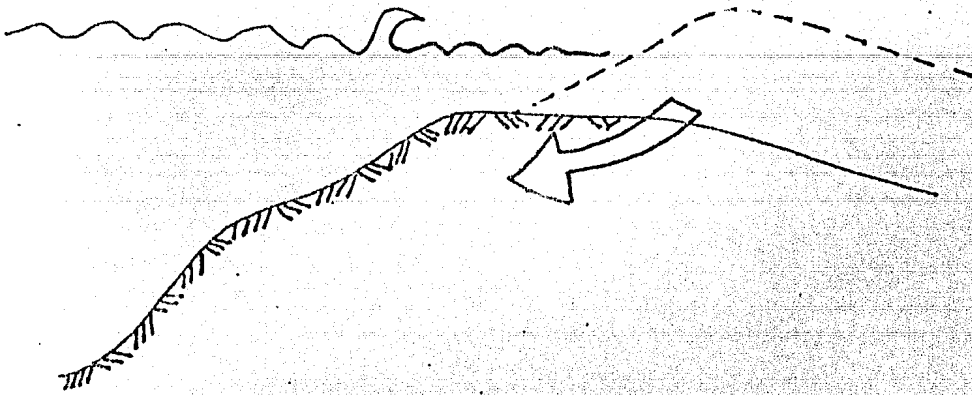


Figura 1.1 Costa de emersión

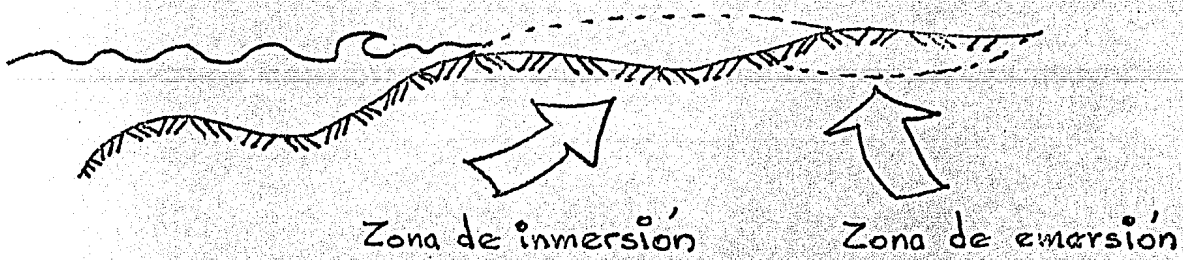


Figura 1.2 Costa mixta

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

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

Las Barreras son estructuras bajas más o menos separadas entre si y en aguas bajas. Estas formaciones pueden estar conectadas con la costa provocando que el oleaje rompa y aparecen generalmente como una cadena de islas. Este tipo de formaciones se presentan en las figuras 1.3 y 1.4.

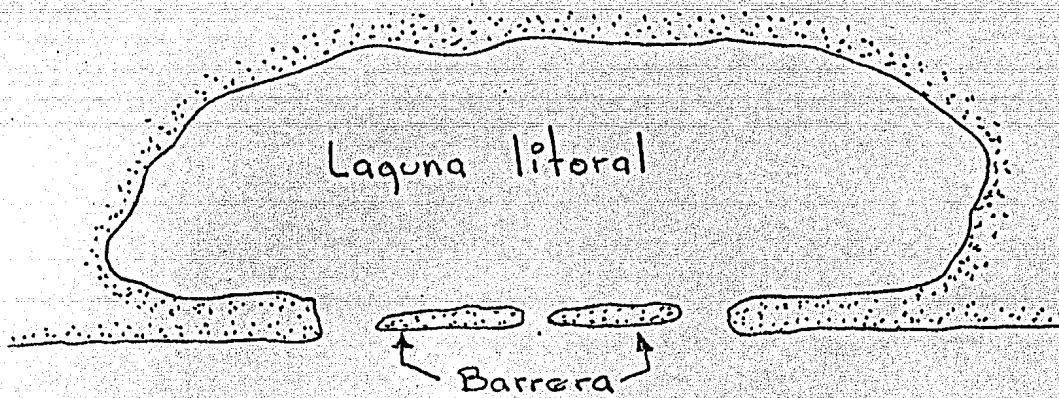


Figura 1.3 Barrera

Generalmente, los materiales más finos se mueven fácilmente bajo la acción del oleaje y por este motivo las playas consistentes en material fino deben ser alimentadas por una suficiente cantidad de sedimento para que mantengan su equilibrio dinámico. Este abastecimiento puede ser de la siguiente forma:

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

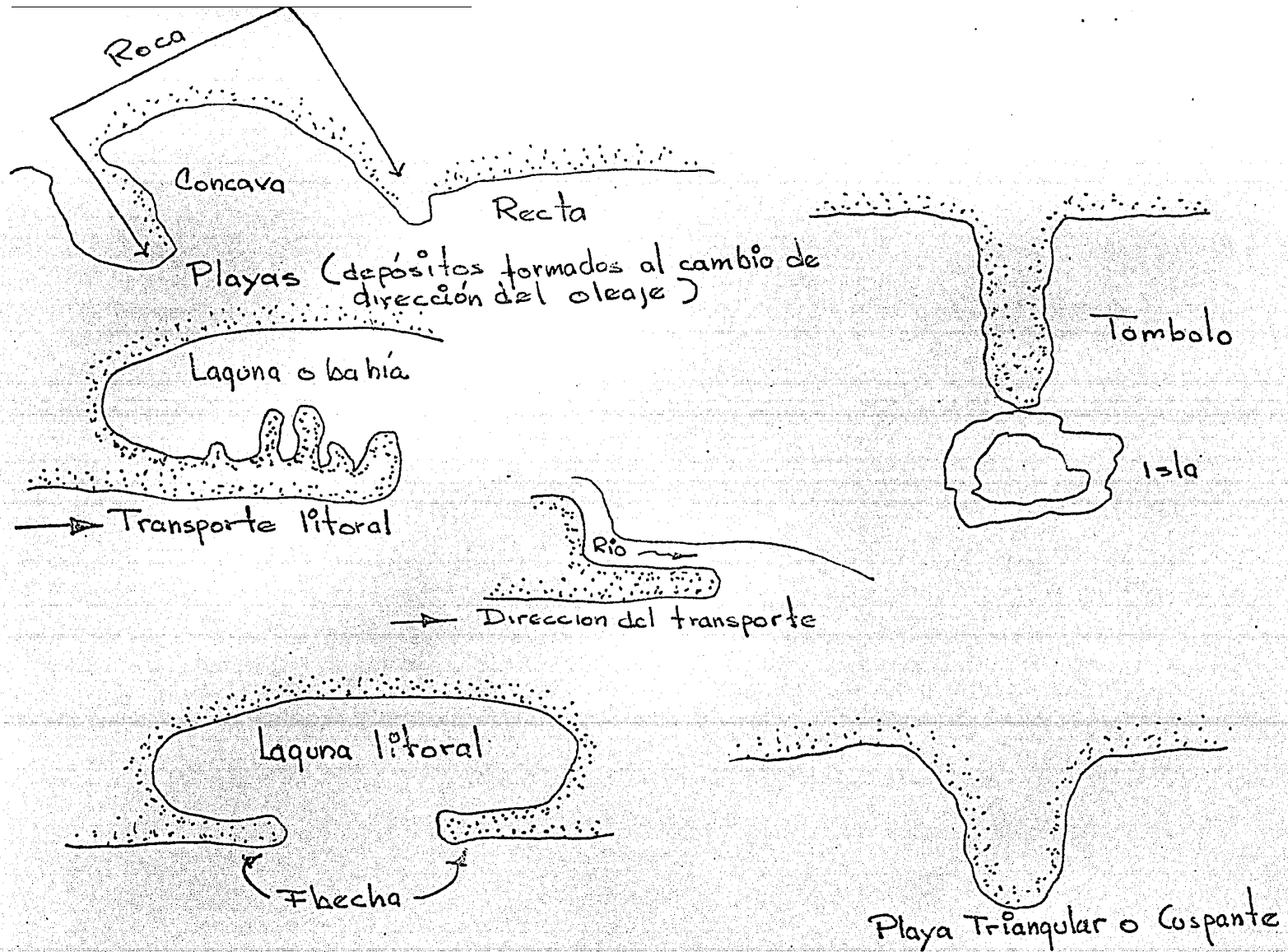


Figura 1.4

- b) De playas vecinas.- Que es el material que se desplaza dentro del área por transporte litoral natural desde áreas de playas adyacentes.
- c) De acantilados.- Que son contribuciones que tienen su origen en la degradación por erosión de formaciones rocosas sujetas a la acción del oleaje.
- d) Otras fuentes.- Que tienen su origen en los volcanes submarinos, cenizas de volcán o de grandes formaciones de coral y otros organismos que bajo la acción del oleaje se desintegran formando playas. Ocasionalmente la acción del viento sobre la franja costera puede contribuir al abastecimiento de material a las playas. Las condiciones necesarias para que exista un transporte apreciable y formación de dunas por el viento son: El viento debe soplar desde una dirección prevaleciente, el material sedimentado debe secarse y no debe contener cantidades considerables de materiales cohesivos y finalmente, la evaporación no debe ser de tal magnitud que permita el desarrollo de formaciones de caliche.

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

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

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

En. donde d es el diámetro medio del material.

III. ACCION DEL OLEAJE SOBRE LAS PLAYAS.

El oleaje se define como las sobreelevaciones que sufre el agua del mar. Las causas principales que producen oleaje son:

- a) Efecto del viento sobre la superficie del mar.
- b) Atracciones de los cuerpos celestes (mareas).
- c) Temblores.
- d) Deslizamientos.

Los parámetros que definen el oleaje son:

H = Altura.

L = Longitud.

T = Período

La configuración del oleaje en el mar, varía de una manera irregular, tanto en el espacio como en el tiempo, por lo que se le considera un proceso aleatorio y en un tren de olas se tendrán una infinidad de valores de las características antes mencionadas.

Para la obtención de las características del oleaje que nos sirven para los estudios de transporte litoral y proyecto de obras se considera al oleaje dividido en oleaje normal y oleaje ciclónico.

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

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

Fuera de la zona de rompiente, el oleaje transporta el material hacia la barra. Por lo que la barra es alimentada con material que proviene de ambos lados de la misma, mientras que el material se remueve por el rompimiento de las olas. Este -- transporte y la barra se muestran en la figura 2.1.

Cuando nos situamos en profundidades muy reducidas, si estamos en playas de suave pendiente, la rotura se produce en -- forma progresiva manteniendo su perfil, de acuerdo con la teoría de la onda solitaria. En condiciones de oleaje medio, las ondas se deforman considerablemente en los momentos que preceden la rotura llegando a presentar un frente prácticamente vertical, por lo que se produce la rotura en "plunging".

Finalmente se logra un estado de equilibrio dinámico el cual se desajusta con un considerable cambio en la altura del oleaje o en el nivel del agua.

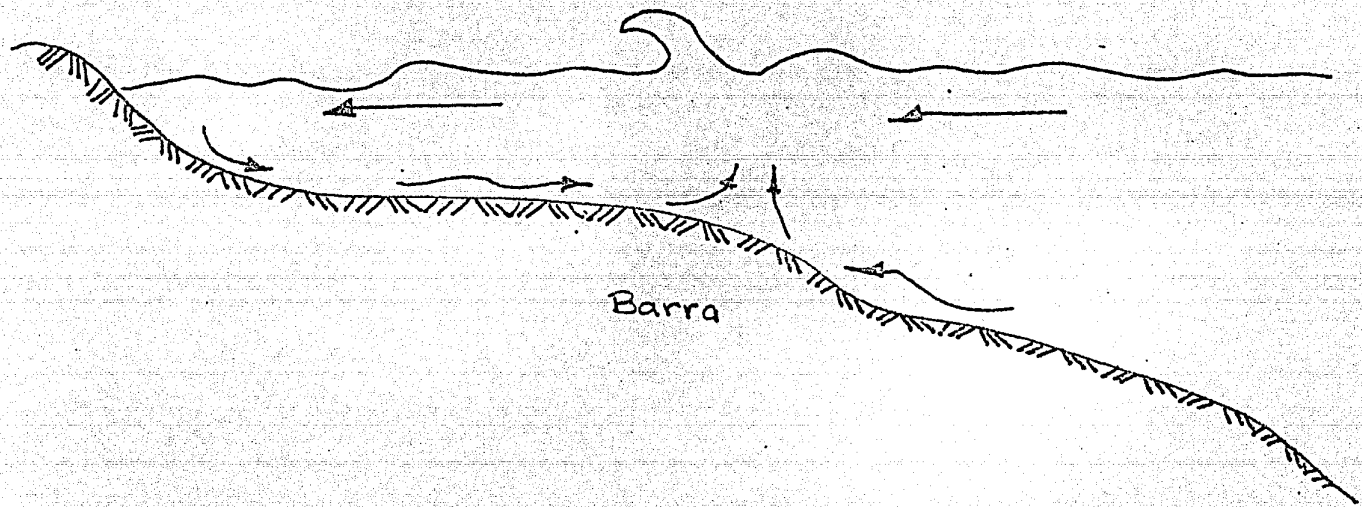


Figura 2.1 Corriente de resaca

Aunque el movimiento real de sedimento sigue un camino a impulso, de distintas acciones trataremos de explicarlo en una forma más aproximada.

El movimiento del sedimento hacia la costa lo definiremos en dos zonas. La más próxima a la misma la denominaremos Zona "Onshore" y la más alejada "Offshore" (Fig. 2.2)

El movimiento del sedimento hacia el mar es el generado -- por las corrientes de retorno, tiene sentido transversal y se extiende a lo largo de ambas zonas onshore y offshore.

En la primera existen movimientos tanto transversales como longitudinales, mientras en la segunda zona el movimiento es de carácter transversal.

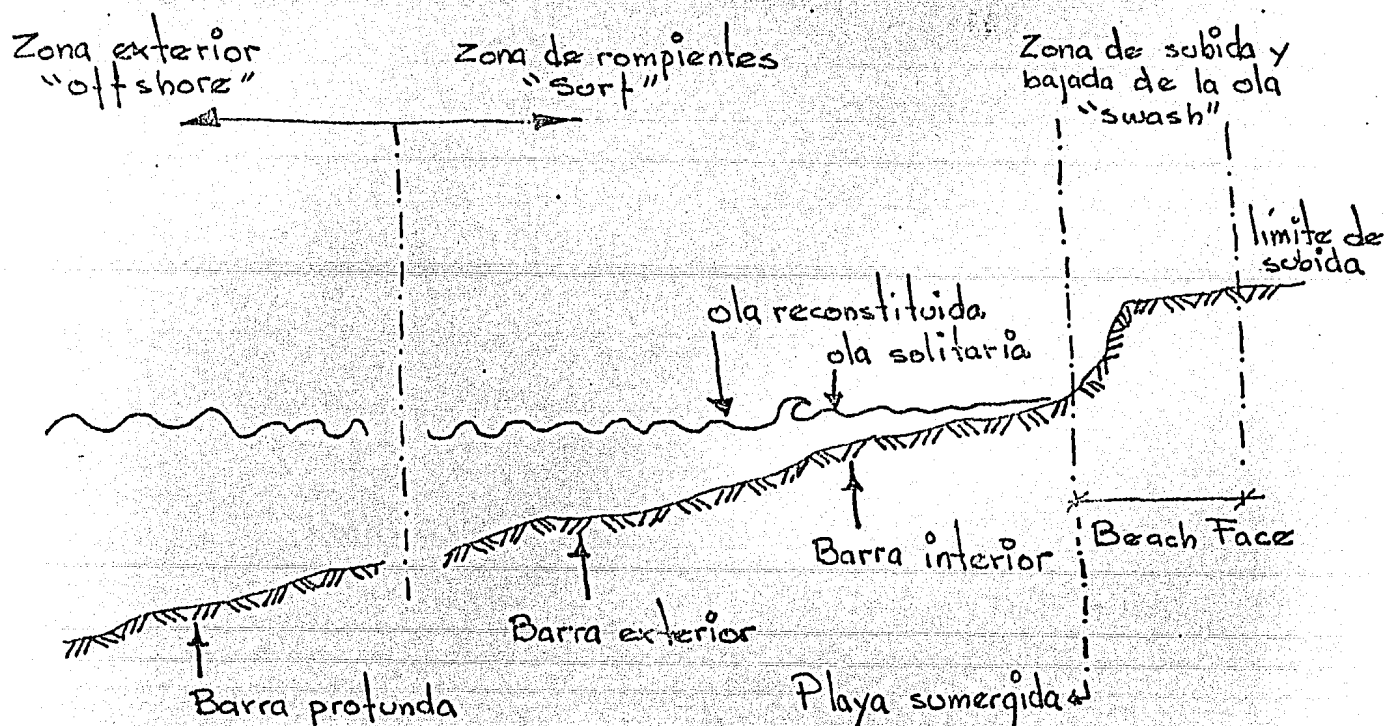


Figura 2.2.

Onshore.- Es la zona entre la línea de rompiente y la playa, comprende la zona "surf". Donde las olas rotas emergen hacia adelante con gran turbulencia.

Offshore.- Es la zona que se extiende mar adentro desde la zona de rompientes hasta una distancia en la que superficie del fondo deja de ser agitada por la acción de la ola, variando por tanto su anchura con las características de las olas que se aproximan a la costa.

Si el oleaje avanza de tal forma que las olas sean paralelas a la Batimetría de la costa se produce un movimiento transversal cuyo efecto, por el principio de acción y reacción es la formación del perfil de la playa de acuerdo con las características del oleaje.

Sin embargo, los movimientos longitudinales del sedimento, provocados por el oleaje, son mucho más importantes que los transversales para los problemas portuarios.

Estos movimientos, que se producen cuando las olas alcanzan las costas oblicuamente, actúan de dos maneras simultáneas. La primera consiste en un transporte en zig-zag sobre la playa provocando por la subida de las olas en dirección correspondiente al ángulo de rotura, y el retroceso de masas de agua hacia el mar, una vez perdida su energía, de acuerdo con la línea de mayor pendiente de la playa.

La segunda forma de transporte, generalmente más importante que la primera, tiene lugar en la zona que se extiende entre la línea de rompientes y la playa y se crea bajo la acción de la componente paralela a la playa de la energía del oleaje. Esta corriente, casi permanente en el tiempo, es, a veces, de apreciable intensidad y tiene una capacidad considerable de transporte, puesto que se forma en una zona fuertemente turbulenta,

debido a la rotura, y donde existen abundantemente sedimentos en suspensión susceptibles de ser transportados por corrientes de una velocidad incluso más baja que la velocidad de remoción de estos sedimentos.

En la zona "Offshore", las partículas de agua cercanas al lecho marino oscilan hacia atrás y hacia adelante a medida que las olas se van propagando. Este movimiento oscilatorio provoca el levantamiento del sedimento del fondo y, cuando aquel se invierte, se forma un remolino de agua con sedimento en suspensión, asentándose éste a continuación para ser inmediatamente levantado de nuevo por la acción de la siguiente ola.

Este transporte de masa de agua varía según la profundidad del agua y las distintas características de ola.

Así mismo en este fenómeno, se produce la selección del material por su tamaño, de modo que mientras las partículas más gruesas alcanzan la línea de rompientes y ascienden por la playa, las más finas entran en suspensión con más facilidad y pueden ser transportadas mar adentro en el transcurso de un temporal.

Por otra parte, Iribarren demostró que al producirse la rotura de la ola se crea una sobreelevación respecto al nivel del mar. Si ello coincide con una diferencia de abrigo producida por la difracción debida a cualquier circunstancia natural o artificial, se provocará una corriente real, que junto con la incidencia oblicua constituye el transporte longitudinal a la costa en la zona "Onshore" (Fig. 2.3)

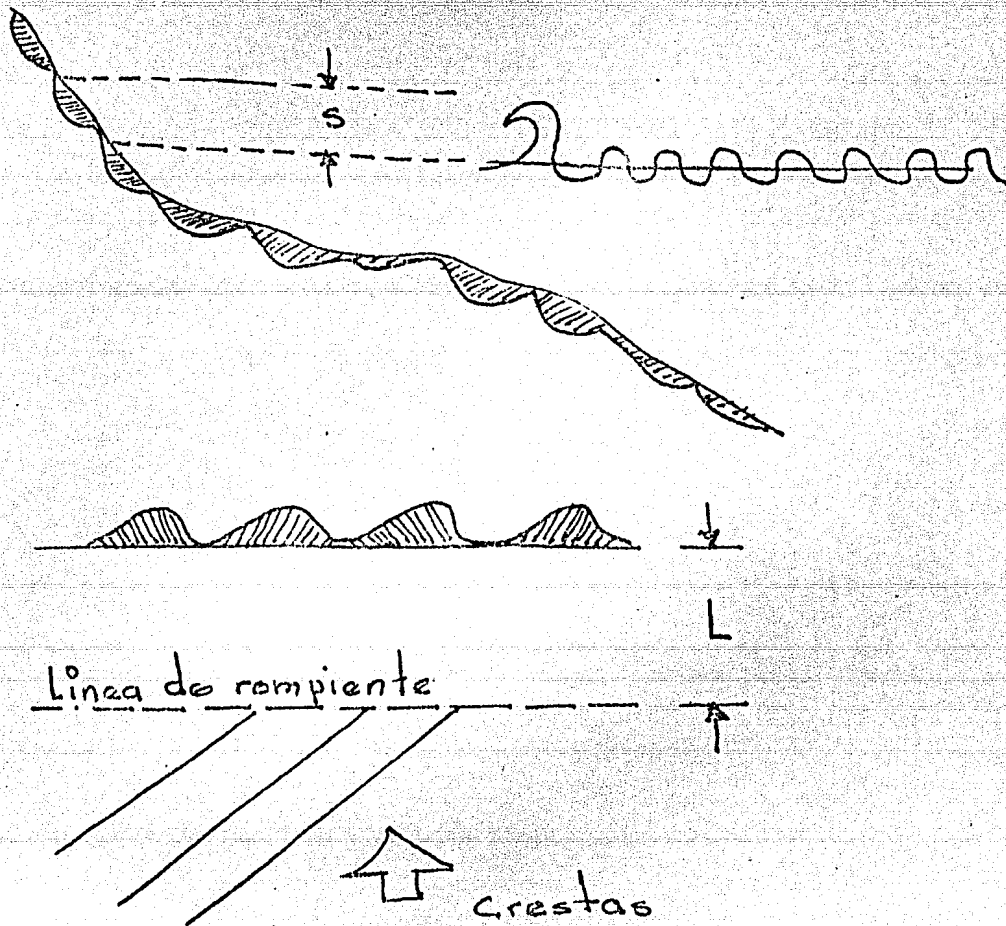
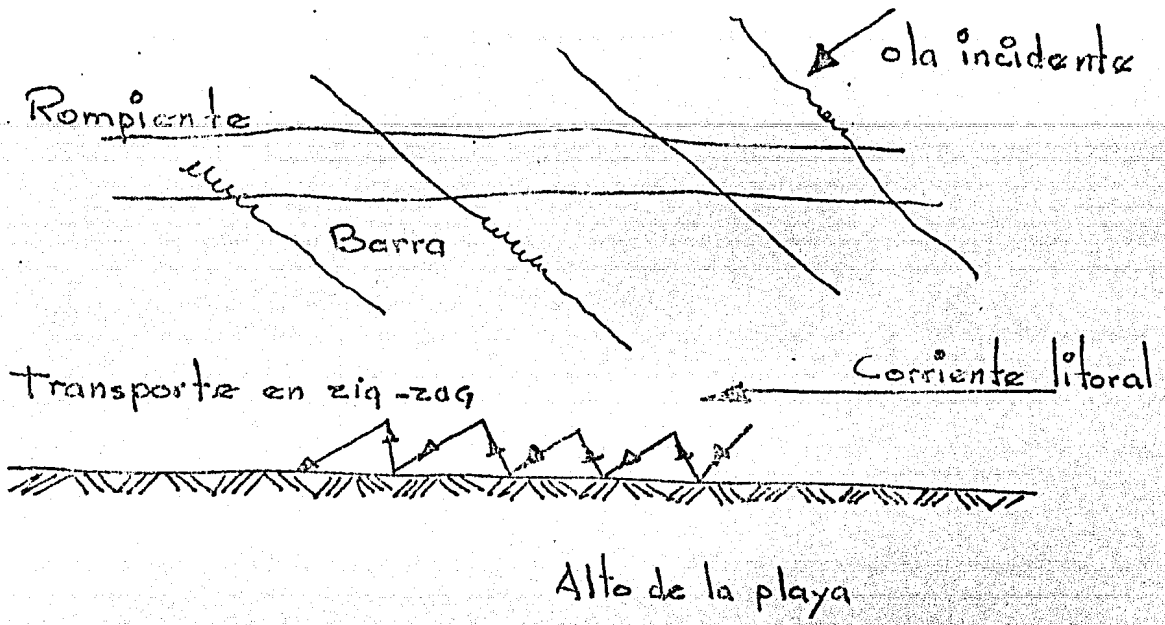


Figura 2.3

Corrientes de retorno.- El caudal, lanzado sobre el estrón por el oleaje, debe ser evacuado hacia el mar. Esta restitución se realiza por una corriente celular de eje horizontal, denominada resaca Fig. 2.4, ó bien por una circulación de eje vertical (en planta), que rompe la línea de rompientes por ciertos canales de desagüe, situados entre sí a cierta distancia a lo largo de la playa, formando unas corrientes denominadas "Rip-currents". (Fig. 2.5)

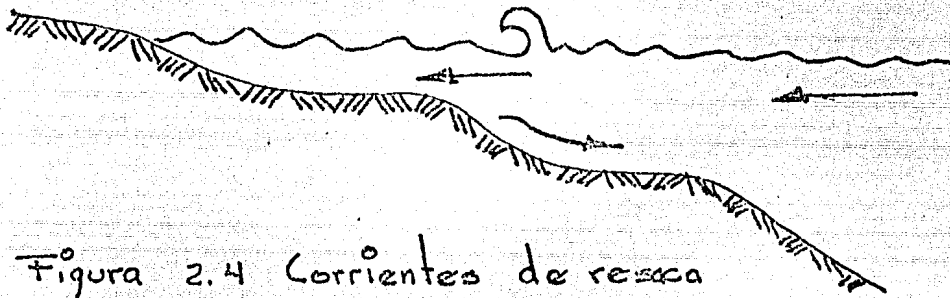


Figura 2.4 Corrientes de resaca

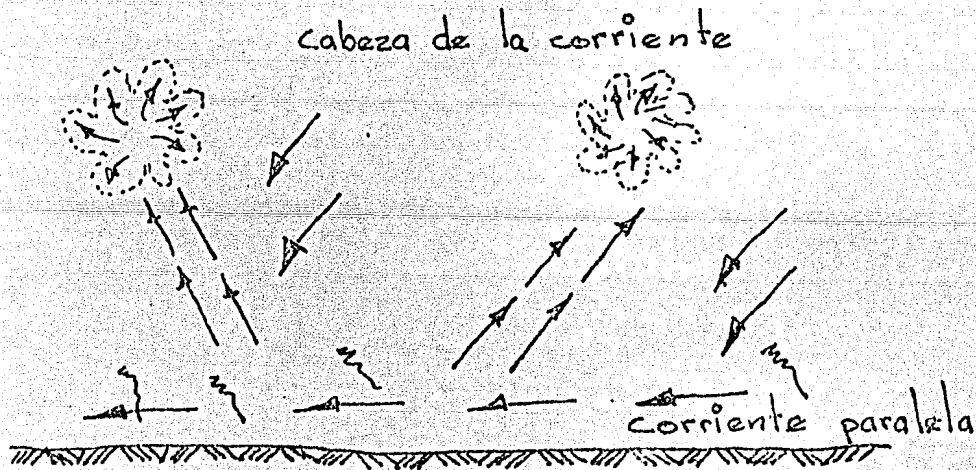


Figura 2.5 Circulación en planta "Rip-currents"

El fenómeno de la formación de estas "Rip-currents" es muy bien conocido visualmente y, sin embargo, el mecanismo de su generación no está suficientemente comprendido. El proceso de los rip-currents y la circulación en la zona "near-shore" forman un importante eslabón en el análisis de la interrelación existente entre la hidrodinámica y la sedimentación en la zona costera.

Para este estudio A.J. Bowen (1969) "rip-currents, teoreti- cal investigación" - propone un mecanismo consistente en una va- riación a lo largo de la costa del promedio de altura de la ola a través de una celda de rip-currents con incidencia normal de oleaje. La descripción cualitativa que se deriva de ello, no es demasiado optimista.

Por su parte C.J. Sonu (1972) "Field observations of near- shore circulation and mandering currents" - sugiere que los fe- nómenos de circulación de rip-currents están fuertemente in-+ fluenciados por la topografía local de fondo que, juntamente - con las características de la ola, producen el necesario meca- nismo de conducción, los que conduce a una esquemática normal y oblicua. Los resultados de la toma de datos de la naturaleza parecen avalar este modelo analítico, tal como puede apreciar- se en las Figuras 2.6, 2.7 y 2.8.

BALANCE DE SEDIMENTOS

Si consideramos un tramo de costa, vamos a analizar el con- cepto "sediment budget" (balance de sedimento) es decir, la to- talidad del sedimento removido transportado o depositado en la zona.

Vamos a definir los elementos que intervienen dentro de es- te concepto.

Fuente (source) es todo proceso que incrementa la cantidad de arena en el volumen controlado.

Dren o sumidero (sink), por lo contrario, será aquel proceso que produzca disminución.

Los procesos pueden ser puntuales o lineales.

En el primer caso emplearemos la Q mayúscula y en el segundo la q minúscula. Por tanto tendremos.

Q_i^+ = Fuente puntual.

\bar{Q}_i = Dren puntual..

q_i^+ = Fuente lineal.

\bar{q}_i = Fuente lineal.

A continuación damos una tabla de clasificación de los elementos que intervienen en el sediment budget en la zona litoral.

Localización de Fuente o Dren	Lado Offshore de la Zona Litoral	Lado de Tierra de la Zona Litoral	Zona Litoral	Límites Longitudinales de la Zona Litoral
	Q_1^+	Q_2^+	Q_3^+	Q_4^+
Fuente puntual	bajo o isla (offshore)	ríos	rellenos	transporte litoral que entra
	\bar{Q}_1	\bar{Q}_2	\bar{Q}_3	\bar{Q}_4
Dren puntual	cañones submarinos	entradas	dragados extracciones	transporte litoral que sale
	q_1^+	q_2^+	q_3^+	
Fuente lineal	transporte de arena procedente de offshore	erosión de la costa, incluyendo la erosión de dunas y alcantilados	erosión de la playa	
	q_1^-	q_2^-	q_3^-	
Dren lineal	transporte de arena hacia el offshore	deposición de material en la zona alta después del run-up y formación de dunas		

Si designamos por Q_i la longitud sobre la que actúa el proceso lineal, tendremos que su contribución será:

$$Q_i^* = b_i q_i$$

La ecuación fundamental que da el balance total será:

$$\sum \text{Fuentes} = \sum \text{Drenes} = 0$$

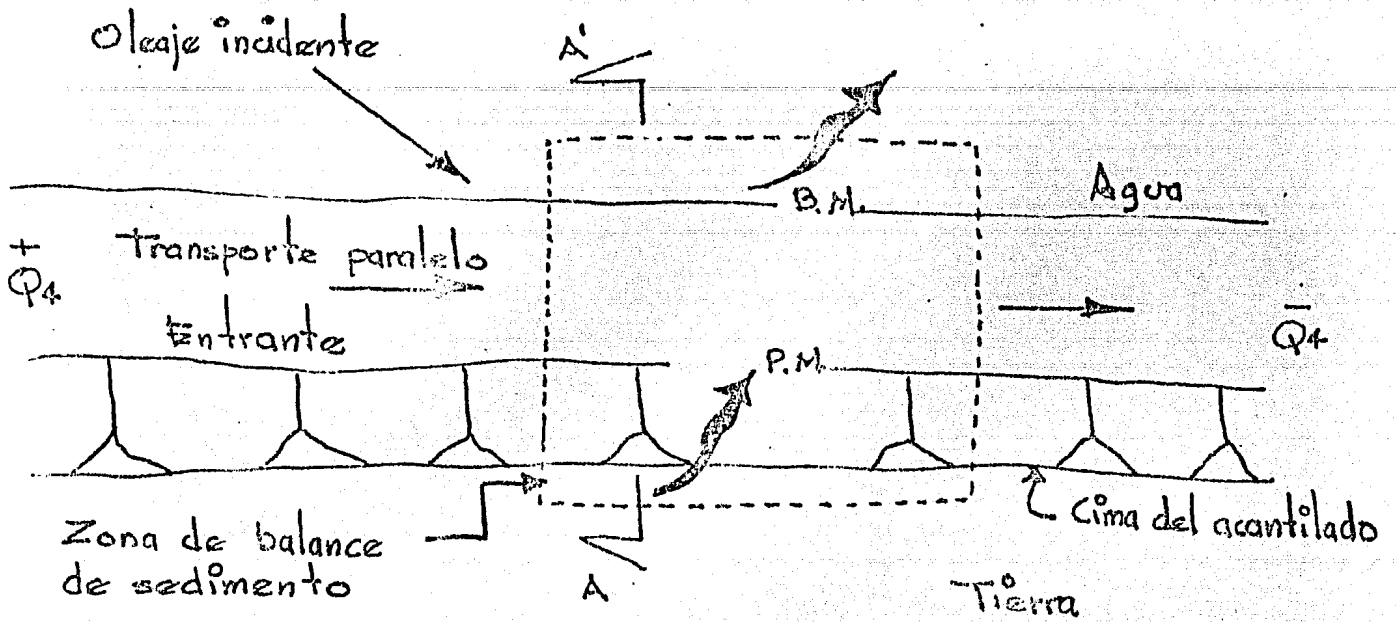
Esta ecuación puede darnos evidentemente el valor de una Fuente o un Dren desconocido si la ponemos en la forma:

Suma de Fuentes conocidas - Suma de Drenes conocidos = Fuente o Dren desconocido

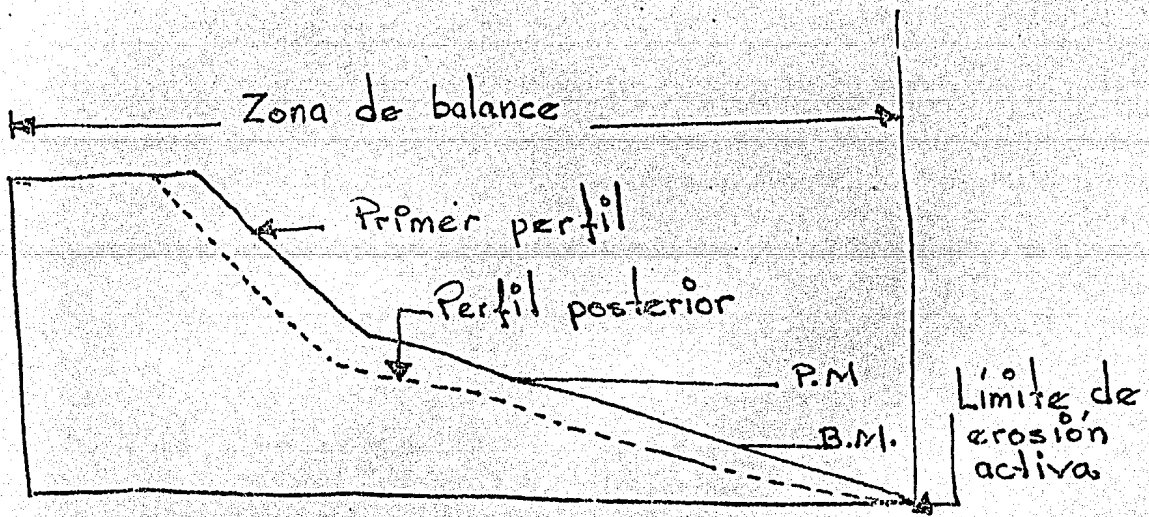
En otros términos, podremos poner esta ecuación con la clasificación anterior:

$$\sum_4 Q_i^+ + \sum_3 Q_i^+ - (\sum_4 \bar{Q}_i + \sum_3 \bar{Q}_i) = 0$$

En el juego de esta ecuación vemos que es necesario el cálculo de los distintos valores que la componen, que depende naturalmente de las corrientes citadas anteriormente y de los elementos introducidos (natural y artificialmente) en el sistema. La figura, es un ejemplo gráfico en planta y perfil de la ecuación del balance de sedimentos.



Planta



Sección A-A'

Costa en erosión

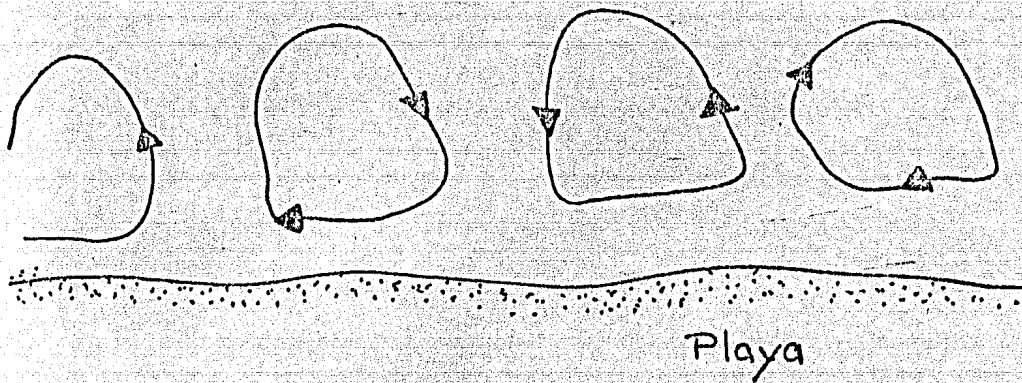


Figura 2.6 Circulación bajo incidencia normal del oleaje

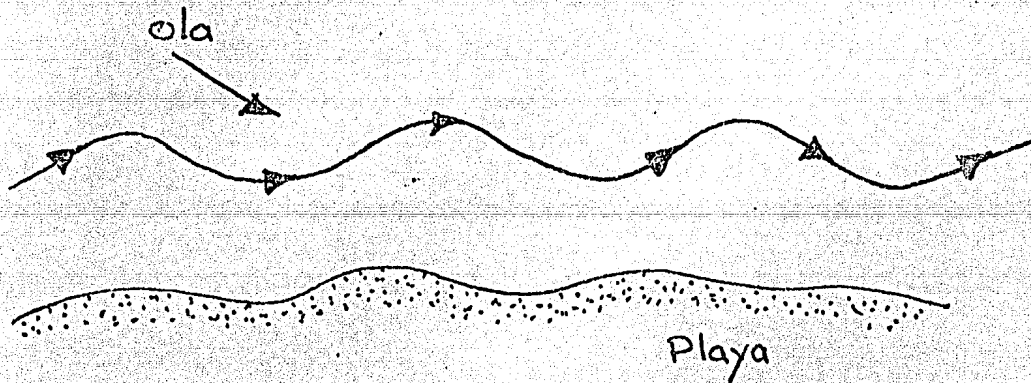


Figura 2.7 Ondulaciones en caso de incidencia oblicua del oleaje

Esquema de las corrientes generales en incidencia normal y oblicua del oleaje

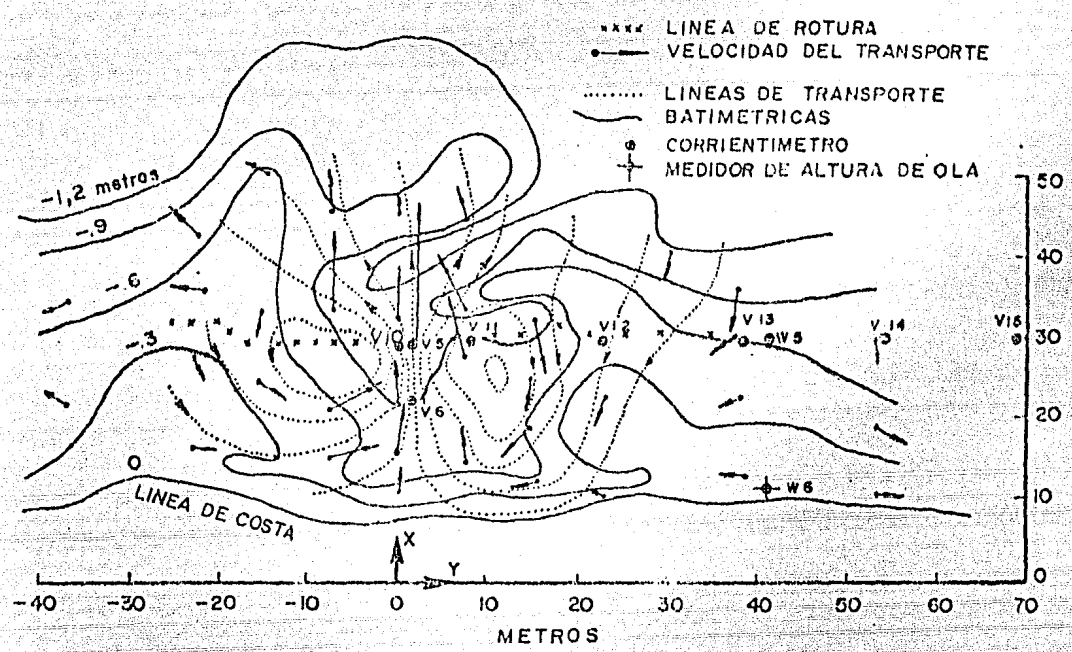


Fig. 26 Distribución de la velocidad y línea de transporte en una célula de circulación, Separación entre líneas $0,4 \text{ m}^3/\text{sec}$. $H_b = 0,395 \text{ metros}$, $T_b = 5 \text{ sec}$ (sonu(6)).

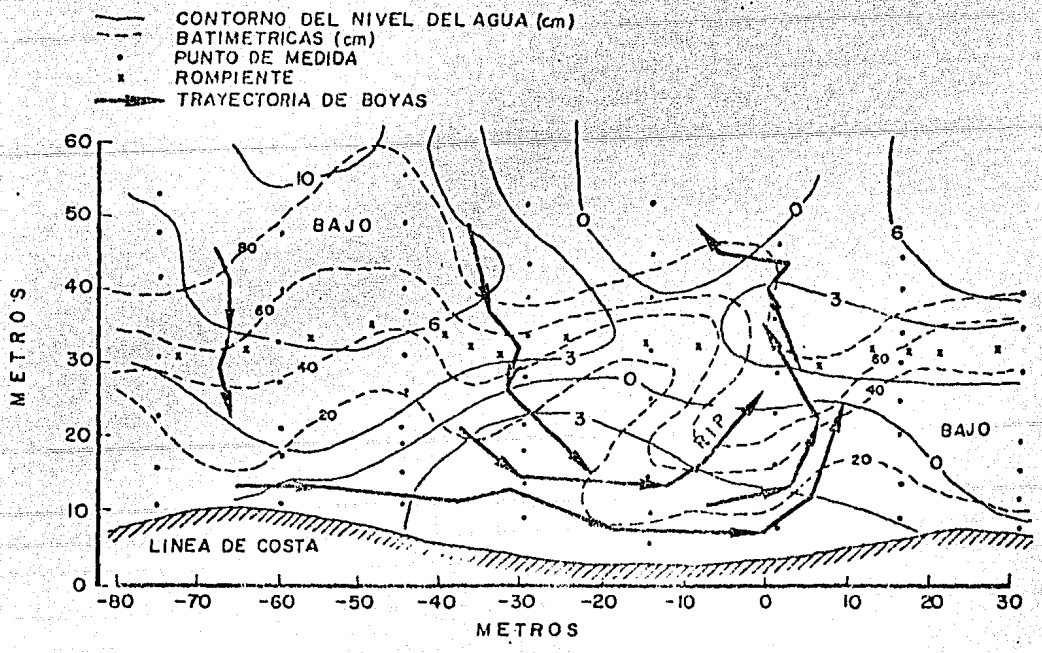


Fig. 27 Circulación en la orilla debida a la incidencia oblicua.

IV. PROCESOS COSTEROS Y TRANSPORTE LITORAL.

Dentro de este capítulo nos enfocaremos al momento y acción generadora del transporte o momento de los sedimentos a lo largo de las costas. Generalmente es transportado a lo largo de la costa, lo cual es producido por las corrientes de agua. Estas corrientes pueden originarse por el oleaje, las mareas y en algunos casos por las descargas de los ríos hacia el mar.

La corriente litoral paralela a la costa producida por el oleaje frecuentemente es componente dominante de la corriente que provoca el transporte de sedimentos a lo largo de la costa.

Longuet-Higgins y Stewart (1964) desarrollaron un criterio para determinar la intensidad de las corrientes litorales el cual se le denomina Esfuerzo Radial. En él se considera:

- a) El origen de las coordenadas se localiza sobre el nivel de agua en reposo con dirección positiva de la abscisa (x) hacia la derecha en la dirección de propagación del oleaje. La dirección positiva de la ordenada (d) es hacia arriba y en el sentido vertical.
- b) El análisis se contempla bidimensional, con un ancho unitario perpendicular al plano de los esquemas.
- c) La densidad del agua (ρ) se considera constante.

Si consideramos una masa de agua en reposo con tirante uniforme (d), la presión en cualquier parte del fluido está dada por la siguiente ecuación:

$$P_o = -\rho g y$$

donde g = aceleración de la gravedad

ρ = densidad del fluido

Lo cual es independiente de x y es el flujo del momento horizontal a través de un plano vertical (x =constante) por unidad de distancia vertical puesto que se considera un ancho unitario.

El flujo total por una sección se obtiene integrando la ecuación:

$$P_o = \int_{-d}^0 P_o \, dy = - \int_d^0 \rho g y \, dy$$

Lo anterior también es independiente de la variable x y por lo tanto no existe un intercambio neto de momento mientras pasa de un plano $X = X_o$ a otro $X=X_o+dx$.

Este flujo total constante (o fuerza) P_o es realmente la fuerza hidrostática que se presentará en una pared vertical rígida extendiéndose hasta la profundidad $Z=-d$. Esta componente hidrostática, P_o , será restada del cálculo del flujo con oleaje a fin de encontrar la componente que resulta de la acción del oleaje. Esta resultante será, el esfuerzo radial.

Se verá, más adelante, que este esfuerzo radial no tiene unidades de fuerza por unidad de área, debido a que el esfuerzo se integrará a una profundidad constante d , resultando una fuerza por unidad de longitud. Puesto que el tirante se mantiene constante en cada punto donde se examinará el esfuerzo radial, entonces es posible efectuar transformaciones para encontrar el esfuerzo.

FLUJO DE MOMENTO CON OLEAJE

Consideramos una ola sinusoidal en aguas de tirante constante d (finito).

De las ecuaciones de Teoría del Oleaje encontramos que:

$$Y_s = \frac{H}{2} \cos (Kx - \sigma t) \text{ ----- (1)}$$

$$Y_s = a \cos (Kx - \sigma t) \text{ ----- (1')}$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cos hk (d+y)}{\sinh h Kd} \cos (Kx - \sigma t) \text{ ----- (2)}$$

$$u = \frac{a \sigma}{\sinh (Kd)} \cosh K (d+y) \cos (Kx - \sigma t) \text{ ----- (1'')}$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh K (d+y)}{\sinh Kd} \sin (Kx - \sigma t) \text{ ----- (3)}$$

$$v = \frac{a \sigma}{\sinh (Kd)} \sinh K (d+y) \sin (Kx - \sigma t) \text{ ----- (3')}$$

Una expresión general del flujo del momento horizontal que pasa a través de una superficie unitaria en el plano vertical dentro del fluido será:

$$P_1 = P + \rho u^2 \text{ ----- (4)}$$

El segundo término, ρu^2 , representa la transferencia de la masa a momento horizontal como sigue:

a) En un tiempo dt el volumen de agua que pasa a través de un elemento de la superficie vertical es:

$$u \, dy \, 1 \, dt \quad Y = u \, dy \, 1 \, dt$$

$$\text{su masa es igual } M = \rho u \, dy \, 1 \, dt$$

b) El momento horizontal (masa · velocidad) será:

$$\rho u \cdot 1 \, dy \, dt \cdot u$$

c) Dividiendo el área ($dy \cdot 1$) y el tiempo (dt) obtenemos el flujo por unidad de área, dicho término es:

$$\frac{\rho u \cdot 1 \, dy \, dt \cdot u}{(dy \cdot 1) (dt)} = \rho u^2$$

Obsérvese que la velocidad "u" puede ser positiva o negativa, o aun valer cero, mientras que u^2 es siempre positivo.

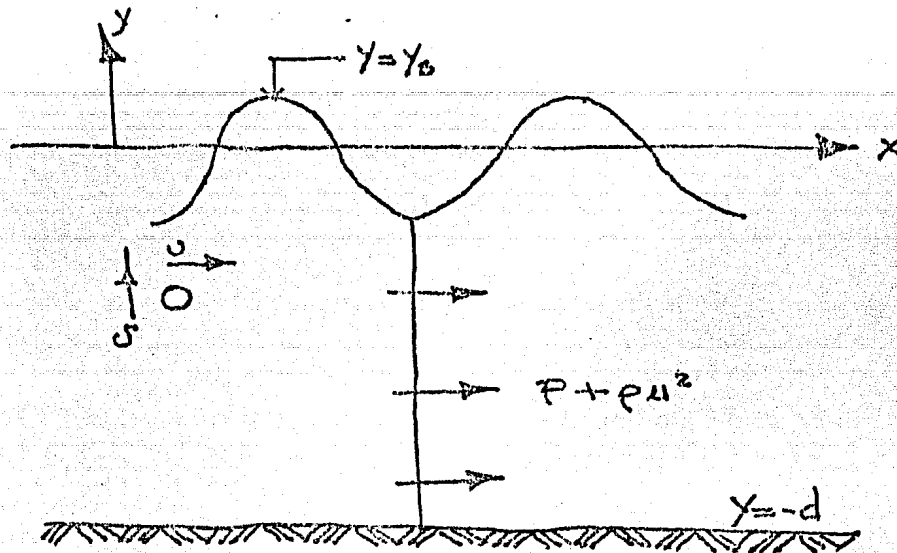
El fluido que pasa por el plano, en general, tendrá una componente vertical de la velocidad V.

El producto $\rho u v$ es útil para representar la transferencia del momento vertical a través del plano $x=\text{constante}$. Este término aparece como un esfuerzo cortante y comunmente se le denomina "Esfuerzo Cortante de Reynold" en el estudio de la teoría de turbulencia, sin embargo este Esfuerzo Cortante de Reynold no se considerará en posteriores análisis de estas notas.

Integrando a la ecuación (4) en toda la distancia vertical con el fin de determinar el flujo del momento horizontal total que pasa a través del plano x -constante, tendremos:

$$P_1 = -\rho \int_{-d}^{ys} (P + \rho u^2) dz \text{ ----- (5)}$$

Obsérvese que el límite superior de integración es el nivel de la superficie del agua en movimiento.



DEFINICION DEL ESFUERZO RADIAL

La componente principal del Esfuerzo Radial, expresada como S_{xx} , se define como el valor medio de P_1 con respecto al tiempo menos el valor medio de P_0 con respecto al tiempo.

$$S_{xx} = \bar{P}_1 - \bar{P}_0 = \int_{-d}^{y_s} (P - \rho u^2) dy - \int_{-d}^0 P_0 dy \text{ ----- (6)}$$

La línea superior se utiliza para denotar el promedio del tiempo. En la primera integral, nos deberá asegurar de considerar el promedio del tiempo después de realizar la integración y s es una función del tiempo.

En la segunda integral la línea testada puede omitirse, puesto que la integral es una constante.

De lo anterior la ecuación se transforma a:

$$S_{xx} = \int_{-d}^{Y_s} (P + \rho u^2) dy - \int_{-d}^0 P_0 dy \quad (7)$$

De acuerdo con lo anterior la definición del Esfuerzo Radial en una terminología más sofisticada será: El Esfuerzo Radial es la continuación del oleaje en el promedio del tiempo, de la integración vertical del momento horizontal transferido horizontalmente.

Determinación de la intensidad de las corrientes a lo largo de la costa.

El cálculo de la velocidad de la corriente paralela a la costa se requiere para estimar el transporte de sedimento a lo largo de la costa.

En conjunto, cuatro componentes de fuerza determinan la magnitud de la velocidad resultante. Estas fuerzas son:

1. Fuerzas por oleaje resultantes del esfuerzo radial.
2. Fuerzas provocadas por la marea.
3. Fuerzas de fricción en el fondo, que al actuar reducen la velocidad de la corriente.
4. Fuerzas de turbulencia que resultan por las diferencias en velocidad entre líneas de corriente contiguas.

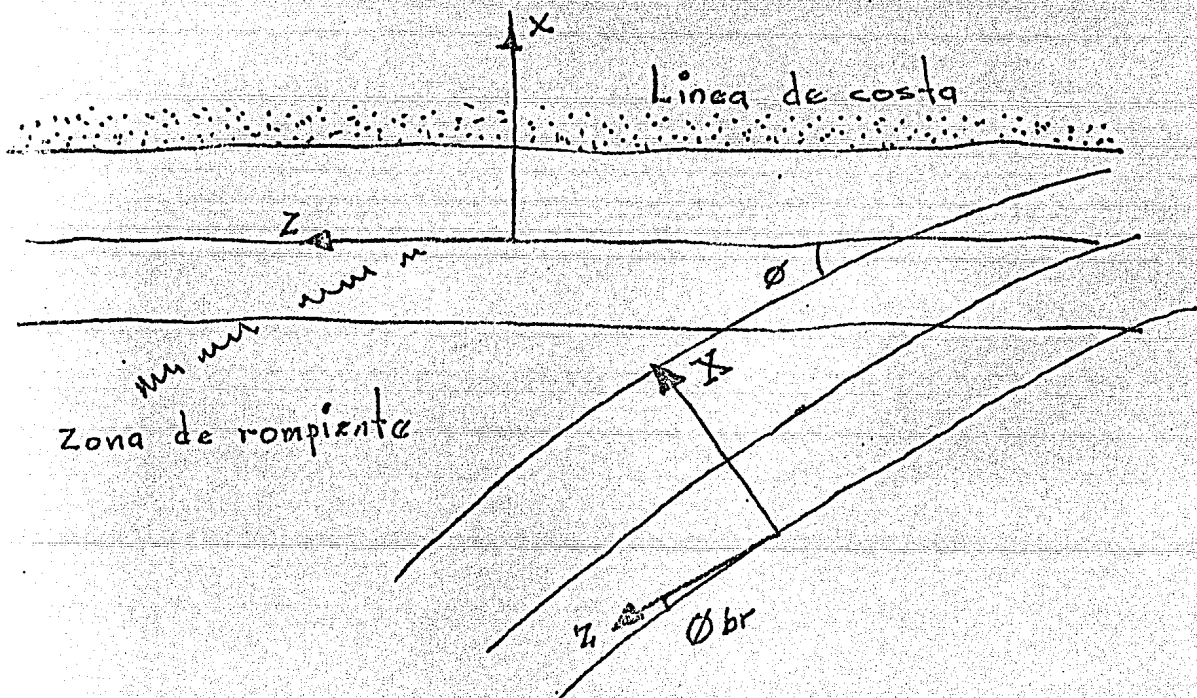
En el caso de desarrollarse totalmente una corriente longitudinal costera, esas cuatro fuerzas determinarán un estado de equilibrio dinámico con la velocidad de la corriente constante.

La determinación de cada una de las componentes de las fuerzas anteriores se explicará a continuación de manera separada. Los ejes y signos convenidos para derivar el esfuerzo radial serán los mismos que se adoptarán en los siguientes desarrollos.

1. Fuerzas por oleaje:

Las fuerzas por oleaje resultan del componente tangencial del Esfuerzo Radial. El desarrollo de Longuet-Higgins presentado anteriormente fue adaptado por Bowen (1969) y se utiliza para esta deducción.

Un esquema en planta de la zona marítima costera se muestra en la siguiente figura:



Utilizando el Círculo de Mohr de la siguiente figura, las componentes del Esfuerzo Radial actuando en las direcciones x y z (perpendicular y paralelo a la costa respectivamente) son:

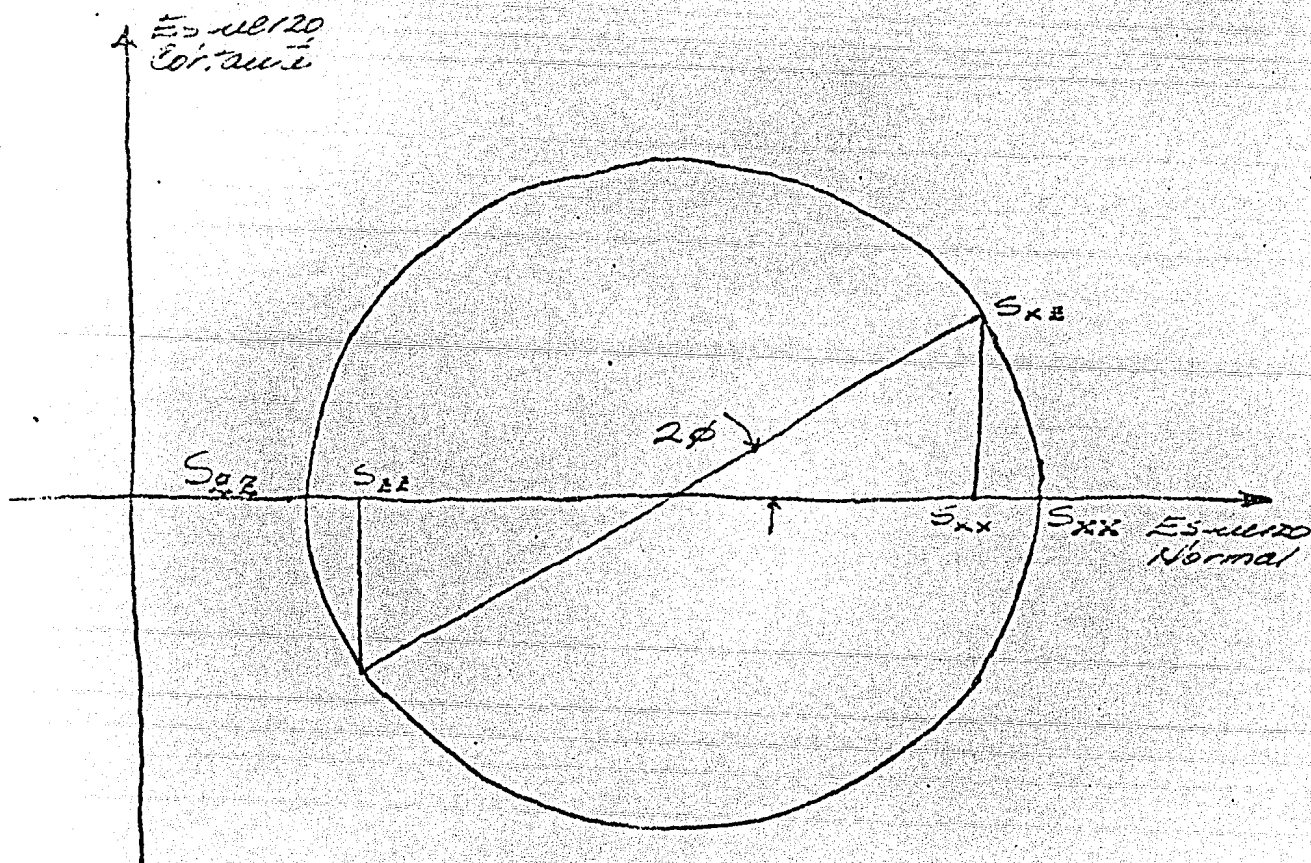
$$S_{xx} = \frac{S_{XX} + S_{ZZ}}{2} + \frac{S_{XX} - S_{ZZ}}{2} \cos 2\phi \quad \text{----- (1.1)}$$

$$S_{zz} = \frac{S_{XX} - S_{ZZ}}{2} - \frac{S_{XX} - S_{ZZ}}{2} \cos 2\phi \quad \text{----- (1.2)}$$

$$S_{xz} = \frac{S_{XX} - S_{ZZ}}{2} \sin 2\phi \quad \text{----- (1.3)}$$

$$S_{xz} = (S_{XX} - S_{ZZ}) \sin \phi \cos \phi \quad \text{----- (1.4)}$$

Nótese que $S_{xz} = S_{zx}$ en magnitud. ϕ es el ángulo entre la cresta del oleaje y la playa y además $0 \leq \phi \leq \phi_{br}$



Excepto en zonas donde la corriente longitudinal no se encuentra totalmente desarrollada la componente del esfuerzo cortante S_{xz} es la única fuerza de importancia.

Recordando que nuestro análisis se ubica en aguas reducidas, realizando diversas simplificaciones de la ec. (1.4) se obtiene:

$$S_{xz} = E \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2} \right) \text{sen } \theta \cos \theta = E \text{sen } \theta \cos \theta \text{ ----- (1.5)}$$

donde $E = \frac{1}{8} \rho g H^2$, con H igual a la altura de la ola en el punto en cuestión (en la zona de rompiente).

Como se señaló en la deducción del Esfuerzo Radial, S_{xz} tiene unidades de fuerza por unidad de longitud (en este caso, longitud de costa). Con el fin de ser consistentes con las unidades, se debe transformar en fuerza por unidad de área horizontal. Esto puede efectuarse fácilmente al considerar la deducción de la ecuación (1.5) con respecto a x. Para ello, se deben realizar las siguientes modificaciones:

Puesto que θ es una función del tirante, d, y este de x, podemos sustituir:

$$\cos \theta \approx \cos \theta_{br} \quad ; \quad 0 \leq \theta \leq \theta_{br} \ll 1 \text{ rad}$$

$$\text{sen } \theta = \frac{c}{c_{br}} \text{sen } \theta_{br}$$

donde c = celeridad del oleaje en aguas reducidas

$$c = \sqrt{gd}$$

$$\text{sen } \theta = \sqrt{\frac{d}{d_{br}}} \text{sen } \theta_{br} \text{ ----- (1.6)}$$

Más aún consideremos una relación lineal entre el tirante del agua y la altura de la ola en la zona de rompiente.

$$H = 2a = Ad \text{ ----- (1.7)}$$

Sustituyendo la ec. (1.7) y la energía E en la ecuación (1.5), tenemos:

$$S_{xz} = \frac{1}{8} \rho g A^2 d^2 \sqrt{\frac{d}{d_{br}}} \text{ sen } \phi_{br} \text{ cos } \phi_{br} \text{ (1.8)}$$

siendo d variable.

$$F_r = \frac{d}{dx} (S_{xz}) \quad \text{diferenciando y utilizando la regla de la cadena}$$

$$F_r = \frac{5}{16} \frac{\rho g A^2 d^{3/2}}{(d_{br})^{1/2}} \text{ sen } \phi_{br} \text{ cos } \phi_{br} \tan \alpha_d \text{ ----- (1.9)}$$

Donde $\tan \alpha_d$ es la pendiente del fondo $\frac{dd}{dx}$ en el tirante d.

Esta expresión contiene las unidades deseadas, es decir, fuerza por unidad de área horizontal.

2. Fuerzas por marea.

De la teoría de ondas de gran longitud asociada a las mareas, se encuentra que la fuerza por marea por unidad de volumen puede expresarse de la siguiente manera:

$$\frac{F_t'}{V} = -\rho g \frac{\partial d'}{\partial z} \text{-----} (2.1)$$

Donde V es un volumen unitario de agua; F_t' es la fuerza por marea actuando sobre el volumen unitario.

$\frac{\partial d'}{\partial z}$ es la pendiente de la superficie de la onda de marea

d' resulta de:

$$d' = \hat{Y} \cos(\Omega t - Kz) \text{-----} (2.2)$$

donde Ω y K se encuentran asociados con el período y longitud de la onda de marea respectivamente.

$$\frac{\partial d'}{\partial z} = K \hat{Y} \sin(\Omega t - Kz) \text{-----} (2.3)$$

Sustituyendo en la ec. (2.1) resulta:

$$\frac{F_T'}{V} = -\rho g K \hat{Y} \sin(\Omega t - Kz) \text{-----} (2.4)$$

Con el fin de comparar esta ecuación con la fuerza componente del Esfuerzo Radial, las unidades deben modificarse a fuerza por unidad de área horizontal. Para ello, se tomará el volumen V como una unidad de área por la profundidad del tirante d .

Entonces la ecuación (2.1) se transforma a:

$$\frac{F_T'}{V} = \frac{F_T'}{A_b d} \text{-----} (2.5)$$

Multiplicando por d resulta:

$$\frac{F_T'}{A_b} = F_T' = \rho g d K \dot{y} \text{ sen} (\Omega t - KZ) \text{-----} (2.6)$$

donde F_T' tiene las unidades deseadas (fuerza por unidad de área).

3. Fuerzas de fricción.

Gijkar encontró una expresión para definir la fuerza de fricción en el fondo en una zona con oleaje.

Esta expresión es válida cuando θ_{br} es menor que 20° .

$$\tau = \tau_c \left[0.75 + 0.45 \left(\frac{u}{v} \right)^{1.13} \right] \text{-----} (3.1)$$

donde:

τ' es el esfuerzo total cortante en el fondo

τ_c es el esfuerzo cortante provocado únicamente por la corriente.

$$Z_c = \rho g \frac{V^2}{C^2} \text{-----} (3.2)$$

V es la velocidad de la corriente

C es el coeficiente de fricción de Chezy

$$\xi = \frac{0.45 r c}{\sqrt{g}} \text{-----} (3.3)$$

r es la constante de Von Kármán = 0.4; por lo que la ec. (3.3)

$$\xi = 0.0575 C \text{ (con unidades de sistema métrico decimal).}$$

u_b es la componente de la velocidad del agua en el fondo, provocada por el oleaje.

Teóricamente es casi imposible calcular u_b en la zona de rompiente. Sin embargo, para encontrar una solución a nuestro problema se supondrá que la onda sinusoidal aun se presenta.

De la teoría del oleaje:

$$\bar{u}_b = \frac{G H}{2 \sinh(kd)} \text{-----} (3.4)$$

Para aguas reducidas la ecuación (3.4) se transforma a:

$$\bar{u}_b = \frac{cH}{2d} \text{-----} (3.5)$$

donde $c = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$ para aguas reducidas

finalmente tenemos que:

$$\bar{u}_b = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \quad \text{-----} \quad (3.6)$$

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación (3.1) obtenemos:

$$\bar{z}' = \frac{e g v^2}{c^2} \left[0.75 + 0.45 \left(\frac{E}{V} \frac{H}{2} \frac{g}{d} \right)^{1.13} \right] \text{-----} \quad (3.7)$$

La ecuación anterior queda expresada en unidades de fuerza por unidad de superficie.

Obsérvese que \bar{z}' está en función del tirante y por lo tanto de la distancia a la línea de playa. También de una manera un tanto complicada depende de la velocidad.

4. Fuerzas por turbulencia.

Las fuerzas por turbulencia resultan del hecho que las corrientes paralelas a la costa varían de acuerdo a su cercanía a la misma (a lo largo del eje x). La fuerza cortante turbulenta puede expresarse como sigue:

$$F_s = A_z \frac{d^2 v'}{dx^2}$$

donde v' es la velocidad resultante y A_z es un coeficiente, en algunos textos se le denomina "vertice viscoso".

Tal parece que el efecto de esta fuerza por turbulencia F_s es muy pequeño comparado con las tres fuerzas vistas anteriormente, por lo que usualmente se le desprecia.

Comparación de las fuerzas de corriente:

Las corrientes litorales se forman por la influencia de las cuatro fuerzas vistas anteriormente. Cuando la corriente alcanza su valor máximo, las fuerzas consideradas han logrado un estado de equilibrio dinámico.

Las fuerzas por oleaje siempre actúan en la dirección positiva de Z ; las fuerzas por marea pueden ser positivas o negativas y las fuerzas de fricción, obviamente, siempre actúan en dirección opuesta a la velocidad.

En muchos casos la fuerza por marea es pequeña o despreciable en comparación con las dos fuerzas restantes; siendo generalmente cierto en la zona después de la rompiente:

De las ecuaciones 3.1 y 1.9

$$\frac{5 \rho g A^2 d^{3/2}}{16 d_{br}^{1/2}} \sin \phi_{br} \cos \phi_{br} \tan^2 d = \frac{\rho g v^2}{c^2} [0.75 + 0.45 \left(\frac{H}{v^2} \sqrt{\frac{g}{d}} \right) 1.13]$$

Debido a que deseamos encontrar la distribución de la velocidad como una función de la distancia desde la línea de playa, y por lo tanto de d , sería conveniente resolver la ecuación para V en términos de d . Si se examina el miembro derecho de la ecuación se observa que ello resulta extremadamente difícil por lo que considerando las simplificaciones de Bakker se obtiene:

$$\bar{z}' = \frac{\rho g v^2}{c^2} \sqrt{1 + \xi \frac{u_b}{v^2}}$$

$$\bar{z}' = \frac{\rho g v^2}{c^2} \sqrt{v^2 + \xi^2 u_b^2}$$

que equivale a la ecuación 3.7.

La expresión anterior se simplifica al considerar que en la zona de rompiente $\xi u_b \gg v$, lo que resulta:

$$\bar{z}' = \frac{\rho g v}{c^2} \xi u_b \text{ sen } \sigma t$$

donde $u_b = \hat{u}_b \text{ sen } \sigma t$

sustituyendo:

$$\xi = \frac{0.45 \sqrt{c}}{\sqrt{g}}$$

y tomando un promedio de:

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \text{sen } \theta \, d\theta = \frac{2}{\pi}$$

resultando:

$$z' = \frac{\rho g V 0.45 \sqrt{C} 2 u_b}{C^2 \sqrt{g} \pi} = \frac{(2) (0.45) \rho r \sqrt{g} V \hat{u}_b}{\pi C} \quad \text{--- (4.7)}$$

sustituyendo la ecuación (3.6) en la ecuación (4.7)

$$z' = \frac{2 (0.45) \rho r \sqrt{g} V H \sqrt{g}}{2 C \sqrt{d'} \pi} = \frac{0.45 \rho r g V H}{\pi \sqrt{d'} C} \quad \text{----- (4.8)}$$

simplificando la ecuación anterior

$$z' = \frac{0.45 \rho r g V A \sqrt{d'}}{\pi C}$$

en otra forma queda:

$$z' = \frac{\rho g^{3/2} \epsilon A \sqrt{d'} V}{\pi C^2}$$

Esta resulta más simple de trabajar que con la ecuación 3.7.

Regresando al problema de comparar las fuerzas, utilizando las ecuaciones 3.1 y 4.9.

$$\frac{5 \rho g A^2 d^{3/2}}{16 d_{br}^{1/2}} \sin \theta_{br} \cos \theta_{br} \tan \alpha_d = \frac{0.45 \rho r g V A \sqrt{d'}}{\pi C}$$

Resolviendo la ecuación anterior para V como una función de d:

$$V = \frac{5 \pi A d C}{(16) (0.45) \gamma d_{br}^{1/2}} \sin \theta_{br} \cos \theta_{br} \tan \alpha_d \quad \text{---- (4.10)}$$

Se puede asumir que $0.4 < A < 0.5$ para la altura de ola significativa.

sustituyendo las constantes π , A y γ :

$$V = 2.5 \frac{d}{d_{br}^{1/2}} C \sin \theta_{br} \cos \theta_{br} \tan \alpha_d \quad \text{----- (.11)}$$

Resulta conveniente destacar que la ecuación anterior únicamente considera las fuerzas de oleaje y fricción y es posible que en ciertas circunstancias las fuerzas por marea sean también importantes, por lo que se deben agregar al análisis anterior.

Con la ecuación anterior es posible determinar el perfil de la velocidad en un eje horizontal que se extiende desde la línea de playa. Este perfil se utilizará más adelante en conjunto con la fórmula de transporte litoral para definir el perfil de transporte litoral.

Se ha encontrado, por ejemplo, que en algunas costas el transporte de material sólido a una distancia de 200 m. de la costa es del orden de tres veces mayor que a una distancia de 600 m. Esto es el resultado de la combinación de un incremento de las intensidades de la velocidad de la corriente litoral y las fuerzas por turbulencia.

MOVIMIENTO TRANSVERSAL POR ELEVACION DEL NIVEL DEL MAR

Desde un punto de vista totalmente distinto, el profesor Bruun recalca que el transporte transversal a largo plazo es causado principalmente por elevación del nivel del mar (sin considerar el transporte de arena por viento que a veces puede ser de considerable importancia).

Esta elevación puede parecer poco importante pero si se piensa en la estrechez de la playa comparada con el área del mar que ha de ser alimentada por la erosión de la playa, a fin de equilibrar la subida del nivel del mar con un aumento equivalente.

De los depósitos de material en el fondo, se comprende que una subida media de 3 mm por año puede causar regresiones en la línea de costa de 0.6 a 1.5 m. Una regla empírica es que la costa retrocede 1 pie por cada milímetro que el mar sube. Existe pues un desequilibrio entre subida y regresión (Fig. 3.1)

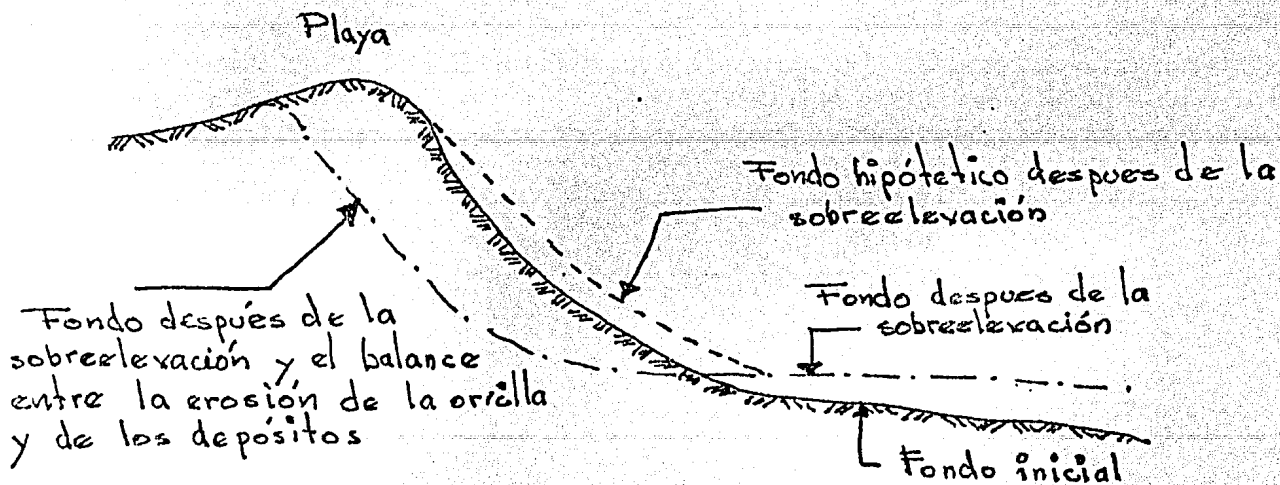


Figura 3.1

Las cifras dadas por el Departamento de Comercio, Administración Nacional Oceánica, Atmosférica de los Estados Unidos son sumamente elocuentes:

	Período de Tiempo	Promedio Anual cms/año
Eastport, Maine	1930-1969	0.338
Porsmouth, New Hampshire	1927-1970	0.165
Xloods Hole, Massachusetts	1933-1970	0.268
Newport, Rhode Island	1931-1970	0.210
New London, Connecticut	1939-1970	0.229
New York, New York	1893-1970	0.287
Sandy Hook, New Jersey	1933-1970	0.457
Baltimore, Mariland	1903-1970	0.259
Washington, D.C.	1932-1970	0.244
Portsmouth, Virginia	1936-1970	0.341
Charleston, South Carolina	1922-1970	0.180
Fort Polaski, Georgia	1936-1970	0.198
Mayport, Florida	1929-1970	0.155

Es necesario resaltar que, el transporte transversal integrado de material, incluido los movimientos estacionales y los de largo período, es mucho mayor que el longitudinal. Hemos de señalar, al comparar ambos transportes, que las medidas tomadas como espigones, rompeolas y diques trataban de concentrar o redistribuir el material, pero siempre son pérdida del mismo. Sin importar el movimiento.

Perfiles de playa:

Las características del oleaje, bien sea de fondo o de temporal producen diferentes formaciones del perfil de la playa.

Perfil de Swell (de buen tiempo local).- A medida que las olas se aproximan a la playa, al llegar a una distancia de la línea de costa donde la profundidad es aproximadamente la mitad de la longitud de ola, el sedimento del suelo se agita. El transporte de masa y sus efectos asociados fuerzan a las partículas, así agitadas, a caminar hacia la costa.

En efecto la pendiente de la playa crecerá, oponiéndose en busca del equilibrio, constituyendo la playa sumergida, hasta el punto de rotura del oleaje, a partir del cual y, precisamente por este fenómeno de rotura, el perfil toma otra pendiente ya que la rotura se traduce en una destrucción de la energía potencial de la ola, de la que una parte se transforma en turbulencia local y la otra es utilizada en la formación de una onda solitaria que remonta la pendiente de la playa, hasta que la ola alcanza en su ascenso su máxima cota, constituyendo este recorrido en el estrán de la playa.

En la subida conjunta del sedimento y el agua, una vez rebasada la zona de rompientes, en lo que hemos denominado estrán, parte de esta agua empapa la arena de la playa, filtrándose a su vez

retornado la restante al mar. El volumen y la velocidad de ésta contra la corriente superficial es sustancialmente menor que la del flujo de subida. Por lo que mucha de la arena suspendida se sedimenta en la playa produciéndose el acrecimiento. Resulta así una pendiente empinada como se ilustra en la Fig. 3.2.

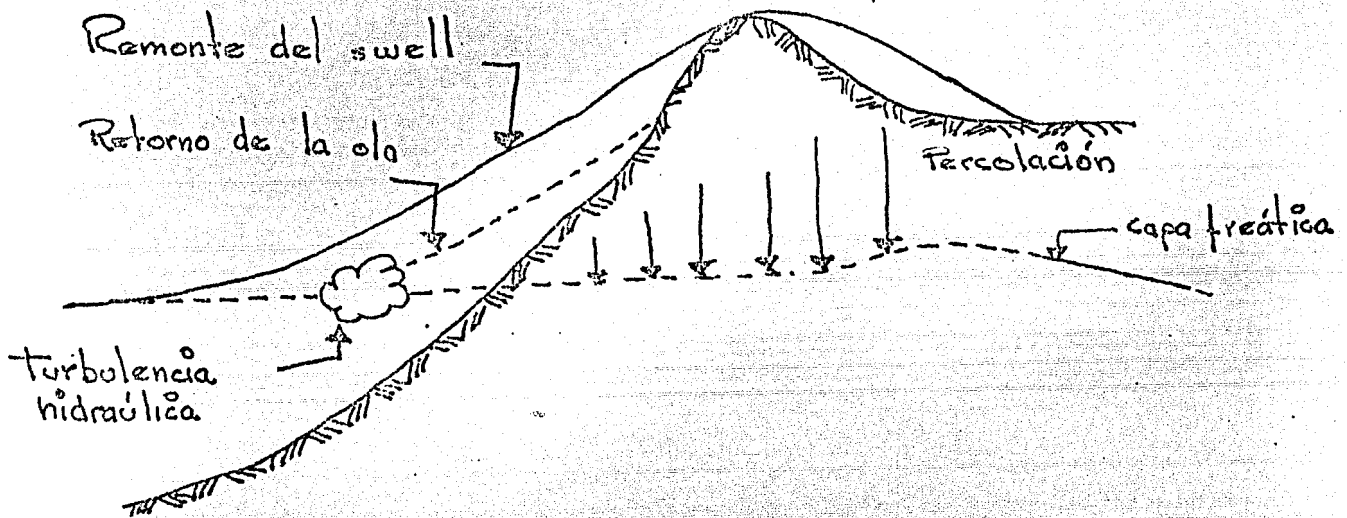


Figura 3.2.1 Condiciones hidráulicas en la superficie de la playa - swell

Durante toda esta acción, los granos mayores han sido lanzados a lo más alto de la playa, tendiendo a situarse el material fino en la zona de rompientes, y el más fino todavía más atrás. Cada sedimento tiene su propia pendiente de equilibrio para unas características de ola dada. Cuando mayor sea el tamaño del grano más empinada será la pendiente.

Las playas de quijarros, que forman pendientes muy fuertes tienden a reflejar las olas más que los rompeolas, formándose así distintos grados de olas estacionarias. Como la circulación del transporte de masa de estas olas estacionarias se efectúa en celdas de torbellino que fuerzan el movimiento del sedimento en los cuartos de onda (Fig. 3.3) se producirán grandes velocidades y gran turbulencia.

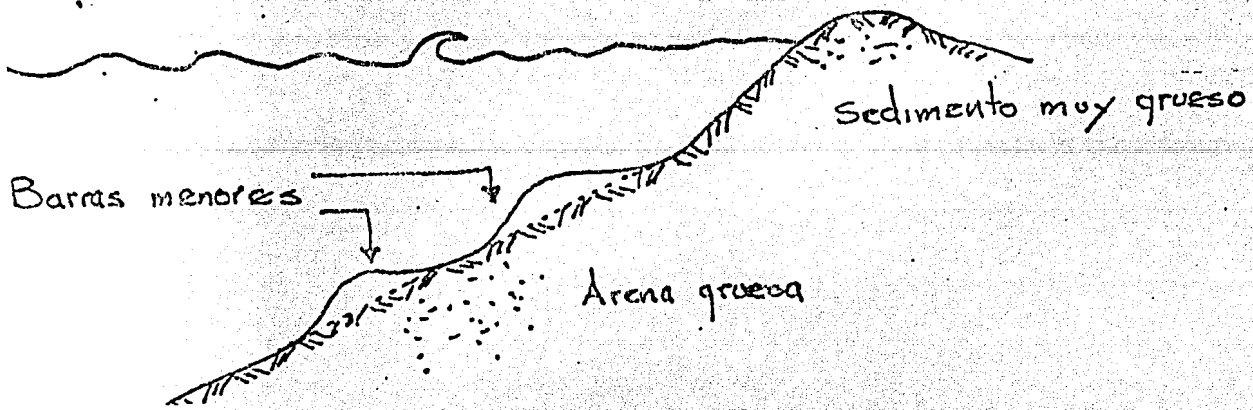


Figura 3.2

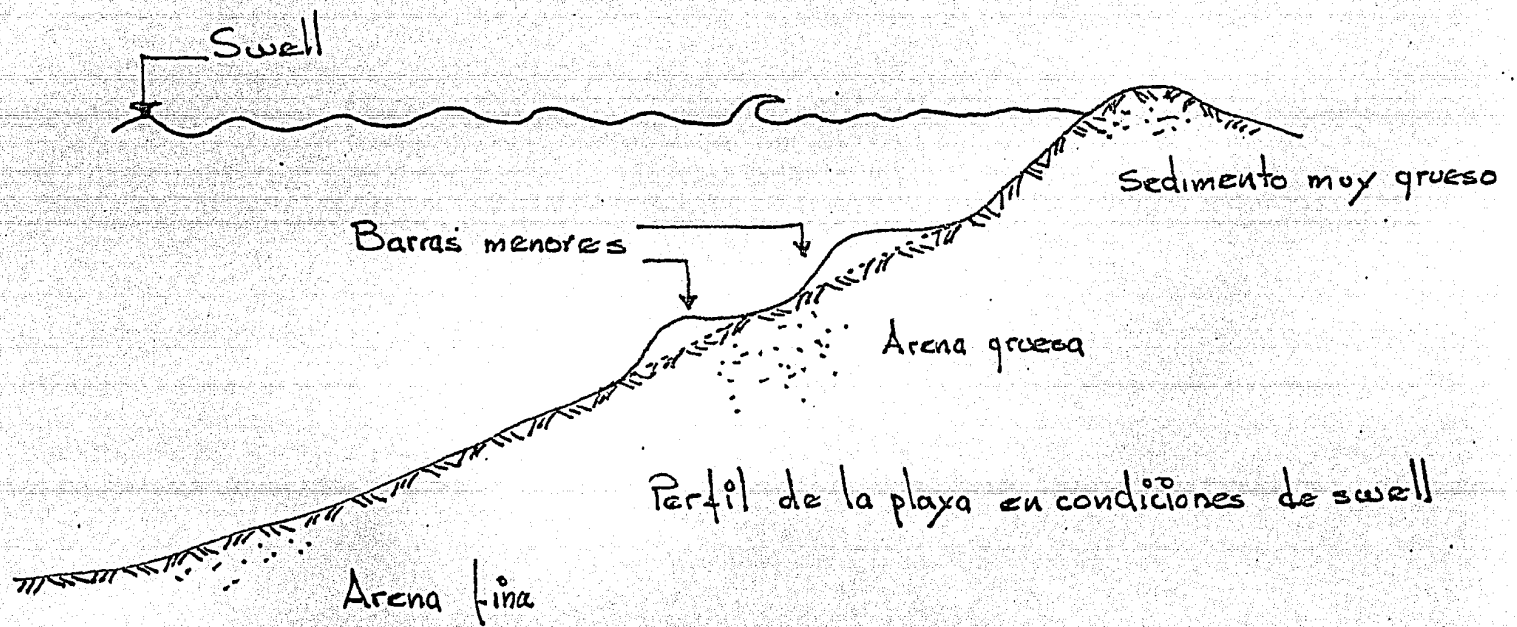


Figura 3.3.

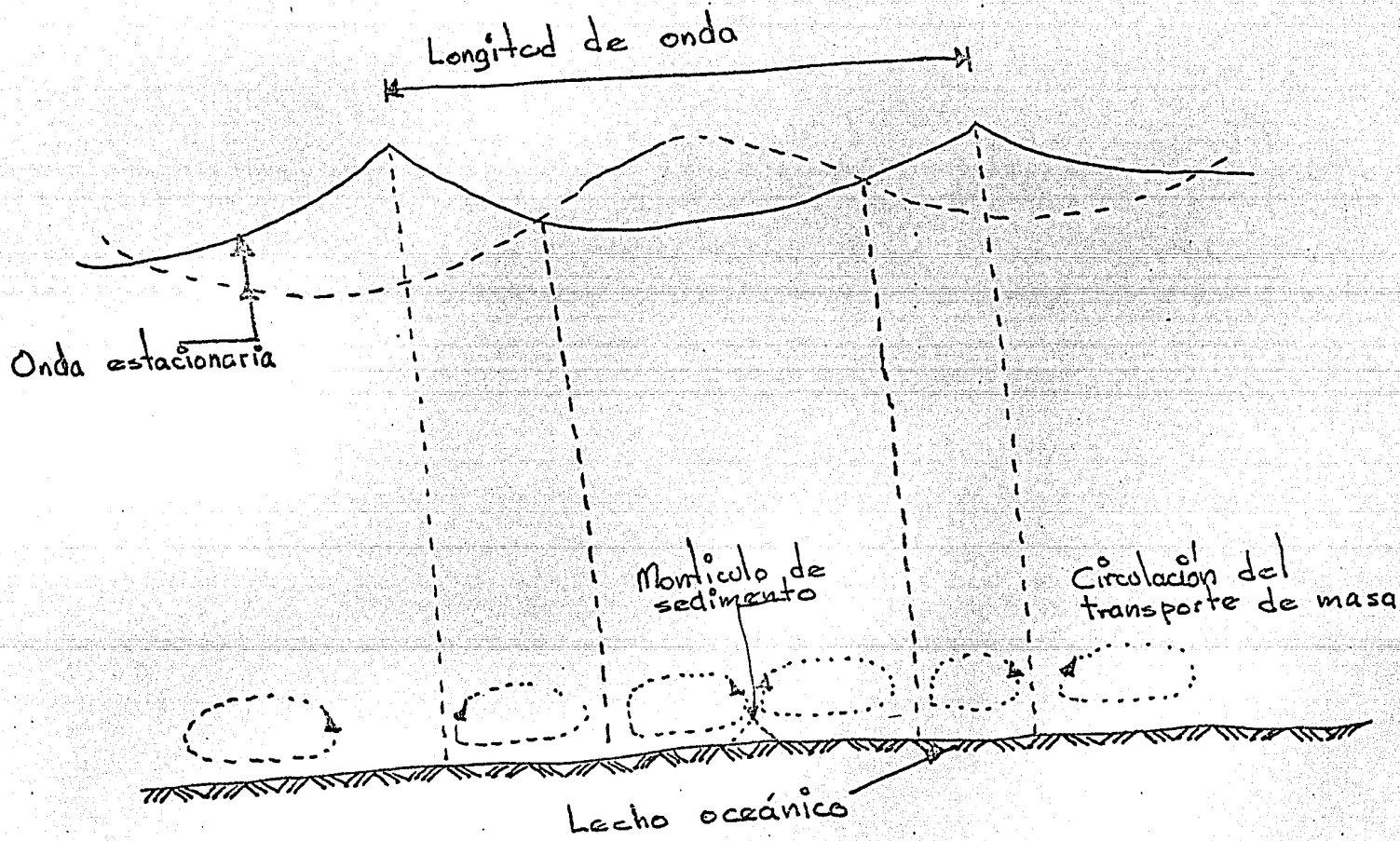


Figura 3.3.1

Perfil de temporal (de mal tiempo local) .-

Cuando un fetch está adyacente a la costa llegan olas de temporal que se componen de muchos trenes de ola. Al ser las olas más grandes, se tiene mayor volumen y por tanto se lanza más -- agua en la rotura por lo que la arena de la superficie de la playa pronto resulta saturada. El nivel freático casi coincide con la superficie, por lo que la filtración resulta imposible. El volumen de agua retorna, en este caso, igual al del flujo de subida, por lo que las velocidades de retorno aumentan, formándose una turbulencia mayor cuando esta agua se encuentra con la siguiente zona (Fig. 3.4).

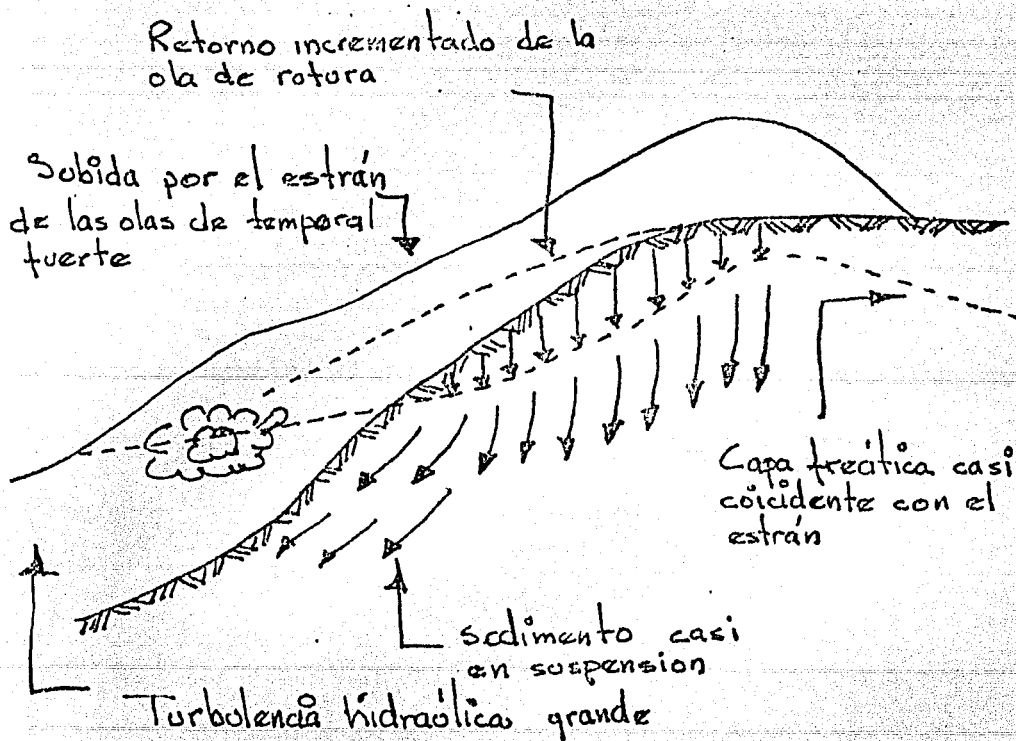


Figura 3.4

Se producen así, en las costas grandes fuerzas erosivas en el sedimento cercano a la base de la playa, que está en casi suspensión debido a la corriente de agua freática de retorno al mar.

Este sedimento constituye un botín fácil para los remolinos de retorno. No hay, por tanto, por que maravillarse al contemplar que las playas pueden desvanecerse en cuestión de horas tras el comienzo de un temporal.

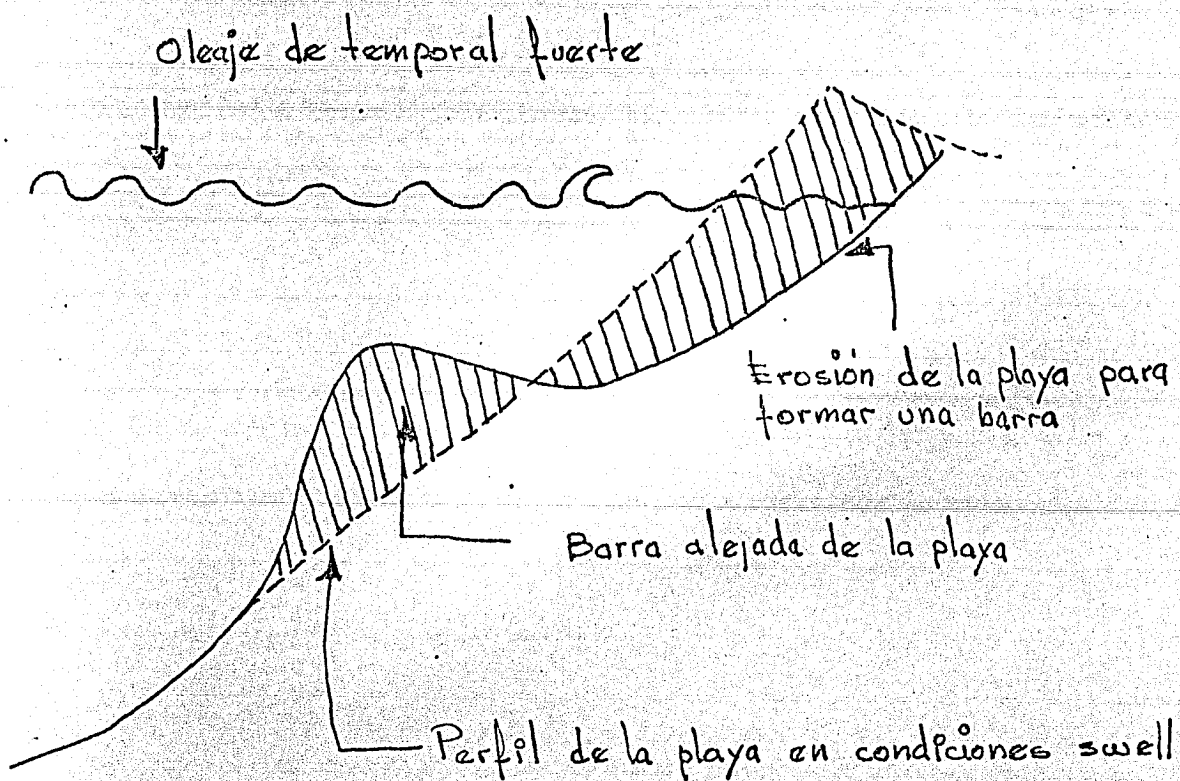


Figura 3.5

El agua, que literalmente es arrojada dentro de la playa, debe regresar al mar con el sedimento haciendo una vía a través del suelo marino. Cuando a cierta profundidad, su velocidad se reduce suficientemente se origina un depósito, por lo que surge una barra de arena a alguna distancia de la línea costera exterior. Cuando ésta es suficientemente grande, las siguientes olas rompen contra ella debido a la poca profundidad y a la contra-corriente que también actúa contra ella (Ver fig. 3.5).

Esta barra costera exterior preserva la costa de la futura erosión, ya que sólo olas rotas y disipadas pueden llegar a la retrocida línea de la playa. De esta manera, se evita la completa destrucción de las líneas costeras, ya que el material sedimentario se orienta formando una línea de defensa. Se puede deducir de todo ello que, para salvaguardar estructuras junto a la playa, es necesario tener reserva de sedimento que permita la formación, con una cierta pérdida de la playa de la barra costera exterior. La cantidad requerida para la formación de tal barra puede variar con el tiempo dependiendo de la estabilidad longitudinal general y la línea costera.

CICLOS DE PLAYA

Del apartado anterior se produce que la rápida y alarmante erosión de playas es originada por los primeros temporales de la estación, cuyas olas pueden atacar el perfil creado durante el período de buen tiempo. Cualquier temporal posterior; en la misma estación, no causará mayor regresión puesto que la barra costera exterior - quizás recuperada parcialmente, pronto se reforma para disipar la energía de ola antes que alcance la playa. Sólo en el caso de niveles de agua extra altos, acompañando a un segundo temporal, pueden causarse daños posteriores.

Con todo ello podemos afirmar que los perfiles de las playas son de una acción cíclica en situaciones normales, formándose barras por la acción de los temporales que posteriormente son devueltos a su -

situación primitiva por la acción, más lenta, del mar de fondo (Swell).

Otra conclusión a sacar, de la discusión sobre los niveles freáticos en playas, es que cualquier condición que puede inducir la elevación del nivel acelerará la erosión de la playa. Tales condiciones ilustradas en la (Fig. 3.6) son a saber:

- a) La colocación de agua en la playa, procedente de áreas de gran captación natural o hecha por el hombre.
- b) La existencia de rocas subyacentes, justo bajo la superficie de la playa, que concentra la corriente de aguas subterráneas hacia el mar.

Sin embargo el perfil de equilibrio de las playas se ve afectado no sólo por los movimientos transversales, sino también por la incidencia oblicua, por lo que han de tenerse presentes ambos fenómenos.

Según observaciones realizadas, aunque las cantidades movidas en estos movimientos transversales pueden ser sorprendentemente grandes, la resultante anual es prácticamente nula, oscilando las playas entre las situaciones extremas de invierno y verano.

Claro está, que habrá de tenerse en cuenta, para las cimentaciones de las obras, la situación de erosión máxima en las condiciones más desfavorables.

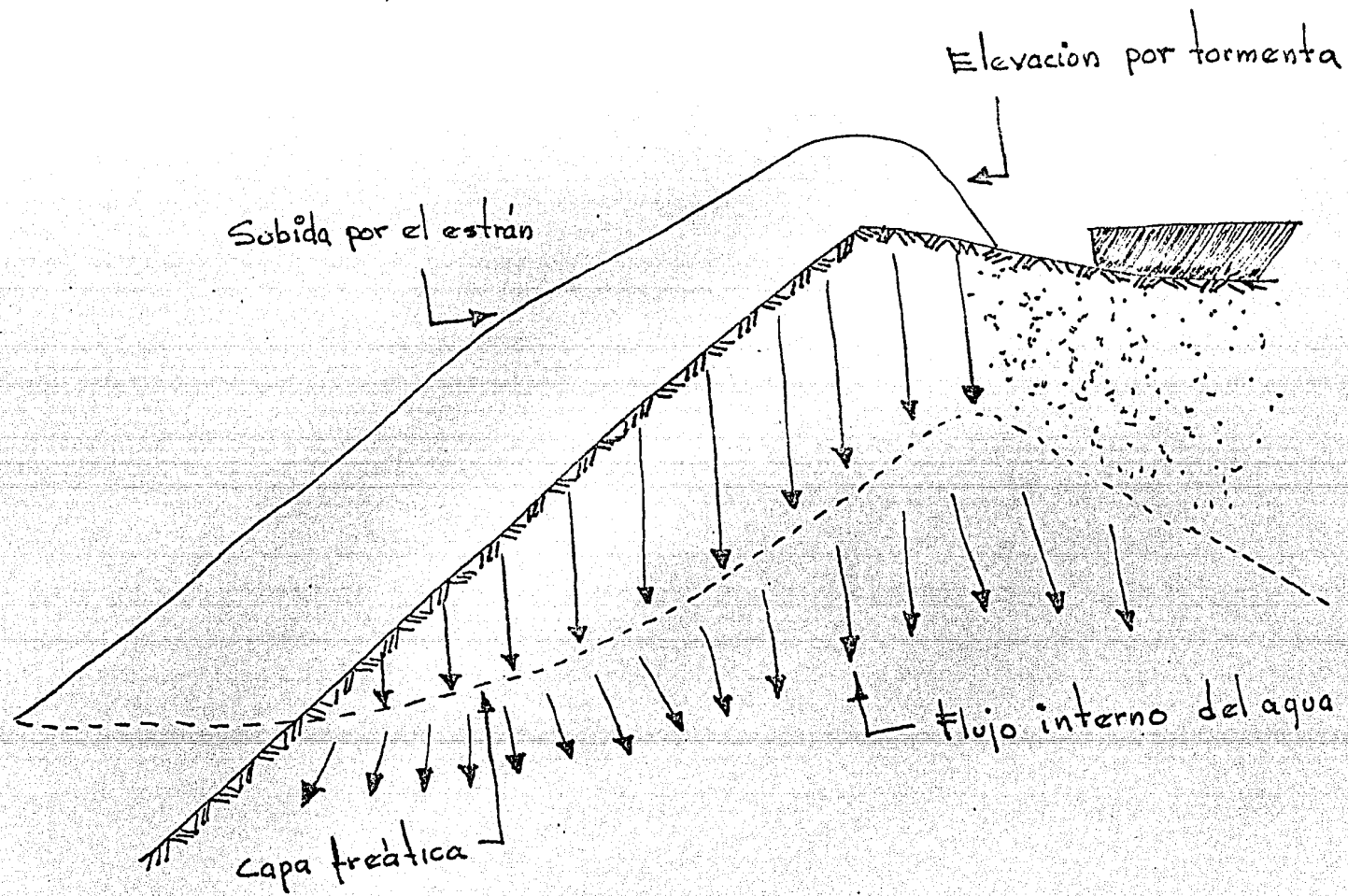


Figura 3.6

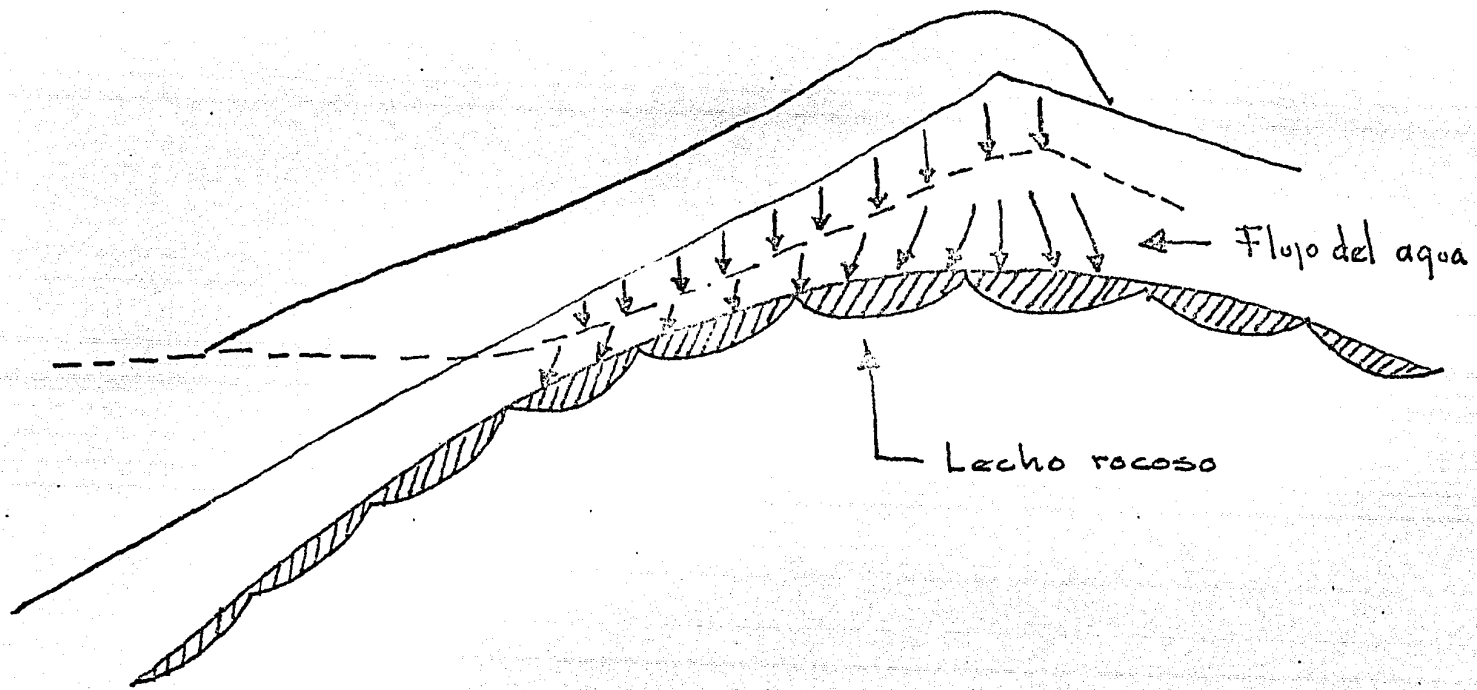


Figura 3.6.1 Plataforma rocosa subterránea

NUEVAS CLASIFICACIONES DE PERFILES DE PLAYA

De acuerdo con los ensayos de Bagnola (1940), Johnson (1949) y de los estudios de la estabilidad de la costa danesa (1954), da las siguientes reglas de clasificación de perfiles (Fig. 3.7).

1. Las olas con altos peraltes producen un perfil con barra -- (Fig. a).

Las olas con bajos peraltes producen un perfil rígido (Fig. c y d).
2. Las olas con altos peraltes erosionan la playa; las de bajo peralte producen acumulación.
3. Las olas muy peraltadas pueden ser denominadas olas de invierno y forman el perfil de temporal o de invierno. Las poco peraltadas son las que forman el perfil de verano. El perfil intermedio se produce para valores próximos $H_o/co = 0.026$ (Fig. b).
4. Brun considera dos tipos de transporte: el transporte de la playa debido a la subida y bajada del oleaje, y transporte en suspensión en la zona de rompientes.
5. En los perfiles de equilibrio de temporal, el transporte es principalmente de material de suspensión. En los perfiles de equilibrio de Swell, el transporte principal es de playa. La transición entre ambos transportes sucede igualmente para $H_o/co = 0.026$.
6. El transporte a lo largo de los perfiles de verano es mucho mayor que en los de invierno para la misma energía. El máximo de transporte ocurre para peraltes comprendidos entre --

0.02 y 0.025 y es casi todo el tipo de transporte de playa.

7. El transporte decrece muy rápidamente para peraltes menores que 0.02.
8. El transporte aumenta con un incremento de la energía.

Por otra parte, Bruun afirma que no hay regla general que nos de la relación entre la pendiente de la playa y el tamaño de la arena.

Esto depende de las características del oleaje, del tamaño y distribución de los granos, el peso específico y factores locales de naturaleza mineralógica y geológica.

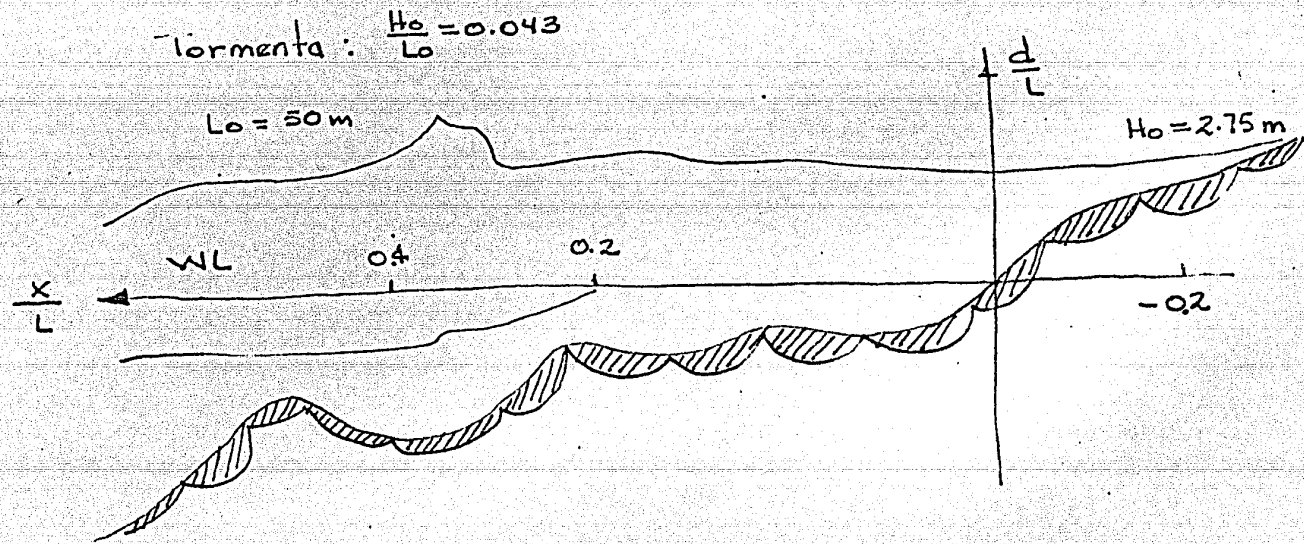


Figura 3.7A PERFIL DE BARRA

Tormenta pequeña: $\frac{H_0}{L_0} = 0.026$

$L_0 = 50 \text{ m}$
 $H_0 = 1.4 \text{ m}$

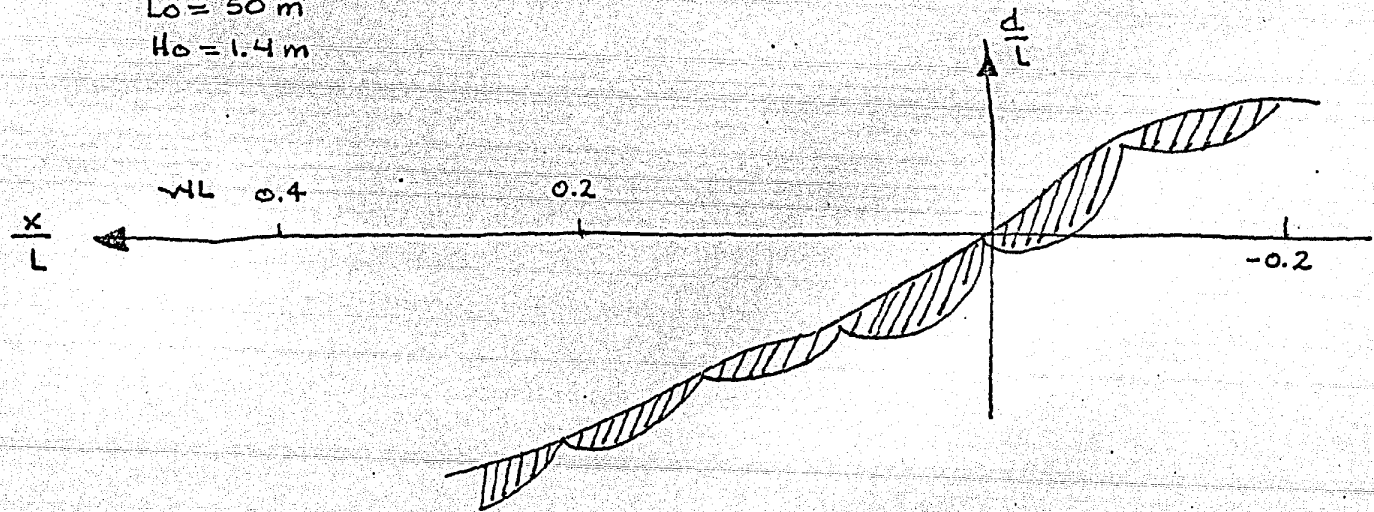


Figura 3.7B PERFIL B-BR

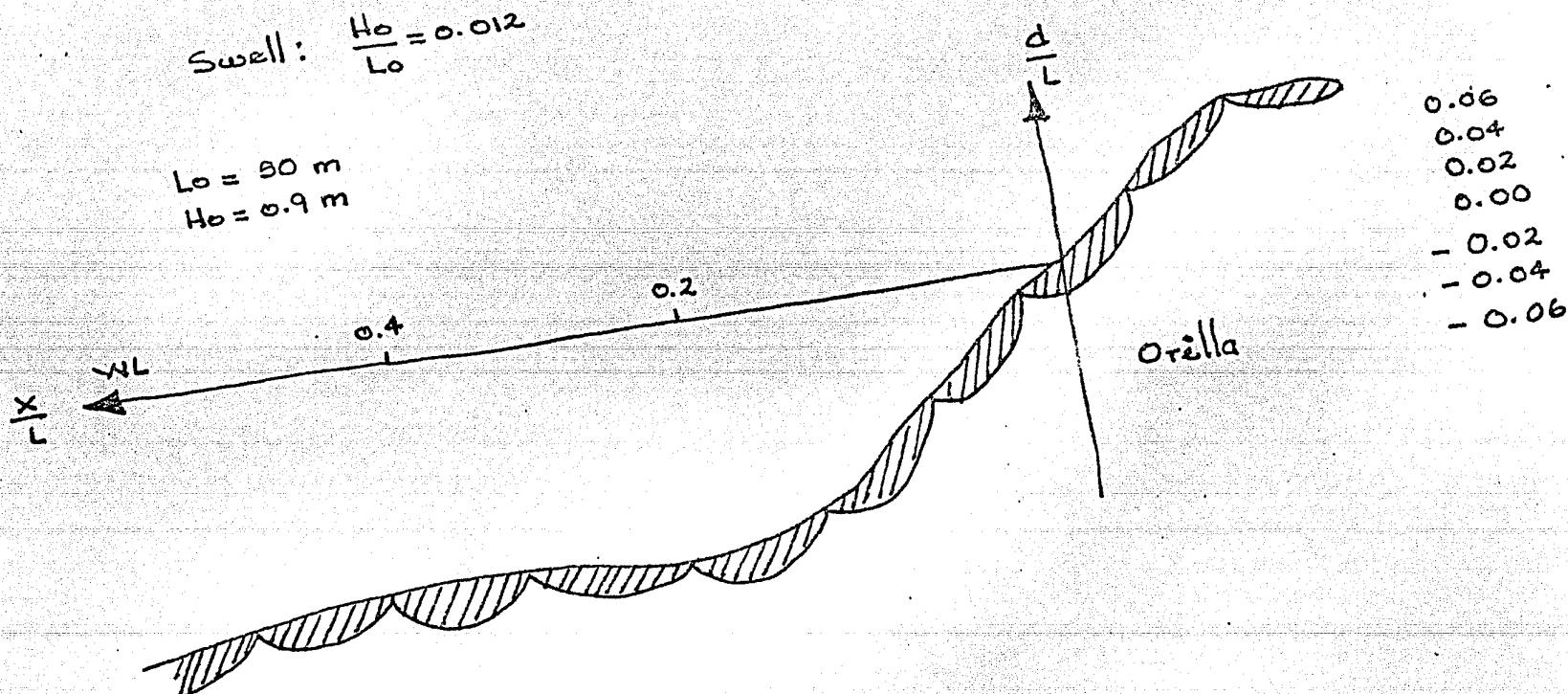


Figura 3.1.c Perfil de orilla B.R.

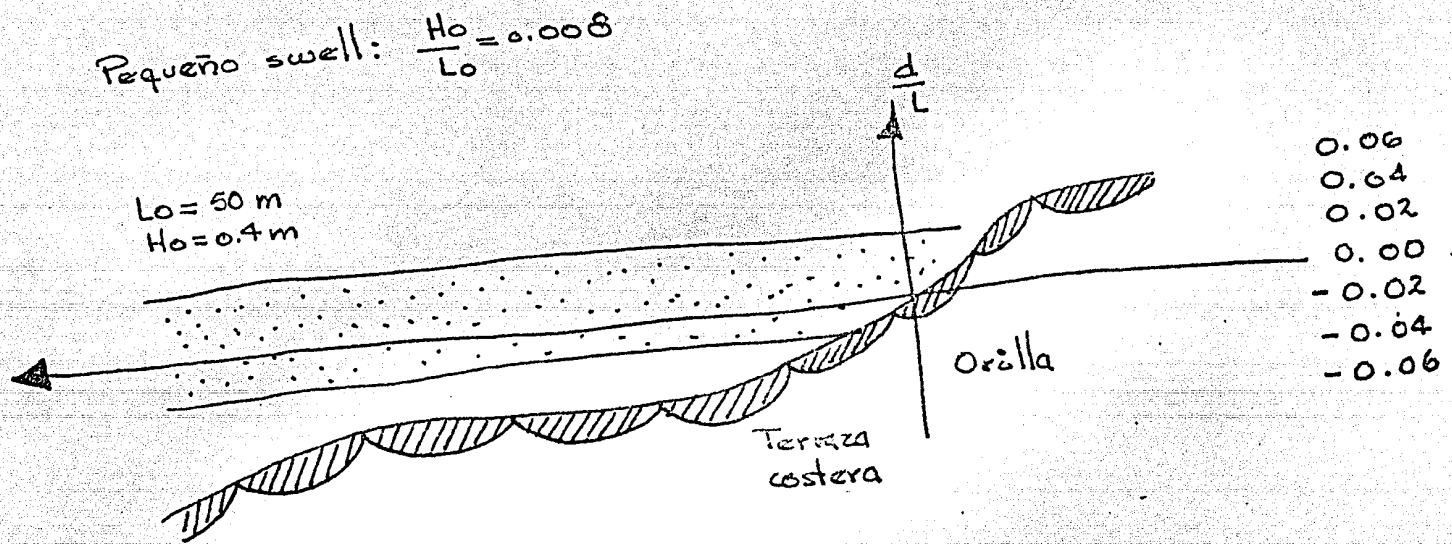
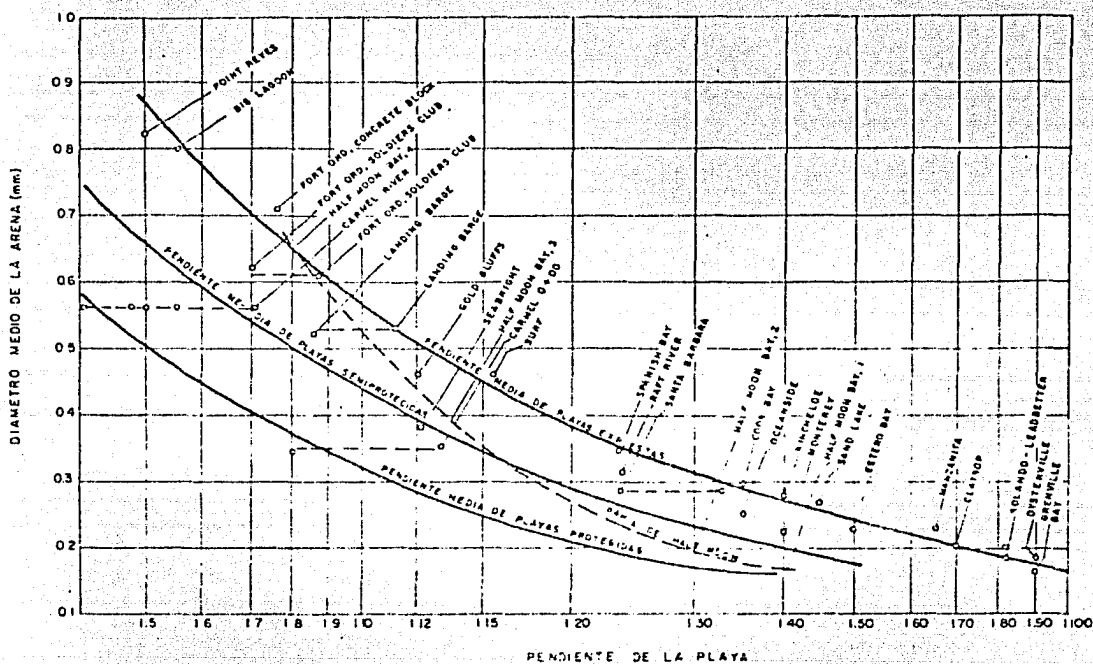


Figura 3.7.D Perfil de orilla BR terraza costera.



La Figura muestra la relación, obtenida en las playas de la Costa del Pacífico. En ella se distinguen tres casos, según el grado de exposición de la playa frente al oleaje.

V. FORMAS DE CUANTIFICARSE EN CAMPO Y CRITERIOS EMPIRICOS.

La determinación del movimiento de los sólidos sujetos a los factores hidráulicos que influyen en la costa es sumamente compleja y difícil, razón por la cual se han ideado métodos acorde con la técnica actual que permitan aunque sea en forma cualitativa establecer la relación mecánica-hidráulica del movimiento de los sólidos.

De acuerdo con lo anterior, para una determinación o estudio de los sólidos que contiene el agua, ya sea, en suspensión o arrastrados, se deben de estudiar simultáneamente las mareas, oleaje, niveles de río, corrientes y densidades, cuyas acciones combinadas determinan el movimiento del sedimento, cuya granulometría está sujeta al transporte de cada sitio que se estudie.

Sin embargo dadas las limitaciones de los estudios teóricos, será necesario complementar éstos con estudios más prácticos y accesiblemente más válidos, para los fenómenos hidráulicos actuales y poder establecer conclusiones a futuro, que relacione la hidráulica con la mecánica de los cauces.

Para este efecto se deben ejecutar, durante un tiempo conveniente, estudios como los siguientes:

1. Levantamiento batimétrico periódico.
2. Medición de los niveles del agua, con observaciones continuas.
3. Medición de mareas.
4. Medición de corrientes, a diferentes profundidades.
5. Medición de temperaturas.

6. Medición de densidades.
7. Muestreo de materiales de fondo y en suspensión.
8. Compilación de los vientos.

Con los datos anteriores y empleando las teorías más modernas podemos evaluar en una forma más completa el fenómeno del transporte del sedimento.

METODOS DE CUANTIFICACION DEL TRANSPORTE LITORAL EN CAMPO

Los métodos de campo para la evaluación del transporte litoral, consisten en mediciones directas que proporcionen la cantidad de material que es transportada por el fondo de la playa y la que es transportada por suspensión. La necesidad de efectuar estas mediciones se debe a las diferencias numéricas que hay cuando se aplican las fórmulas empíricas a sitios diferentes de donde se obtuvieron puesto que los materiales son diferentes, ya que intervienen los efectos locales como batimetrías, rocas, etc., las cuales se deben tomar en cuenta. Por otra parte, las mediciones directas son indispensables cuando se desea conocer mejor la forma como son arrestrados los granos, obtener datos para el desarrollo de ecuaciones de arrastre y cuando se desean mejorar o probar equipos de medición. Además, en muchos sitios no hay datos de oleaje y corrientes que permitan valorar cualitativamente el arrastre y por lo tanto conviene hacer la medición directa.

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

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

Los objetivos principales de estas mediciones son:

- a) Comparar la utilidad de fórmulas existentes para conocer su rango de aplicación en el sitio, y en caso que los resultados no fueran satisfactorios, tratar de corregirlas mediante coeficientes, o bien, desarrollar una nueva expresión.
- b) Completar la calibración de un modelo físico o de un matemático que representen la zona en estudio. Con estos modelos se puede predecir el comportamiento probable de la zona en la que se construye una obra.
- c) Obtener en un ciclo completo de mediciones (un año mínimo), la distribución de gastos sólidos, gráficas con curvas de igual concentración de material en suspensión y curvas de igual velocidad de corrientes a lo largo de un perfil perpendicular a la costa; conociendo además, el intervalo de tiempo durante el cual prevalecen esas mismas condiciones.

1. ESPIGONES DE PRUEBA.

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

Los Espigones, aunque en el campo no se construyen completamente impermeables, se puede lograr que casi sean impermeables en un corto tiempo, ya que los orificios del Espigón se obstruyen con los primeros granos de arena que llegan. La altura debe ser tal, que garantice que el material no pase por arriba de él, aún con tormentas.

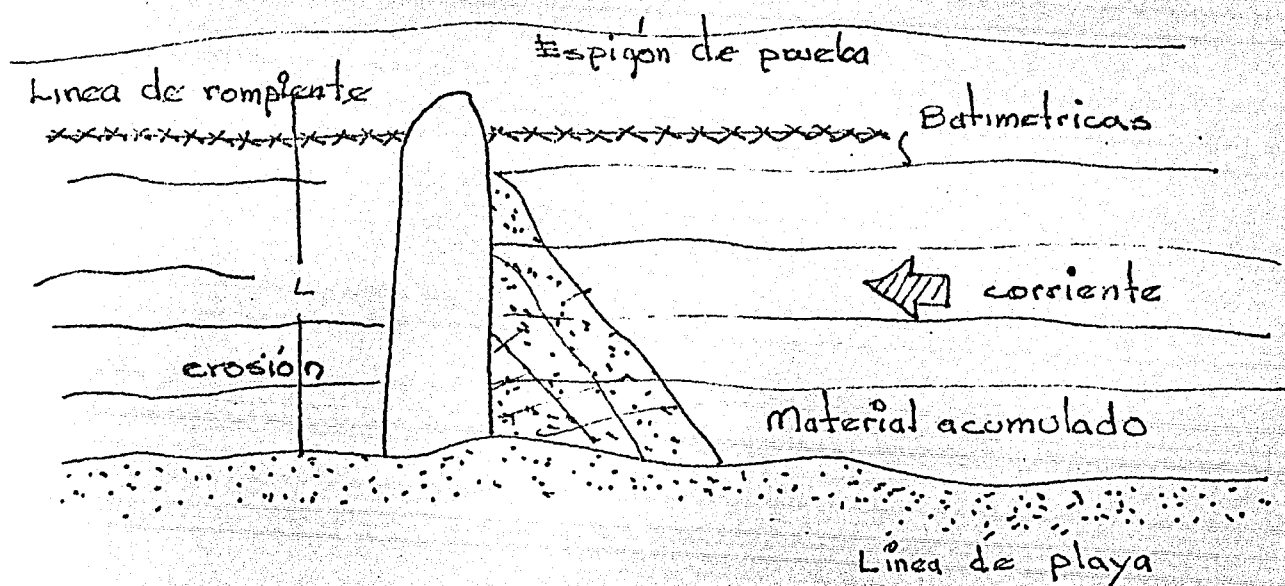
La longitud comprende tanto de la línea de costa hacia el mar adentro como hacia tierra, y con ella se debe garantizar que el material no pase por ninguno de sus extremos. La longitud hacia el mar debe abarcar toda la zona de rompientes y la longitud hacia tierra depende del tipo de costa.

La obtención de las batimetrías se hace generalmente del lado del Espigón donde se acumula material, aunque en ocasiones, se hace en ambos lados. Una vez obtenidas las batimetrías, por comparación de volumen, se obtienen grandes cantidades de material acumulado de un lado y erosionado del otro.

Estas batimetrías se obtienen mensualmente, quincenalmente o por días, dependiendo de la exactitud requerida y de la variación estacional del perfil (esto es, la intensidad del transporte litoral).

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

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



Espigón de prueba

2. DRAGADO DE PRUEBA.

Este método es análogo del anterior ya que la barrera artificial la constituye una tasa en el fondo.

Este método tiene más desventajas que el anterior cuando se aplica en playas, pues a la fosa le llega arena de todas direcciones.

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

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

3. TRAMPAS DE ARENA.

Las Trampas de Arena son dispositivos en los que se trata de obtener una muestra que representa las características del transporte litoral sin que éste se vea afectado por la presencia de las mismas.

Existen trampas para material en suspensión y para material del fondo y su efectividad dependerá de la eficiencia de la captura, sin alterar las condiciones existentes.

Las trampas para material de fondo consisten principalmente de un recipiente enterrando en el fondo, mientras que las trampas para material en suspensión se colocan entre el fondo y la superficie libre.

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

Existen muchos diseños diferentes de Trampas de Arena para materiales que son arrastrados en el fondo. Las que han sido utilizadas en el Instituto de Ingeniería, consisten en recipientes circulares con capacidad aproximada de 200 lts., los cuales van enterrados a lo largo de la línea perpendicular a la playa, separados a una distancia constante entre 10 a 100 mts., dependiendo del perfil playero. Una vez enterrados se deja abierta la cara superior, la cual queda ligeramente abajo del fondo de la playa. En la Trampa se garantiza que el material atrapado corresponde a una muestra representativa del transporte litoral.

Si por el contrario, el material puede salir, formando parte del material en suspensión, el material atrapado corresponde a una muestra del arrastrado por el fondo.

El método de muestreo consiste en tomar el tiempo que falta en llenarse cada Trampa, o en estimar el volumen de arena atrapado en diferentes intervalos de tiempo. En forma independiente es necesario observar la dirección predominante de donde viene el material. Conociendo el volumen depositado, el tiempo transcurrido y la dirección de donde el material proviene, se obtiene el gasto sólido, ya sea el total o el de fondo, que se pueden asociar a unas determinadas condiciones oceánicas. Al estudiar los volúmenes, almacenados, en todas las trampas de una sección se conocerá el gasto a todo lo ancho de la playa.

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

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

Estos tipos de muestreadores son los siguientes:

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

Muestreador tipo Bambú

Esta clase de trampas son recipientes cerrados por arriba y por abajo, cuentan con dos aberturas laterales, una de entrada y una de salida (Ver Fig. 4.1a). Se colocan postes a lo largo de líneas perpendiculares a la costa y sobre cada uno se instalan los muestreadores a diferentes alturas o profundidades. Su orientación es tal, que las trampas se sitúan en planos verticales imaginarios, perpendiculares a la costa. Al material obtenido, en estas trampas se les obtiene su granulometría (diámetro

medio) y se pesa, conocido el tiempo de operación de la trampa, se trazan en planos de curvas de igual cantidad de material atrapado (en peso), curvas de igual diámetro medio, de igual tiempo de sedimentación e indirectamente de igual concentración media. En forma independiente se mide la velocidad y dirección de la corriente litoral, con lo que se obtiene el transporte en suspensión.

Como ejemplo se tiene que en 1957 y 1958 en la costa sur de Hokkaido, Sapporo (Japón); Hisao Fokushima y Mazakazo Kashiwami, llevaron a cabo estas experiencias utilizando como trampas cañas de bambú. De los datos obtenidos dibujaron gráficas de peso de material de un mismo diámetro contra la altura sobre el fondo en que se atrapó la muestra (Fig. 4.2a). Observaron que cada punto de una vertical, contiene varios diámetros de arena, en una proporción similar a los demás puntos. También dibujaron gráficas de cantidades de arenas atrapadas (en peso) contra una altura de colocación (Ver Fig. 4.2b).

Construyeron y dibujaron además gráficas y perfiles de distribución lateral de cantidad total de material atrapado (en peso) (Ver Fig. 4.2 c y d) en cada punto y cada vertical, de lo cual se dedujo que la suma total de sedimento en cada vertical decrece geométricamente con la distancia desde la línea de la playa.

Posteriormente estos mismos investigadores realizaron para un tipo específico de muestreador de bambú, (Fig. 4.1a) la cantidad de material en suspensión atrapado, para así poder determinar peso del material que por unidad de tiempo es transportado y detenido. Implícitamente tomaron en cuenta los factores que intervienen y son:

a) Concentración de material de suspensión.

gráficas de calibración, se obtiene u y $g(u)$ que sustituido en una de las primeras fórmulas da: $Co = sf/A g(u)$ (concentración)

de donde:

$Si = CoAu$ C peso del material por unidad del tiempo

Multiplicando Si por el tiempo en que se supone reinaron las condiciones medias del experimento, se obtiene el peso del material en suspensión que fue arrastrado en ese intervalo.

Notación:

a: Altura de la abertura de la trampa.

b: Ancho de la abertura de la trampa.

A: Area de la abertura de la trampa.

D: Diámetro del tubo de la trampa.

E: Coeficiente de "austauch"

u: Velocidad media del agua dentro de la trampa.

U: Velocidad del agua en la zona donde se encuentra la trampa.

W: Velocidad de caída de las partículas.

Co: Cantidad de material en suspensión en peso que pasa a través de la trampa por unidad de tiempo.

Sf: Cantidad de material atrapado en peso.

$F = sf/si$: Eficiencia de captura de la trampa.

Si: Cantidad de material en peso que entra en la trampa.

MUESTREO DIRECTO CON RECIPIENTES VAN DORN

Estos recipientes tienen las siguientes características - (Fig. 4.3): Son cilíndricos (sin tapa en sus extremos) de 10 cm de diámetro y 23 cm de largo, constituidos generalmente de material transparente. En cada extremo tiene dos válvulas de hule - en forma de campana, unidas entre sí por una liga axial al eje del tubo. Al accionar un disparador se sueltan y cierran instan

táneamente los extremos del tubo.

Su funcionamiento es el siguiente: Se estira la liga que une a ambas válvulas y se traban los empaques en el seguro. - Se lleva el recipiente a la zona que se va a muestrear y se baja hasta la profundidad deseada. Con otro hilo se le da un jalón que destraba el seguro, la liga se contrae y jala a los empaques que obturan los extremos del cilindro. Se saca el muestreador a la superficie y se le extrae la muestra de agua que se envasa cuidadosamente en otro recipiente.

Después se mide el volumen de agua muestreado y se filtra, de tal forma que directamente del campo se manda al laboratorio sólo la cantidad de material que estaba en la masa del líquido.

La operación de filtrado y el evitar el manejo y transporte de toda la muestra de agua, evita que ésta sufra alteraciones. El peso del papel filtro seco (0.00022 gr) no influye en el peso del sedimento, ya que es mucho menor de lo que puede registrar la mínima graduación de cualquier balanza.

Con este muestreo se obtiene una concentración instantánea para más condiciones específicas, la cual se asocia a la velocidad de las corrientes medida durante el muestreo. Conocida la concentración directa en varias profundidades y a lo largo de una sección se obtiene el transporte del material en suspensión, asociado a una característica de oleaje conocido.

MUESTREO DIRECTO POR MEDIO DE TUBERIAS:

El muestreador ideado en el Instituto de Ingeniería consiste en una serie de tubos colocados horizontalmente en una vertical, uno de sus extremos está libre y el otro tiene una válvula y se comunican a un tubo común que llega hasta una bomba colocada en la playa. De la bomba sale un tubo hacia un recipiente --

(200 lts, aproximadamente) que en el fondo tiene una tolva que cuenta en la parte inferior con un tubo transparente e intercambiable, que es donde se deposita y recoge el material en suspensión tomando por cada tubo (Fig. 4.4).

La prueba consiste en succionar primero por un tubo, esperar unos segundos y luego llenar el primer recipiente sin que se llegue a derramar. Se retira el primer recipiente transparente y se coloca otro.

Se selecciona ahora el segundo tubo de succión y se repite la operación para cada uno de los tubos. En esta forma es posible obtener el material que hay en suspensión a diferentes alturas; es decir frente a la boca de cada tubo horizontal.

Al conocer el peso de la muestra de agua y el peso del material atrapado, se conoce la concentración media en ese intervalo de tiempo, para unas condiciones oceánicas determinadas. Este experimento no se ha realizado bien en el campo, pero se cree que dará muy buenos resultados si se lleva a cabo con todo cuidado. Tiene la ventaja de que el dispositivo puede colocar muy cerca de la zona de rompiente.

4. TRAZADORES

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

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

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

de puertos, en desembocaduras de ríos y para conocer las trayectorias alrededor de la zona en estudio.

En estudios de este tipo interesa conocer: ¿De dónde viene el sedimento?, ¿Por dónde pasa?, ¿A dónde va?, y ¿En dónde se deposita?

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

- a) Trazadores fluorescentes.
- b) Trazadores radioactivos.

A) TRAZADORES FLUORESCENTES:

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

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

Antes de hacer la prueba se toma arena de los sitios donde se va a depositar, la cual, es marcada. El inicio de la prueba principia con un muestreo simultáneo en todos los puntos fijos, inmediatamente después, se inicia la inyección del material marcado, luego se efectúan muestreos simultáneos en todos los puntos a intervalos de tiempo prefijados de antemano, pudiendo ser a los 5, 10, 20 y 30 min., 2, 4, 6 y 24 hrs., etc., después de la inyección.

Los intervalos de muestreo se escogen dependiendo de las condiciones de corriente y de oleaje en el sitio. Si la corriente litoral es "fuerte", los muestreos se hacen más seguidos y

las secciones de muestreo se separan.

B) TRAZADORES RADIOACTIVOS:

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

Descripción de un muestreo:

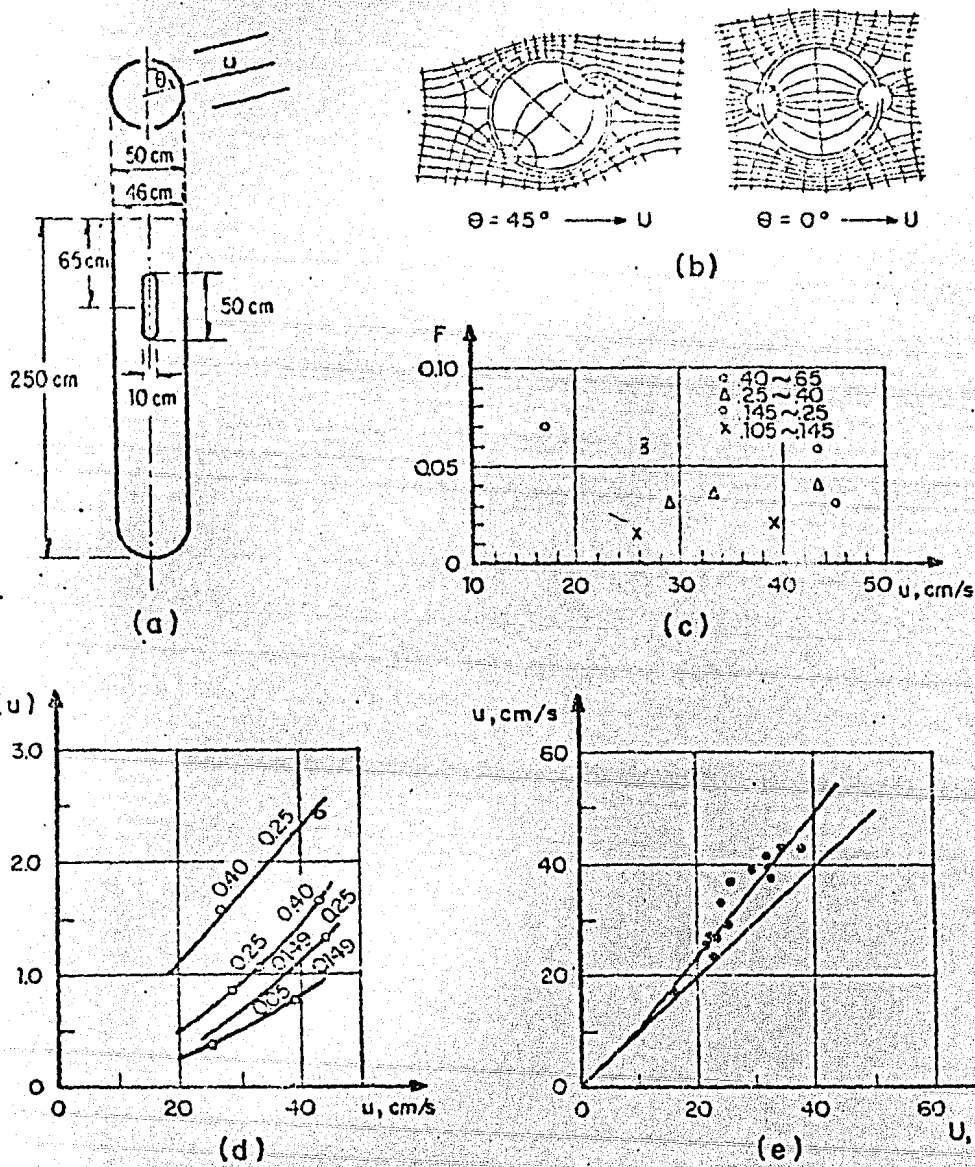
En el fondo del mar se hace una inyección puntual de material radioactivo; un cierto tiempo después se efectúa un muestreo en la zona con un contador de actividad radioactiva, que completada en su ubicación con base en el apoyo terrestre, permite obtener curvas de isoconteo, las que al dibujarse darán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

Precauciones que se deben tomar:

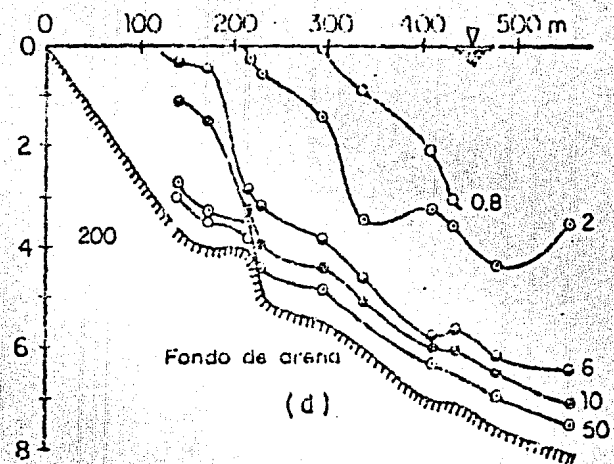
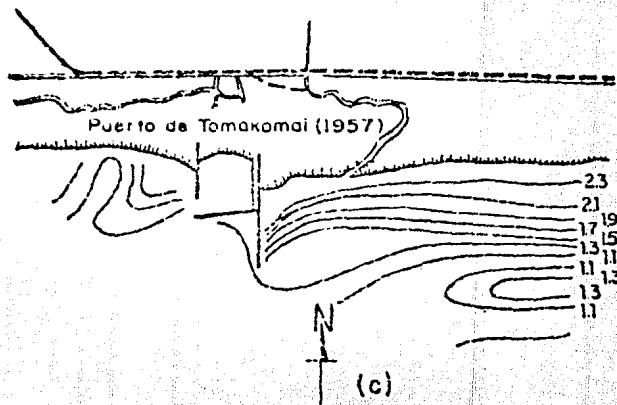
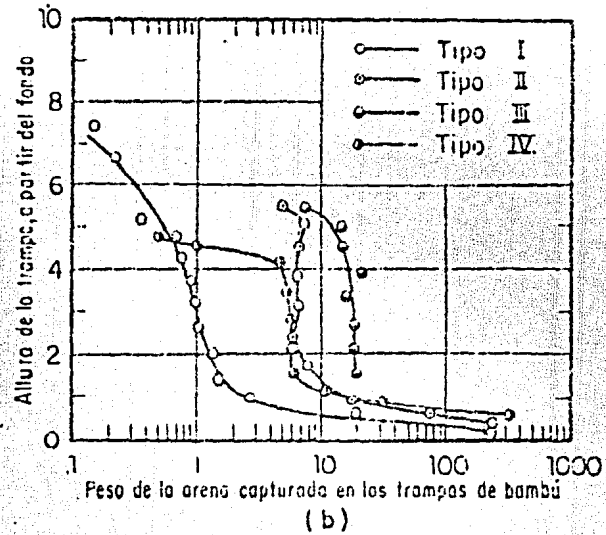
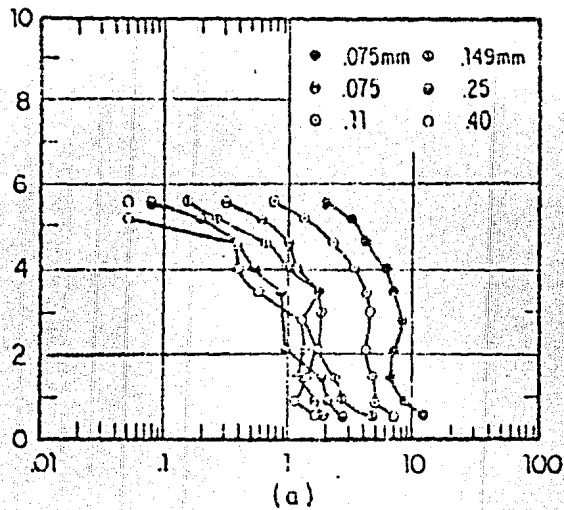
- a) Limitar la cantidad del material radioactivo en el medio ambiente en que se va a trabajar, de tal forma que no se exceda el límite máximo admisible de radiación.
- b) Proteger cuidadosamente el material radioactivo en su manejo, transportación y colocación para cuidar cualquier derrame de dicho material.
- c) Garantizar la seguridad del personal que intervendrá en el experimento, monitores portátiles de radiación, dosímetros individuales, ropa de protección adecuada, herramientas, - equipo para instrumentos contaminados y de descontaminación (jabón, detergente, cepillos suaves, etc.)

Ventajas y desventajas de los Trazadores Radioactivos y -
Flourescentes:

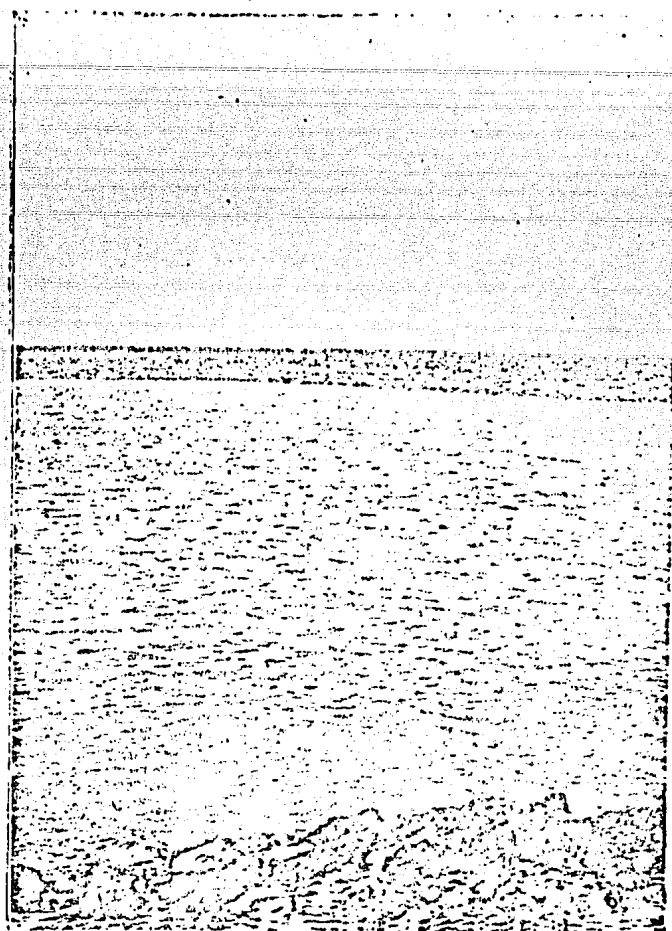
1. Con los Trazadores Radioactivos se conoce de inmediato si se está muestreando en la zona donde se mueve el material marcado. En los fluoescntes el muestreo se efectúa, a - "Ciegas".
2. A los Trazadores Fluorescentes se les quita algo del material marcado durante las operaciones de muestreo y manejo de la muestra, con los radioactivos no ocurre eso.
3. Es más fácil y menos peligroso producir Trazadores Fluorescentes que los radioactivos, ya que éstos últimos requieren instalaciones especiales y medidas extremas de seguridad.
4. Se puede disponer en cualquier momento de Trazadores Fluorescentes mientras que con los radioactivos se depende de la Comisión de Energía Nuclear; además, si los Trazadores son entregados oportunamente, se deben de utilizar de inmediato, lo cual a veces no es posible por existir tormentas en el sitio de muestreo.
5. Los Trazadores Fluorescentes son menos costosos que los radioactivos.
6. El transporte a inyección de los Trazadores Fluorescentes no presentan problemas en comparación con los radioactivos que requieren de muchas precauciones.
7. La durabilidad o tiempo de vida está más controlado en los Trazadores Radioactivos.
8. El análisis del muestreo es directo en los Trazadores Radioactivos, la parte más compleja en un estudio de Trazadores Fluorescentes en su conteo.



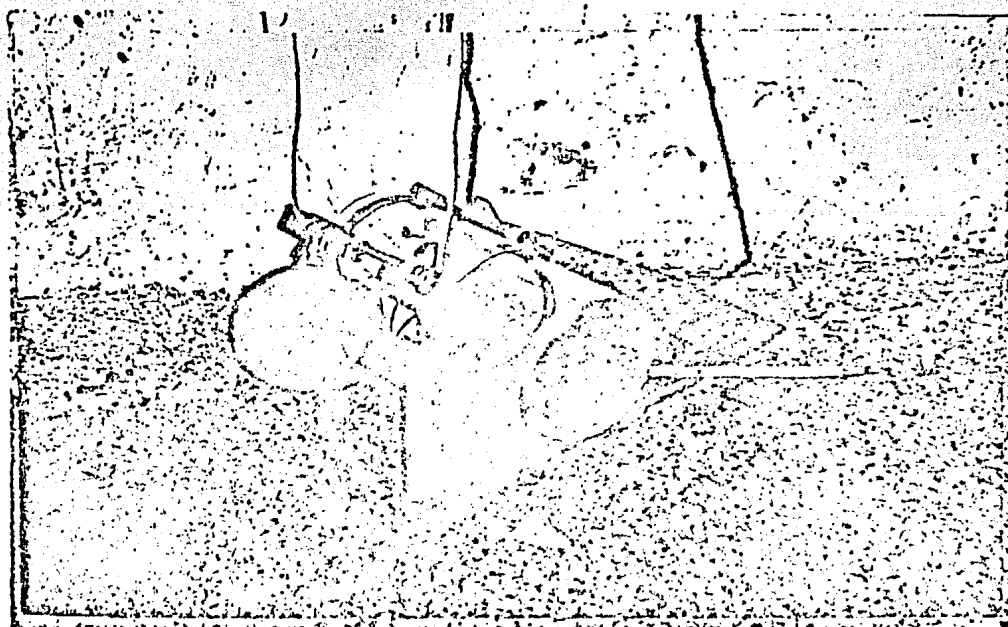
4.1
 Fig 4.1 Descripción del mustreador Bambú y gráficas de calibración

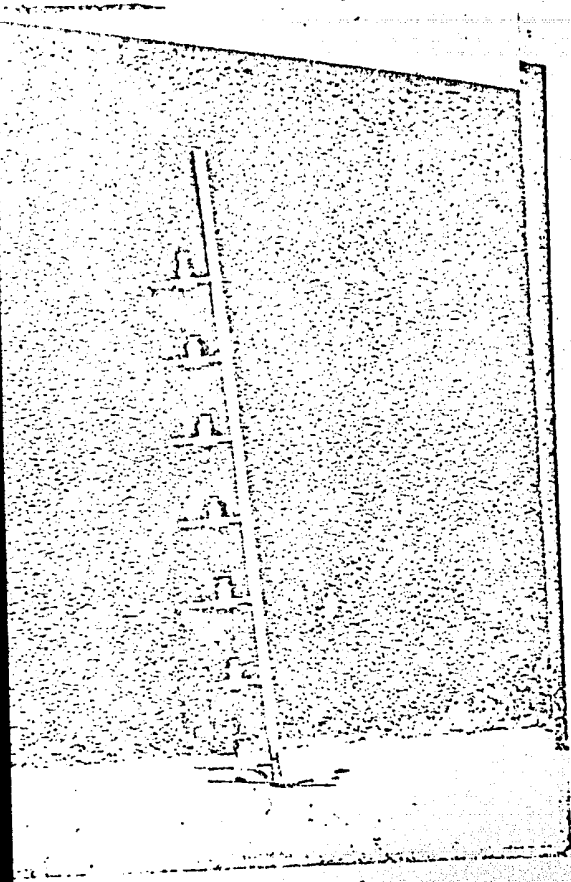


4.2
 Fig. 4.2 Ejemplo de la información obtenida con el mustreador Bambú

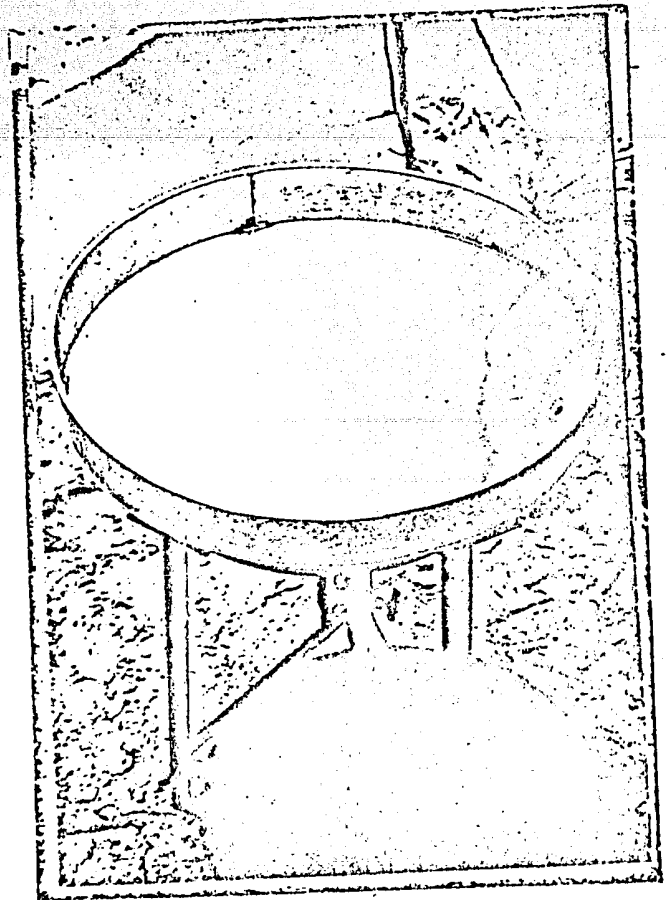


a) Zona de muestreo





a) Tubería para extraer material en suspensión



b) Recipiente para captar el material

9. La aproximación de los resultados depende de la persona que calibre el contador de radioactividad o de la dificultad o facilidad del ojo humano para ver determinados colores fluorescentes.
10. Los Trazadores Fluorescentes son mejores en áreas pequeñas, para grandes extensiones es conveniente usar Trazadores Radioactivos.

Métodos de cuantificación del transporte litoral en base a criterios empíricos.

Como resultado de la acción de oleaje en una playa y de las corrientes que éste origina, se presenta el movimiento del material ya sea en suspensión o en fondo. Es importante valuar el transporte litoral para tomar en cuenta alteraciones al equilibrio costero que produce la construcción de una obra marítima, tal como una escollera.

La cuantificación del transporte litoral, es de suma importancia en el análisis de la comunicación entre una laguna litoral y el mar, ya que de este depende la vida útil de las estructuras de protección.

Para hacer la cuantificación del arrastre litoral, últimamente se han propuesto numerosas fórmulas, algunas de estas expresiones se han obtenido de observaciones en un solo sitio y solo para materiales existentes en esa zona, por lo que solo sirven para el sitio en que fueron obtenidas.

Para el estudio del acarreo litoral en las costas habrá que considerar los siguientes puntos:

- a) Origen y características de los materiales componentes.
- b) Formas y dirección del transporte litoral.

c) Relación entre el abastecimiento y el acarreo del material.

Las fuentes principales de abastecimiento de material para cualquier segmento de playa son:

- a) El material que se mueve dentro del área debido al transporte litoral de playas adyacentes.
- b) El material acarreado por las corrientes terrestres (ríos, arroyos, esteros, etc.)
- c) Contribución por la erosión de formaciones costeras.

En vista de que las diferencias que se tienen al aplicar las fórmulas existentes para valuar el transporte litoral, generalmente son grandes, es conveniente efectuar mediciones directas en el sitio para el cual se requiere obtener la dirección y cuantificación del transporte litoral, con el fin de poder seleccionar las fórmulas empíricas más idóneas para ser aplicadas en el sitio y poder efectuar un balance adecuado.

En la actualidad, existen diversas teorías resultado de las mediciones en campo y en el laboratorio, de las cuales enunciaremos las más aceptadas en la práctica ingenieril:

I. Fórmulas que toman en cuenta únicamente la energía del oleaje.

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

$$Q_s = KE^a$$

así se tienen las expresiones como las siguientes:

1. Fórmula de Cadwell

$$Q_s = 210 E_i^{0.8}$$

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

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

$$Q_s = 125 E_a$$

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

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

$$E_i = \gamma H_o^2 K_r^2 L/8 \quad (\text{No. de olas por día}) \sin \alpha \cos \alpha$$

donde α : ángulo de incidencia

K_r : coeficiente de refracción.

$$E_a = \frac{E_0}{2 \cdot 10^6} (\text{No. de olas por día}) K r^2 \sin \alpha \cos \alpha$$

Recientemente el CERC publicó en el manual de protección de costas (1973) una nueva fórmula deducida del análisis de la información utilizada en la ecuación original.

El método está basado en la hipótesis de que el transporte Q es directamente proporcional a la componente paralela a la costa del flujo de la energía en la zona de rompimiento -- "surf". Esta componente se calcula por el principio de la conservación de la energía en profundidades reducidas, usando la teoría de las ondas de pequeña amplitud y evaluando la relación del flujo con la posición de la línea de rotura.

El flujo de energía por unidad de longitud de cresta de onda, 0 , equivalentemente, la relación en la que la energía de la onda es transmitida a través de un plano de anchura unitaria perpendicular a la dirección de avance es:

$$P = E \cdot C_g = \frac{\rho_g}{8} H^2 \cdot C_g$$

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

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

y la componente longitudinal a lo largo de la playa:

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

$$\cos \alpha \sin \alpha = \frac{\rho_g}{8} H^2 \cdot C_g \sin 2\alpha$$

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

En la zona de rompientes "surf", tendremos:

$$P_{is} = \frac{\rho_0}{16} H_b^2 \sin 2\alpha_b (C_g)_b$$

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

$$P_{is} = \frac{\rho_0}{16} H_b^2 C \sin 2\alpha_b$$

donde H_b y α_b son la altura y la dirección en rotura, y C es la celeridad.

Según la teoría lineal:

$$C = \frac{8T}{2} \tan h \frac{2\pi d}{L}, \text{ que en profundidades reducidas se sim}$$

plifica a $C = \sqrt{gd}$

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

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

podremos poner el valor de P_{is} en la forma:

$$P_{is} = \frac{\rho_0}{64 \pi} T (H_o Kr)^2 \sin 2\alpha_b$$

siendo Kr el coeficiente de refracción.

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

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

Las figuras 5.1 y 5.2 permiten hallar la componente paralela a la orilla de la energía de acuerdo con los resultados anteriores. Para su elaboración se ha partido de la hipótesis de batimetría paralela y recta, y se ha utilizado la teoría lineal del oleaje hasta las rompientes.

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

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

Para conocer P_i , hay que tener en cuenta que este valor varía a medida que el oleaje se propaga por los fondos cercanos a la línea de Costa. En el cuadro siguiente se proponen varias expresiones que dan P_i a cualquier profundidad en función de las características del oleaje, dependiendo de cuales de estas últimas sean conocidas. Para ello se ha utilizado la teoría del oleaje de pequeña emplitud. El cuadro se refiere a una onda de período único.

- Eo Energía en Aguas Profundas,
 E Energía en el punto especificado.
 Ho Altura de ola en aguas profundas.
 H Altura de ola en el punto especificado.
 α Angulo en el punto especificado.
 α_0 Angulo en aguas profundas.
 Kr Coeficiente de refracción en el punto especificado.

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

- Cg Velocidad de grupo.
 Co Celeridad en aguas profundas.

Para poder usar Pi en los cálculos es necesario referirlo a la línea de rompientes Pis al que denominaremos "factor del flujo de energía"

A partir del cuadro anterior, se ha elaborado el siguiente en el que figuran expresiones aproximadas de Pis en la zona de rompientes. En ese cuadro las alturas de ola se refieren a $H \frac{1}{3}$, como se ha explicado antes. Se ha despreciado las pérdidas de energía del oleaje por rozamiento del fondo. La teoría de oleaje usada es la correspondiente a olas de pequeña amplitud. En cuanto al coeficiente de sobre elevación por efecto de la profundidad Ks ("shoaling coefficient") se admite que es igual al valor obtenido por observaciones en la rompiente.

$$Ks = \frac{KrHo}{Hb}$$

Recordemos que el "Coeficiente de Shoaling" mide la influencia del fondo sobre el valor de la altura de onda. Se puede decir que es el coeficiente por el que hay que multiplicar la altura de onda en profundidad indefinida para obtener la altura -

de onda en un punto de profundidad d , cuando la separación entre normales es constante. Este coeficiente es función exclusivamente, de la profundidad relativa.

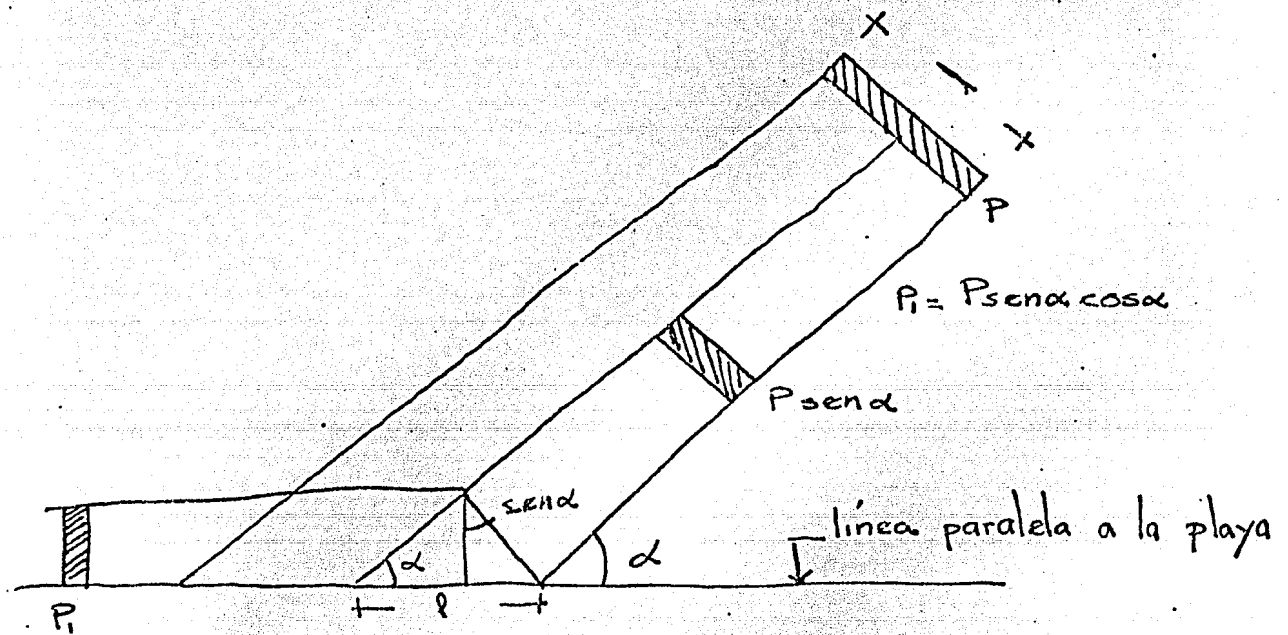
En el cálculo de altura de ola mediante diagramas de refracción, el coeficiente de "shoaling" es igual a la relación entre las celeridades de grupo en profundidad indefinida y en el punto que se considera. En el cálculo gráfico del diagrama de refracción de Irribaren, (planos de oleaje), no se tiene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

Como en el Cuadro 5.2, distintos conjuntos de datos de partida nos proporciona cuatro expresiones diferentes del valor Pis , en el Cuadro 5.3.

Al transformar la ecuación al sistema métrico, se tiene:

$$Q_s = 1.819 H_o^2 T K^2 \sin \alpha \cos \alpha$$

en donde Q_s está en $m^3/día$



Otros autores han obtenido fórmulas análogas a las anteriores; entre las que se pueden mencionar las debidas a:

Watts: $Q_s = 240 L^{0.9}$

(costa de Florida)

Lee: $Q_s = E L^{0.97}$

Para el lago Michigan

Bajorunas: $Q_s = 19 \text{ sen } \alpha_0 (1 - \exp(-0.23 L \cot \alpha_0)) E$

Para el lago Superior

FORMULAS QUE TOMAN EN CUENTA LA VELOCIDAD DE CORRIENTE

Cuando el oleaje se aproxima a la playa con un cierto ángulo de incidencia, produce una corriente a lo largo de la misma y cuya velocidad está correlacionada con la energía del oleaje.

La presencia de la corriente litoral es capaz por sí sola, sin la ayuda del oleaje que la generó, de arrastrar material en el fondo en suspensión, siendo este último levantado también del fondo. La concentración de este material en suspensión es aproximadamente constante con el tiempo, para cada punto dentro de la masa líquida.

La corriente litoral, como ya ha dicho al principio, es la que produce el transporte litoral y para valuarlo se utiliza cualquiera de las siguientes fórmulas, en las cuales se supone conocida la velocidad de las corrientes, ya sea por medición directa o por cálculo de la misma.

- A) Fórmulas de hidráulica fluvial, en las cuales no se toma en cuenta al material del fondo puesto en suspensión al paso de las olas, como puede ser la fórmula de Engelud, Bagnold, Meyer-Petar, etc.

Fórmula de Iiman y Bagnold

$$I_i = K' (Ecn)^b \cos \alpha_b \frac{v}{U_m}$$

El sistema de unidades puede ser cualquiera, ya que K' es adimensional e iguala 0.28 y está basada en:

- El movimiento orbital de las partículas (hacia adelante y hacia atrás) es producido por el oleaje, sin que éste produzca un arrastre neto.

- Una corriente superpuesta a lo dicho en el inciso anterior, es la que produce el arrastre neto.
- La energía de flujo disipada en poner la arena en movimiento, es proporcional al flujo de energía por longitud de playa y a la velocidad de fricción relativa al fondo en la zona de rompiente.
- La velocidad de fricción es proporcional a la componente horizontal máxima de la velocidad orbital cerca del fondo, justamente antes de romper la ola.

De la teoría de la onda senoidal

$$U_m = \frac{gH}{2C} \cos h \left(2 \pi \frac{d}{L} \right)$$

- E: Componente de la energía del oleaje incidente, paralela y por unidad de playa.
- Cn: Velocidad del grupo de olas.
- ECn: Flujo de la energía del oleaje en la zona de rompiente.
- D: Sub-índice que indica zona de rompientes.
- V: Velocidad de la corriente litoral.
- K: Angulo de incidencia del oleaje respecto a la playa.
- K': Factor de proporcionalidad.
- g: Aceleración de la gravedad.
- H: Altura de la ola en el punto de observación.
- C: Celeridad en onda.
- d: Profundidad en el punto de observación.
- L: Longitud de la ola en el punto de observación.

Método de Einstein Corregido

Este método propuesto propuesto por Bijker está basado en la expresión propuesta por Meyer-Peter para calcular el arrastre de fondo y para calcular el arrastre en suspensión toma en cuenta todas las ideas y ecuaciones propuestas por Einstein.

$$Q_s = Q_b (1 + I_1 \log \alpha (33 h/r) + I_2) B$$

en donde:

$$Q_b = 5D (MG/P) Y^2 \exp(-0.27 A D \mu) \quad (\mu = \frac{v}{v_{cr}})$$

$$\tau = (1 + \frac{1}{2} \frac{M_o}{V})^2 \tau_c$$

$$\tau_c = \frac{1}{2} \frac{v^2}{C^2}$$

$$\frac{1}{2} = 0.575 C$$

Q_s = transporte litoral total (m³/seg)

Q_b = transporte litoral de fondo (m³/seg)

la fórmula utilizada es la de Friglink

I_1, I_2 : Valor en función de Z y A se encuentra en la gráfica (6 ayb)

h : Profundidad (m)

r : Semialtura de los risos (m)

B : Ancho donde actúa la corriente litoral

D : Diámetro del material

μ : Coeficiente del rizo (ripple) que nos indica la parte del esfuerzo cortante total usado para transportar material.

τ : Esfuerzo cortante total, para condiciones de oleaje y corriente simultánea.

A : Densidad relativa

τ_c : Esfuerzo cortante debido a la corriente

$\frac{1}{2}$: Coeficiente teórico, determinado empíricamente a partir del coeficiente C de chezy (30 a 80)

M_o : Magnitud de la velocidad tanjencial de fondo

v : Velocidad de la corriente

K : Constante de Von Karman

- W: Velocidad de la caída de la partícula
- $Z = \frac{W}{K_y}$: Exponente para la distribución de concentraciones
- $V^* = (\tau_c / \rho)^{1/2}$: Velocidad del esfuerzo cortante
- A: $2 D / \bar{H}$: Relación entre la dimensión de la capa donde se produce el arrastre del fondo y el tirante

Estas tras últimas expresiones son utilizadas en forma idéntica por Einstein.

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

Con estas fórmulas se da un paso más en el intento de valuar adecuadamente el transporte litoral, puesto que se toma en cuenta las características del material de playa. Al igual que las fórmulas anteriores, cuantifican el transporte total sin hacer ninguna distinción sobre si el material se mueve en el fondo o en suspensión.

Fórmula de Iarras:

$$Q_s = K_g H^2 T \sin(7 \phi / 4)$$

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

El valor de K depende de la relación de esbeltez de la ola (H/i) y el diámetro del material, expresado en milímetros; H y L en metros y segundos y se obtiene con la siguiente expresión.

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

Fórmula de Castanho

$$Q_s = \frac{P t l}{\gamma V} \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma} \frac{s}{\tan \theta}$$

S: es la relación de la energía disipada entre la energía transmitida por el oleaje, depende de las características de la playa (pendiente m y rugosidad K) y de las condiciones de oleaje (esbeltes S y dirección de incidencia α)

$$S = 1.93 (1.07 E - E^2) \text{ sen } \alpha$$

$$E = 1.72 A + C \left((1.72A)^2 + 3.68 A \right)^{1/2}$$

Pt1 = Se calcula a partir

$$Pt1 = 2.2 \delta^{\wedge} H_b^3 \text{ sen } \alpha_b \text{ cos } \alpha_b / T \text{ para onda solitaria}$$

$$Pt1 = \left(\delta^{\wedge} / 16 \right) H_o^2 L_o \text{ sen } \alpha_o \text{ cos } \alpha_o / T \text{ para onda senoidal}$$

Pt1: Potencia del oleaje transmitida paralelamente a la playa (E./T)

s: coeficiente adimensional

E:

A: Relación en la dimensión de la capa donde se produce el arrastre del fondo y tirante

$\delta^{\wedge} v$: Peso volumétrico del sedimento (FL⁻²)

$\delta^{\wedge} s$: Peso específico del sedimento (TL⁻³)

δ^{\wedge} : Peso específico del agua (FL⁻³)

H_o: Altura de olas en aguas profundas

L_o: Longitud de olas en aguas profundas

Fórmula de Bonnefille y Pernecker

$$Q_s = K \frac{H_o / L_o}{2.75} D \frac{H_o^3}{T} \frac{f(\alpha)}{f(20^\circ)}$$

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

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

K: Depende de la relación de esbeltez y del diámetro medio del material en mm.

Fórmulas para determinar el espesor de la capa de arena que

participa en el movimiento.

Fórmula de Ingle

Según Ingle el espesor de dicha capa es:

$$e = 35 (D_{50}) - 0.0054$$

para $0.00015 \leq D_{50} \leq 0.00030$ m

Fórmula de Einstein

Según Einstein el espesor de dicha capa es:

$$e \approx 2 (D_{50})$$

TRANSPORTE LITORAL DE MATERIAL PROVOCADO POR OLEAJE Y CORRIENTES

FORMULAS EMPIRICAS DERIVADAS DE UN BALANCE DE LA ENERGIA.

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

En su forma más general, tal relación es:

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

donde:

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

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

A es una constante proporcional

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

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

$$E_a = E_o K_r^2 \sin \phi_b \cos \phi_b \quad (2)$$

donde:

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

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

K_r es el coeficiente de refacción.

De la teoría lineal del oleaje:

$$E_o = \frac{1}{16} \rho g H_o^2 C_o \quad (3)$$

donde:

ρ es la densidad del agua.

g es la aceleración de la gravedad.

H_o es la altura de la ola en aguas profundas.

C_o es la celeridad del oleaje en aguas profundas.

Sustituyendo las ecuaciones 2 y 3 en 1

$$S = 0.014 H_o^2 C_o K_r^2 \sin \phi_b \cos \phi_b$$

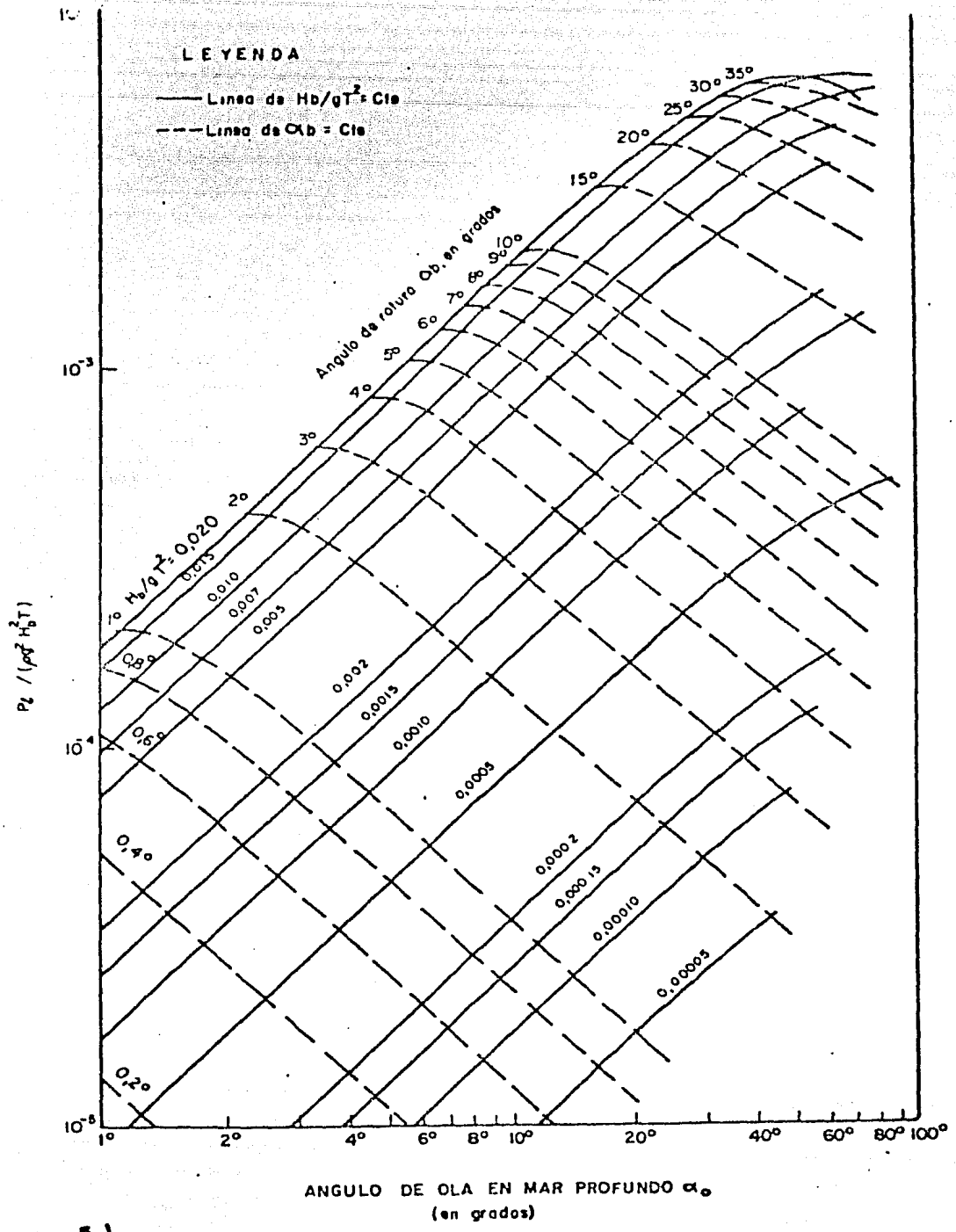
donde todas las constantes se han combinado y la constante A, evaluada con los datos del CERC. Convenientemente revela que el coeficiente 0.014 es adimensional.

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

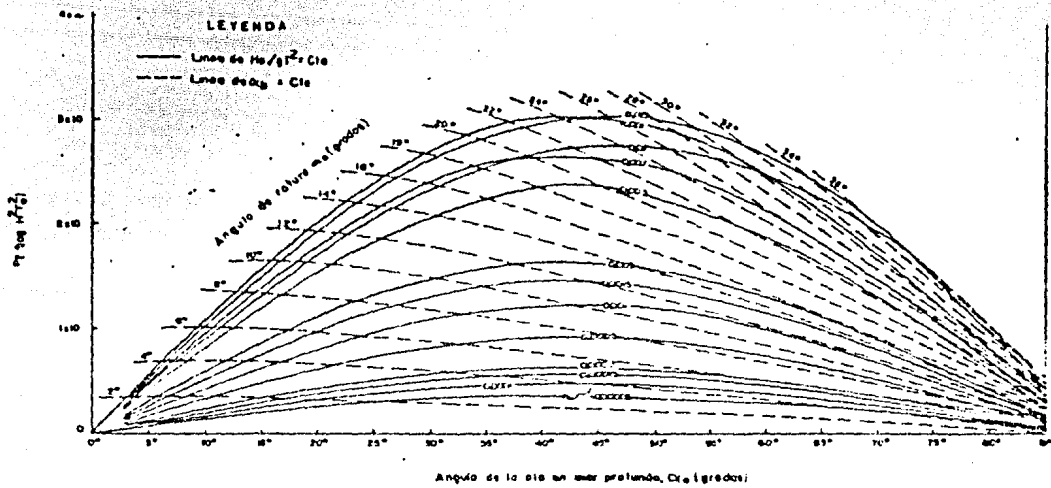
- a) Se calcula únicamente el total del transporte de material y no proporciona información sobre el perfil del transporte a lo largo de un eje perpendicular a la costa. Esta limitación resulta importante en costas con afluencia de varios bajos.
- b) Esta fórmula es independiente del tipo o tamaño del material del fondo. Esta fórmula es válida únicamente en playas con material similar al que se utilizó para su deducción, siendo éste, arena uniforme con diámetros de material entre 0.2 y 0.5 mm.
- c) No interviene en la ecuación la pendiente de la playa.
- d) Esta fórmula considera únicamente el transporte de material provocado por el oleaje. La influencia de corrientes no las contempla y esta limitación puede ser muy importante en deltas de ríos, por ejemplo.
- e) La fórmula no es aplicable en la cercanía de canales.

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

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



5-1
Fig. 5-1.- Componente a lo largo de la costa del flujo de energía del oleaje, en forma adimensional como función de las condiciones de rotura.



5.2.
Fig. 5.2.- Componente a lo largo de la costa del flujo de energía del oleaje como función de las condiciones de oleaje en mar profundo.

DATOS CONOCIDOS

VALOR DE P_1

d, T, H, α

$$2C_g \frac{1}{4} \bar{E} \sin 2\alpha$$

d, T, H_0, α_0

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

T, H_b, α_0, α

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

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

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

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

Nota: Este cuadro esta en unidades inglesas.

El subíndice "b" se refiere a las rompientes.

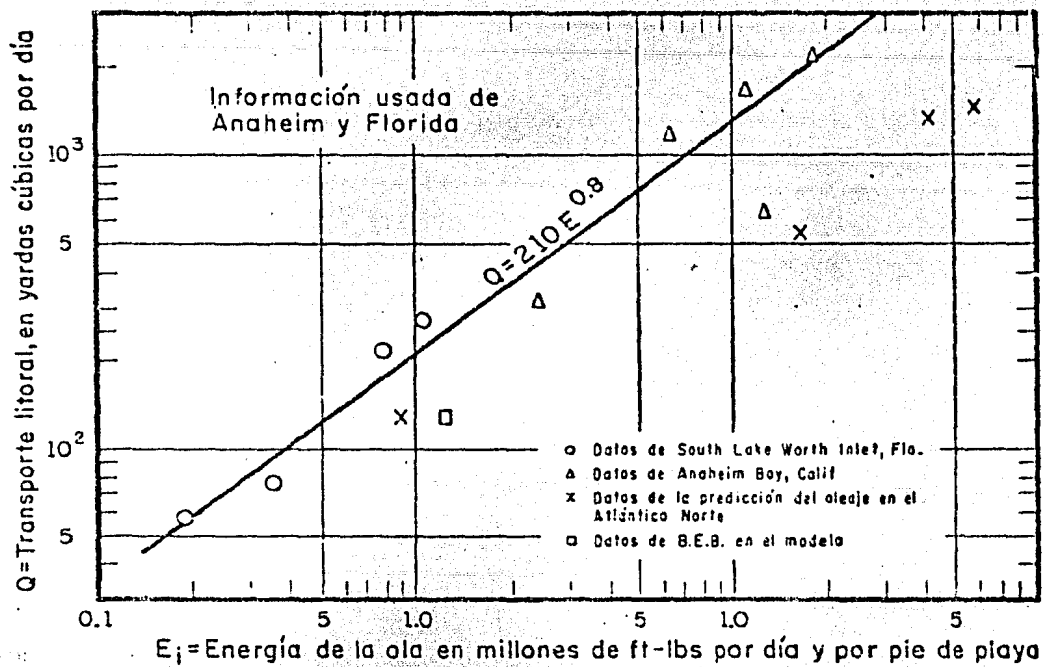
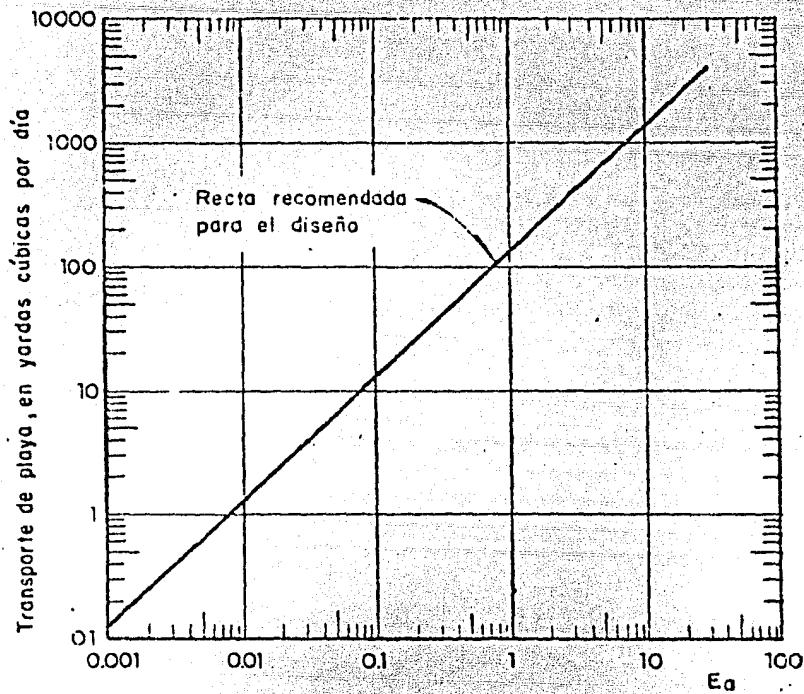


Fig 1 Relación del transporte litoral a la energía de la ola a lo largo de la costa (Cadwell)



E_a , componente de energía paralela a la playa en millones de pies x libra por día y por pie de playa

$$E_a = \frac{E_o}{2} (\text{número de olas al día}) (\sin \alpha \cos \alpha) K_r^2$$

E_o , energía de la ola en aguas profundas

$$E_o = \frac{\gamma H_o^2 L_o}{8}$$

α , ángulo entre el frente de ola y playa en la rompiente

K_r , coeficiente de refracción

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}}$$

b_o , distancia entre ortogonales contiguas en aguas profundas

b , distancia entre ortogonales contiguas en la rompiente

Fig 2 Relación entre la componente de energía paralela a la playa y el transporte de arena en la misma

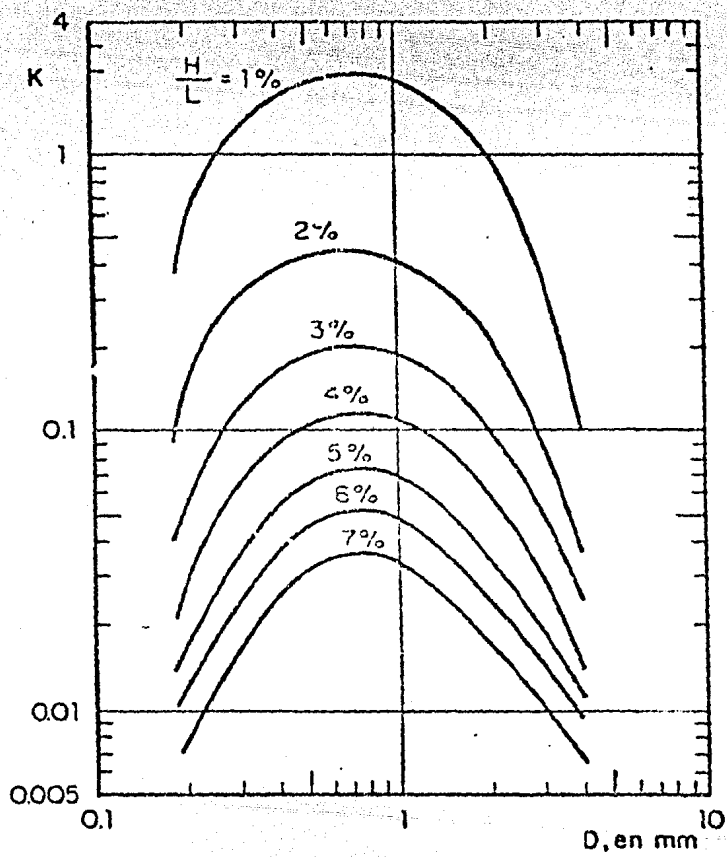


Fig 5 Factor K de la fórmula de Bonnefille y Pernecker, en función de la relación de esbeltez y del diámetro del material

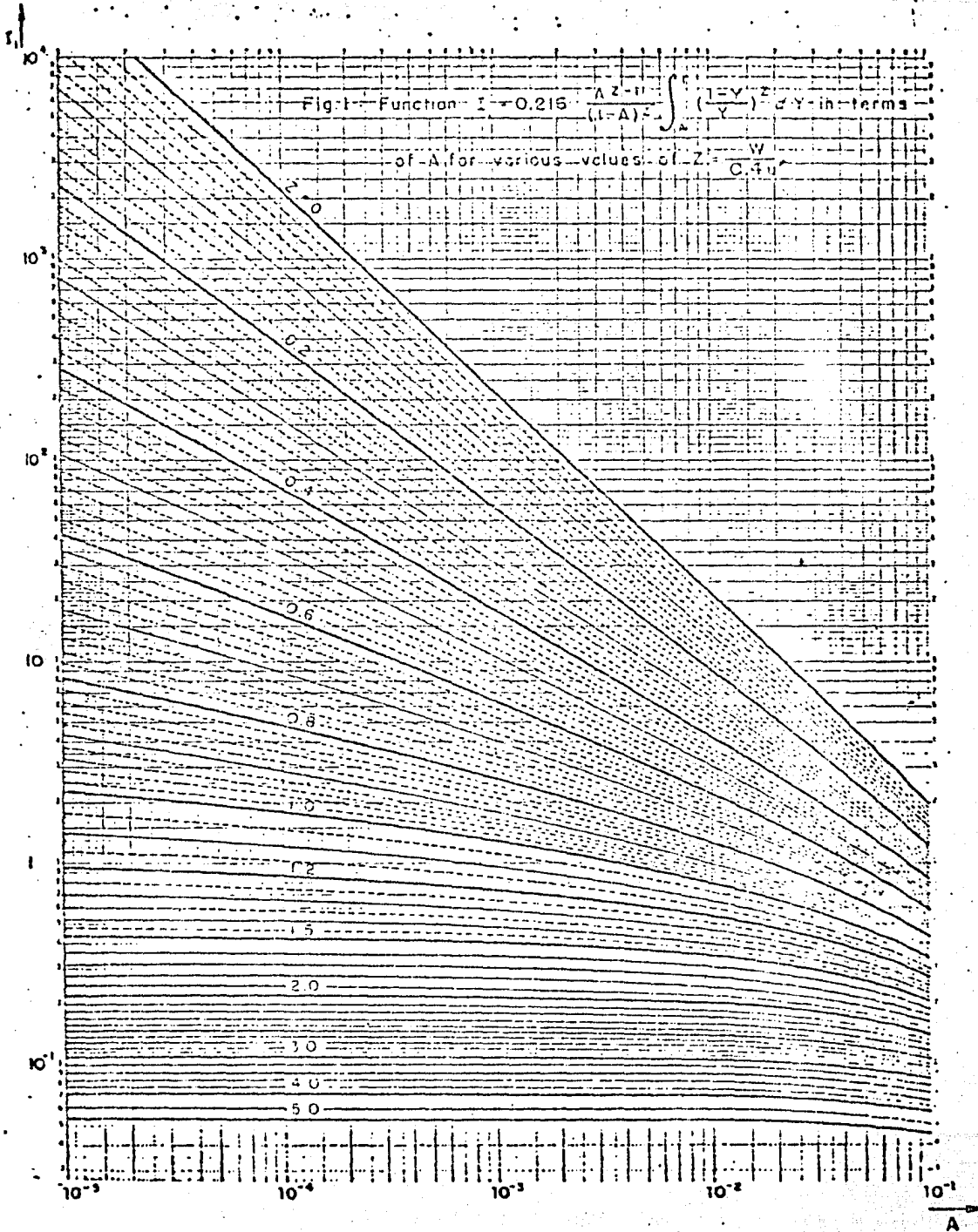


Fig. 6. a Valores de I_1 empleados en el método de Einstein

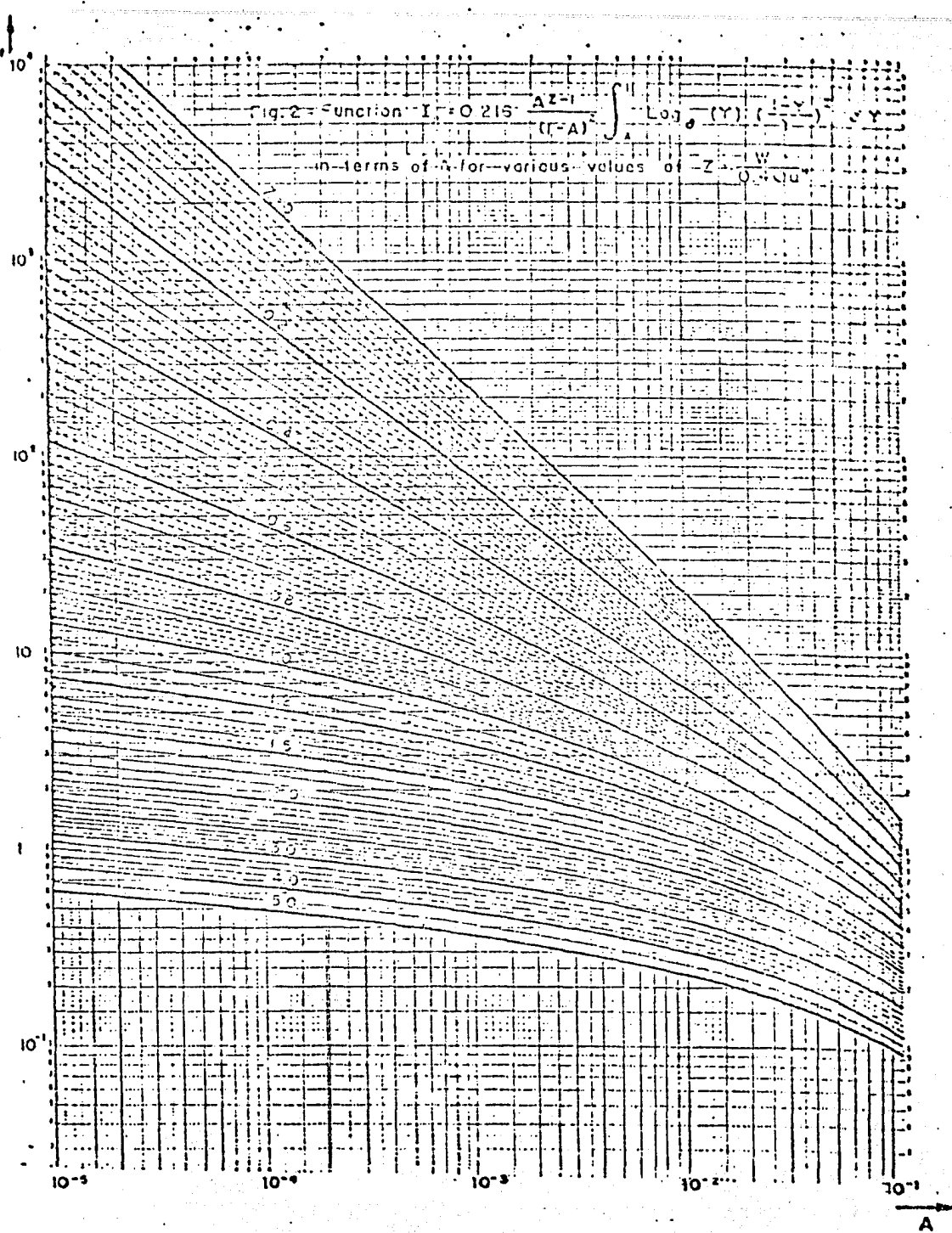


Fig 6 b Valores de I_2 empleados en el método de Einstein

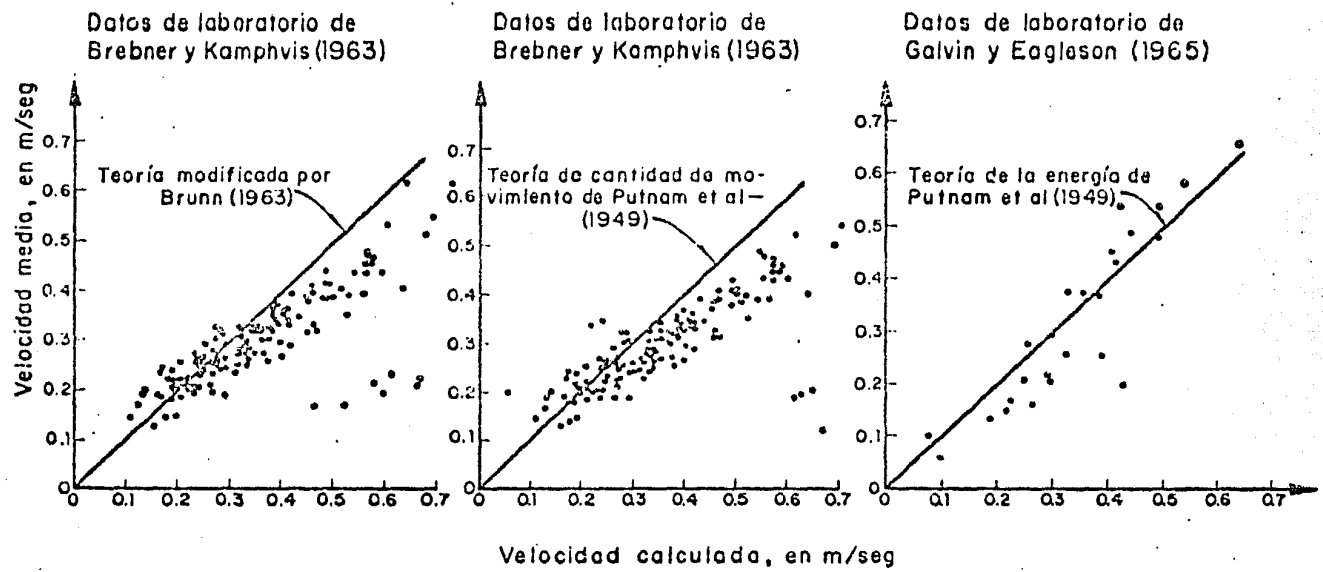
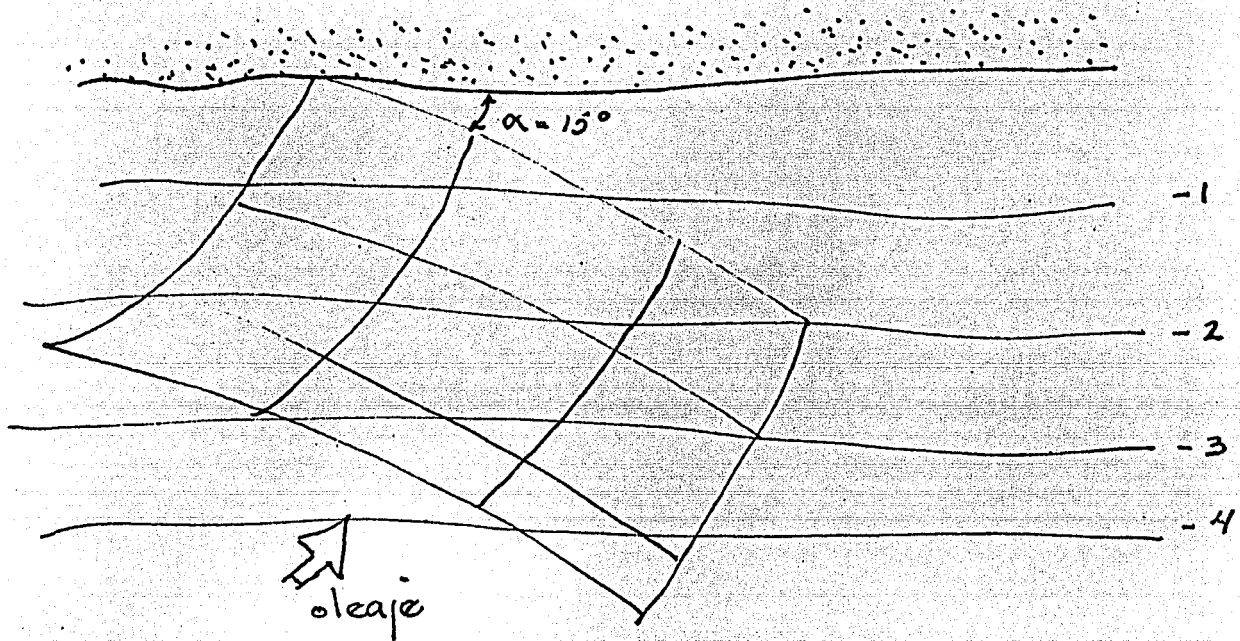


Fig 11 Ejemplos de diversas correlaciones entre la velocidad teórica y la calculada, presentada por Galvin

Como ejemplo comparativo de las aplicaciones de las fórmulas de transporte y los diferentes estados obtenidos; aplicando éstos tenemos que:



Datos:

$$H_o = 2 \text{ m}$$

$$\emptyset = 0.3$$

$$\alpha = 15^\circ$$

$$T_o = 9 \text{ seg}$$

$$K_r = 0.7$$

Cálculos: Aplicando la fórmula de Larras

$$L_o = 1.56 T^2 = 1.56 (9)^2 = 126.36 \text{ m}$$

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

$$K = 1.18 \times 10^{-6} (0.3)^{-1/2} \frac{126.36}{2} = 1.36 \times 10^{-4}$$

$$Q_s = K_g H_o^2 K_r T \text{ sen } \frac{7}{4} \alpha$$

$$Q_s = 1.36 \times 10^{-4} \times 9.81 \times (0.7)^2 \times 9 \times 2^2 \text{ sen } \frac{7}{4} 15^\circ$$

$$Q_s = 0.01 \text{ m}^3/\text{seg} \quad Q_s = 0.01 \times 86400$$

$$\text{Por día: } 1 \text{ día} = 86400 \text{ seg} \quad Q_s = 864 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Aplicando la ecuación de Cadwell

$$\text{Tenemos que } Q_s = 210 E_i^{0.8}$$

Suponiendo la profundidad de rompiente $d=H$

$$H_o = 2 \text{ m} = 6.5 \text{ ft}$$

$$\gamma = 1036 \text{ kg/m}^3 = 62.2 \text{ lb/ft}^3$$

$$H = K_r H_o = 0.7 \times 2 = 1.4 \text{ m}$$

$$d = 1.4 \text{ m, profundidad de rompiente}$$

$$\frac{d}{L_o} = \frac{1.4}{126.36} = 0.011 \quad \tan h 2 \pi \frac{d}{L} = 0.2698$$

$$L = 0.2598 \times 126.36 = 32.82 \text{ m} = 107.7 \text{ ft}$$

$$\text{No olas por día} = \frac{86400}{9} = 9600$$

$$E_i = \frac{\gamma H_o^2 K_r^2}{8 \times 10^6} \quad (\text{no de olas por día}) \sin \alpha \cos \alpha \quad \left[\begin{array}{l} \text{millones} \\ \text{lb/ft} \end{array} \right]$$

$$E_i = \frac{62.2 (6.56)^2 (0.7)^2 (107.7) (9600) \sin 15^\circ \cos 15^\circ}{8000000}$$

$$E_i = 42.38 \text{ mill lb-ft}$$

$$Q_s = 210 (42.38)^{0.8} = 4206.53 \text{ y3-día}$$

$$Q_s = 3216 \text{ m}^3/\text{día}$$

Aplicando la fórmula de C.E.R.C.

$$Q_s = 125 E_a$$

$$E_a = \frac{E_o}{2} \quad (\text{No de olas por día}) (\sin \alpha \cos \alpha) \quad K_r^2$$

$$E_o = \frac{H_o^2 L_o}{8 \times 10^6} \quad E_o = \frac{1000 \times 2 \times 126.36}{8 \times 10^6} = 0.1387$$

$$L_o = 126.36 \text{ m} = 414.5 \text{ ft}$$

$$E_a = \frac{0.1387}{2} \cdot 9\,600 \text{ sen } 15^\circ \cos 15^\circ (0.7)^2 = 81.55$$

$$Q_s = 125 \times 81.55 = 10\,193.4 \text{ Y}^3/\text{día}$$

$$Q_s = 7\,783 \text{ m}^3/\text{día}$$

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE LITORAL

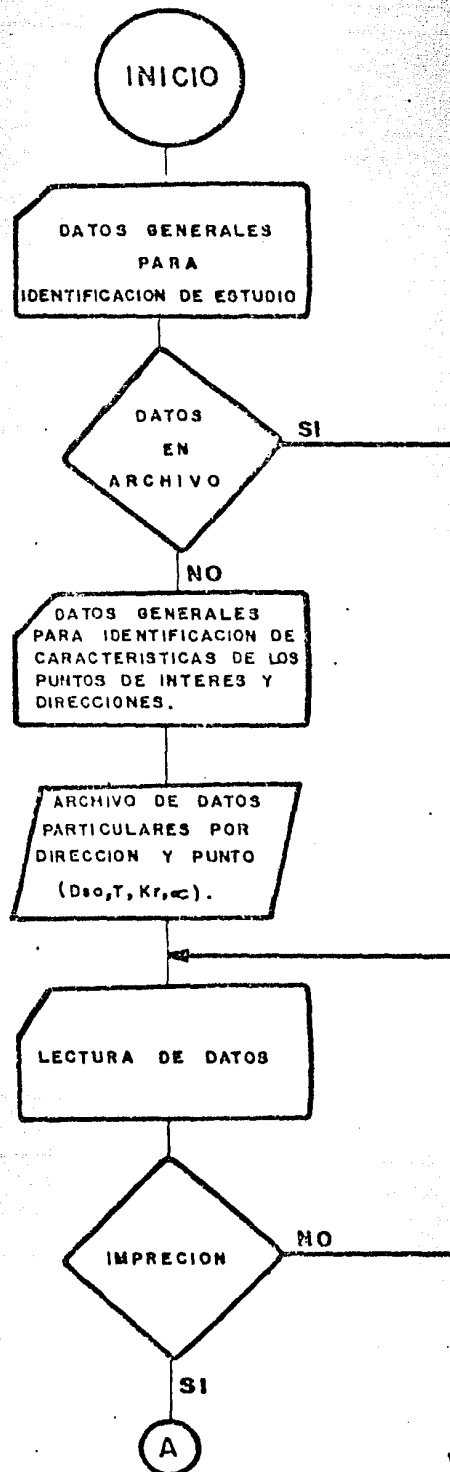


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE LITORAL

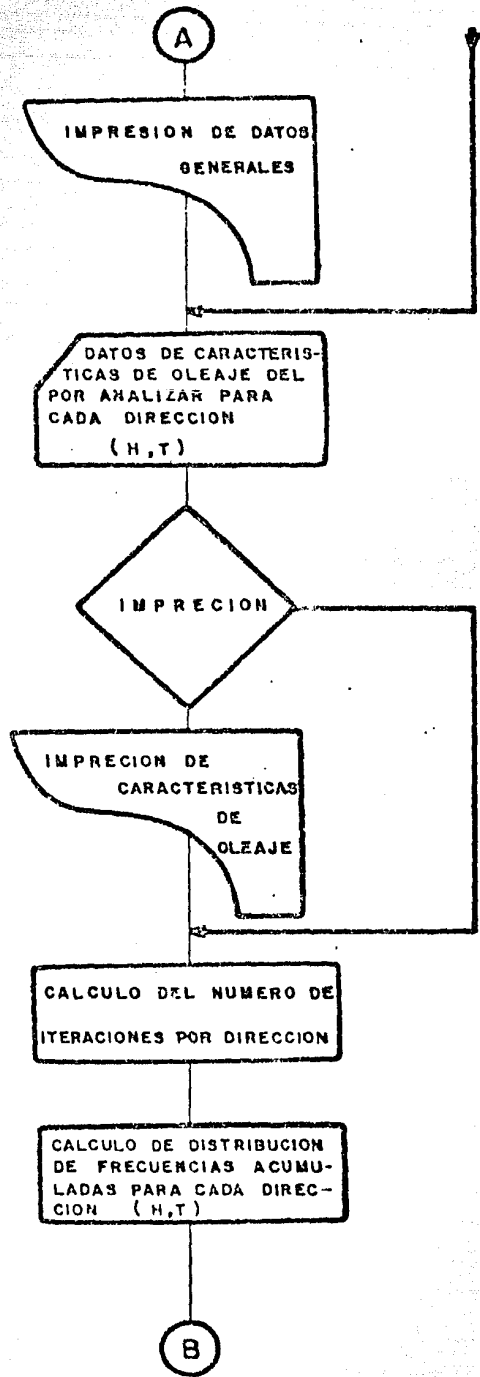


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE LITORAL

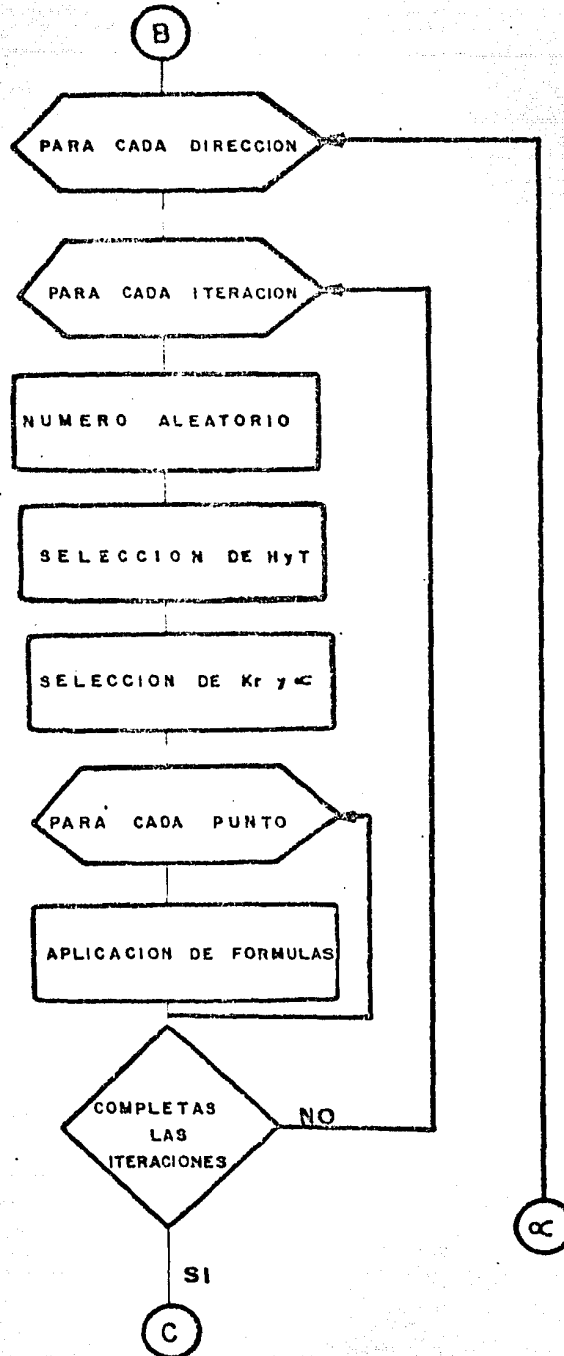
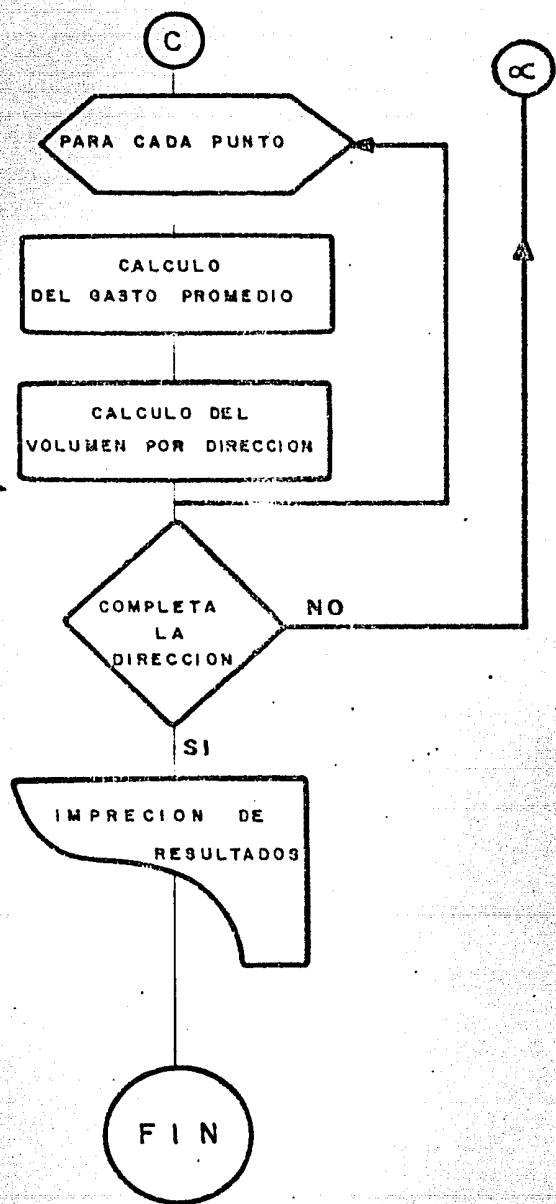


DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE TRANSPORTE LITORAL



12""

ILIST

```

1  REM *****
2  REM
3  REM PROGRAMA PARA EL CALCULO
4  REM DE TRANSPORTE LITORAL
5  REM
6  REM *****
10 D$ + CHR$ (4): CA$ = CHR$ (7)
20 POKE 34,0: POKE -3,40
30 HOME
40 INVERSE : HTAB 9: PRINT "TRANSPORTE LITORAL" : NORMAL :
   POKE 34,1
100 REM  DATOS GENERALES *****
110 VTAB 7: HTAB 4: PRINT "NOMBRE DEL ESTUDIO"
120 VTAB 12: HTAB 14: PRINT "SITIO"
130 VTAB 14: HTAB 14: PRINT "FECHA"
135 VTAB 18: HTAB 3 : PRINT "ESTAN ARCHIVADOS LOS" HTAB 12:
   PRINT "DATOS GENERALES (S/N) ?"
140 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N)?"
150 VTAB 7: HTAB 25: INPUT "";NE$: IF LEN (NE$) 1 THEN
   PRINT CA$;: GOTO 150
160 VTAB 12: HTAB 22: INPUT "";SI$ IF LEN (SI$) 1 THEN
   PRINT CA$;: GOTO 160
170 VTAB 14: HTAB 22: INPUT "";FE$ IF LEN (FE$) 1 THEN
   PRINT CA$;: GOTO 170
172 VTAB 19: HTAB 34: GET SS$: PRINT SS$;
174 IF SS$ "N" AND SS$ "S" THEN PRINT CHR$ (7): GOTO
   172
180 VTAB 22: HTAB 34: GET S$: PRINT S$
190 IF S$ = "N" GOTO 110
200 IF S$ = "S" GOTO 300
210 PRINT A$;: GOTO 180
300 HOME
305 IF SS$ = "S" GOTO 5500
310 VTAB 3: HTAB 9: PRINT "***DIRECCIONES***"
320 VTAB 7: PRINT "CUANTAS DIRECCIONES SE VAN A ESTUDIAR": VTAB
   9: HTAB 10: PRINT "(MAX 8) ?"
325 VTAB 11: PRINT "ESTA CORRECTO EL NUMERO (S/N) ?"
330 VTAB 9: HTAB 18: INPUT ""; S$: ND VAL (S$)
340 IF ND 8 OR ND 1 THEN PRINT CA$: GOTO 330
345 VTAB 11: HTAB 32: GET S$: PRINT S$
346 IF S$ + "N" GOTO 330
347 IF S$ "S" THEN PRINT CA$;: GOTO 345
348 VTAB 10: CALL -958
350 VTAB 11: HTAB 5: PRINT "DIRECCIONES"
360 VTAB 13: FOR 1 = 1 TO ND: PRINT " ";1;" : ": NEXT
370 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N)?"
380 DIM DI$ (ND)
390 FOR 1 = 1 TO ND: VTAB 12 + 1: HTAB 6: INPUT ""; DI$ (1)
394 IF LEN (DI$(1)) 1 OR LEN (DI$(1)) 13 THEN 1=1-1:
   PRINT CA$

```

```

396 NEXT
400 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -958 HTAB 34: GET
    S$: PRINT S$;
410 IF S$ = "S" GOTO 500
420 IF S$ = "N" GOTO 440
430 PRINT CA$;; GOTO 400
440 VTAB 23: HTAB 3: PRINT "CUAL DIRECCION ESTA INCORRECTA?";:
    HTAB 34: INPUT ""; S$: 8 = VAL (S$)
450 IF S ND OR S 1 THEN PRINT CA$;; GOTO 440
460 VTAB 12 + 9: HTAB 6: INPUT ""; DI$(S)
470 IF LEN (DI$(S)) 1 OR LEN(DI$ (S)) 15 THEN PRINT
    CA$: GOTO 460
490 GOTO 400
500 HOME
507 VTAB 3: HTAB 5: PRINT "*** NOMBRE DE LOS PUNTOS***"
514 VTAB 7: PRINT "CUANTOS PUNTOS SE VAN A ESTUDIAR": VTAB9;
    HTAB 10: PRINT "(MAX 6) ?"
520 VTAB 11: PRINT "ESTA CORRECTO EL NUMERO (S/N) ?"
530 VTAB 9: HTAB 18: INPUT ""; S$: NP= VAL (S$)
535 IF NP 6 NP 1 THEN PRINT CA$: GOTO 528
542 VTAB 11: HTAB 32: GET S$: PRINT S$
549 IF S$ = "N" GOTO 528
556 IF S$ "S" THEN PRINT CA$;; GOTO 542
563 VTAB 10: CALL -958
570 VTAB 11: HTAB 5: PRINT "NOMBRE: DIAMETRO (MM) : "
577 VTAB 13: FOR 1 = 1 TO NP: HTAB 5: PRINT 1; " : NEXT
584 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
591 DIM PU$(NP)
595 D% = 2
598 FOR 1 = 1 TO NP
600 VTAB 12 + 1: HTAN 9: INPUT ""; PU$(1)
605 IF LEN (PU$(1)) 1 OR LEN (PU$(1)) 5 THEN 1 = 1
    - 1: PRINT CA$: GOTO 612
607 VTAB 12 + 1: HTAB 30: INPUT ""; S$: MM(1) = VAL (S$)
608 VTAB 12 + 1: HTAB 29: J = MM(1): GOSUB 20000: PRINT F$ "
610 IF F1 THEN F1 = 0; GOTO 619
612 NEXT
619 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -958: HTAB 34: GET S$:
    PRINT S$;
626 IF S$ = "S" GOTO 700
633 IF S$ = "N" GOTO 647
640 PRINT CA$;; GOTO 619
647 VTAB 23: HTAB 7: PRINT "CUAL PUNTO ESTA INCORRECTO?";:
    HTAB 34: INPUT ""; S$: S = VAL (S$)
654 IF S 0 AND S = NP THEN F1 = 1: 1 = S: GOTO 600
656 PRINT CA$;; GOTO 647
661 VTAB 12 + S: HTAB 9: INFUT ""; PU$(S)
700 HOME
710 VTAB 3: HTAB 11: PRINT "*** PERIODOS ***"
720 VTAB 5: PRINT "CUANTOS PERIODOS SE VAN A ESTUDIAR"; VTAB
    7: HTAB 10: PRINT "(MAX 8) ?"
725 VTAB 9: PRINT "ESTA CORRECTO EL NUMERO (S/N) ?"
730 VTAB 7: HTAB 19: INPUT ""; S$: NT = VAL (S$)

```

```

740 IF NT      8 OR NT      1 THEN PRINT CA$: GOTO 730
745 VTAB 9: HTAB 32: GET S$: PRINT S$
746 IF S$ = "N" GOTO 730
747 IF S$      "S" THEN PRINT CA$,: GOTO 745
749 VTAB 8: CALL -958
750 VTAB 9: HTAB 5: PRINT "VALOR DE LOS PERIODOS"
760 VTAB 11: FOR 1 = 1 TO NT: HTAB 3: PRINT "T";1,: HTAB 7:
PRINT " ": NEXT

770 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
780 DIM TE(NT)
790 FOR 1 = 1 TO NT: VTAB 10 + 1; HTAB 9: INPUT "";S$: TE(1)
= VAL (S$)
794 IF TE (1)      = TE(1 - 1) THEN 1 = 1: PRINT CA$;
796 NEXT
800 VTAB 22: HTAB 24: PRINT "?";: CALL -958; HTAB 34: GET S$:
PRINT S$;

810 IF S$ = "S" GOTO 1000
820 IF S$ = "N" GOTO 840
830 PRINT CA$,: GOTO 800
840 VTAB 23: HTAB 5: PRINT "CUAL PERIODO ESTA INCORRECTO?";:
HTAB 34: INPUT "";S$:S = VAL (S$)
850 IF S      (NT) OR S      1 THEN PRINT CA$,: GOTO 840
860 VTAB 10 + S: HTAB 9: INPUT "";S$: TE(S) = VAL (S$)
870 IF TE (S)      TE (S - 1) THEN PRINT CA$: GOTO 860
880 GOTO 800
1000 HOME
1010 D% = 2
1020 VTAB 3: HTAB 6: PRINT "*** INTERVALOS DE PERIODO ***"
1030 VTAB 5: PRINT "CUANTOS INTERVALOS SE TIENEN": VTAB 7: HTAB
11: PRINT "(MAX 5)?"
1040 VTAB 9: PRINT "ESTA CORRECTO EL NUMERO (S/N) ?"
1050 VTAB 7: HTAB 19: INPUT ""; S$: N1 = VAL (S$)
1060 IF N1      5 OR N1      1 THEN PRINT CA$ : GOTO 1050
1070 VTAB 9: HTAB 32: GET S$: PRINT S$
1080 IF S$ = "N" GOTO 1050
1090 IF S$      "S" THEN PRINT DA$,: GOTO 1070
1100 DIM TI(NI)
1110 VTAB 8: CALL -958
1120 VTAB 9: HTAB 5: PRINT "INTERVALOS: "
1130 VTAB 11: FOR 1 = 1 TO NI: HTAB 2: PRINT "IT";1,: HTAB 7:
PRINT " :""NEXT

1140 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
1150 FOR 1 = 1 TO NI: (VTAB 10 + 1: HTAB 9
1180 F = TI(1 - 1) + 01: GOSUB 20000: PRINT SPC( 5 - LEN (F$));
FS:"-"

1190 INPUT "";S$:TI(1) = VAL (S$)
1200 IF TI (1)      = TI (1 - 1) OR TI(1) =      99.99 THEN 1
= 1: PRINT CA$;

```

```

1210 F = TI(1); GOSUB 20000; VTAB 10 + 1; HTAB 16: PRINT SPO
      ( 5 - LEN (F$));F$
1220 NEXT
1230 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -959: HTAB 34: GET S$:
      PRINT S$;
1240 IF S$ = "S" GOTO 1500
1250 IF S$ = "N" GOTO 1110
1260 PRINT CA$;: GOTO 1230
1500 HOME
1510 D% = 2
1520 VTAB 3: HTAB 2: PRINT "*** INTERVALOS DE ALTURA DE OLA ***"
1530 VTAB 5: PRINT "CUANTOS INTERVALOS SE TIENEN": VTAB 7:
      HTAB 11: PRINT "(MAX 5) ?"
1540 VTAB 9: PRINT "ESTA CORRECTO EL NUMERO (S/N) ?"
1550 VTAB 7: HTAB 19: INPUT "":S$:NH = VAL (S$)
1560 IF NH 5 OR NH 1 THEN PRINT CA$; GOTO 1550
1570 VTAB 9: HTAB 32: GET S$: PRINT S$
1580 IF S$ = "N" GOTO 1550
1590 IF S$ "S" THEN PRINT CA$;: GOTO 1570
1600 DIM TH(NH)
1610 VTAB 8: CALL -958
1620 VTAB 9: HTAB 5: PRINT "INTERVALOS : "

2 PRINT "IH";1;: HTAB 7: PRINT "": NEXT

1640 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N)?"
1650 FOR 1 = 1 TO NH: VTAB 10 + 1: HTAB 9
1680 F = TH (1 - 1) + .01: GOSUB 20000: PRINT SPO ( 5 - LEN
      (F$)); F$;"-";
1690 INPUT "": S$:TH(1) = VAL (S$)
1700 IF TH(1) ( = TH(1) OR TH(1) = ) 99.99 THEN I = I 1 I:
      PRINT CA$;
1710 F = TH(1): GOSUB 20000: VTAB 10 + I: Htab 16: PRINT SPO
      ( 5 - LEN (F$));F$
1720 NEXT
1730 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -958: HTAB 34: GET S$:
      PRINT S$;

1740 IF S$ = "S" GOTO 2000
1750 IF S$ = "N" GOTO 1610
1760 PRINT CA$;: GOTO 1730
2000 HOME: DIM KR(ND,NT,NP)
2010 D% = 2
2020 VTAB 3: HTAB 2: PRINT "*** COEFICIENTES DE REFRACCION (KR)
      ***"
2030 VTAB 7: HTAB 2: PRINT "T";: FOR I = I TO NP: PRINT " "
      SPO(5 - LEN (PU$(I)));PU$(I);: NEXT
2040 VTAB 8: HTAB 1: FOR I = I TO 40: PRINT "-";: NEXT
2050 POKE 34,8
2060 FOR K = I TO ND
2070 VTAB 5: HTAB 5: CALL -868: PRINT "DIRECCION : "DI$(K)
2080 VTAB 10: FOR J = 1 TO NT: PRINT "T";J: NEXT
2090 VTAB 22: PRINT " ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
2100 FOR J = 1 TO NT
2110 FOR I = 1 TO NP
2120 VTAB 9 + J: HTAB I * 6: CALL -868

```

```

2130 INPUT "" ; S$ : F = VAL (S$) ; KR(K,J,I) = F
2140 IF F ) 5 OR F ( 0 THEN PRINT CA$ : GOTO 2120
2150 GOSUB 20000
2160 VTAB 9 : J : HTAB I * 6 : PRINT F$ ; : CALL -868
2170 NEXT I
2180 IF F1 THEN F1 = 0 : GOTO 2200
2190 NEXT J
2200 VTAB 22 : HTAB 34 : PRINT "?" ; : CALL -958 : HTAB 34 : GET S$ :
PRINT S$ ;

2210 IF S$ = "S" GOTO 2250
2220 IF S$ ( ) "N" THEN PRINT CA$ ; : GOTO 2200
2230 VTAB 23 : HTAB 5 : PRINT "CUAL PERIODO ESTA INCORRECTO ? ; : "
HTAB 34 : INPUT "" ; S$ : S = VAL (S$)
2240 IF S ) 0 AND S ( = NT THEN F1 = 1 : J = S : GOTO 2110
2250 HOME : NEXT K
2500 HOME : DIM AL (ND, NT, NP)
2510 D% = 1
2520 VTAB 3 : HTAB 5 : PRINT "*** ANGULOS DE INCIDENCIA (A) ***"
2530 VTAB 7 : HTAB 2 : PRINT "T" ; : FOR I = I TO NP : PRINT " "
SPC( 5 - LEN(PU$(I))) ; PU$(I) ; : NEXT
2540 VTAB 8 : HTAB 1 : FOR I = I TO 40 : PRINT "- " ; : NEXT
2550 POKE 34, 8
2560 FOR K = 1 TO ND
2570 VTAB 5 : CALL -868 : PRINT "DIRECCION : "DI$(K)
2580 VTAB 10 : FOR J = 1 TO NT : PRINT "T" ; J : NEXT
2590 VTAB 22 : PRINT " ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
2600 FOR J = 1 TO NT
2610 FOR I = 1 TO NP
2620 VTAB 9 + J : HTAB I * 6 : CALL -868
2630 INPUT "" ; S$ : F = VAL (S$) : AL(K,J,I) = F
2640 IF F ) 90 DR F ( - 90 THEN PRINT CA$ : GOTO 2620
2650 GOSUB 20000
2660 VTAB 9 + J : HTAB I * 6 : PRINT SPC(5 - LEN (F$)) ; F$ ; :
CALL -868
2670 NEXT I
2680 IF F1 THEN F1 = 0 : GOTO 2700
2690 NEXT J
2700 VTAB 22 : HTAB 34 : PRINT "?" ; : CALL -958 : HTAB 34 : GET S$ :
PRINT S$ ;
2710 IF S$ = "S" GOTO 2750
2720 IF S$ ( ) "N" THEN PRINT CA$ ; : GOTO 2700
2730 VTAB 23 : HTAB 5 : PRINT "CUAL PERIODO ESTA INCORRECTO ?" ; :
HTAB 34 : INPUT "" ; S$ : S = VAL (S$)
2740 IF S ) 0 AND S ( = NT THEN F1 = 1 : J = S : GOTO 2610
2750 HOME : NEXT K
5000 POKE 34, 1 : HOME : VTAB 12 ; HTAB 12 : FLASH : PRINT " A R
CHI V A N D O " ; NORMAL
5010 PRINT D$"OPEN "NE$ ; "" ; FE$
5020 PRINT D$"WRITE "NE$ ; " " ; FE$
5030 PRINT SI$
5040 PRINT ND : PRINT NT : PRINT NP : PRINT N1 : PRINT NH

```



```

5050 FOR I = 1 TO ND: PRINT DI$(I): NEXT
5060 FOR I = 1 TO NT: PRINT TE(I): NEXT
5070 FOR I = 1 TO NP: PRINT PU$(I): PRINT MM(I): NEXT
5074 FOR I = 1 TO NI: PRINT TI(I): NEXT
5076 FOR I = 1 TO NH: PRINT TH(I): NEXT
5080 FOR K = 1 TO ND
5090 FOR J = 1 TO NT
5100 FOR I = 1 TO NP
5110 PRINT KR(K,J,I): PRINT AL(K,J,I)
5120 NEXT I
5130 NEXT J
5140 NEXT K
5150 PRINT D$"CLOSE"
5160 PRINT D$"LOCK "NE$;" "; FE$
5170 GOTO 5670
550 PRINT D$"OPEN "NE$;" "; FE$
5510 PRINT D$"READ "NE$;" "; FE$
5520 INPUT SI$
5530 INPUT ND: INPUT NT: INPUT NP: INPUT NI: INPUT NH
5535 DIM DI$(ND),TE(NT),PU$(NP),MM(NP),TI(NH),KR(ND,NT,NP),
AL(ND,NT,NP)
5540 FOR I = 1 TO ND: INPUT DI$(I): NEXT
5550 FOR I = 1 TO NT: INPUT TE(I): NEXT
5560 FOR I = 1 TO NP: INPUT PU$(I): INPUT MM(I): NEXT
5570 FOR I = 1 TO NI: INPUT TI(I): NEXT
5580 FOR I = 1 TO NH: INPUT TH(I): NEXT
5590 FOR K = 1 TO ND
5600 FOR J = 1 TO NT
5610 FOR I = 1 TO NP
5620 INPUT KR(K,J,I): INPUT AL(K,J,I)
5630 NEXT I
5640 NEXT J
5650 NEXT K
5660 PRINT D$"CLOSE"
5670 DIM HD(ND,NH),TD(ND,NI),TT(ND),NV%(ND)
6000 A$ = CHR$(10): REM OTRL J
6010 B$ = CHR$(14): REM OTRL N
6020 HOME
6025 D% = 2
6030 VTAB 12: PRINT "QUIERE IMPRIMIR DATOS GENERALES (S/N) ?":
VTAB 12: HTAB 39: GET S$: PRINT S$
6040 IF S$ = "S" GOTO 6070
6050 IF S$ = "N" GOTO 10000
6060 PRINT CA$: GOTO 6030
6070 REM IMPRESION *****
6080 POKE 34,1
6090 VTAB 14: HTAB 14: FLASH " IMPRIMIENDO ": NORMAL
6100 PR# 1: PRINT " " "": REM OTRL I
6110 FOR K = 1 TO ND
6120 GOSUB 19500
6130 PRINT A$;B$; SPC( #))"DATOS GENERALES"
6140 PRINT A$: PRINT A$ SPC ( 20)"DIRECCION : "; : PRINT B$;
DI$( )

```

```

6150 PRINT A$;A$
6160 GOSUB 32000
6170 GOSUB 32050
6240 FOR J = 1 TO NT
6250 GOSUB 32100
6255 D% = 1:F = TE(J): GOSUB 20000
6260 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2 - 12),"T ="; SPC( 6 -
LEN (F$));F$;SPC( 3). "***";
6270 D% = 3
6280 FOR I = 1 TO NP:F + KR(K,J,I): GOSUB 20000
6290 PRINT " K" CHR$ (114);" SPC( 6 - LEN (F$));F$;" * ";;
NEXT I: PRINT
6300 D% = 1
6310 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2);"***";
6320 FOR I = 1 TO NP:F = AL(K,J,I): GOSUB 20000
6330 PRINT " A" CHR$ (111);" ="; SPC( 6 - LEN (F$));" * ";;
NEXT I: PRINT
6340 FOSUB 32100
6350 GOSUB 32050
6370 NEXT J
6380 NEXT K
999 PR# 0
10000 REM PERIODOS DE ANALISIS *****
*****
10180 HOME :D% = 2
10190 VTAB 10: PRINT "NOMBRE DEL PERIODO DE ANALISIS : ?"
10200 VTAB 14: PRINT "DURACION DEL MISMO EN DIAS : ?"
10210 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS(S/N) ?"
10220 VTAB 10: HTAB 34: INPUT "";PA$: IF LEN (PA$) = 0 THEN PRINT
CA$: GOTO 10220
10230 VTAB 14: HTAB 30: INPUT "";S$: DD = VAL (S$): IF DD ( + 0
THEN PRINT CA$: GOTO 10230
10240 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -958: HTAB 34: GET S$
S$: PRINT S$;
10250 IF S$ = "S" GOTO 01280
10260 IF S$ ( ) "N" THEN PRINT CA$;; GOTO 10240
10270 GOTO 10220
10280 HOME :NT% = DD * 50:DD * 86400
10290 VTAB 2: HTAB 2: PRINT "** PORCENTAJES DE TIEMPOS DE ACCION ***"
10300 VTAB 4: PRINT SPC( (40 = LEN (PA$)) / 2);PA$
10310 VTAB 9: HTAB 1: FOR I = 1 TO 40: PRINT "-";: NEXT
10320 POKE 34,9
11000 VTAB 6: HTAB 9: PRINT "PERIODOS - DIRECCIONES"
11010 VTAB 8: PRINT "# PERIODOS "; CHR$ (92)
11020 1 = 1
11030 FOR II = 1 TO INT (ND / 2 + 5): VTAB 8; HTAB 14: CALL -868
11040 IF ND = II * 2 - 1 THEN F 1% = 1
11050 VTAB 8: HTAB 14: PRINT SPC( 13 - LEN (DI$(I)));DI$(I)
11060 IF NOT F 1% THEN VTAB 8: HTAB 28: PRINT SPC( 13 - LEN (DI$
(I + 1)));DI$ (I + 1)
11070 VTAB 10

```

```

11080 FOR J = 1 TO NI: PRINT J;
11090 F = TI(J - 1) + 01: GOSUB 20000: PRINT SPC( 5 - LEN (F$))
FS"-";: F = TI(J): GOSUB 20000: PRINT SPC( 5 - LEN (F$))F$
11100 NEXT J
11110 VTAB 22: PRINT "ESTAN CORRECTOS LOS DATOS (S/N) ?"
11120 FOR J = 1 TO NI
11130 FF% = 1: GOSUB 19000: TD(I,J) = F / 100
11140 IF F 1% GOTO 11160
11150 FF% = 1:I = I + 1: GOSUB 19000: TD(I,J) = F / 100:I = I - 1
11160 IF F1 THEN F1 = 0: GOTO 11180
11170 NEXT J
11180 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -958: HTAB 34: GET S$:
PRINT S$;
11190 IF S$ = "S" THEN HOME: GOTO 11230
11200 IF S$ ( ) "N" THEN PRINT CA$;: GOTO 11180
11210 VTAB 23: HTAB 5: PRINT "CUAL PERIODO ESTA INCORRECTO ?";:
HTAB 34: INPUT ""; S$:S = VAL (S$)
11220 IF S ) 0 AND S( = NI THEN F1 = 1: J = S: GOTO 11130
11230 I = I + 2: NEXT II
11240 F1% = 0
12000 VTAB 6: HTAB 8: PRINT "ALTURAS DE OLA - DIRECCIONES"
12010 VTAB 8: PRINT "# PERIODOS ": CHR$ (92)
12020 I = 1
12030 FOT II = 1 TO INT (ND / 2 + 5): VTAB 8: HTAB 14: CALL -868
12040 IF ND = II * 2 - 1 THEN F 1% = 1
12050 VTAB 8: HTAB 14: PRINT SPC( 13 - LEN (DI$(I)));DI$(I)
12060 IF NOT F1% THEN VTAB 8: HTAB 28: PRINT SPC(13 - LEN (DI$(I
+ 1)));DI$ (I + 1)
12070 VTAB 10
12080 FOR J = 1 TO NH: PRINT J;
12090 F = TH(J - 1) + 01: GOSUB 20000: PRINT SPC( 5 - LEN (F$))
F$"-";:F=TH(J): GOSUB 20000: PRINT SPC ( 5 - LEN (F$))F$
12100 NEXT J
12110 VTAB 22: PRINT"ESTAN CORRECTOS LOS DATOS S/N) ?"
12120 FOR J = 1 TO NH
12130 FE% = 1: GOSUB 19000: (HD(I,J) = F / 100
12140 IF F1% GOTO 12160
12150 FF% = 2:I + 1: GOSUB 19000: HD(I,J) = F / 100:I - I - 1
12160 IF F1 THEN F1 = 0: GOTO 12180
12170 NEXT J
12180 VTAB 22: HTAB 34: PRINT "?";: CALL -959: HTAB 34: GET S$:
PRINT S$;
12190 IF S$ = "S" THEN HOME GOTO 12230
12200 IF S$ ( ) "N" THEN PRINT CA$;: GOTO 12180
12210 VTAB 23: HTAB 5: PRINT "CUAL PERIODO ESTA INCORRECTO ?";:
HTAB 34: INPUT "";S$:S = VAL (S$)
12220 IF S ) 0 AND S( = NH THEN F1 = 1:J = S: GOTO 12130
12230 I = I + 2: NEXT II
12300 GOSUB 30000
12500 FOR I = 1 TO ND
12510 FOR J = 1 TO NI:TT(I) = TT(I) + TD(I,J): NEXT J
12520 FOR J = 1 TO NI:TD(I,J) = TD(I,J) / TT(I) * 100 + TD(I,
- 1): NEXT J

```

```

12530 NV%(I) = INT (NT% * TT(I) / 100 + 5)
12550 FOR J = 1 TO NH:HH(I) = HH (I) + HD(I,J): NEXT J
12560 FOR J = 1 TO NG:HD(I,J) =HD(I,J) / HH(I) * 100 + HD(I,J
- 1): NEXT J
12570 NEXT I
13000 REM ***** CALCULOS *****
*****
13005 POKE 34, 1
13010 NF = 1
13020 DIM Q(ND,NP,NF),NF$(NF)
13025 NF$(I) = "LARRAS"
13030 FOR K = 1 TO ND
13035 HOME VTAB 12: PRINT SPC( (40 - LEN (DI$(K))) /2),D+$ (I))
13040 FOR N = NV%(K) TO 1 STEP - 1
13045 VTAB 13: HTAB 20: PRINT N
13200 R = RND (1) * 100
13210 J = 1
13220 IF R ) = TD(K,J) GOTO 13240
13230 IF J ) NI THEN J = J + 1: GOTO 13220
13240 M = (TI(J) = TI(J - 1)) / (TD(K,J) - TD(K,J - 1))
13250 T = M * R + (TI(J) - M * TD(K,J))
13260 J = 1
13270 IF R ) = HD(K,J) GOTO 13290

13280 IF J ) HN THEN J = J + 1: GOTO 13270
13290 M = (TH(J) - TH(J - 1)) / (HD(K,J) - HD (K,J - 1))
13300 H = M * R + (TH(J) - M * HD(K,J))
13400 Z = 1: IF NT = 1 GOTO 13500
13410 IF T ( = (TE(Z + 1) - TE(Z)) / 2 + TE(Z) GOTO 13500
13420 Z = Z + 1
13430 IF Z ) NT GOTO 13410
13500 FOR I = 1 TO NP
13510 REM *****FORMULA LARRAS
13520 Q(K,I,1) = Q(K,I,1) + 2.75578 - 5 * (MM(I) ( - 5))* H *
T 3 * KR(K,Z,I) 2 * SIN (1.75 " AL(K,Z,I) * .0175)
13970 REM *****FORMULAS
13980 NEXT I
13990 NEXT N
14000 FOR I = 1 TO NP
14010 FOR L = 1 TO NF
14020 Q(K,I,L) = Q(K,I,L) / NV%(K) * DD * (TT(K) / 100)
14030 NEXT L
14040 NEXT I
14500 NEXT K
15000 POKE 34,1: HOME
15010 VTAB 14: HTAB 14: FLASH : PRINT "IMPRIMIENDO ": NORMAL
15020 PR# 1
15030 PRINT ""
15033 FOR L = 1 TO NF
15035 GOSUB 19500
15040 PRINT A$;8$; SPC ( (78 - LEN (PA$)) / 2): PA$
15050 PRINT A$;8$; SPC ( 26); "RESULTADOS ( X10 3 M 3) "

```

```

15060 PRINT A$;8$; SPC ( (78 - LEN (NF$(L))) / 2); NF$(L)
15070 PRINT A$;A$
15080 GOSUB 32000
15090 GOSUB 32050
15100 GOSUB 32100
15105 D% = 3
15110 FOR K = 1 TO ND
15120 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2 - 20); "TRANS. "DI$(K);
      SPC 13 - LEN (DI$(K));"*";
15130 FOR I = 1 TO NP:F = Q(K,K,L) / 1000: GOSUB 20000
15140 PRINT SPC( 12 - LEN (F$));F$; " * ";: NEXT : PRINT
15150 NEXT
15160 GOSUB 32100: GOSUB 32050: GOSUB 32100
15170 PRINT SPC ( (154 - 14 " NP) / 2 - 20); "TRANSPORTE (+)";
      SPC( 5);"*";
15180 FOR I = 1 TO NP:F = 0
15190 FOR K = 1 TO ND
15200 IF Q(K,I,L) = 0 THEN F = F + Q(K,I,L) / 1000
15210 NEXT
15220 GOSUB 20000
15230 PRINT SPC( 12 - LEN (F$));" * ";
15240 NEXT: PRINT
15250 PRINT SPC( 154 - 14 * NP) / 2 - 20);"TRANSPORTE (-)"; SPC(
      5))*";
15260 FOR I = 1 TO NP: F = 0
15270 FOR K = 1 TO ND
15280 IF Q(K,I,L) = 0 THEN F = F + Q(K,I,L) / 1000
15290 NEXT
15300 GOSUB 20000
15310 PRINT SPC( 12 - LEN(F$));F$;" *";
15320 NEXT: PRINT
15330 GOSUB 32100; GOSUB 32050: GOSUB 32100
15340 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 12 - 20);"TRANSPORTE NETO";
      SPC( 5);"*";
15350 FOR I = 1 TO NP:F = 0
15360 FOR K = 1 TO ND
15370 F = F + Q(K,(,L) / 1000
15380 NEXT
15390 GOSUB 20000
15410 PRINT SPC( 12 - LEN (F$));S$;" *";
15420 NEXT : PRINT
15440 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2 -20); "TRANSPORTE TOTAL";
      SPC( 4))"*";
15450 FOR I = 1 TO NP:F = 0
15460 FOR K = 1 TO ND
15470 F = F + ABS (Q (K,I,L)) / 1000
15480 NEXT
15490 GOSUB 20000
15510 PRINT SPC( 12 - LEN (F$));F$;" * ";
15520 NEXT : PRINT
15530 GOSUB 32100: GOSUB 32050
15535 NEXT L
15540 PRINT CHR$ (12)

```

```

15550 PR# 0
15560 GOTO 10000
18990 NED
19000 VTAB 9 + J: HTAB 5 + FF% * 14: CALL -868
19010 INPUT "";S$:F = VAL (S$)
19020 IF F 100 OR F 0 THEN PRINT CA$: GOTO 19000
19030 GOSUB 20000: VTAB 9 + O: HTAB 5 + FF% * 14: PRINT SPC( 7
- LEN (F$))F$
19040 RETURN
19500 PRINT CHR$ (12)
19505 PRINT A$,A$,B$ TAB( 27)"CONSULTORIA TECNICA S.C."
19507 PRINT B$; SPC( 24) "CALCULO DE TRANSPORTE LITORAL"
19510 PRINT B$ SPC( (78 - LEN (NE$)) / 2)NE$
19520 PRINT B$; SPC( (78 - LEN (SI$)) / 2)SI$
19530 PRINT B$; SPC( (78 - LEN (FE$)) / 2) FE$
19540 RETURN
20000 F = INT (F * 10 D% + 5):F$ = STR$ (F)
20010 IF F 0 THEN F$ = MID$ (F$,2):F% = 1
20015 L% = LEN (F$)
20020 IF L% D% THEN F$ = "0" + F$: GOTO 20015
20030 IF L% = D% THEN F$ = "0" + F$: GOTO 20050
20040 F$ = LEFT$ (F$,L% -D%) + " " + RIGHT$ (F$,D%)
20050 IF F% THEN F$ = "-" + F$:F% = 0
20060 RETURN
3000 POKE 34,1: HOME30010 VTAB 14: HTAB 14: FLASH : PRINT
"IMPRIMIENDO"; NORMAL
30015 PR# 1
30017 PRINT ""
30020 GOSUB 19500
30030 PRINT A$;B$; SPC( 26);"DISTRIBUCION DE OCURENCIA"
30040 PRINT A$;B$; SPC( (78 - LEN (PA$)) / 2);PA$
30050 PRINT A$;A$;B$; SPC(.10);"PERIODO :"
30060 PRINT A$
30070 GOSUB 31000
30080 GOSUB 31050
30090 GOSUB 31100
30100 FOR J = 1 TO NI
30110 GOSUB 31000
30120 PRINT SPC( (154 - 14 * ND) / 2 - 20);
30130 F = TI(J - 1) + 01: GOSUB 20000
30140 PRINT SPC( 8 - LEN (F$));F$," - ";
30150 F = TI(J): GOSUB 20000
30160 PRINT F$; SPC( 9 - LEN (F$));"*";
30170 FOR I = 1 TO ND
30180 F = TD(I,J): GOSUB 30000
30190 PRINT SPC( 11 - LEN (F$));F$;" *";
30200 NEXT I: PRINT
30210 NEXT J
30220 GOSUB 31000
30230 GOSUB 31100
30240 PRINT SPC( (254 - 14 * ND) % 2 -15);"TOTALES"; SPC( 9)"*";
30245 FOR I = 1 TO ND: F = 0

```



```

30250 FOR J = 1 TO NI:F = F + TD(I,J): NEXT : GOSUB 20000
30260 PRINT SPC( 11 - LEN (F$));F$ " *";: NEXT ; PRINT
30300 PRINT A$;A$;B$; SPC( 10);"ALTURA"
30310 PRINT A$
30320 GOSUB 31000
30330 GOSUB 31050
30340 GOSUB 31100
30350 FOR J = 1 TO NH
30360 GOSUB 31000
30370 PRINT SPC( (154 - 15 * ND) / 2 - 20);
30380 F = TH(J - 1) + 01: GOSUB 20000
30390 PRINT SPC(8 - LEN(F$));F$; " - ";
30400 F = TH(J): GOSUB 20000
30410 PRINT F$; SPC( 9 - LEN (F$));"*";
30420 FOR I = 1 TO ND
30430 F = HD(I,J): GOSUB 20000
30440 PRINT SPC( 11 - LEN(F$)):F$; " *";
30450 NEXT I: PRINT
30460 NEXT J
30470 GOSUB 31000
30480 GOSUB 31100
30490 PRINT SPC( (154 - 15 * ND) / 2 - 15);"TOTALES"; SPC( 8) "*";
30500 FOR I + 1 TO ND:F = 0
30510 FOR J = 1 TO NH:F = F + HD(I,J): NEXT : GOSUB 20000
30520 PRINT SPC( 11 - LEN (F$));F$;" * ";: NEXT : PRINT
30998 PR# 0
30999 RETURN
31000 PRINT SPC( (154 - 14 * ND) / 2);"*";
31010 FOR I = 1 TO ND: PRINT SPC( 13);"*";: NEXT I: PRINT
31020 RETURN
31050 PRINT SPC( (154 - 14 * ND) / 2);"*";
31060 FOR I = 1 TO ND: PRINT SPC( (13 - LEN(DI$(I))) / 2);DI$(I);
SPC( (13 - LEN (DI$(I))) / 2 + 5);"*";: NEXT:PRINT
31070 RETURN
*ND) / 2 - 20);"*****";
31110 FOR I = 1 TO ND: PRINT "*****";: NEXT : PRINT
31120 RETURN
32000 PRINT SPC( (154 - 14 * ND) / 2 - 15);"NOMBRE PUNTO *";
32010 FOR I = 1 TO NP: PRINT SPC( (13 - LEN (PU$(I))) / 2):PU$(I);
SPC( (13 - LEN(PU$(I))) / 2 + 5);"*";: NEXT : PRINT
32020 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2 - 15);" DIMETRO *";
32030 FOR I = 1 TO NP:D% = 3:F = MM(I): GOSUB 20000
32040 PRINT SPC( (13 - LEN (F$)) / 2):F$; SPC( (13 - LEN (F$)) / 2
+ 5);"*";: NEXT : PRINT
32045 RETURN
32050 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2 - 20);"*****"
*****";
32060 FOR I = 1 TO NP: PRINT "*****";: NEXT : PRINT
32070 RETURN
32100 PRINT SPC( (154 - 14 * NP) / 2);: FOR I =1 TO NP: PRINT SPC(
13);"*";: NEXT : PRINT : RETURN

```

DISTRIBUCION DE OCURRENCIA
ENERO

	NORTE
0.01 - 4.00	25.00
4.01 - 8.00	32.00
8.01 - 12.00	25.00
12.01 - 16.00	18.00
TOTALES	100.00

	NORTE
0.01 - 4.00	23.00
4.01 - 8.00	45.00
8.01 - 12.00	18.00
12.01 - 16.00	14.00
TOTALES	100.00

DATOS GENERALES

DIRECCION : NORTE

NOMBRE PUNTO
DIMETRO

C

0.500

T = 8.0

Kr = 1.020

Ao = 33.0

T = 10.0

Kr = 0.990

Ao = 48.0

T = 12.0

Kr = 1.050

Ao = 45.0

T = 14.0

Kr = 1.040

Ao = 44.0

ENERO

RESULTADOS (X10 3 M 3)

LARRAS

NOMBRE PUNTO	C
DIMETRO	0.500
TRANS. NORTE	1077.336
TRANSPORTE (+)	1077.336
TRANSPORTE (-)	0.000
TRANSPORTE NETO	1077.336
TRANSPORTE TOTAL	1077.336

C O N C L U S I O N E S

Observamos que de acuerdo a lo tratado en este tema de REGIMEN DE COSTAS, dista mucho un conocimiento real de la acción del oleaje sobre la parte conformada por tierra. Debido a los diferentes factores que actúan en la formación de las costas como lo son: intensidad de oleaje, tipo de material, principalmente. Estos dos factores son los que tienen más variantes debido a las condiciones atmosféricas que nunca son las mismas y varían de acuerdo a la zona donde se trate.

Además podemos decir que el estudio de las Costas está basado a una serie de experiencias obtenidas a través de diferentes investigadores, por medio de los cuales se tiene un conocimiento que dista de la realidad, de los diferentes procesos costeros.

Como crítica general a la serie de ecuaciones enunciada podíamos decir que las fórmulas de CADWEL y CERC no toman en cuenta las características del grano de arena transportado, al contrario de la ecuación de Larras. Este hecho constituye, en principio, una objeción a estas ecuaciones, ya que la intensidad del transporte litoral debe depender de las características de los sedimentos. Sin embargo, probablemente debido a que este campo de investigación está todavía en un estado bastante empírico, es la fórmula del CERC, al estar basada en numerosos resultados de modelos reducidos y de prototipos (naturaleza) en condiciones medias de la acción de oleaje y de las características del sedimento, la que da resultados más reales.

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

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

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

BIBLIOGRAFIA

1. Bakker W.T. (1970): Litoral Drift in the Surf Zone; Study Report No WWK10-16
2. Bakker W.T. (1971): The Influence on Longshore Variation of the Wave Height on the Litoral Current; Study Report No WWK-71-19
3. Bakker, W.T. (1971): The Dynamics of Coasts; Study Report No WWK-71-22.
4. Cuantificación del Arrastre Litoral y la Aplicación en Laguna Verde, Veracruz. Euler Chargoy del Valle.
5. Ingeniería de Costas: Laboratorio de Puertos Ramón Iribarren