

29
50



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

' ' ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA, B. C. N. ' '

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A ;

JUAN CARLOS FERNANDEZ CASILLAS

DIRECTOR: M. EN I. OSCAR VEGA ROLDAN

MEXICO, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

I N D I C E

INTRODUCCION	1	
CAPITULO I. ANTECEDENTES Y ESTUDIOS ANTERIORES		
1.1	Localización y descripción del sitio del estudio	3
1.2	Problemática en el sitio del estero de Punta Banda y propósitos de esta tesis	6
1.3	Estudios realizados anteriormente	8
1.4	Descripción del proyecto de Bos Pacific, S.A. de C.V.	8
1.5	Estudios elaborados por CIEPS CONSULTORES hasta 1987	
1.5.1	Antecedentes	9
1.5.2	Visita técnica	9
1.5.3	Estudios de batimetría	
1.5.3.1	Batimetría en la zona marina	10
1.5.3.2	Batimetría del estero	10
CAPITULO II. ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE		
2.1	Oleaje	
2.1.1	Descripción del fenómeno	12
2.1.2	Teorías del oleaje	14
2.1.3	Tratamiento estadístico del oleaje	16
2.1.4	Fenómenos que modifican las características del oleaje	17
2.2	Recopilación y procesamiento de la información	
2.2.1	Generalidades	21
2.2.2	Recopilación y procesamiento	
2.2.2.1	Sea and Swell Chart	21
2.2.2.2	Ocean Waves Chart	21
2.3	Planos de refracción de oleaje	26
CAPITULO III. TRANSPORTE LITORAL		
3.1	Generalidades	32
3.2	Métodos para la cuantificación del transporte litoral	34
3.3	Determinación del transporte litoral en la zona del estero de Punta Banda	37
3.3.1	Fórmula de Cadwell	37
3.3.2	Fórmula del CERC	38

3.3.3	Fórmula de Larraz	38
3.3.4	Fórmula de Pichkyne	39
3.3.5	Fórmula de Springall	39
3.3.6	Cálculo del transporte litoral	40
3.3.7	Fotointerpretación	43
3.3.8	Selección de resultados	50
3.3.9	Comentario final respecto a las fórmulas utilizadas	56

CAPITULO IV. ESTABILIDAD DEL ACCESO AL ESTERO

4.1	Introducción	62
4.2	Estudio de mareas	64
4.2.1	Generalidades	64
4.2.2	Curvas de áreas y capacidades del estero	66
4.2.3	Tránsito de mareas	66
4.3	Estabilidad de la boca actual	67
4.3.1	Antecedentes	67
4.3.2	Grado de estabilidad	67
4.3.3	Area estable	67
4.3.4	Capacidad de autoconservación del canal	69
4.3.5	Forma de paso del material	69
4.4	Estabilidad de un canal de acceso con 14 metros de profundidad	69
4.4.1	Grado de estabilidad	70
4.4.2	Area estable	70
4.4.3	Capacidad de autoconservación del canal	70
4.4.4	Forma de paso del material	70
4.5	Estabilidad de un canal de acceso con 5 metros de profundidad	71
4.5.1	Grado de estabilidad	71
4.5.2	Area estable	72
4.5.3	Capacidad de autoconservación del canal	72
4.5.4	Forma de paso del material	72

CAPITULO V. ANTEPROYECTO DE OBRAS EXTERIORES

5.1	Necesidad de obras exteriores de protección	73
5.2	Breve descripción de las obras de protección	73
5.3	Anteproyecto de las escolleras	77
5.3.1	Generalidades	77
5.3.2	Análisis estadístico y probabilístico de oleaje ciclónico	77
5.3.3	Diseño de las escolleras	82
5.3.3.1	Determinación de la ola de diseño y de su rodamiento sobre el talud de la estructura	82
5.3.3.2	Dimensionamiento de las escolleras	87
5.4	Revisión del funcionamiento de la protección	90

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones	93
6.2	Recomendaciones	94

BIBLIOGRAFIA	95
---------------------	-----------

INTRODUCCION

INTRODUCCION

El mar ha representado siempre para el hombre un gran reto. Ocupando unas 3/4 partes de la superficie del planeta, (cerca de 362 millones de kilómetros cuadrados) es fuente inagotable de recursos. De él se obtiene alimento para una gran parte de la humanidad y su potencial alimenticio aún no está explotado a su máximo ni mucho menos. Puede aprovecharse el mar como fuente de energía, así lo confirma la instalación de las primeras centrales maremotrices en costas francesas. Bajo las aguas marinas existen vastos depósitos de petróleo. Del mar es posible extraer minerales como el manganeso. La mayor parte del oxígeno de la atmósfera es producido en el mar. Como éstos, se podrían seguir mencionando beneficios que el mar proporciona (o podría proporcionar) a la humanidad.

Es evidente la riqueza que el mar puede brindar al hombre. No es una simple coincidencia que ya desde la antigüedad las grandes potencias mundiales han sido también potencias marinas, poseedoras de grandes flotas mercantes y militares. En tiempos remotos, era el mar la única vía de enlace entre los diversos continentes.

Sin embargo, el mar debe ser tratado con respeto. Se hace evidente que día a día se requieren más profesionales comprometidos a estudiar el mar y sus recursos. El ingeniero, encargado de transformar los recursos naturales en beneficio del hombre y sin perjuicio de su medio ambiente, debe también participar en el estudio del aprovechamiento de los recursos marinos.

La ingeniería marítima es un campo más de acción del ingeniero civil. Campo por demás interesante, y con amplias posibilidades de desarrollo, y es por ello que debe promoverse su estudio.

Para poder desarrollar proyectos en zonas costeras (como en cualquier otra parte), deben estudiarse los efectos que éstos pueden ocasionar en el medio y la influencia de éste en las instalaciones que se proyecten. Un proyecto no es un ente aislado en el universo, está directamente ligado con su entorno, es susceptible de modificarlo y de ser modificado por éste.

El trabajo que se presenta a continuación es un ejemplo de una parte del campo de acción de la ingeniería marítima. Se trata del estudio de diversos factores que pueden ser determinantes para aceptar o no, y en su caso limitar o modificar, el desarrollo de un complejo turístico, pesquero e industrial en el estero de Punta Banda situado al Sur del puerto de Ensenada en Baja California Norte.

Para la elaboración de esta tesis, se tomaron como base los estudios desarrollados por CIEPS CONSULTORES, S.A. de C.V. para la Dirección General de Obras Marítimas, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Gran parte de las figuras de este trabajo, han sido tomadas del libro Ingeniería de Costas, de los Ingenieros Frias y Moreno, de la tesis profesional del Ingeniero Gustavo A. Murillo Bagundo, y de los reportes preliminares y del informe final que entregó CIEPS. Asimismo los dos planos que se presentan son copias de planos elaborados por la firma mencionada para la misma dependencia como parte del estudio. Se agradece la autorización brindada para su reproducción.

Un reconocimiento muy especial y todo mi agradecimiento merecen la Dirección General y la Dirección Técnica de CIEPS CONSULTORES, S.A. de C.V., por todas las facilidades y el apoyo que se me brindó para llevar a cabo esta tesis.

CAPITULO I

Antecedentes y estudios anteriores

CAPITULO I. ANTECEDENTES Y ESTUDIOS ANTERIORES.

1.1 Localización y descripción del sitio del estudio.

La bahía de Todos Santos está localizada sobre la costa occidental de la Península de Baja California, aproximadamente 100 km al sur de la frontera de México con los Estados Unidos de América, entre los 31° 43' y 31° 54' de latitud Norte y entre los 116° 36' y 116° 49' de longitud al Oeste de Greenwich. Tiene una superficie de 24,000 ha y su forma es trapezoidal, de unos 18 km de largo por unos 15 km de ancho (fig. 1).

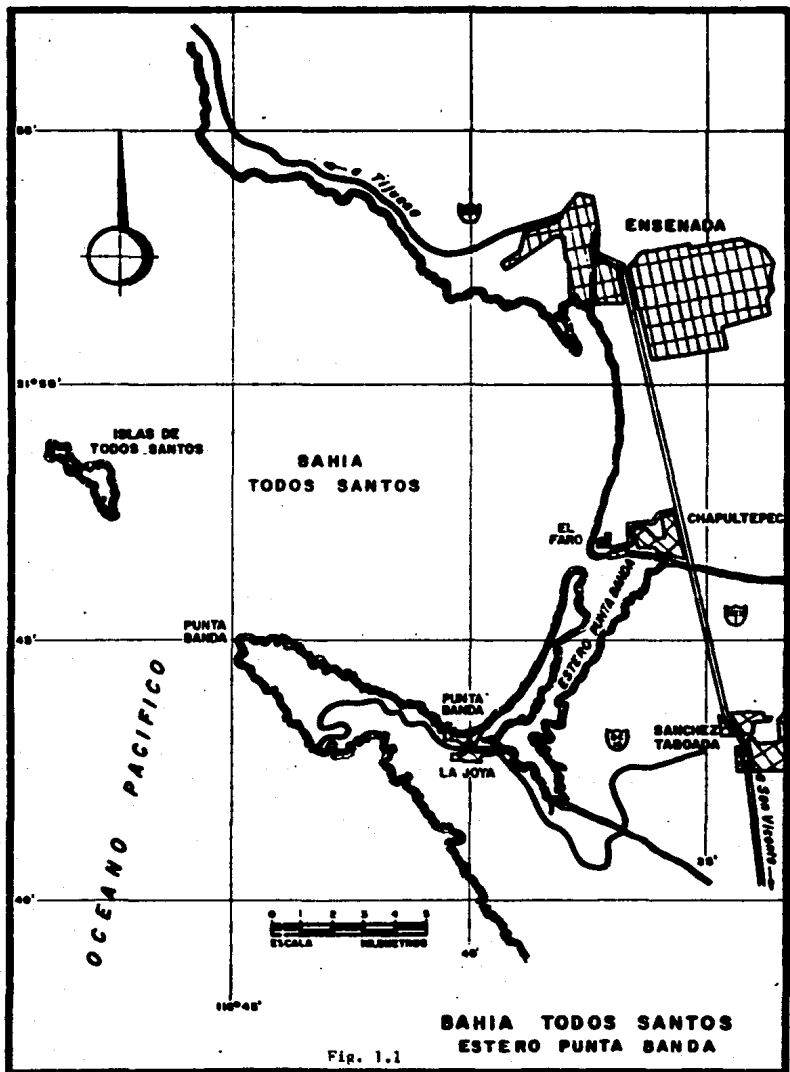
Los accidentes geográficos más importantes que circundan la bahía son la Punta de San Miguel, la Punta del Morro, el Cerro del Vigía, el Estero de Punta Banda y la Península del mismo nombre.

La forma de la bahía se completa con las islas de Todos Santos y, entre estas y la Punta de San Miguel, con el bajo del Noroeste o Bajo Ahogado, donde la profundidad llega a ser en algunos puntos de sólo 5.5 metros.

La costa que define la bahía por el Este, desde el Puerto de Ensenada hasta el Estero de Punta Banda, consiste en una playa arenosa limitada por dunas bajas y por una meseta de pie de monte que se prolonga hacia la base de las montañas de Ensenada. Estas últimas alcanzan una altura aproximada de 1200 metros a una distancia no mayor de 15 km de la costa.

El Estero de Punta Banda es una formación situada aproximadamente a 10 km al sur del Puerto de Ensenada. Tiene alrededor de 10 km de longitud por 1 ó 2 km de ancho. Su eje mayor corre paralelo a la línea de la playa. El Estero está limitado al Este y al Norte por el Valle del Manadero, al Sur por la Punta Banda y al Oeste por una barra arenosa que parte desde la Punta. En la parte noroeste del Estero está situada la boca, la cual le brinda una comunicación a marea libre con la bahía de Todos Santos (fig. 2). El área inundada es de 354 ha cuando el agua se encuentra al nivel de baja mar media inferior.

La barra arenosa mide cerca de 8 km de largo por 1 km de ancho, su formación obedece a la acción combinada de las corrientes a lo largo de la costa, las corrientes de marea y la descarga



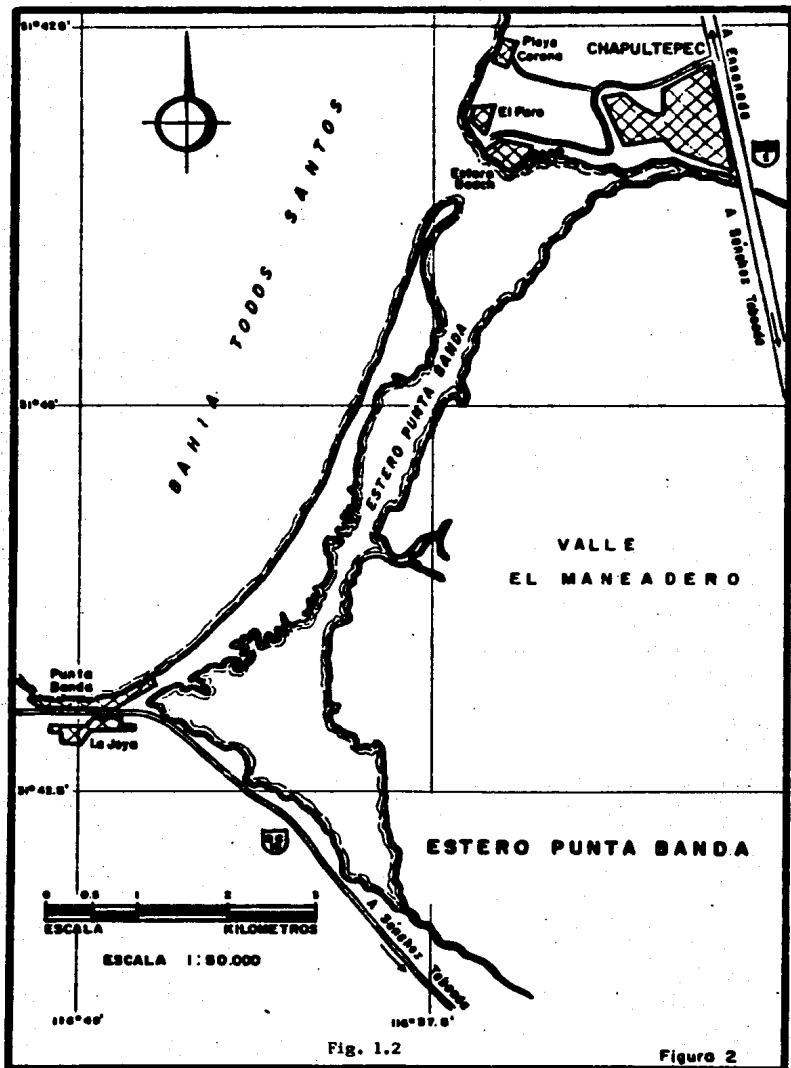


Fig. 1.2

Figuro 2

de los ríos San Carlos y San Antonio. El primero drena un área aproximada de 720 km² con una longitud de 80 km y el segundo, con una longitud de 58 km drena un área de 820 km² (fig 3).

En la parte sur de la barra el material tiene un diámetro notablemente mayor que en el resto de la barra y su origen es seguramente consecuencia de la acción de erosión del oleaje sobre los acantilados de la Punta Banda.

De la boca del estero parte un canal cuyas profundidades máximas oscilan entre 5 y 6 metros y su ancho varía entre 80 y 100 metros. La boca tiene una zona de bajos bastante amplia que provoca que al sur de la misma se forme otro pequeño canal con profundidades menores de un metro.

1.2 Problemática en el sitio del estero de Punta Banda y propósitos de esta tesis

La estabilidad del acceso es relativamente buena. Así lo hace suponer el hecho de que no han variado notablemente las condiciones del estero con el paso del tiempo; esta suposición se confirma más adelante en este estudio. Sin embargo, la morfología del acceso no permite la entrada de embarcaciones.

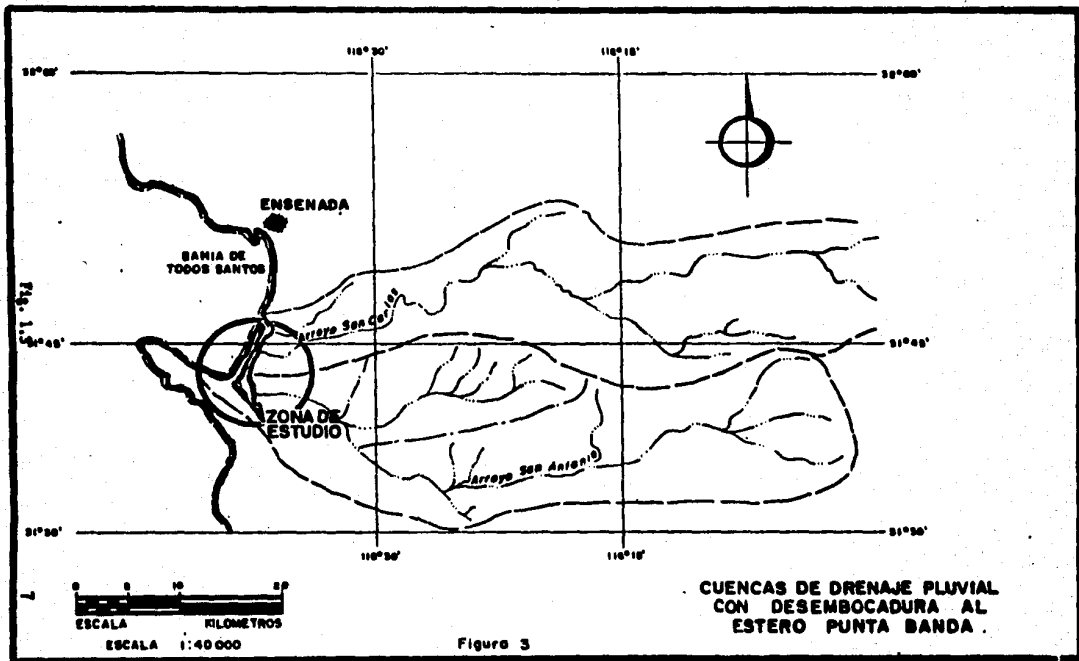
Existe la intención de utilizar el estero para albergar un desarrollo portuario que incluye instalaciones pesqueras y turísticas, urbanización con fines turísticos, muelles para la armada y una fábrica de plataformas marinas para la exploración y explotación petrolera. Para lograrlo será necesario dragar canales y ganar terrenos en zonas ocupadas por cuerpos de agua.

Diversos estudios realizados concluyen que la boca actual del estero presenta una situación desfavorable para el tránsito de embarcaciones, en oposición a las condiciones que se presentan en el inicio de la barra, de la parte sur del estero donde se cuenta con una zona protegida.

Con base en lo anterior se ha propuesto abrir una nueva boca en dicha área, aprovechando el angostamiento de la barra en esa zona y la penetración del estero tierra adentro.

La apertura de la nueva boca requeriría una serie de obras, de las cuales las más importantes serían: un canal de intercomunicación y las escolleras que protegerían la boca en proyecto de los efectos del oleaje.

Como resultado de la acción del oleaje en la playa y de las corrientes que éste origina, se presenta el movimiento de material de la misma ya sea en suspensión o en el fondo. De la magnitud que tenga este transporte litoral dependerá la vida útil de las obras de protección, de aquí la importancia de poder cuantificarlo correctamente.



Los propósitos del presente estudio son:

- a) evaluar el transporte litoral en la zona del estero en magnitud y dirección
- b) evaluar la propagación de la marea dentro del estero y el prisma de marea
- c) evaluar la estabilidad de la boca actual
- d) determinar los problemas de sedimentación que pueda acarrear la nueva boca

1.3 Estudios realizados anteriormente.

Los estudios realizados anteriormente a los cuales se tuvo acceso para la elaboración de esta tesis se pueden clasificar, según el tema que abordan, de la siguiente manera:

- a) estudios sobre el oleaje
- b) estudios sobre mareas
- c) estudios sobre transporte litoral
- d) estudios sobre la estabilidad de la boca actual

Estos trabajos, mencionados en la bibliografía, incluyen estudios desarrollados por encargo de dependencias oficiales como la Dirección General de Obras Marítimas, estudios realizados por y para empresas privadas e investigaciones desarrolladas en la Universidad Autónoma de Baja California y presentadas en forma de tesis.

1.4 Descripción del proyecto de Bos Pacific, S.A. de C.V.

Se hace una muy breve descripción de este proyecto ya que en una época fue el más ambicioso e importante en la zona del estero.

Basándose en la demanda de plataformas marinas en la zona de California, la compañía Boygues Offshore vio con grandes posibilidades el construir una planta de producción de plataformas en Baja California Norte, considerando que una planta de este tipo, ubicada cerca de la demanda y que contara además con mano de obra barata y con la aceptación gubernamental, competiría ventajosamente en el mercado. Seleccionó finalmente, después de evaluar varias alternativas, el Estero de Punta Banda. Con el fin de consolidar este proyecto la empresa francesa fundó la compañía Bos Pacific, S.A. DE C.V. que desde entonces se dedicó a desarrollar diferentes estudios en la zona, así como un anteproyecto de las obras que constituirían la planta de plataformas.

Las obras de infraestructura del proyecto son:

- Dique de aislamiento
- Canal de acceso
- Dique seco y fosa de maniobras
- Planta
- Escolleras de protección

En una primera aproximación se preveía que estas obras cubrirían un área total de 82.84 ha.

1.5 Estudios elaborados por CIEPS CONSULTORES hasta 1987

1.5.1 Antecedentes

La Dirección General de Obras Marítimas tiene la responsabilidad de determinar cuales de los proyectos que se pretenden realizar en el estero de Punta Banda (desarrollos pesqueros, turísticos e industriales) podrán en efecto llevarse a cabo. Para hacerlo es necesario que cuente con información que le permita establecer los criterios de selección. Es por eso que encomendó a la firma CIEPS CONSULTORES, S.A. de C.V. realizar los estudios físicos en Punta Banda en el año de 1986.

La primera parte de estos trabajos consistió en realizar una visita técnica para conocer el sitio del estudio y hacer un levantamiento batimétrico tanto en el mar como dentro del estero.

Estos dos puntos tan sólo se describen brevemente ya que no forman parte de esta tesis aunque para el desarrollo de la misma se hayan tomado en cuenta las conclusiones de la visita y los planos obtenidos con el levantamiento batimétrico.

1.5.2 Visita técnica

La visita técnica se efectuó en diciembre de 1986 por dos ingenieros de la firma que, con apoyo de las autoridades de la D.G.O.M. en el lugar recorrieron la zona del estudio, haciendo énfasis en los sitios que consideraron de mayor interés.

Además de la información obtenida de la observación directa del estero se recabaron opiniones de autoridades y de personas que han tenido por muchos años su lugar de residencia en esa zona.

Los dos puntos de mayor interés para este estudio son la zona norte del estero donde se localiza la boca actual y la zona sur en donde se pretende construir una nueva boca.

En la parte norte, donde se ubica el hotel Estero Beach, se aprecia una vasta extensión de arena que según los lugareños hace unos años no existía. Partiendo de ese lugar rumbo al Norte (hacia Ensenada) se llega a dos poblaciones, El Faro y Playa Corona. Frente a esta última se ha producido una fuerte erosión de la playa; de acuerdo con gentes del lugar años atrás las casas tenían varios metros de playa que ahora prácticamente ha desaparecido. Es probable que la erosión observada en Playa Corona sea, por un lado la consecuencia de que alguna obra realizada más al Norte haya afectado el equilibrio en el transporte litoral y, por otro lado, la causa de la acumulación de material frente al hotel Estero Beach.

Cuando se realizó la visita ya se habían iniciado algunas obras en la parte sur del estero, tal es el caso del dique de aislamiento, el cual está prácticamente terminado y

sirve de acceso a la barra ya que el camino antiguo se clausuró al inicio de las obras.

De la observación del material en la zona sur de la barra, el cual tiene un diámetro mayor que el del resto de misma, se dedujo que este es desprendido del acantilado de la Punta Banda por la erosión que produce el oleaje. Por lo anterior se piensa que el transporte litoral en este punto es de Sur a Norte.

La barra está formada por arena, existe gran cantidad de dunas y la vegetación no rebasa los 15 cm en promedio. Dentro del estero existen gran número de bajos o pequeñas islas que poseen las mismas características de la barra.

1.5.3 Estudios de batimetría

1.5.3.1 Batimetría en la zona marina

El primer paso de estos estudios consistió en el levantamiento de una poligonal de apoyo. Esta poligonal es abierta con 17 vértices y tiene un desarrollo de 10.4 km. La poligonal se inicia en el vértice 1 con el cadenamiento 0+000 y finaliza en el 17 con el cadenamiento 10+400. La boca del estero se localiza entre los cadenamientos 8+100 y 8+500.

Una vez obtenida la poligonal se realizó una nivelación diferencial entre todos los vértices de la poligonal y en puntos intermedios entre estos con una separación de 100 m.

La batimetría de la zona marina se efectuó obteniendo la posición de una embarcación cada 40 segundos con dos tránsitos colocados en distintos puntos de la poligonal de apoyo al tiempo que desde la embarcación se obtenían lecturas de la profundidad mediante una ecosonda viajando a una velocidad entre 8 y 10 km/hora. Antes de dibujar la batimetría de esta zona se corrigieron las lecturas para tomar en cuenta los efectos de la marea.

Para completar esta batimetría se obtuvieron secciones transversales de la poligonal a cada 100 m hasta una distancia en la cual esto fuera permitido por el oleaje y la profundidad. Lo anterior se realizó con el objeto de contar con una liga confiable entre la batimetría y la configuración topográfica de la playa.

1.5.3.2 Batimetría del estero

De igual forma que para la batimetría de la zona marina, para obtener la batimetría del estero se levanto una poligonal de apoyo. Esta poligonal es abierta con 28 vértices uno de los cuales pertenece también a la poligonal de apoyo playera.

También se realizó una nivelación diferencial entre los vértices y entre puntos intermedios a cada 100 metros y después un seccionamiento transversal en el cual se procuró llegar hasta

una cota por debajo del NEMI para ligar con la batimetría del estero.

El procedimiento para obtener esta batimetría fue exactamente el mismo que se desarrolló para la zona marina.

La forma de la boca del estero se obtuvo mediante radiaciones a partir de un punto conocido de la poligonal de apoyo del estero.

CAPITULO II

Análisis estadístico de oleaje

CAPITULO II. ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE

2.1 Oleaje.

2.1.1 Descripción del fenómeno.

Los movimientos en el mar son originados principalmente por los efectos del sol y la luna, por los movimientos terrestres, por el viento, y por variaciones de temperatura y salinidad.

Estos movimientos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Ondas, son un movimiento casi siempre periódico, que provoca elevaciones y depresiones en la superficie del agua.

Corrientes, estas son fundamentalmente desplazamientos de masas de agua.

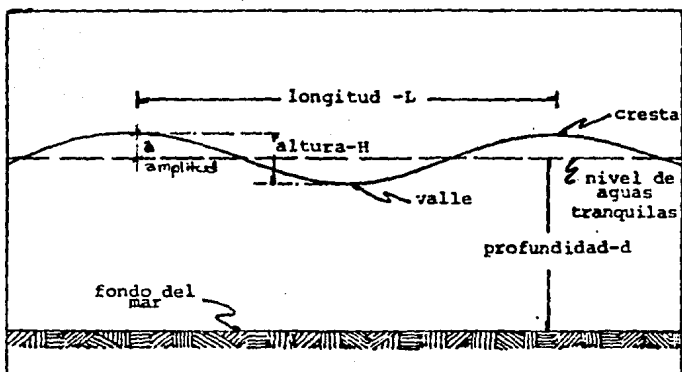
Las ondas que son generadas por el viento se denominan simplemente olas. Las olas provocan una elevación de la superficie del agua con respecto al nivel de reposo y enseguida una depresión. A la parte más alta de la onda se le denomina cresta y a la parte más baja valle. La separación horizontal y vertical entre crestas y valles consecutivos sirve para determinar las características del oleaje que a continuación se describen (fig. 2.1):

Longitud de onda (L), es la distancia entre dos crestas o valles consecutivos.

Altura de la ola (H), es el desnivel entre un valle y una cresta consecutivos.

Período de la ola (T), es el tiempo en segundos que transcurre entre la ocurrencia de dos crestas o valles consecutivos.

A la relación entre la altura y la longitud de la ola, H/L se le conoce como esbeltez.



Características del oleaje.

Fig. 2.1

La amplitud de la ola (a), es la mitad de la de la altura de la ola $a=H/2$.

La profundidad (d), es la distancia entre el nivel de reposo y el fondo marino.

La celeridad (C), es la velocidad de propagación de la ola.

2.1.2 Teorías del oleaje.

Para el estudio del oleaje se han elaborado diversas teorías, la más clásica es la desarrollada por Airy en 1845 ("teoría lineal de la pequeña amplitud"), su importancia reside en su aceptable ajuste para el caso de olas en profundidades indefinidas y su fácil aplicación; es actualmente la más usada en análisis prácticos comunes.

Otra teoría es la trocoidal desarrollada por Gerstner (1802), con esta teoría se obtienen perfiles de onda aceptables pero la suposición que hace del movimiento de las partículas de agua no corresponde a la realidad.

Stokes (1880) estudió las olas en dos dimensiones para el caso de fluidos con poca fricción, homogéneos, incompresibles y de tirante uniforme. El perfeccionamiento de esta teoría se debe a Lamb (1945). Se aplica en el caso de oleaje en mar profundo.

Todas las teorías mencionadas carecen de validez cuando se trata de profundidades reducidas ya que ninguna considera el efecto que la cercanía del fondo marino ejerce sobre el perfil de las ondas.

Una teoría que sí toma en cuenta el efecto del fondo marino es la Korteweg o cnoidal que define aceptablemente el movimiento ondulatorio en profundidades reducidas; la desventaja de esta teoría es la dificultad práctica de su aplicación.

De la teoría lineal de Airy se tienen las dos expresiones siguientes:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \dots (1)$$

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad \dots (2)$$

donde C es la celeridad de la onda
g la aceleración de la gravedad
d la profundidad
L la longitud de la ola
T el periodo de la ola
todos en unidades consistentes.

Para una longitud de ola determinada se puede deducir la relación que existe entre la profundidad y la celeridad de la ola separando en dos partes las expresiones (1) y (2). Una de las partes se puede expresar como función de la gravedad y la otra como función de la profundidad, así:

$$C = f(g)f(d)$$

donde para la expresión (1) $f(g) = gT/2\pi$ y $f(d) = \tanh(2\pi d)/L$;
 para la expresión (2) $f(g) = (gL/2\pi)$ y $f(d) = (\tanh(2\pi d)/L)^2$

Es claro que cuando la tangente hiperbólica de $(2\pi d/L)$ tiende a la unidad el valor de la celeridad es independiente de la profundidad. Se ha establecido un límite a partir del cual $\tanh(2\pi d/L)$ se considera suficientemente cerca de la unidad como para igualarla a ésta sin cometer un error significativo; por arriba de este límite se considera que la profundidad no influye en las características del oleaje. A la parte del mar donde se presenta esta condición se le conoce como aguas profundas y se presenta cuando:

$$d/L > 0.5$$

Sustituyendo este valor en $\tanh(2\pi d/L)$ queda:

$$\tanh(2\pi/2) = \tanh(\pi) = 0.9963 \approx 1$$

La expresión (1) se modifica y resulta:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \dots (1')$$

para obtener el valor de C en m/s^2 el valor de g debe expresarse en m/s^2 y T en segundos, al sustituir g por $9.8 m/s^2$, T por T_0 y C por C_0 (el subíndice "0" indica que se trata del periodo y la celeridad en aguas profundas) se obtiene:

$$C_0 = 1.58 T_0 \dots (1'')$$

C_0 también se puede expresar como el cociente de L_0/T_0 , por lo tanto:

$$L_0 = 1.58 T_0^2 \dots (3)$$

donde C_0 está en m/s
 L_0 en metros y
 T_0 en segundos.

La expresión (3) es de mucha utilidad cuando se procesa información estadística de oleaje.

Por otro lado se tendrán aguas reducidas cuando la celeridad dependa de la profundidad, esto sucede cuando:

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

se puede considerar esto válido cuando $d/L < 0.04$, en este caso la celeridad se expresa así:

$$C = \sqrt{gd} \quad \dots (4)$$

todo en unidades consistentes.

Cuando el valor de d/L se encuentra entre ambos límites (aguas profundas y aguas reducidas) se dice que el oleaje está en aguas intermedias o de transición. Para conocer la celeridad de una ola en este intervalo ($0.04L_0 < d < 0.5L_0$) habiendo determinado antes su período, se resuelve por tanteos las ecuaciones (1) y (2).

2.1.3 Tratamiento estadístico del oleaje

El fenómeno del oleaje ha sido largamente estudiado y se ha llegado a la conclusión de que la altura de la ola se ajusta a una distribución de probabilidad tipo Rayleigh. Para esta distribución la función de densidad de probabilidad es:

$$f(H) = \frac{2H}{H_r^2} e^{-(H/H_r)^2} \quad \dots (5)$$

donde H_r es un parámetro llamado altura media cuadrática, expresada como:

$$H_r = 1/\sqrt{n} \left(\sum_{j=1}^n H_j^2 \right)^{1/2} \quad \dots (6)$$

Para obtener la probabilidad de que una ola exceda el valor H es necesario integrar la expresión (5):

$$F(H) = \int_0^{\infty} f(H) dH \quad \dots (7)$$

en esta expresión $F(H)$ corresponde a la probabilidad de que se presente una ola de altura mayor que H .

Un parámetro que se puede obtener a partir de la altura cuadrática es la altura significativa (H_s ó $H_{1/3}$), que se calcula como:

$$H_s = 1.416 H_r \quad \dots (8)$$

Munk (1944) definió la altura de la ola significativa como la altura promedio del tercio mayor de un grupo de olas. Para calcular H_s según esta definición se divide el conjunto de olas registradas y ordenadas en forma creciente en tres grupos de igual número de olas, el promedio del grupo de olas más altas constituye el valor de H_s ($\approx H_{1/3}$).

A la altura significativa se le considera representativa del oleaje en el sitio del estudio y es la que se utiliza para distintos cálculos como el del transporte litoral.

El período de la ola significativa se obtiene generalmente de observaciones en campo como el período promedio de 10 ó 15 olas prominentes sucesivas. Cuando se determina a partir de registros de oleajes el período significativo es una estimación subjetiva, y se calcula al obtener el promedio de los registros disponibles.

Otro parámetro útil para definir las características del oleaje es la longitud de la ola significativa, esta se obtiene con la expresión (3) anotada anteriormente.

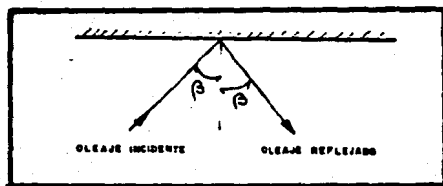
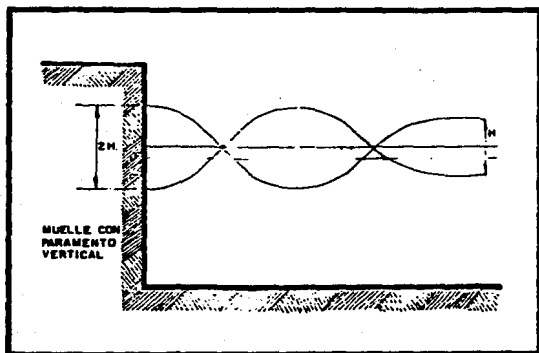
2.1.4 Fenómenos que modifican las características del oleaje

Las características del oleaje pueden ser modificadas por obstáculos que se presenten en su dirección y/o por la configuración del fondo marino cuando ya no se cumple la condición de aguas profundas.

Cuando las olas encuentran una obstrucción en su trayectoria su energía puede disiparse o transmitirse parcialmente tras el obstáculo, en otros casos las ondas pueden "rebotar" y proseguir por una dirección distinta a la original, a este fenómeno se le conoce como reflexión del oleaje (fig. 2.2).

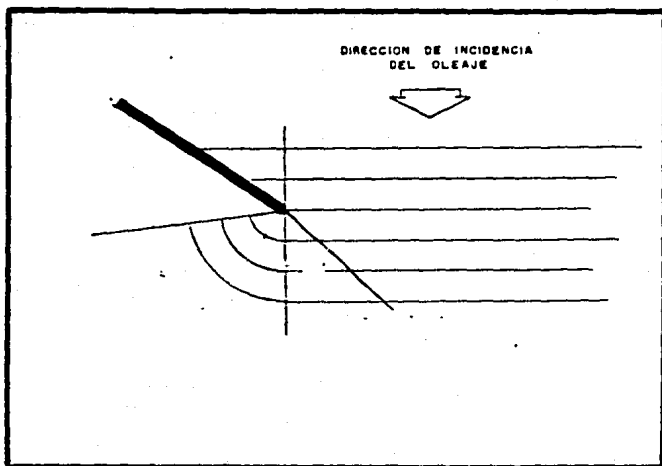
Considerando el mismo caso en que un tren de olas choca contra un obstáculo, la porción que no es obstruida por éste conservará casi íntegramente su energía y al pasar la obstrucción se presentará una transferencia de energía hacia la zona resguardada, este fenómeno es conocido como difracción del oleaje (fig. 2.3).

Cuando las olas se acercan a la costa el fondo marino comienza a afectar sus características. En aguas reducidas e intermedias la celeridad disminuye al disminuir la profundidad; como la disminución de la profundidad no es uniforme y mucho menos paralela a los frentes de ola estos sufren distorsiones en su proyección horizontal. Este fenómeno es llamado refracción y es factor determinante de la dirección final del oleaje al incidir en la costa (fig. 2.4).



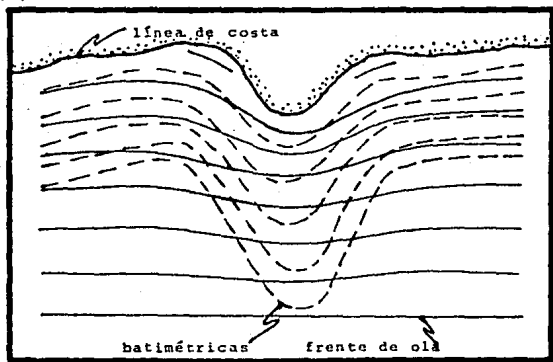
Fenómeno de reflexión del oleaje.

Fig. 2.2



Fenómeno de difracción del oleaje.

Fig. 2.3



Fenómeno de refracción del oleaje.

Fig. 2.4

2.2 Recopilación y procesamiento de la información

2.2.1 Generalidades

Para determinar las características del oleaje lo ideal es realizar estudios de campo, sin embargo para el sitio del estero de Punta Banda no fue posible efectuar tales trabajos. El otro camino para conocer las características del oleaje es mediante un análisis estadístico utilizando cartas de observación de oleaje que se han publicado en otros países. Para el desarrollo de esta tesis se analizó la información de la "Northeastern Pacific Ocean, Sea and Swell Chart" (Carta de Sea and Swell del Océano Pacífico zona Noroeste) publicado por la Oficina de Hidrografía del Departamento de Marina de los Estados Unidos de América y de la "Ocean Waves Chart" publicada por la Oficina de Oceanografía de la Marina Británica.

2.2.2 Recopilación y procesamiento

2.2.2.1 Sea and Swell Chart

La información mostrada en esta carta fue compilada mensualmente por observadores de la Oficina de Hidrografía de los Estados Unidos. La mayoría de las observaciones fueron hechas entre 1932 y 1940 pero se incluyen las realizadas hasta 1942.

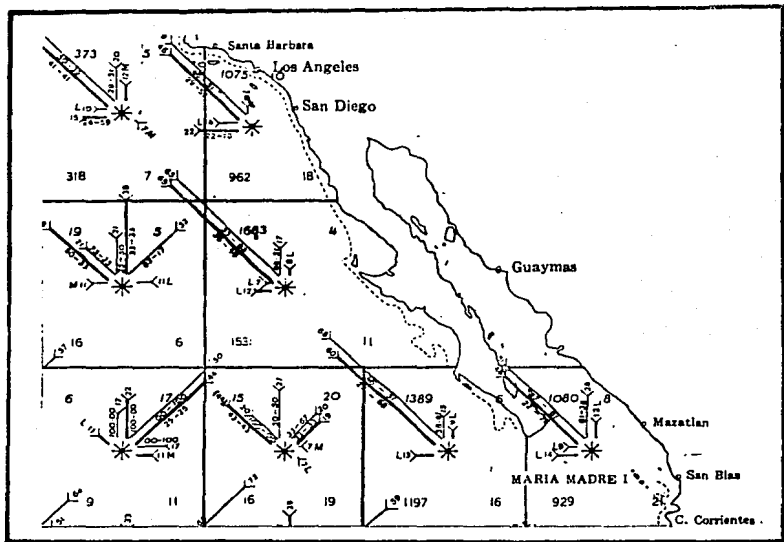
La forma de presentar esta información es gráfica, por medio de una rosa doble de ocho puntas que representa las características del oleaje dentro de áreas delimitadas en un plano de la zona (fig. 2.5). En la figura 2.6 se describe ampliamente el procedimiento para interpretar la información mostrada en esta carta.

Para esta tesis se utilizó la información de un área que abarca parte de la costa de California y Baja California, desde Santa Barbara en los Estados Unidos hasta más allá de Ensenada en México.

Toda la información (12 registros mensuales y un resumen anual) se capturó en computadora, sin embargo como la determinación de las características tenía que ser presentada por estaciones, una vez que se capturó se combinó de tal manera que se abarcaron las cuatro estaciones del año, así la suma de los datos de diciembre, enero y febrero pasan a ser invierno; los de marzo, abril y mayo, primavera; de junio, julio y agosto verano; y finalmente, los de septiembre, octubre y noviembre se transforman en otoño.

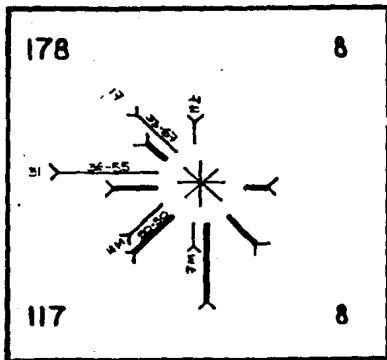
2.2.2.2 Ocean Waves Chart

La información que aparece en esta carta ha sido preparada con base en las mediciones que efectúan observadores de embarcaciones que pertenecen en su mayoría a la Marina Mercante Británica.



SEA AND SWELL CHART. Representación por zonas.

Fig. 2.5



La determinación del oleaje de generación local "SEMI", representado por la línea delgada, está basada en 178 observaciones. El 42% del total corresponde a olas; al 14% oleaje del Suroeste con altura media predominantemente; 31% proviene del Oeste, del oleaje de esta dirección 55% se agrupó en el rango de altura bajo, otro 34% en el rango de altura media y el resto (9%) en el rango de altura mayor; el 17% del total de observaciones proviene del Noroeste, estas observaciones se agruparon en los rangos bajo y medio 67% y 33% respectivamente; el 7% de las observaciones correspondieron al oleaje procedente del Norte y con rango de altura mayor; finalmente, otro 7% proviene del Este y se agrupó en el rango medio.

Para la determinación del oleaje de generación lejana "SWELL" se hacen las mismas consideraciones pero tomando en cuenta los datos de la línea gruesa.

Los rangos de altura son:

	BAJO	MEDIO	ALTO
SWELL	1-6	6-12	mayor que 12 pies
SEA	1-3	3-8	mayor que 8 "

Representación del oleaje, SEA AND SWELL Chart.

Fig. 2.6

En esta carta se han dividido todos los océanos y mares del mundo en diferentes zonas, sin embargo estas zonas son tan grandes que en ocasiones se llegan a incluir datos de dos océanos en una misma zona (fig. 2.7) lo que resta confiabilidad a los datos. Otro de los inconvenientes de esta carta es que no se hace diferencia entre el oleaje de generación local y el oleaje lejano.

Para esta tesis se utilizó la información de la zona 14 que abarca las aguas frente a las costas Baja California Norte y Sur en México, incluyendo además el mar de Cortés.

Los datos se presentan en tablas por estaciones que incluyen los mismos meses que se consideraron para reagrupar la información de la carta Sea and Swell. Cada estación contiene 18 tablas que corresponden a las 18 direcciones en que dividen las observaciones.

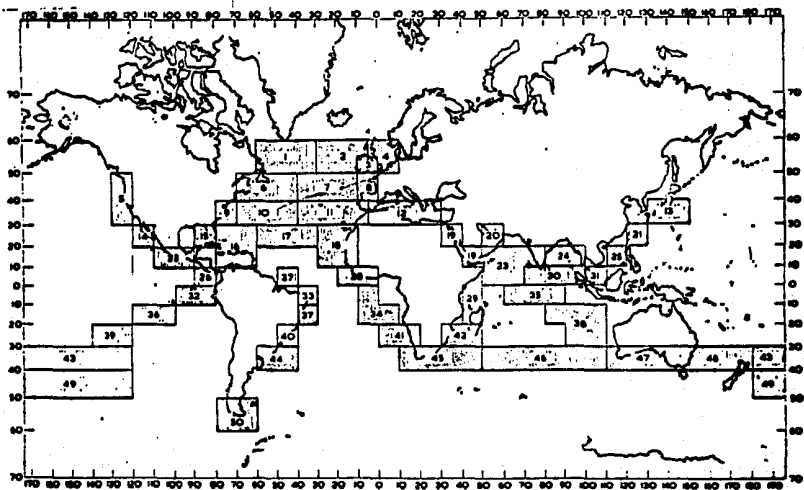
Aun cuando el problema de reagrupar los datos por estaciones se resolvió modificando la presentación de los datos de la Carta "Sea and Swell" existen dos diferencias más entre una carta y otra, la primera es la forma de representar las direcciones y la segunda es que en la carta "Ocean Waves" se presentan varios rangos de altura y diferentes periodos de ola mientras que en la carta "Sea and Swell" sólo se presentan tres rangos de altura (bajo, medio y alto). Para hacer compatibles los datos de ambas cartas se agruparon los datos de la carta "Ocean Waves" en ocho direcciones y tres rangos de altura iguales a los que aparecen en la carta "Sea and Swell".

Una vez que se unificó la presentación de las observaciones de las dos cartas utilizadas se determinaron las tres direcciones en las que el oleaje es significativo, estas son:

- Norte (N)
- Oeste (W)
- Noroeste (NW)

Para evitar confusiones posteriores se debe aclarar que cuando se hace referencia a una dirección ésta es de la cual proviene el oleaje, así por ejemplo el oleaje de dirección Norte es aquel que viaja de Norte a Sur.

Teniendo ya los datos en un formato uniforme y determinadas las tres direcciones de las que el oleaje se desplaza en la zona del estero de Punta Banda se calculó la altura significativa y el porcentaje de actuación para cada dirección. Para el cálculo de la altura significativa se utilizó la expresión (6) para determinar H_r y la expresión (8) para calcular $H_{1/3}$, también se calculó la altura significativa de acuerdo con la definición a la que se hace referencia en párrafos anteriores como el promedio del tercio mayor de olas. Finalmente se determinó como $H_{1/3}$ ($6 H_s$) el valor que resultara más alto después de calcularla utilizando los dos procedimientos y separando los datos según su naturaleza (de generación local -SEA-, de generación lejana -SWELL- y datos del



GROUPING OF MARSDEN SQUARES INTO AREAS

Distribución de zonas de la "OCEAN WAVES CHART"

Fig. 2.7

Ocean Waves). Como se cuenta con el número total de observaciones y se conoce el porcentaje de calmas se determinaron los porcentajes de actuación del oleaje en cada dirección. Todos estos cálculos se realizaron para las cuatro estaciones y para el total anual.

En las páginas siguientes se presentan gráficas que muestran claramente el porcentaje de actuación del oleaje para cada dirección y el porcentaje de calmas (figs. 2.8a a 2.8e). En la tabla 2.1 se muestran los resultados obtenidos tanto de porcentajes de actuación y como de la altura aceptada como Hs.

El período del oleaje para cada una de las direcciones estudiadas se determinó como los promedios de los registrados en la carta del Ocean Waves, que son:

- NORTE (N) 4.5 segundos
- NOROESTE (NW) 5.0 segundos
- OESTE (W) 4.5 segundos

Con estos periodos y utilizando la expresión (3) se calculó la longitud de la ola significativa en aguas profundas que resulta:

Lo = 31.59 metros para To = 4.5 segundos (direcciones Norte y Oeste) y,
Lo = 39.00 metros para To = 5.0 segundos (dirección Noroeste)

2.3 Planos de refracción de oleaje

Ya se ha mencionado que cuando la relación entre la profundidad y la longitud de la ola L_o rebasa cierto límite la celeridad es función de la profundidad y la primera disminuye conforme lo hace la segunda y con ello se vuelve cada vez menor la longitud de la ola.

Cuando un tren de olas entra en aguas intermedias las distintas partes de la cresta se desplazan con diferentes velocidades (debido a las irregularidades del fondo) lo que provoca que la cresta se deforme en su proyección horizontal.

Definiendo como se deforma la cresta de la ola al ser refractada se puede definir el ángulo con el cual incide sobre la costa lo que repercute en la dirección y la magnitud del transporte litoral, fenómeno que se estudia en el capítulo III de esta tesis.

ESTACION	DIRECCION					
	NORTE		NOROESTE		OESTE	
INVIERNO	%	Ho	%	Ho	%	Ho
SEA	13.33	1.01	33.33	1.86	12.00	0.98
SWELL	0.00	0.00	38.00	2.43	22.33	2.20
O.W.	6.12	1.18	50.70	1.15	24.02	1.08
PRIMAVERA	%	Ho	%	Ho	%	Ho
SEA	5.53	0.82	52.33	1.71	16.67	1.24
SWELL	0.00	0.00	49.00	2.24	22.00	2.25
O.W.	1.16	1.16	48.90	1.10	40.88	1.19
VERANO	%	Ho	%	Ho	%	Ho
SEA	0.00	0.00	51.00	1.87	20.67	1.63
SWELL	0.00	0.00	45.67	2.07	21.00	1.86
O.W.	2.12	1.04	43.44	1.10	39.95	1.02
OTOÑO	%	Ho	%	Ho	%	Ho
SEA	11.33	0.80	46.67	1.52	13.00	0.99
SWELL	0.00	0.00	40.00	2.21	18.00	1.81
O.W.	1.93	0.60	50.16	1.09	26.96	1.09
ANUAL	%	Ho	%	Ho	%	Ho
SEA	7.55	0.90	45.83	1.68	15.59	1.27
SWELL	0.00	0.00	43.17	2.23	20.83	1.99
O.W.	2.83	1.09	48.31	1.11	32.95	1.10

	PORCENTAJES Y ALTURAS DE OLA ACEPTADAS PARA EL CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL					
	NORTE		NOROESTE		OESTE	
	%	Ho	%	Ho	%	Ho
INVIERNO	6.48	0.73	40.68	1.71	19.45	1.42
PRIMAVERA	2.23	0.66	50.08	1.68	26.52	1.56
VERANO	0.71	0.35	48.70	1.68	27.21	1.44
OTOÑO	4.42	0.53	48.62	1.61	19.32	1.30
ANUAL	3.46	0.66	46.77	1.67	23.12	1.45

Tabla 2.1

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
% DE OCURRENCIA (INVIERNO)

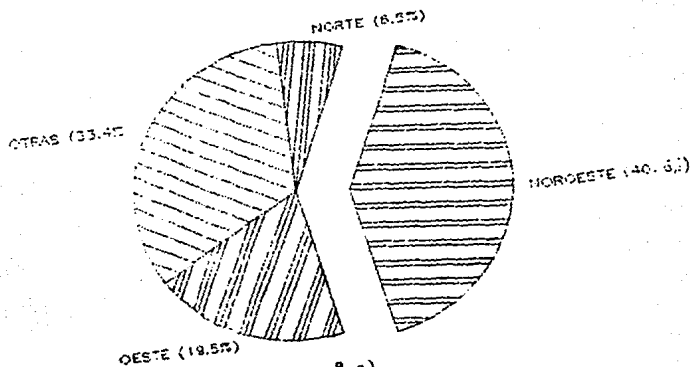


Fig. 2.8 a)

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
% DE OCURRENCIA (PRIMAVERA)

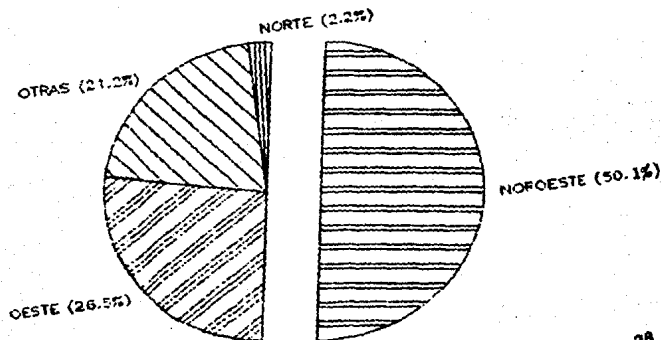


Fig. 2.8 b)

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
% DE OCURRENCIA (VERANO)

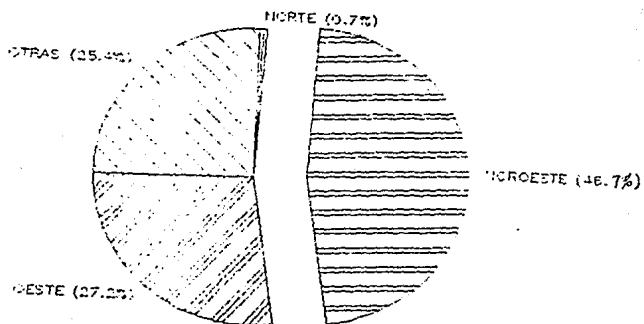


Fig. 2.8 c)

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
% DE OCURRENCIA (OTOÑO)

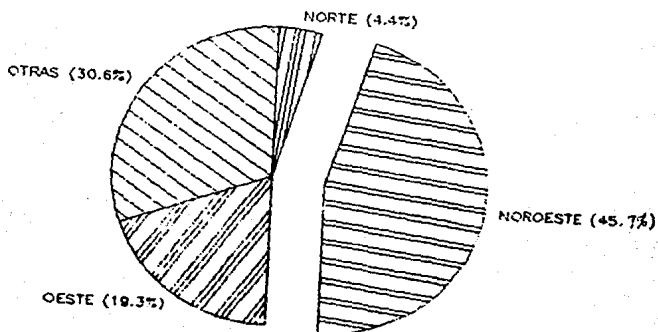


Fig. 2.8 d)

ANALISIS ESTADISTICO DE OLEAJE
% DE OCURRENCIA (ANUAL)

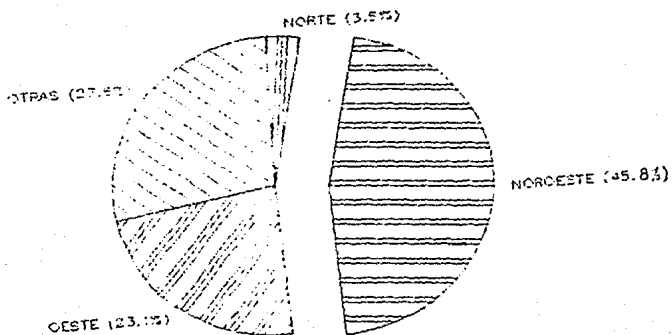


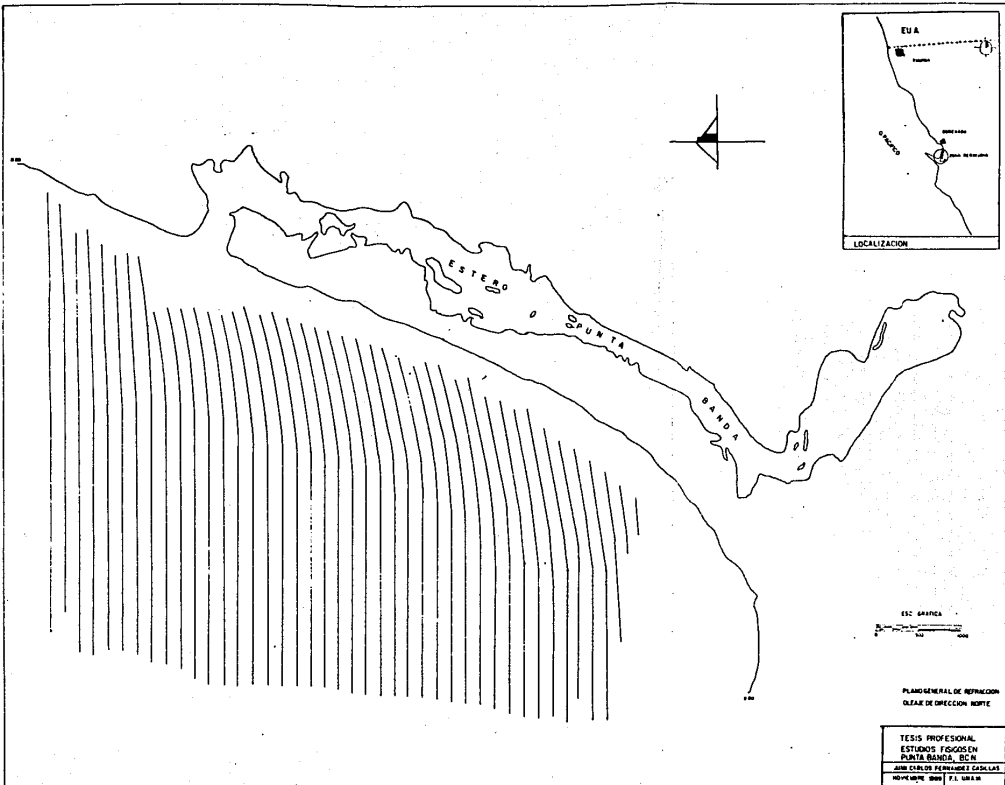
Fig. 2.8 e)

Para el análisis del fenómeno de refracción en el sitio del estudio de Punta Banda se utilizó un método gráfico mismo que se describe a continuación:

- a) Se define la profundidad a partir del cual se tienen aguas intermedias ($d/L_0 < 0.5$)
- b) Se calcula la longitud de la ola para diferentes profundidades, despejándola de las expresiones (1) y (2). En las páginas siguientes se muestran las tablas 2.2 y 2.3 con los resultados de resolver por tanteos estas expresiones para $L_0 = 39.00$ m ($T_0 = 5.0$ s) y $L_0 = 31.59$ m ($T_0 = 4.5$ s), para profundidades que van desde 20 hasta 0.5 metros con intervalos de 0.5 metros.
- c) Se multiplica cada una de las longitudes obtenidas L_i (donde el subíndice "i" indica que se trata de la longitud correspondiente a la profundidad i) por un número cualquiera que represente un número de frentes de ola consecutivos. Esto se hace con el fin de que una distancia igual a nL_i sea de fácil manejo en un plano a escala del sitio del estudio. Para este caso en particular se trabajó con $n = 5$, o sea que nL_i corresponde a la longitud de 5 frentes de ola consecutivos de igual periodo.
- d) En un plano de batimetría a escala que abarque todo el sitio de interés y desde algún punto localizado en aguas profundas se trazan líneas rectas perpendiculares a la dirección del oleaje a cada nL_0 metros hasta llegar a cruzar líneas batimétricas que representen una profundidad menor que $0.5 L_0$.
- e) Desde los lugares en los cuales la línea trazada se intersecta con la línea batimétrica de profundidad i se mide perpendicularmente a la primera una distancia nL_i y se marcan sobre el plano los puntos que resulten; sobre estos se trazan paralelas a la última línea de frentes de ola, en los sitios donde se corten las paralelas trazadas se afina el dibujo con una curva suave.
- f) Se repite el punto e) cuantas veces sea necesario.

En el caso de Punta Banda se utilizó un plano batimétrico escala 1:10,000 que abarca toda la zona del estero para trazar el plano general de refracción para las tres direcciones y planos batimétricos escala 1:2,000 que en conjunto abarcan también toda la zona para trazar los planos de detalle. Se trazaron en total 18 planos de refracción con los cuales se pudo determinar el ángulo de incidencia del oleaje de las tres direcciones en 5 puntos en los que se consideró de importancia conocer la dirección y la magnitud del transporte litoral.

A manera de ilustración se reproduce una reducción del plano general de refracción del oleaje de dirección Norte (plano 1).



ESC. GRÁFICA



PLANO GENERAL DE REFRACCIÓN
DIRECCIÓN DE DIRECCIÓN NORTE

TESIS PROFESIONAL
ESTUDIOS FISICOS EN
PUNTA BANDA. B.C.S.N.
JUAN CARLOS FERNANDEZ CASILLAS
NOVIEMBRE 2008 | P.L. UNIBIA

CAPITULO III

Transporte litoral

CAPITULO III. TRANSPORTE LITORAL.

3.1 Generalidades.

El transporte litoral es un fenómeno que se presenta en las playas y consiste en el desplazamiento del material que conforma éstas a lo largo de la línea de la costa. Este fenómeno se observa principalmente de la zona de rompiente hasta el límite con la tierra firme.

El objetivo que se persigue al estudiar este fenómeno es predecir si existirá erosión o depósito de material en algún punto determinado y, de ser así, estimar aproximadamente el volumen del material transportado.

El volumen transportado por unidad de tiempo puede ser determinado por medio de mediciones en campo o utilizando fórmulas desarrolladas experimentalmente.

Las leyes que rigen el fenómeno del transporte litoral aún no son del todo conocidas, por lo que resulta difícil prever la evolución de un fondo sometido a múltiples condiciones hidrodinámicas. Sin embargo los resultados que arrojan los métodos hasta ahora conocidos se pueden considerar suficientemente buenos.

El transporte litoral es consecuencia la acción del oleaje sobre la playa y de las corrientes existentes en la zona.

En el caso de que sea producido por la acción del oleaje en la playa el transporte se puede producir en dos zonas de la costa, la interior (ONSHORE) y la exterior (OFFSHORE). La zona interior se puede dividir aún en zona de rompientes y zona de estrán (fig. 3.1).

El transporte que es consecuencia de la acción del oleaje sobre la parte interior de la costa playa se produce por dos causas distintas:

- a) Por el efecto de la ola al precipitarse sobre la parte alta de la playa. La ola ascendente transporta sedimentos en dirección de la ola los cuales descienden por la línea de mayor pendiente por lo que la trayecto-

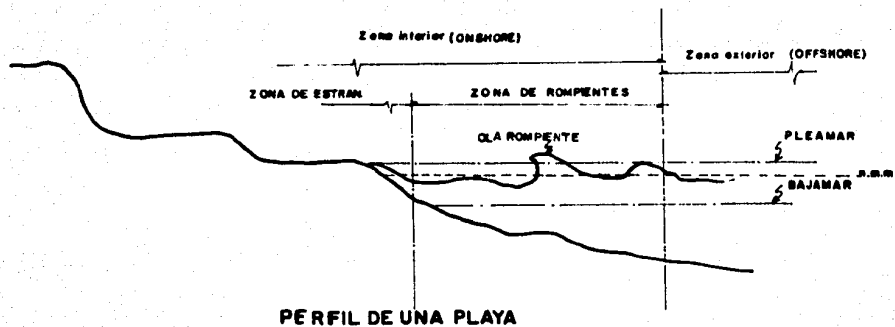


Fig. 3.1

ria del transporte es similar a los diente de una sierra (fig. 3.2 a).

b) Debido al rompimiento de la ola y a la corriente longitudinal. El oleaje generalmente llega a la costa con un ángulo de incidencia, la energía que éste tiene puede considerarse formada por una componente transversal y otra paralela a la costa, la corriente producida por la componente paralela produce una corriente que es capaz de arrastrar sedimentos y es conocida como corriente de rompiente (fig. 3.2 b).

En la parte exterior de la playa el transporte de sedimentos es el resultado de la interacción entre las partículas de agua con movimiento oscilatorio y las partículas de sedimentos inicialmente en reposo. El inicio del movimiento de las partículas del sedimento puede ser mediante alguno de los procesos que a continuación se enlistan (fig. 3.3):

- Arrastre
- Rodamiento
- Salto
- Suspensión

El transporte de sedimentos debido a la acción de las corrientes es directamente proporcional a la intensidad de éstas. Este transporte está determinado por un esfuerzo cortante generado por la corriente, por su velocidad, por la profundidad y por la magnitud de las asperezas del fondo.

3.2 Métodos para la cuantificación del transporte litoral

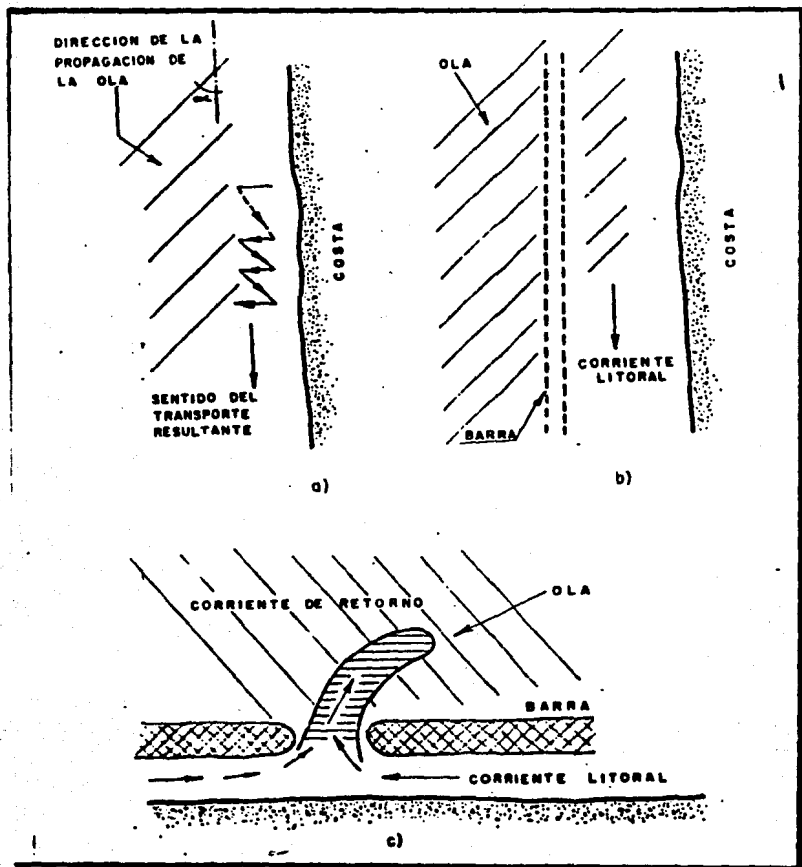
El volumen de material transportado puede ser determinado utilizando distintos métodos basados en:

a) Medición directa.

Espigones de prueba. Este método consiste en la construcción de espigones en la playa los cuales retienen el material transportado. La cuantificación del mismo se realiza mediante seccionamientos playeros.

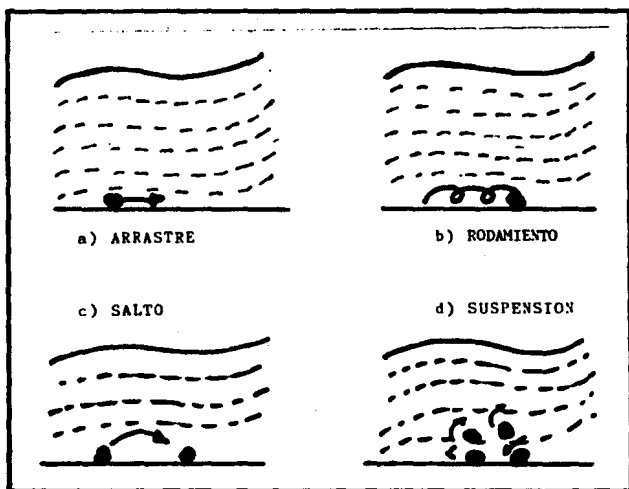
Trazadores fluorescentes y/o radioactivos. En términos generales estos métodos consisten en marcar material de características similares a las que tenga el material en el sitio en estudio mediante pinturas fluorescentes y/o material radioactivo para colocarlo en la playa y rastrear su trayectoria.

Fosas de prueba. Este método consiste en hacer una fosa y determinar sus dimensiones para así poder estimar el volumen de los depósitos. Una desventaja importante de este método es que no se puede determinar claramente la procedencia del transporte.



CORRIENTES INDUCIDAS POR EL OLAJE

Fig. 3.2



FORMAS DE INICIO DEL MOVIMIENTO

Fig. 3.3

b) Utilización de fórmulas empíricas

En lo que respecta a las fórmulas empíricas se puede decir que existe un gran número de ellas, desarrolladas por diferentes investigadores y bajo diversas condiciones. Las fórmulas empíricas coinciden en el hecho de que la energía del oleaje es la causa principal del transporte litoral.

c) Combinando la medición directa y la aplicación de fórmulas empíricas

3.3 Determinación del transporte litoral en la zona del estero de Punta Banda.

Es deseable siempre que sea posible combinar la medición directa con la aplicación de fórmulas empíricas y apoyarse en fotografías aéreas de distintas épocas, sin embargo para la zona del estero de Punta Banda no fue posible la aplicación de ningún método de medición directa.

Las fórmulas empíricas utilizadas son:

- a) Caldwell
- b) CERC
- c) Larras
- d) Springall
- e) Pynchine

3.3.1 Fórmula de Caldwell.

Joseph Caldwell fue uno de los primeros investigadores que intentaron relacionar el volumen del material transportado con las características del oleaje. En su trabajo, preparado en 1956 en forma de memorandum técnico del Beach Erosion Board (BEB) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército Americano (USAE) analizó el transporte litoral en algún punto de la costa de California y estableció la siguiente relación:

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

donde Q_s = gasto sólido de transporte litoral (yd³/día)
 E_i = energía del oleaje a lo largo de la costa (millones de libras-pie por pie de playa y por metro)

La energía a lo largo de la costa (energía incidente E_i) puede ser valuada con la expresión:

$$E_i = \frac{w H_o^3 L N K r^2 \sin \alpha \cos \alpha}{8'000,000}$$

donde w = peso específico del agua (lb/ft³)
 H_o = altura de la ola en aguas profundas (ft)

L = longitud de la ola en la zona de rompiente (ft)
 Kr = coeficiente de refracción
 α = ángulo de incidencia
 N = número de olas por día

La fórmula de Caldwell traducida al sistema métrico se puede expresar como:

$$Q_s = 0.292 (H_o^3 L N K_r^2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha) \quad 0.8$$

donde H_o y L se expresan en metros, el resultado en metros cúbicos por día, y el peso volumétrico del agua se considera de 1025 kg/m³.

Esta fórmula puede considerarse representativa del sitio en estudio ya que el estero de Punta Banda está ubicado en la costa norte de Baja California por lo que se encuentra relativamente cerca del lugar donde se obtuvieron los datos para el desarrollo de la fórmula. Sin embargo en ella no se toman en cuenta los efectos que ocasiona el tamaño del material en el volumen transportado, factor que puede ser determinante en alguna situación particular.

3.3.2 Fórmula del CERC

Esta fórmula, desarrollada por el Coastal Engineering Research Center del Ejército Americano es similar a la anterior pero para su elaboración se tomó en cuenta información de distintos sitios. Esta fórmula comparte con la de Caldwell el defecto de no considerar las características del material. La expresión original de la fórmula del Cerc es:

$$Q_s = 125 E_a$$

donde $E_a = E_o/2$, siendo E_o la energía del oleaje en aguas profundas calculada con base en la teoría lineal y expresada en las mismas unidades de la fórmula de Caldwell.

La fórmula, ya traducida al sistema métrico, se puede expresar como:

$$Q_s = 1622 H_o^3 T K_r^2 \operatorname{sen} \alpha \cos \alpha$$

donde Q_s = gasto de material transportado (m³/día)
 H_o = altura de la ola en aguas profundas
 T = período de la ola en aguas profundas
 K_r = coeficiente de refracción
 α = ángulo de incidencia

3.3.3 Fórmula de Larras

J. Larras desarrolló en Francia en el año de 1964 una fórmula experimental que incluye, a diferencia de las dos anteriores, parámetros relacionados con la forma y granulometría del

material y con las características del oleaje. La expresión a la que llegó es la siguiente:

$$Q_s = K' g Hr^2 T \text{ sen } (1.75 \alpha)$$

donde Q_s = gasto sólido (m³/s)
 K' = parámetro que depende de las características tanto del material como del oleaje, su valor se calcula con la expresión:

$$1.18 \times 10^{-6} D50^{-1/4}$$

D50 = mediana de la distribución granulométrica del material (mm)

Lo = longitud de la ola en aguas profundas (m)

Ho = altura de la ola en aguas profundas (m)

T = periodo de la ola

Hr = altura de la ola en la zona de rompiente (m)

α = ángulo de incidencia del oleaje

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

Esta fórmula, al tomar en cuenta las características del material y el oleaje para el cálculo del transporte litoral, parece ser mejor que las dos fórmulas mencionadas en los puntos anteriores y proporciona valores semejantes a los que arrojan aquéllas si el diámetro del material es suficientemente pequeño.

3.3.4 Fórmula de Pichkyne

La fórmula que este investigador propuso se puede expresar como:

$$Q_s = 1.856 \times (10)^{-4} Hr^2 T^2 (D) \text{ sen } (2 \alpha)$$

las literales contenidas en esta fórmula tienen las mismas unidades y el mismo significado que en la fórmula de Larras.

3.3.5 Fórmula de Springall

El Doctor R. Springall realizó varios estudios con trazedores fluorescentes en diversos sitios de la República Mexicana y con los datos que de éstos obtuvo definió la siguiente fórmula:

$$Q_s = 1.1 \times 10^{-6} D Hr^{7/4} \left[\frac{\text{sen } (2\alpha)}{mT} \right]^{1/2}$$

donde Q_s = gasto sólido en m³/s,
 D = D50 del material en m
 Hr = altura de ola significativa en m
 T = periodo significativo en segundos
 m = pendiente media de la playa

En comparación con las fórmulas anteriores ésta difiere notablemente en cuanto al volumen de material arrastrado, que resulta mucho mayor que en todas las demás, sin embargo se consi-

deró que su aplicación permite contar con un rango más amplio de resultados que servirán para establecer las comparaciones y optar por el resultado que parezca más correcto.

3.3.6 Cálculo del transporte litoral

En el capítulo II de esta tesis se mencionó que habían cinco puntos de interés para conocer el volumen del transporte litoral así como su dirección, estos puntos son (fig 3.4):

- Puntos "A" y "B", en las zonas norte y sur, respectivamente, de la boca actual.
- Puntos "C", "D" y "E", en las zonas norte central y sur de lo que sería la boca futura.

Para todos ellos se calcularon los ángulos de incidencia del oleaje de las tres direcciones a partir de los planos de refracción elaborados previamente. Los ángulos mencionados se presentan en la siguiente tabla:

PUNTO	ANGULOS DE INCIDENCIA (en radianes)		
	DIRECCION DEL OLAJE		
	NORTE	NOROESTE	OESTE
A	1.45	1.22	1.14
B	1.48	1.22	1.14
C	1.33	0.03	1.40
D	1.34	0.03	1.40
E	1.35	0.03	1.40

Tabla 3.1

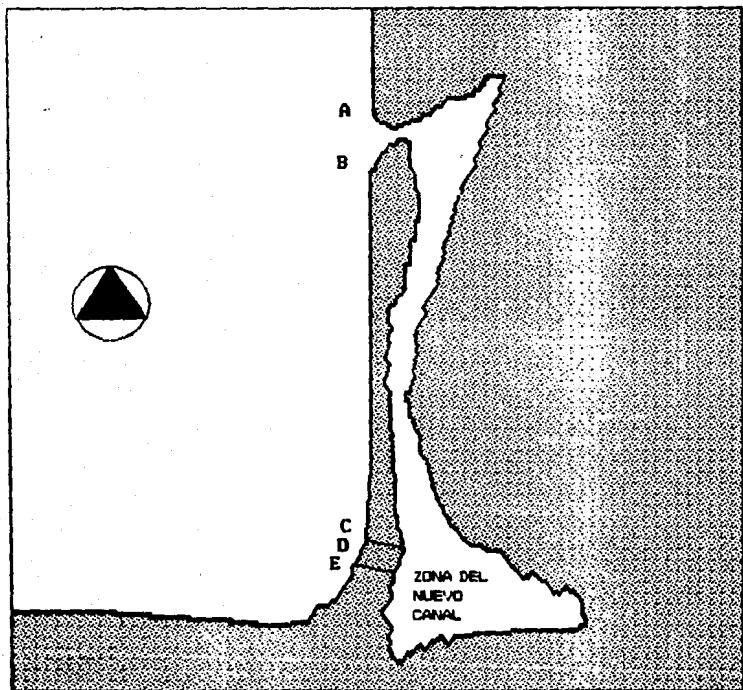
Asimismo se calculó para cada punto mencionado el coeficiente de refracción del oleaje siguiendo el siguiente procedimiento:

- Se trazaron cinco canales de energía, uno para cada punto. Un ejemplo de un canal de energía se presenta en la figura 3.5
- Se midió el ancho inicial del canal de energía (bo) y el ancho final (bf)
- Se calculó la relación entre ambos denominándola Kr (coeficiente de refracción)

En la siguiente tabla se presentan los resultados a los que se llegó.

PUNTO	COEFICIENTES DE REFRACCION		
	DIRECCION DEL OLAJE		
	NORTE	NOROESTE	OESTE
A	0.770	1.002	0.998
B	0.840	0.998	0.951
C	0.820	0.987	0.990
D	0.850	0.955	0.960
E	0.630	1.000	1.000

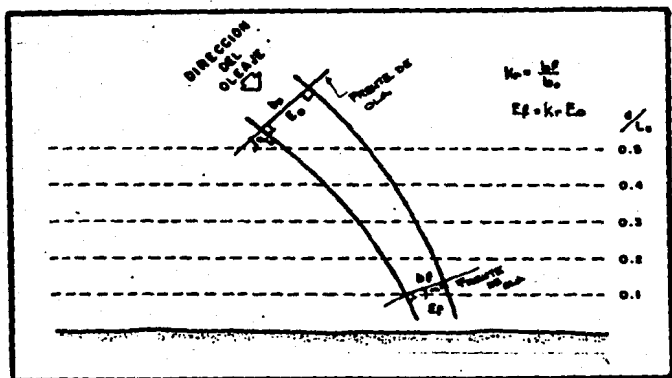
Tabla 3.2



CROQUIS

ESTERO DE PUNTA BANDA

Fig. 3.4



CANAL DE ENERGIA

Fig. 3.5

Algunas fórmulas requieren también de la altura y la longitud de rompiente por lo que se presentan en la tabla siguiente los resultados del cálculo respectivo (tabla 3.3).

Para completar los datos necesarios para la aplicación de las fórmulas se aceptó como diámetro D50 del material playero 25 milímetros (de la tesis de González Calvillo mencionada en la bibliografía) y como pendiente media de la playa $m = 1\%$ (obtenida del plano batimétrico general).

Para el cálculo del transporte litoral según las fórmulas antes expuestas y con los datos ya obtenidos se realizó un programa de computadora con el que se obtienen volúmenes de material transportado por estación (m^3 /estación) para cada estación, en cada punto y para cada dirección, así como el volumen anual neto y total.

Para obtener el transporte neto anual se le asignó signo positivo al volumen cuando el material se transporta de Sur a Norte y negativo cuando lo hace en sentido contrario.

3.3.7 Fotointerpretación

Los términos de referencia del estudio del cual surgió esta tesis pedían apoyar los resultados del cálculo de transporte litoral con la interpretación de fotografías aéreas del sitio de diferentes épocas por lo que se consiguieron los siguientes pares estereoscópicos (a manera de ilustración se reproduce en la siguiente página una fotografía aérea del estero):

de 1956, escala 1:50,000
de 1964, escala 1:20,000 y
de 1970, escala 1:50,000

De su análisis surgieron varias observaciones interesantes relacionadas tanto con el transporte litoral (motivo original de la fotointerpretación) como con otros aspectos de la investigación. Un resumen de estas observaciones se presenta a continuación:

- Se aprecia la boca del estero muy similar en todas las fotografías por lo que aparentemente la estabilidad de la boca es buena (ver cap. IV)
- Las crestas del oleaje que se observan en las fotografías son sumamente similares a las dibujadas en los planos de refracción elaborados en el capítulo II.
- El volumen de transporte litoral es pequeño; en la zona de la boca actual tiene dirección de Norte a Sur, (este dato se apoya también en las visitas técnicas mencionadas en el capítulo I); y en el extremo sur, zona de la boca futura, es inapreciable.



FOTOGRAFIA AEREA DEL ESTERO TOMATA EN JUNIO DE 1956.

Fig. 3.6

PROYECTO PUNTA BANDA
 OBTENCION DE LA ALTURA, LONGITUD Y PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE ROMIENTE

CALCULOS PARA LA ESTACION: INVIERNO
 PARA LA DIRECCION: NORTE
 T= 4.5 Ho= 0.73

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.770	0.67	12.72	- 0.86
B	0.840	0.72	13.15	- 0.93
C	0.820	0.71	13.03	- 0.91
D	0.850	0.73	13.21	- 0.94
E	0.830	0.72	13.09	- 0.92

PARA LA DIRECCION: NOROESTE
 T= 5.0 Ho= 1.71

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	1.002	1.75	22.00	- 2.24
B	0.998	1.74	21.97	- 2.23
C	0.987	1.72	21.88	- 2.21
D	0.955	1.68	21.62	- 2.15
E	1.000	1.74	21.98	- 2.23

PARA LA DIRECCION: OESTE
 T= 4.5 Ho= 1.42

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.996	1.44	17.94	- 1.84
B	1.051	1.50	18.28	- 1.92
C	0.990	1.43	17.90	- 1.83
D	0.960	1.39	17.71	- 1.79
E	1.000	1.44	17.97	- 1.85

JCFc

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA
 PROYECTO PUNTA BANDA
 OBTENCION DE LA ALTURA, LONGITUD Y PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE ROMPIENTE

TAQUIMOS PARA LA ESTACION: PRIMAVERA
 PARA LA DIRECCION: NORTE
 T= 4.0 Ho= 0.66

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.770	0.62	12.23	- 0.80
B	0.840	0.67	12.65	- 0.85
C	0.820	0.66	12.53	- 0.84
D	0.850	0.67	12.71	- 0.86
E	0.830	0.66	12.59	- 0.85

PARA LA DIRECCION: NOROESTE
 T= 5.0 Ho= 1.66

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	1.002	1.72	21.86	- 2.20
B	0.998	1.71	21.83	- 2.20
C	0.987	1.70	21.74	- 2.18
D	0.955	1.65	21.49	- 2.12
E	1.000	1.72	21.85	- 2.20

PARA LA DIRECCION: OESTE
 T= 4.5 Ho= 1.56

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.996	1.55	18.55	- 1.99
B	1.051	1.62	18.90	- 2.08
C	0.990	1.54	18.51	- 1.98
D	0.960	1.50	18.31	- 1.93
E	1.000	1.56	18.57	- 1.99

0000

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA
 PROYECTO PUNTA BANDA
 OBTENCION DE LA ALTURA, LONGITUD Y PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE ROMPIENTE

CALCULOS PARA LA ESTACION: VERANO
 PARA LA DIRECCION: NORTE
 T= 4.5 Ho= 0.35

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.770	0.37	9.54	- 0.47
B	0.840	0.40	9.87	- 0.51
C	0.820	0.39	9.78	- 0.50
D	0.850	0.40	9.92	- 0.51
E	0.830	0.39	9.82	- 0.50

PARA LA DIRECCION: NOROESTE
 T= 5.0 Ho= 1.68

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	1.002	1.72	21.86	- 2.20
B	0.998	1.71	21.63	- 2.20
C	0.987	1.70	21.74	- 2.18
D	0.955	1.65	21.49	- 2.12
E	1.000	1.72	21.65	- 2.20

PARA LA DIRECCION: OESTE
 T= 4.5 Ho= 1.44

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.996	1.45	18.03	- 1.86
B	1.051	1.52	18.37	- 1.95
C	0.990	1.44	17.89	- 1.86
D	0.960	1.41	17.79	- 1.81
E	1.000	1.46	18.06	- 1.87

Jcfc

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA
 PROYECTO PUNTA BANDA
 OBTENCION DE LA ALTURA, LONGITUD Y PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE ROMPIENTE

CALCULOS PARA LA ESTACION: OTONO
 PARA LA DIRECCION: NORTE
 T= 4.5 Ho= 0.53

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.770	0.52	11.23	- 0.66
B	0.840	0.58	11.62	- 0.71
C	0.820	0.55	11.51	- 0.70
D	0.850	0.56	11.87	- 0.72
E	0.830	0.55	11.58	- 0.71

PARA LA DIRECCION: NOROESTE
 T= 5.0 Ho= 1.61

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	1.002	1.66	21.53	- 2.13
B	0.993	1.68	21.50	- 2.12
C	0.987	1.64	21.41	- 2.10
D	0.955	1.60	21.16	- 2.05
E	1.000	1.66	21.51	- 2.13

PARA LA DIRECCION: OESTE
 T= 4.5 Ho= 1.30

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.996	1.34	17.38	- 1.71
B	1.051	1.40	17.72	- 1.79
C	0.990	1.33	17.34	- 1.70
D	0.980	1.30	17.15	- 1.66
E	1.000	1.34	17.41	- 1.72

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA
 PROYECTO PUNTA BANDA
 OBTENCION DE LA ALTURA, LONGITUD Y PROFUNDIDAD EN LA ZONA DE ROMPIENTE

CALCULOS PARA LA ESTACION: ANUAL
 PARA LA DIRECCION: NORTE
 T= 4.5 Ho= 0.66

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.770	0.62	12.23	- 0.80
B	0.840	0.67	12.65	- 0.85
C	0.820	0.65	12.53	- 0.84
D	0.850	0.67	12.71	- 0.86
E	0.830	0.66	12.59	- 0.85

PARA LA DIRECCION: NOROESTE
 T= 5.0 Ho= 1.67

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	1.002	1.71	21.81	- 2.19
B	0.998	1.71	21.78	- 2.19
C	0.987	1.69	21.70	- 2.17
D	0.955	1.65	21.44	- 2.11
E	1.000	1.71	21.80	- 2.19

PARA LA DIRECCION: OESTE
 T= 4.5 Ho= 1.45

PUNTO	Kr	Hr	Lr	d
A	0.996	1.46	16.07	- 1.87
B	1.051	1.53	16.42	- 1.96
C	0.990	1.45	16.04	- 1.86
D	0.960	1.42	17.84	- 1.82
E	1.000	1.47	16.10	- 1.86

3.3.8 Selección de resultados

Ya anteriormente, se había mencionado que las fórmulas del CERC y de Caldwell no toman en cuenta el diámetro del material, lo que representa una posible desventaja. Si en toda la zona el material tuviera un mismo diámetro, no habría inconveniente en aplicar estas fórmulas y aceptar sus resultados. Sin embargo, en el caso particular del estero, es notable la diferencia entre el diámetro del material de la parte norte y el diámetro del material de la parte sur. Esto, se pensó, influye de manera determinante en el volúmen de material transportado.

Ademas, los resultados que arrojan estas fórmulas son muy altos (ver tablas de transporte litoral total) lo cual se opone a la última observación anotada de la fotointerpretación.

Con la fórmula de Springall se obtienen volúmenes de material transportado altos y direcciones del transporte contrarias a las obtenidas con las otras cuatro fórmulas y no se tienen elementos para justificar estos resultados.

En vista de lo anterior, se decidió descartar los resultados obtenidos con las fórmulas del CERC, de Caldwell y de Springall.

Quedaron finalmente dos fórmulas, la de Pychkine y la de Larras. La fórmula de Pychkine parece tener la misma estructura básica que la fórmula de Larras. La primera arroja valores iguales que la segunda en cuanto a la dirección del transporte y semejantes en cuanto a la magnitud del volumen transportado. En virtud de que la fórmula de Larras es mucho más conocida que la de Pychkine, se decidió trabajar con los resultados que arroja la primera, tratando de justificarlos.

El volumen de material transportado deberá ser tal, que arroje resultados coherentes a la hora de evaluar la estabilidad del estero (capítulo IV); que al parecer es aceptable. Además el volumen debe ser pequeño, para ser consistentes con las observaciones de la fotointerpretación.

Por otro lado, como ya se hizo notar, en la zona de la nueva boca (parte sur) el material tiene un diámetro mayor que en el resto del estero, por lo que los valores reales del transporte en ese sitio pueden ser menores que los calculados. Por lo anterior, el volumen del transporte en la parte sur del estero se consideró del orden del 50% del que arroja la fórmula de Larras. Aplicando esta fórmula, con los datos de la parte sur y considerando un D50 = 70 mm, se llega a resultados de la magnitud señalada.

En cuanto a la dirección del transporte (de Norte a Sur o viceversa), a excepción de la fórmula de Springall todas las fórmulas coinciden. Al evaluar el transporte litoral neto se obtiene que en los puntos "A" y "B" (zona norte), el transporte

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

ESTACION: INVIERNO

DIRECCION: NORTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	-2,004.00	-1,708.54	-306.39	-012.15	-1,039.39	
B	-1,007.64	-1,604.90	-624.76	-337.27	-1,032.31	
C	-3,034.33	-3,922.95	-042.93	-094.04	-2,063.49	
D	-3,979.21	-4,032.69	-074.23	-910.00	-2,047.76	
E	-3,079.19	-3,708.09	-037.67	-050.22	-2,010.73	

DIRECCION: NOROESTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	-234,115.40	-312,530.60	-21,009.64	-50,010.57	-97,635.90	
B	-234,353.10	-310,040.60	-21,640.19	-50,140.20	-96,681.64	
C	-34,290.40	-20,172.77	-1,313.13	-3,270.70	-20,070.30	
D	-32,219.43	-20,375.30	-1,252.79	-3,036.11	-27,713.35	
E	-33,143.93	-20,919.00	-1,343.07	-3,402.25	-29,660.70	

DIRECCION: OESTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	+07,373.04	+107,749.20	+6,710.20	+10,136.76	+37,944.20	
B	+06,663.73	+119,977.00	+7,201.14	+19,679.65	+00,734.10	
C	+44,903.76	+40,991.70	+4,630.81	+7,075.19	+24,904.00	
D	+42,304.99	+44,106.95	+4,373.36	+7,029.60	+23,690.21	
E	+43,776.40	+47,943.90	+4,673.00	+8,004.00	+23,210.00	

ESTACION: PRIMAVERA

DIRECCION: NORTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	-567.93	-301.61	-190.77	-121.23	-357.61	
B	-533.52	-450.61	-205.53	-104.06	-354.09	
C	-1,006.32	-1,101.33	-260.40	-237.96	-042.73	
D	-1,127.06	-1,137.07	-200.42	-263.53	-071.00	
E	-1,042.52	-1,041.12	-267.41	-203.39	-031.44	

DIRECCION: NOROESTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	-209,210.00	-304,769.60	-26,033.21	-69,932.30	-116,044.70	
B	-207,050.30	-301,703.00	-25,731.30	-69,141.51	-115,640.30	
C	-42,600.22	-34,604.69	-1,379.30	-6,340.67	-34,033.32	
D	-34,475.00	-32,472.69	-1,067.76	-5,900.71	-33,640.25	
E	-43,062.33	-33,600.30	-1,616.60	-6,090.93	-33,303.64	

DIRECCION: OESTE						TIEMPO EN s3/est
PUNTO	CALINELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	
A	+102,230.90	+177,297.90	+9,640.53	+20,649.30	+20,044.92	
B	+137,330.30	+177,619.70	+10,339.69	+31,393.40	+43,370.00	
C	+73,097.05	+77,323.00	+6,665.10	+12,003.07	+30,656.00	
D	+08,903.13	+72,708.21	+6,323.30	+11,043.70	+36,916.13	
E	+70,474.33	+70,093.06	+6,039.30	+12,010.23	+39,330.90	

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

ESTACION: VERANO

DIRECCION: NORTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	-54.83	-45.17	-41.02	-13.82	-72.33	
B	-50.76	-40.58	-44.23	-12.20	-72.04	
C	-103.40	-99.17	-58.34	-29.73	-110.38	
D	-107.35	-102.46	-60.35	-30.08	-113.14	
E	-99.18	-93.75	-56.38	-27.44	-106.03	

DIRECCION: NORDESTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	-262,126.40	-346,276.00	-24,706.45	-65,722.71	-108,757.80	
B	-260,168.20	-343,516.90	-24,619.98	-64,466.51	-107,653.70	
C	-38,066.94	-31,214.71	-1,498.81	-5,919.40	-32,478.07	
D	-35,778.93	-29,223.47	-1,411.94	-5,576.32	-30,824.88	
E	-39,029.59	-32,042.40	-1,534.28	-6,059.50	-33,149.68	

DIRECCION: OESTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+125,495.20	+155,003.30	+9,385.50	+25,724.63	+53,725.93	
B	+138,824.80	+172,594.70	+10,313.56	+28,268.34	+58,346.69	
C	+64,497.33	+67,600.30	+6,477.59	+11,199.38	+35,265.68	
D	+80,852.84	+83,565.39	+6,210.50	+19,737.60	+33,990.01	
E	+65,746.78	+68,972.85	+6,658.78	+11,312.64	+36,127.29	

ESTACION: OTONO

DIRECCION: NORTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	-741.37	-642.15	-331.75	-169.29	-813.70	
B	-699.27	-576.86	-354.97	-148.20	-804.85	
C	-1,418.33	-1,409.91	-675.08	-366.65	-1,248.95	
D	-1,472.22	-1,456.69	-684.30	-345.48	-1,263.93	
E	-1,366.85	-1,332.83	-659.09	-338.30	-1,199.70	

DIRECCION: NORDESTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	-236,345.36	-310,786.60	-23,461.05	-59,354.41	-99,854.94	
B	-234,576.80	-308,239.90	-23,661.05	-59,354.41	-99,854.94	
C	-31,328.61	-28,088.34	-1,422.05	-3,382.23	-29,797.25	
D	-32,253.15	-26,221.64	-1,353.53	-3,122.89	-28,537.87	
E	-33,177.63	-28,751.01	-1,456.94	-3,514.31	-30,436.07	

DIRECCION: OESTE

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+73,466.18	+89,697.82	+6,364.14	+15,599.86	+33,227.60	
B	+81,312.20	+99,876.84	+6,881.33	+17,827.26	+35,878.80	
C	+37,753.81	+39,118.83	+4,345.97	+6,783.41	+21,788.83	
D	+35,628.68	+36,783.90	+4,152.12	+6,488.84	+20,936.83	
E	+38,489.67	+39,913.29	+4,611.57	+6,885.88	+22,076.33	

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

CALCULO ANUAL

DIRECCION: NORTE						TODOS EN e3/est
PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAG	PYCHKINE	SPRINGALL	
A	-3,541.00	-3,120.24	-1,189.73	-756.02	-3,477.53	
B	-3,339.72	-2,010.19	-1,201.00	-644.43	-3,446.53	
C	-6,774.78	-6,040.42	-1,673.09	-1,600.73	-5,255.00	
D	-7,033.82	-7,096.30	-1,748.02	-1,643.51	-5,434.43	
E	-6,501.61	-6,492.90	-1,647.71	-1,330.30	-5,105.24	

DIRECCION: NOROESTE						TODOS EN e3/est
PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAG	PYCHKINE	SPRINGALL	
A	-1,010,877.00	-1,345,216.00	-96,501.34	-233,440.30	-423,237.30	
B	-1,011,263.00	-1,334,497.00	-96,501.34	-233,440.30	-423,237.30	
C	-140,010.00	-121,263.20	-5,050.20	-22,990.90	-126,375.10	
D	-139,067.20	-113,527.60	-5,504.24	-21,923.15	-121,187.10	
E	-131,706.70	-124,478.60	-5,997.76	-23,546.56	-129,003.90	

DIRECCION: OESTE						TODOS EN e3/est
PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAG	PYCHKINE	SPRINGALL	
A	+433,213.60	+535,609.60	+32,204.60	+88,002.20	+105,312.10	
B	+479,420.70	+596,396.30	+35,366.74	+97,609.53	+201,139.00	
C	+222,746.60	+233,590.90	+22,220.77	+30,699.15	+121,640.90	
D	+210,162.30	+219,640.90	+21,310.47	+37,114.37	+117,270.60	
E	+226,959.30	+230,333.70	+21,923.22	+38,167.21	+120,104.30	

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

TRANSPORTE LITORAL NETO, ESTACION: INVIERNO

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGBALL	TODOS EN m3/est
A	-150,744.40	-206,567.90	-15,765.73	-41,093.93	-61,571.05	
B	-139,578.90	-191,667.50	-14,983.81	-38,827.91	-57,759.64	
C	+6,780.95	+14,896.47	+2,474.72	+1,720.38	-6,837.58	
D	+6,184.33	+13,758.68	+2,244.35	+1,512.78	-6,963.10	
E	+6,953.28	+15,318.01	+2,514.26	+1,753.53	-7,077.45	

TRANSPORTE LITORAL NETO, ESTACION: PRIMAVERA

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGBALL	TODOS EN m3/est
A	-147,557.90	-207,973.30	-14,575.45	-41,424.39	-58,357.39	
B	-130,257.30	-184,734.80	-15,597.22	-37,952.88	-52,441.33	
C	+30,010.49	+41,537.44	+4,817.40	+5,877.23	+2,980.01	
D	+28,379.48	+39,098.25	+4,555.17	+5,599.54	+2,984.49	
E	+30,349.68	+42,247.95	+4,955.25	+6,045.91	+3,153.82	

TRANSPORTE LITORAL NETO, ESTACION: VERANO

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGBALL	TODOS EN m3/est
A	-134,685.30	-191,317.70	-15,361.93	-39,511.91	-55,104.19	
B	-121,394.40	-170,962.70	-14,150.65	-34,210.37	-49,379.01	
C	+24,326.99	+34,286.42	+4,920.44	+5,250.25	+2,677.23	
D	+24,943.74	+34,239.45	+4,738.21	+5,131.20	+3,051.99	
E	+28,618.02	+36,836.70	+5,048.11	+5,425.70	+2,871.59	

TRANSPORTE LITORAL NETO, ESTACION: OTONO

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGBALL	TODOS EN m3/est
A	-143,622.70	-221,651.80	-17,488.66	-43,924.65	-67,441.04	
B	-153,963.00	-208,930.90	-16,934.69	-42,475.34	-64,784.99	
C	+2,814.68	+9,760.57	+2,448.84	+1,034.52	-9,257.38	
D	+1,899.27	+9,105.57	+2,314.30	+992.47	-8,864.97	
E	+1,931.20	+9,829.25	+2,495.53	+1,033.18	-9,559.44	

TRANSPORTE LITORAL NETO, ESTACION: CALCULO ANUAL

PUNTO	CALDWELL	CERC	LARRAS	PYCHKINE	SPRINGBALL	TODOS EN m3/est
A	-589,295.50	-812,734.60	-65,546.47	-165,322.00	-241,402.70	
B	-535,181.90	-740,911.00	-62,496.41	-154,505.10	-225,558.90	
C	+47,953.75	+105,459.30	+16,686.61	+14,091.44	-9,981.97	
D	+44,041.50	+99,024.49	+13,985.40	+13,547.71	-9,342.98	
E	+48,751.19	+107,342.20	+14,257.76	+13,090.20	-14,004.63	

TESIS PROFESIONAL ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA

CALCULO DEL TRANSPORTE LITORAL

TRANSPORTE LITORAL TOTAL, ESTACION: INVIERNO

PUNTO	CARRELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+325,996.10	+422,066.00	+29,186.30	+77,367.07	+137,439.50	
B	+332,906.50	+431,623.10	+29,346.10	+78,187.20	+139,267.90	
C	+83,030.56	+79,087.10	+6,786.89	+14,078.01	+56,646.35	
D	+78,383.65	+74,615.22	+4,504.38	+15,406.59	+54,339.51	
E	+84,399.52	+88,573.78	+6,877.34	+14,258.47	+57,497.57	

TRANSPORTE LITORAL TOTAL, ESTACION: PRIMAVERA

PUNTO	CARRELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+431,999.70	+562,569.10	+35,872.52	+98,723.14	+176,047.20	
B	+444,916.20	+579,576.10	+36,476.61	+100,543.90	+179,389.40	
C	+116,185.60	+113,109.50	+8,512.00	+19,090.49	+74,332.15	
D	+109,586.00	+106,318.20	+8,091.50	+18,088.02	+70,847.78	
E	+118,579.00	+115,539.00	+8,723.43	+19,334.53	+75,923.98	

TRANSPORTE LITORAL TOTAL, ESTACION: VERANO

PUNTO	CARRELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+387,675.60	+501,324.50	+34,132.93	+90,961.16	+162,356.10	
B	+399,049.00	+516,152.20	+34,777.77	+92,747.05	+166,072.40	
C	+102,667.70	+98,914.18	+8,034.74	+17,148.32	+67,854.13	
D	+96,738.32	+92,891.31	+7,682.79	+16,344.00	+64,928.03	
E	+104,875.60	+101,189.00	+8,249.44	+17,599.58	+69,383.00	

TRANSPORTE LITORAL TOTAL, ESTACION: OTOÑO

PUNTO	CARRELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+310,331.00	+401,045.00	+30,096.94	+75,122.76	+133,896.20	
B	+316,587.50	+408,684.60	+30,697.33	+76,329.00	+136,534.60	
C	+73,492.94	+68,537.00	+6,243.10	+12,532.30	+52,835.03	
D	+69,330.02	+64,462.23	+5,989.94	+11,969.21	+50,737.03	
E	+75,029.13	+69,996.93	+6,327.60	+12,738.41	+53,712.10	

TRANSPORTE LITORAL TOTAL, ESTACION: CALCULO ANUAL

PUNTO	CARRELL	CERC	LARRAS	PYCKINE	SPRINGALL	TODOS EN m3/est
A	+1,435,633.00	+1,883,953.00	+129,975.70	+343,086.50	+612,026.90	
B	+1,494,825.00	+1,933,784.80	+133,229.90	+351,721.30	+627,856.80	
C	+377,339.40	+361,722.50	+29,760.94	+63,306.87	+253,279.00	
D	+356,263.50	+340,272.30	+28,651.50	+60,681.83	+243,980.20	
E	+385,167.00	+369,385.20	+29,388.69	+63,244.15	+258,373.70	

WORLD APPS

se realiza de Norte a Sur (con signo negativo), y en los puntos C, "D" y "E" (zona sur), el transporte se efectúa de Sur a Norte (con signo positivo).

Resumiendo podemos apuntar que:

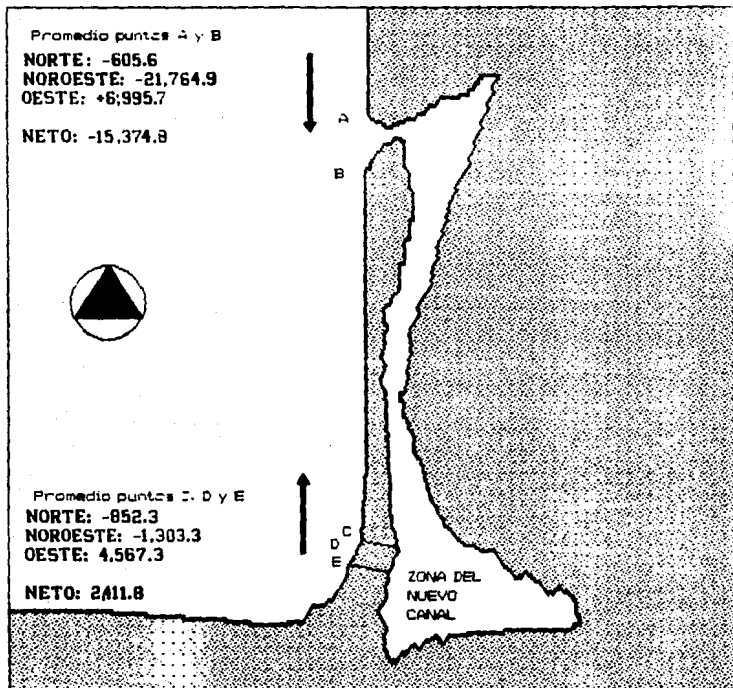
- El método de Larras es el que más confianza inspira para calcular el volumen de material transportado
- Los valores del arrastre litoral neto anual en el sitio de estero de Punta Banda son:
 - a) En la boca actual del orden de 64,000 m³, hacia el Sur
 - b) En la zona de la nueva boca del orden de 7,000 m³, hacia en Norte

En las páginas siguientes se presentan cinco figuras (una por cada estación más una de la estimación anual) que contienen los resultados obtenidos con la fórmula de Larras para cada dirección del oleaje y el volumen neto transportado. (Promediando los valores calculados para los puntos "A" y "B" en la zona de la boca actual y los calculados para los puntos "C", "D" y "E" en la zona del nuevo acceso propuesto).

De la observación de los resultados del capítulo IV se llegó a la conclusión de que considerar los valores de la fórmula de Larras como representativos del transporte litoral en el sitio del estudio, fue correcto.

3.3.9 Comentario final respecto a las fórmulas utilizadas

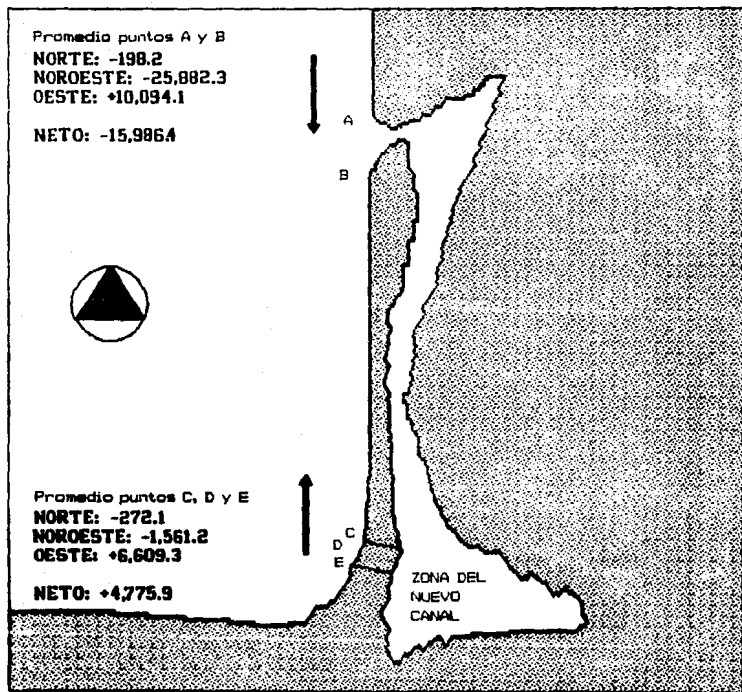
Al consultar la bibliografía en busca de las distintas fórmulas para calcular el transporte litoral se encontraron algunas divergencias entre las distintas fuentes de información en cuanto a la presentación y unidades que cada una maneja por lo que se consideró apropiado expresarlas todas en unidades del sistema métrico decimal tal como se presentan en párrafos anteriores.



Transporte litoral, en m³/estación. INVIERNO

NOTA:

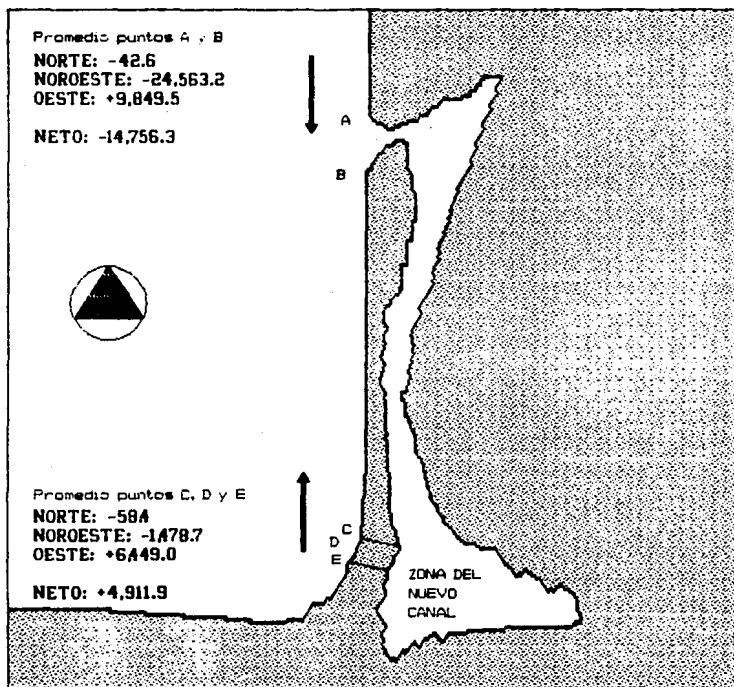
EL SIGNO (+) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE SUR A NORTE.
 EL SIGNO (-) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE NORTE A SUR.



Transporte litoral, en m³/estación. P R I M A V E R A

NOTA:

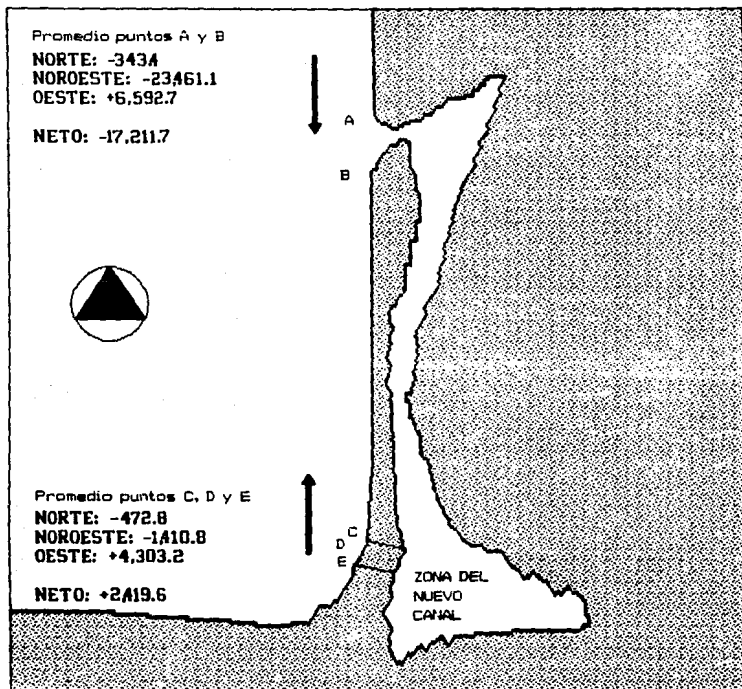
EL SIGNO (+) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE SUR A NORTE,
 EL SIGNO (-) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE NORTE A SUR.



Transporte litoral, en m³/estación. V E R A N O

NOTA:

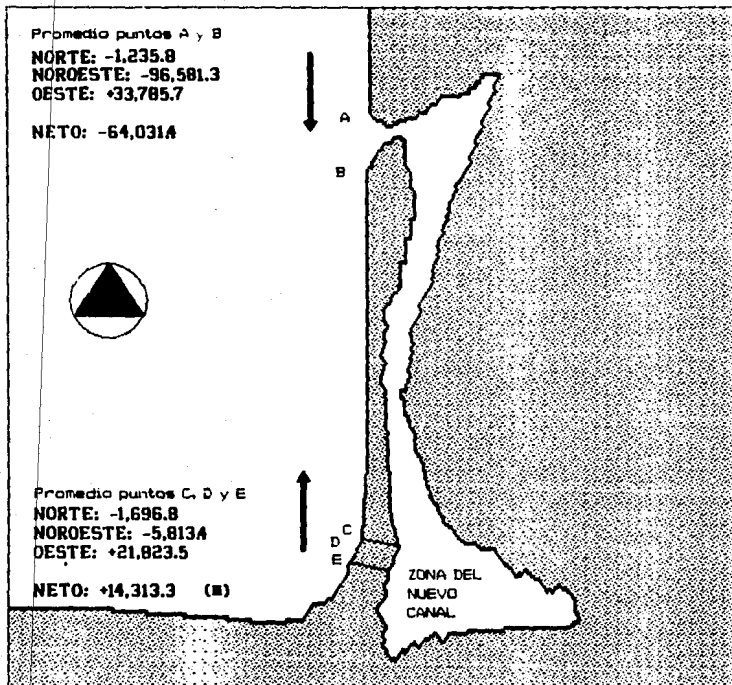
EL SIGNO (+) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE SUR A NORTE,
 EL SIGNO (-) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE NORTE A SUR.



Transporte litoral, en m³/estación. O T O Ñ O

NOTA:

EL SIGNO (+) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE SUR A NORTE,
 EL SIGNO (-) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE NORTE A SUR.



Transporte litoral, en m³/estación. A N U A L

NOTA:

EL SIGNO (+) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE SUR A NORTE,
 EL SIGNO (-) SIGNIFICA QUE EL TRANSPORTE SE REALIZA DE NORTE A SUR.

(*) EL VALOR QUE SE UTILIZARA EN EL CAPITULO IV SERA DEL ORDEN DEL 50% MENOR QUE EL CONSIGNADO EN ESTA FIGURA. VER "SELECCION DE RESULTADOS".

CAPITULO IV

Estabilidad del acceso al estero

CAPITULO IV. ESTABILIDAD DEL ACCESO AL ESTERO.

4.1 Introducción

La morfología del acceso a un estero es susceptible de variar con el tiempo debido a la acción de las corrientes de marea y/o el depósito o erosión del material producto del transporte litoral. Un acceso es estable cuando sus condiciones no cambian en forma importante con el transcurso del tiempo.

Para evaluar la estabilidad de un acceso es necesario conocer:

- Qué grado de estabilidad posee el acceso,
- Cuál es el valor del área estable de la boca,
- Si las corrientes de marea son capaces de mantener libre de azolves el canal de acceso, y
- Cómo pasa el material de un lado a otro de la boca

Lo anterior puede estimarse de acuerdo con las siguientes expresiones:

Grado de estabilidad.- Para conocer el grado de estabilidad del acceso se debe comparar el valor de la relación entre el prisma de marea (volumen de agua que entra o sale del estero cada ciclo -flujo y refluo respectivamente-) y el volumen de transporte litoral neto anual contra los valores consignados en la tabla 4.1, de lo anterior se tiene:

$$G = Q/Mn \quad \dots (1)$$

donde G = grado de estabilidad
 Q = prisma de marea en m³/ciclo
 Mn = transporte litoral neto anual

Estabilidad	$Q/Mn < 100$ pobre	$100 < Q/Mn < 300$ aceptable	$300 < Q/Mn$ óptima
-------------	-----------------------	---------------------------------	------------------------

Tabla 4.1'

Con el valor de G puede evaluarse también el esfuerzo cortante de estabilidad τ_s , de acuerdo con:

τ_s (kg/m ²)	$Q/Mn \leq 150$ 0.51	$150 < Q/Mn < 600$ 0.50	$600 \leq Q/Mn$ 0.46
-------------------------------	-------------------------	----------------------------	-------------------------

Tabla 4.2

Área estable.- Este es un valor contra el cual se compara el área del canal de entrada al vaso, para su obtención se utiliza la fórmula:

$$A_s = \frac{Q_m}{C \sqrt[3]{\frac{\tau_s}{\gamma_g}}} \quad \dots (2)$$

donde Q_m = gasto máximo de refluo en m³/s
 τ_s = esfuerzo cortante de estabilidad
 γ_g = peso específico del agua (1,025 kg/m³)
 C = es el coeficiente de Chézy (una medida de la rugosidad del canal) calculado con la expresión $C = 30 + \log(A)$, -expresión (3)- siendo $\log(A)$ el logaritmo de base 10 del área del canal de acceso.

La relación entre el área de la sección y el área estable deberá estar muy cercana a la unidad para considerar que la estabilidad del acceso es por lo menos aceptable. Se recomienda que por lo menos $A/A_s > 0.8$, y se ha observado que para $A/A_s < 0.4$ la boca tiende a cerrarse.

Capacidad de autoconservación del canal.- El material empieza a ser transportado a través del canal de acceso siempre y cuando el agua rebese la velocidad crítica para poder realizar el transporte. Con velocidades mayores a la crítica dentro del canal, éste puede mantenerse autodragado. Por experiencia algunos investigadores opinan que para que la condición de autodragado se mantenga, las velocidades en el canal deben ser mayores a la crítica entre un 60% y un 80% del tiempo y han encontrado que esto se cumple si:

donde $2 < V_m/V_c < 5$
 V_m = velocidad máxima media en m/s
 V_c = velocidad crítica en m/s
 El límite superior está establecido para prevenir problemas de erosión

Para conocer la velocidad crítica se utilizó la gráfica 4.1 que aparece en la siguiente página (Course de Hydraulique Maritime.- R. Bonefille.- pag. 85).

Forma de paso del material.- Se ha observado que en forma natural el material puede transitar por la boca del estero obedeciendo a dos fenómenos distintos o a una combinación de ambos. Uno de ellos es el denominado "paso por barra" y consiste en la formación de una barra convexa hacia el mar que sirve como puente para que el material se encauce al acceso del estero. El otro fenómeno es conocido como "paso por corriente de marea" y como el nombre lo indica el material entra al estero transportado por la corriente de flujo y sale transportado por la de refluo. Su determinación está en función de la relación entre el transporte litoral neto anual y el gasto máximo para mareas vivas.

$$r = Mn/Qm \quad \dots (4)$$

donde r = índice para determinar la forma de paso del material de acuerdo con las desigualdades presentadas enseguida
 Mn = transporte litoral neto anual en m^3
 Qm = Gasto máximo para mareas vivas

Si $r < 10$ el paso es por corriente de marea
 $r > 200$ el paso es por barra

el intervalo entre 10 y 200 es muy grande y si el valor de r cae dentro de éste el paso del material es debido a una combinación de los dos fenómenos antes descritos.

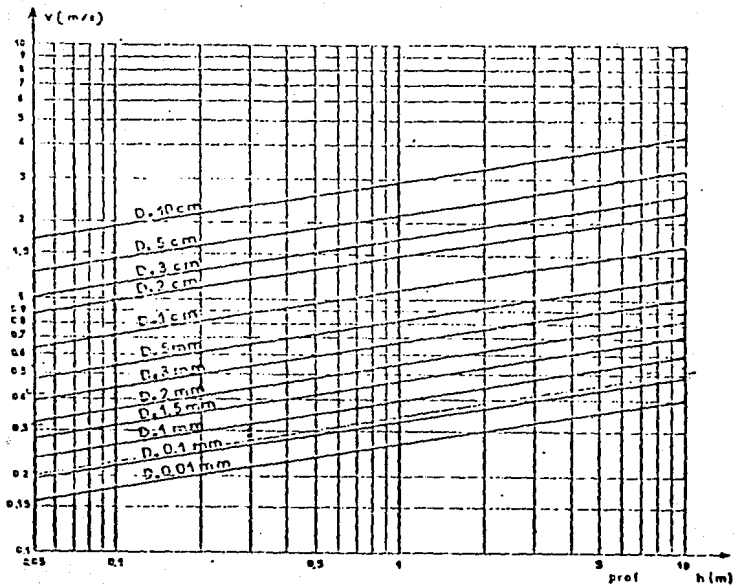
Para conocer los índices anteriores es necesario haber realizado el estudio del transporte litoral (Capítulo III) y un estudio de mareas como el que se describe en los párrafos posteriores.

4.2 Estudio de mareas

4.2.1 Generalidades

El Instituto de Geofísica de la U.N.A.M. opera desde 1956 un mareógrafo en el puerto de Ensenada y anualmente publica predicción de mareas para este sitio. Tomando en cuenta que el estero dista muy pocos kilómetros del puerto, las predicciones se consideran válidas para la zona en estudio.

Esta publicación contiene sólo datos relativos a pleamares y bajamares, por lo que se procesó la información para obtener una altura de marea probable intervalos de $1/8$ del semiciclo.



Velocidad crítica del material.

Curva 4.1

4.2.2 Curvas de áreas y capacidades del estero

De los planos batimétricos mencionados en los capítulos anteriores se obtuvieron áreas del estero desde la profundidad -7.00 m hasta la cota 0.00 con respecto al nivel de bajamar media inferior; con las áreas obtenidas y por el método de los mínimos cuadrados se definió una curva de elevaciones - áreas del estero (para la construcción de la curva se aceptó como real el dato contenido en estudios anteriores referente al área inundada en el estero para la elevación +1.49). Con las áreas y las elevaciones respectivas se calcularon volúmenes parciales y acumulados, ajustando después una curva de elevaciones - capacidades. Ambas curvas se presentan en las páginas siguientes.

4.2.3 Tránsito de mareas

Con base en los planos batimétricos se obtuvieron diferentes secciones en el estero y se eligió la que se consideró crítica en la boca actual. Con esta se realizó el tránsito de la marea utilizando la fórmula de Manning para obtener la velocidad considerando un coeficiente de fricción $n = 0.025$ (Open Channel Hydraulics - Ven-Te Chow) y aceptando la pendiente hidráulica como representativa del flujo. Se realizó un tránsito más entre la boca y una sección media antes del estrechamiento del estero, y otro más en la boca futura tomando en ésta última la sección del canal propuesto por Bos Pacific, profundidad $d = 14$ m, ancho $a = 165.00$ m y taludes 5 a 1.

De los tres tránsitos desarrollados se pueden anotar las observaciones siguientes:

a) En el tránsito de la boca actual se aprecia un ligero defasamiento entre el estero y el mar. El mínimo nivel en el estero corresponde al nivel mínimo que se presenta en el mar pero el nivel máximo del estero no llega a igualar la máxima elevación en el mar.

b) En el segundo tránsito (sección intermedia) no se aprecia ningún defasamiento por lo que se concluye que el defasamiento observado en el primer tránsito no obedece a ninguna restricción en el flujo y es función únicamente de la velocidad de onda.

c) En el tercer tránsito (nueva boca) las dimensiones del canal son tan grandes que no hay ningún impedimento para el libre flujo y reflujos de los volúmenes de agua en el estero.

En vista de lo anterior se concluye que el estero es activo y en su interior no existen restricciones para el libre movimiento del agua por lo que seguramente no se presentarán problemas de estancamiento al abrir una nueva boca y ello no afectará tampoco a la boca actual.

4.3 Estabilidad de la boca actual

4.3.1 Antecedentes

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, en las fotografías aéreas de la zona del estero no se distinguen cambios en la forma de la boca actual, por lo tanto se formularon las siguientes hipótesis:

- Aparentemente la boca actual posee una estabilidad aceptable
- Los valores del transporte litoral aceptados como válidos (Larras) deberán arrojar valores que así lo confirmen si verdaderamente son los representativos del sitio en estudio

Del tránsito en la boca actual se obtienen elevaciones del mar y el estero, prismas de mareas y velocidades máximas y medio para cada mes, estos valores se muestran en la tabla 4.3.

La velocidad crítica (vc) necesaria para realizar algunos cálculos se obtiene con la gráfica 4.1, y para una profundidad de 4.00 m y 25 mm de diámetro del material $vc = 0.41$ m/s.

El área transversal de la sección es $A = 512$ m² y el transporte litoral anual neto es $M_n = 64,031$ m³ (promedio de los puntos A y B).

4.3.2 Grado de estabilidad

El grado de estabilidad se obtiene de la tabla 4.1, entrando a ella con el valor de la relación entre el prisma de marea y el transporte litoral neto:

$$G = Q/M_n = 14'655,578.50/64,031 = 228.88$$

El valor de G está comprendido entre los límites de una estabilidad aceptable.

4.3.3 Área estable

El área estable calculado de acuerdo con la expresión (2) es igual a:

$$A_s = 666.28 / (43.55^{0.0005}) = 692.701 \text{ m}^2$$

$$A/A_s = 0.739$$

El valor de 0.739 está por debajo del límite inferior establecido para la relación entre el área transversal de la sección y el área estable que es 0.8, sin embargo, considerando que el área transversal está calculada hasta la elevación del nivel de bajamar media inferior, se aceptó que el área transver-

TESIS PROFESIONAL

MES	Hv (m)	Hm (m)	v (m3)	m (m3)	Vv (m/s)	Vm (m/s)
ENERO	2.24	0.98	18,210,189	7,405,084	1.70	0.62
FEBRERO	2.09	1.00	15,072,030	7,703,892	1.65	0.62
MARZO	1.84	1.05	13,228,561	7,971,443	1.39	0.67
ABRIL	1.80	1.02	13,298,121	7,872,226	1.42	0.63
MAYO	1.98	0.98	14,683,788	7,203,872	1.40	0.59
JUNIO	2.09	0.94	15,408,804	7,208,024	1.46	0.59
JULIO	2.07	0.96	15,468,603	7,523,700	1.55	0.62
AGOSTO	1.98	0.99	14,616,863	7,876,741	1.51	0.63
SEPTIEMBRE	1.73	1.01	12,755,079	8,017,573	1.38	0.64
OCTUBRE	1.87	1.03	14,259,968	7,980,897	1.50	0.62
NOVIEMBRE	2.06	0.94	15,328,032	7,144,809	1.51	0.58
DICIEMBRE	2.07	0.91	15,536,904	7,030,882	1.40	0.58
PROMEDIO	1.98	0.98	14,655,579	7,561,594	1.49	0.62

TABLA 4.1

sal de la sección (calculada para elevaciones mayores) si está dentro de los límites establecidos.

4.3.4 Capacidad de autoconservación el canal

Para no tener problemas de azolvamiento o erosión la velocidad media del agua en el canal debe ser entre 2 y 5 veces mayor que la velocidad crítica (obtenida de la gráfica 4.1), para el caso de la boca actual la velocidad media es:

$$V_m = 1.5 \text{ m/s}$$

$$V_m/V_c = 1.5/0.41 = 3.67 > 2$$

Se concluye que en la boca actual se tiene capacidad de autoconservación.

4.3.5 Forma de paso del material

Para el caso de la boca actual se tiene que:

$$Q_m = 666.28 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$M_n = 64,031 \text{ m}^3/\text{año}$$

sustituyendo estos valores en la expresión (4) queda:

$$M_n/Q_m = 64,031/666.28 = 96.1$$

como $20 < 96.1 < 200$ la forma de paso del material una combinación por corriente de marea y paso por barra.

En general si el inverso de esta relación es mayor que 0.01 las condiciones de estabilidad son mejores, lo cual en este caso se cumple:

$$1/96.1 = 0.0104 > 0.01$$

Como conclusión se puede afirmar que la estabilidad de la boca actual es aceptable, lo cual confirma las hipótesis planteadas anteriormente.

4.4 Estabilidad de un canal de acceso con 14 metros de profundidad

El análisis de la estabilidad de la boca propuesta se realizó tal y como se desarrolló para la boca actual. Del tránsito de mareas por la boca futura se obtiene el prisma de mareas el gasto para marea viva y la velocidad máxima media, de la gráfica 4.1 se obtiene la velocidad crítica en la zona analizada, el transporte litoral anual neto es el calculado según Larras, el coeficiente de Chezy se calcula con la expresión (3) y el esfuerzo cortante de estabilidad se obtiene sustituyendo el valor de G en la tabla 4.2, de lo anterior se tiene que:

$$\Omega = 23'894,021 \quad \text{m}^3/\text{ciclo}$$

$$V = 0.79 \quad \text{m/s}$$

$M_n = 14,313 \text{ m}^3/\text{año}$
 $V_c = 0.50 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q_m = 990.631 \text{ m}^3/\text{s}$
 $C = 46.848$
 $\tau_s = 0.48 \text{ kg}/\text{m}^2$

4.4.1 Grado de estabilidad

De acuerdo con la fórmula (1):

$$G = Q/M_n = 1,899.39$$

el valor de G mayor de 300 indica un grado de estabilidad óptimo.

4.4.2 Area estable

Sustituyendo los valores conocidos en la fórmula del área estable se tiene:

$$A_s = 985.98 \text{ m}^2$$

como el área de la sección es $A = 2340.00 \text{ m}^2$ se tiene una relación:

$$A/A_s = 2.37$$

este valor indica que no se presentarán problemas de azolvamiento lo cual representa una situación estable.

4.4.3 Capacidad de autoconservación del canal

La relación entre la velocidad máxima media del flujo y la velocidad crítica es:

$$V/V_c = 1.58$$

este valor no está dentro de los límites señalados, lo que quiere decir que la boca tenderá a cerrarse y si se desea conservarla habrá que darle mantenimiento mediante dragado.

Existe una discrepancia entre el resultado del punto 4.4.2 y el obtenido en este punto y ello tal vez se deba a las dimensiones del canal de acceso propuesto (en especial la profundidad de casi el doble que la profundidad máxima del estero).

4.4.4 Forma de paso del material

Calculando el índice r con la expresión (4) se tiene:

$$r = 14,313/990.631 = 14.45$$

como el valor de r es menor que 20 se concluye que el paso del material se lleva a cabo "por corriente de marea". Como el inverso de r es mayor que 0.01 las condiciones de estabilidad se confirman como buenas.

En conclusión la estabilidad del acceso es buena aunque no se excluye la necesidad de proporcionar mantenimiento a base de dragado.

4.5 Estabilidad de un canal de acceso con 5 metros de profundidad

Si bien los resultados obtenidos indican que la estabilidad del nuevo acceso es buena, la profundidad del canal es de casi el doble de la profundidad del estero. Lo anterior se traduce en un elevado costo de las obras de dragado para construir el canal y de sus obras de protección; asimismo serán elevados los costos del mantenimiento posterior del canal. Esas dimensiones corresponden al canal de acceso propuesto en un anteproyecto preliminar por Bos Pacific y están en función del calado del tipo de embarcaciones que posiblemente se requirieran en una planta de estructuras marítimas.

Como aún no se han estudiado proyectos definitivos se consideró conveniente pensar a nivel de anteproyecto en un canal con dimensiones menores que fuera compatible con la idea de contar con desarrollos turísticos y pesqueros en el estero los cuales no requieren de embarcaciones de gran calado. Con esta idea en mente se pensó en un canal con una profundidad de 5 metros, con 165 metros de ancho, taludes 5:1 y ubicado en el mismo lugar que el estudiado anteriormente.

Definidas las dimensiones del nuevo canal con una profundidad de 5 metros se realizó un tránsito de mareas por este para conocer así el prisma de marea, el gasto máximo para mareas vivas y la velocidad máxima media, estos valores son:

$$\begin{aligned} Q &= 10'902,652 \quad \text{m}^3/\text{ciclo} \\ Q_m &= 950.24 \quad \text{m}^3/\text{s} \\ V_m &= 1.70 \quad \text{m/s} \end{aligned}$$

Otros valores necesarios para el análisis son:

$$\begin{aligned} M_n &= 7,000 \quad \text{m}^3/\text{año}, \text{ considerando la reducción del 50\%} \\ &\text{de los valores obtenidos por el método de Larras de} \\ &\text{acuerdo con lo que se menciona en el capítulo III} \\ A &= 950 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

4.5.1 Grado de estabilidad

Sustituyendo en la ecuación (1) el valor del prisma de marea y del transporte litoral anual neto queda:

$$G = Q/M_n = 10'902,652/7000 = 1,557.52$$

como $G > 300$ el grado de estabilidad de acuerdo con la tabla 4.1 es óptimo.

4.5.2 Area estable

Con el valor de G calculado en el punto anterior se obtiene un valor de $\tau_s = 0.48$, el coeficiente de Chezy según la expresión (3) es igual a $C = 44.89$. Estos dos últimos valores y los ya mencionados del gasto máximo para marea viva y el área de la sección se requieren para conocer el valor del área estable calculada con la expresión (2):

$$A_s = 95.24 / (44.89(0.00048)^{1/2}) = 987 \text{ m}^2$$

La relación de áreas (transversal entre estable) es:

$$A/A_s = 0.8$$

esto indica, por su cercanía con la unidad, una condición de estabilidad muy favorable.

4.5.3 Capacidad de autoconservación del canal

Entrando a la gráfica 4.1 con el valor de D_{50} y la profundidad del canal se obtiene:

$$V_c = 0.45$$

por lo que la relación de velocidades es:

$$V/V_c = 1.70/0.45 = 3.78$$

la relación esta dentro de los límites establecidos $2 < V/V_c < 5$, lo que indica que el canal si tiene capacidad de autoconservación.

4.5.4 Forma de paso del material

El valor de r , indice para determinar la forma de paso del material, calculado con la expresión (4) resulta:

$$r = M_n/Q_m = 7000/950.24 = 7.37 < 10$$

el hecho de que r sea menor que diez indica que la forma de paso del material es: "por corriente de marea".

El inverso de r es $1/r = 0.14$ mayor que 0.01 y como ya se ha mencionado cuando esto sucede las condiciones de estabilidad se consideran apropiadas.

Como conclusión una boca con las dimensiones propuestas posee condiciones que garantizan su estabilidad y se considera apropiada para pequeños desarrollos turísticos y pesqueros.

CAPITULO V

**Anteproyecto de
obras exteriores**

CAPITULO V. ANTEPROYECTO DE OBRAS EXTERIORES

5.1 Necesidad de obras exteriores de protección.

El canal de acceso al estero propuesto en el capítulo anterior (con profundidad de 5 metros) necesitará obras exteriores de protección que cumplan con las siguientes funciones:

- a) Proteger al acceso, a las zonas de maniobras y a las obras interiores de los efectos del oleaje (siendo este el objetivo principal)
- b) Encausar las corrientes en el canal
- c) Interrumpir el transporte litoral

El comportamiento eficiente y duradero del acceso dependerá en gran medida de estas obras de protección y es por eso que en este capítulo se propone, a manera de anteproyecto, la construcción de dos escolleras y se describen los cálculos realizados para definir sus características.

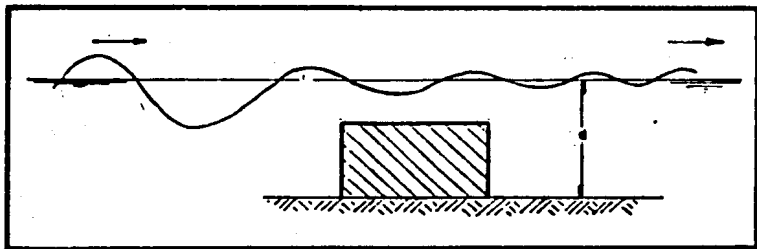
5.2 Breve descripción de las obras de protección

Las obras de protección conocidas como escolleras o rompeolas pueden agruparse en dos grandes grupos:

Al primero de ellos pertenecen las obras que sólo amortiguan la energía del oleaje permitiendo el paso de este cuando ya las alturas "h" de las olas han sido reducidas de tal forma que no representan peligro para la zona y/u obras que se pretende proteger. En este grupo se encuentran los rompeolas sumergidos, flotantes e hidráulicos o neumáticos, (figs. 5.1, 5.2 y 5.3). La utilización de este tipo de estructuras no es muy frecuente.

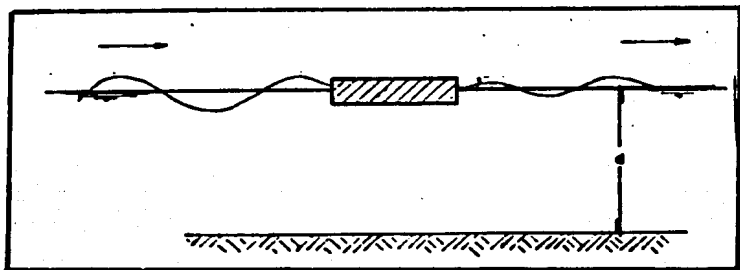
Al segundo grupo pertenecen las estructuras que impiden el paso del oleaje hacia la zona resguardada y son las más usuales en todo el mundo. Estas se subdividen a su vez, de acuerdo con su forma, en rompeolas de paramento vertical y rompeolas "a talud", (figs. 5.4 y 5.5).

Para la protección del canal de acceso y las obras interiores se ha propuesto la construcción de dos rompeolas a



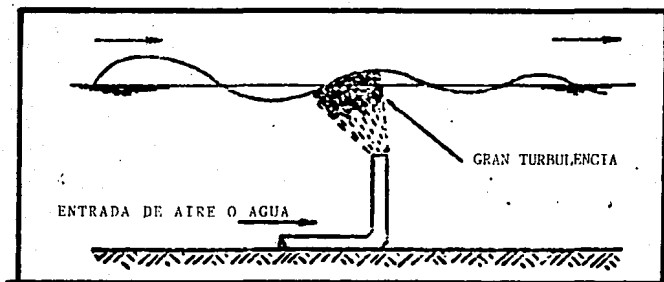
RONPEOLAS SUMERGIDO

Fig. 5.1



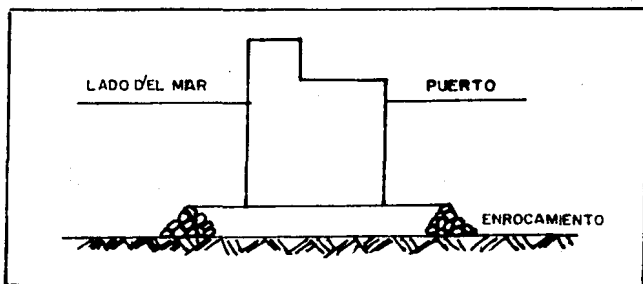
RONPEOLAS FLOTANTE

Fig. 5.2



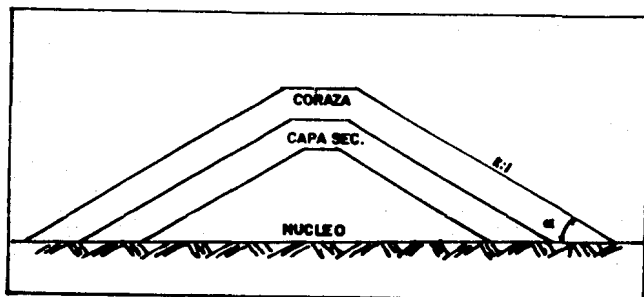
ROMPEOLAS NEUMATICO O HIDRAULICO

Fig. 5.3



ROMPEOLAS DE PARAMENTO VERTICAL

Fig. 5.4



ROMPEOLAS A TALUD

Fig. 5.5

talud, (en México y en muchos otros países son usuales estructuras de este tipo), una a cada lado del canal de acceso. Para distinguir ambas estructuras entre sí, se les denominó "escollera SW" "escollera NW", según su ubicación.

5.3 Anteproyecto de las escolleras

5.3.1 Generalidades

Para poder definir las características de las escolleras es necesario determinar previamente la altura y el periodo de la ola de diseño.

La altura de diseño se puede definir por diversos caminos, según se menciona en el libro Ingeniería de Costas de los Ings. Frías y Moreno. En él se dice que Hudson determina Hd como $H_1/3$, Bores propone que $H_d = H_1/20 = 1.10 H_1/3$ y para obras con vida útil corta (± 10 años) $H_d = 1.27 H_1/3$. Más adelante, en ese mismo libro se indica que: "Una forma más usual de poder llegar a definir la Hd, es mediante el análisis estadístico y probabilístico de la presentación de temporales".

5.3.2 Análisis estadístico y probabilístico de oleaje ciclónico.

Como se trata apenas de un anteproyecto preliminar el estudio del oleaje ciclónico no se realizó con todo detalle y sirvió sólo para dar una idea aproximada de la altura y del periodo de la ola de diseño.

Se cuenta con información sobre trayectorias, velocidades de viento y desplazamiento y presiones en el ojo del huracán para fenómenos ocurridos en las costas mexicanas del Pacífico desde 1960 hasta 1980 (21 años). En la tabla 5.1 se presenta tal información.

Con los datos consignados en la tabla mencionada se aplicó el método CERC para determinar H_o y T_o de cada huracán. Las fórmulas que se utilizaron son:

$$H_o = 16.5 e^{(R\Delta p/100)} (1 + 0.208\alpha V_f/4U_r) \dots (1)$$

$$T_s = 8.6 e^{(R\Delta p/200)} (1+0.104\alpha V_f/4U_r) \dots (2)$$

donde H_o , altura de la ola significativa en aguas profundas en pies

T_s , periodo de la ola significativa en segundos

R, radio de los vientos máximos, en millas náuticas, obtenido con la expresión:

$$R = 15.40 \tanh[0.0873(\phi - 28^\circ)] + 6.60e^{-\Delta p} + 0.02V_f + 20.10 \dots (3)$$

ϕ , latitud a que se encuentra el huracán, en grados

TESIS PROFESIONAL

AÑO	NOMBRE	LATITUD (grados)	PRESION EN EL OJO DEL CICLON (pulg. Hg)	VEL. DE TRASLACION (Km/Hora)	VEL. MAX. DEL VIENTO GRADIENTE (Km/Hora)	VEL. MAX. SOSTENIDA (Km/Hora)
1960	ESTELLE	22.50	28.82	15.00	119.00	110.00
1961	PAULINE	26.30	29.08	12.00	103.00	95.00
1962	CLAUDIA	24.70	28.89	12.00	114.00	105.00
1963	KATHERINE	30.00	29.23	12.00	86.00	80.00
1964	TILLIE	23.80	29.59	20.00	64.00	65.00
1965	EMILY	26.50	29.53	10.00	69.00	65.00
1966	HELGA	25.50	29.02	15.00	107.00	100.00
1967	CARLOTA	20.70	28.99	12.00	109.00	100.00
1968	REBECA	22.00	29.70	20.00	52.00	55.00
1969	GLENDA	22.60	29.41	22.00	80.00	80.00
1970	SELMA	20.80	28.77	10.00	121.00	110.00
1971	OLIVIA	26.10	28.59	15.00	130.00	120.00
1972	HYACINTH	32.00	29.66	27.00	48.00	55.00
1973	IRAH	20.50	28.92	15.00	113.00	105.00
1974	ORLENE	20.60	29.04	23.00	106.00	103.00
1975	OLIVIA	20.80	27.48	27.00	177.00	167.00
1976	KATHLEEN	25.00	28.65	40.00	127.00	130.00
1977	DOREEN	31.40	29.68	30.00	46.00	55.00
1978	NORMAN	32.50	29.62	20.00	52.00	55.00
1979	GUILLERMO	21.40	28.55	11.00	132.00	120.00
1980	CELIA	19.80	29.11	15.00	101.00	95.00

TABLA 5.1

Δp , diferencia entre la presión atmosférica normal (29.92 in) y la presión en el ojo del huracán, en pulgadas de mercurio
 V_f , velocidad de translación del huracán, en nudos
 U_r , Velocidad máxima sostenida del viento, calculada a 30 pies sobre la superficie media del mar, en el radio R, calculada con la expresión

$$U_r = 0.865 U_{max} + 0.5 V_f \quad \dots (4)$$

U_{max} , velocidad máxima del viento gradiente, en nudos, a 30 pies sobre la superficie media del mar y calculada como:

$$U_{max} = 0.868 [73(\Delta p)^{\frac{1}{2}} - R(0.575f)] \quad \dots (5)$$

f, de Coriolis, que representa el efecto de la velocidad angular de la tierra (w) a la latitud del lugar, que se calcula con:

$$f = 2 w \text{ sen } (\phi) \quad \dots (6)$$

α , coeficiente que depende de la velocidad de translación del huracán y del incremento de la longitud efectiva del fetch. Para huracanes que se mueven lentamente ($V_f < 50$ km/hr) se recomienda hacer $\alpha = 1$.

Con la ayuda de una computadora se realizaron los cálculos y los resultados se presentan en la siguiente tabla (tabla 5.2).

Para determinar la altura de la ola de diseño se procedió como se indica:

- Se aplicó el método de Gumbel a los resultados obtenidos de alturas de ola para los 21 años de datos
- Se calculó la H_o para un T_r de 50 años
- Con la H_o obtenida y conociendo el período promedio de las olas se calculó la altura de la ola al llegar a la costa considerando una distancia promedio de decaimiento de 400 millas náuticas. Esta distancia se consideró como el promedio de la mínima distancia entre los huracanes y la Punta Banda, antes de que los primeros entren en estado de disipación o se dirijan al Oeste. Posteriormente se calculó el incremento del período. Para ello se utilizaron las curvas de decaimiento - curvas 5.1- que se presentan a continuación (prácticas para definir las características del oleaje.- Tesis Profesional.- G. A. Murillo)

De la aplicación del método de Gumbel se obtuvo una $H_o = 9.3$ metros para un período de retorno de 50 años, de la tabla 5.3 se sabe que $T_s \text{ prom} = 10.4$ y de acuerdo con el procedimiento indicado:

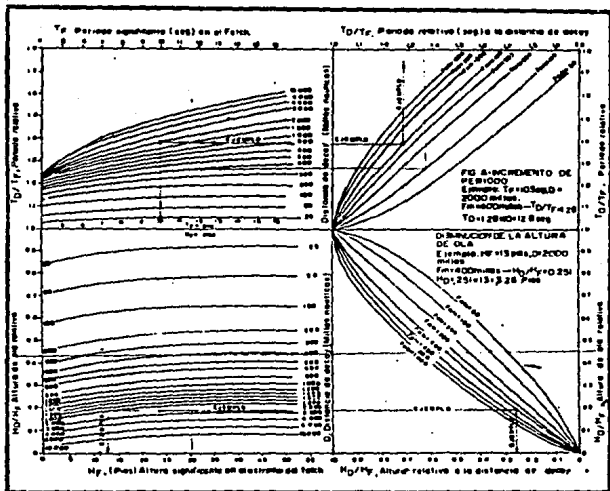
$$H_d = 3.2 \text{ m y } T_d = 13.7 \text{ seg}$$

TESIS PROFESIONAL

ALTURA Y PERIODO DE LA OLA CICLONICA SIGNIFICANTE
OBTENIDA POR EL METODO DEL CERC PARA LOS CICLONES
MENCIONADOS EN LA TABLA 5.1

A\O	NOMBRE	Ho (m)	Ts (s)	A\O	NOMBRE	Ho (m)	Ts (s)
1960	ESTELLE	6.63	10	1970	SELMA	6.24	10
1961	PAULINE	6.44	10	1971	OLIVIA	6.7	10
1962	CLAUDIA	6.39	10	1972	HYACINTH	8.75	12
1963	KATHERINE	7.91	11	1973	IRAH	6.63	10
1964	TILLIE	7.18	10	1974	ORLENE	7.26	10
1965	EMILY	6.25	10	1975	OLIVIA	7.57	11
1966	HELGA	6.64	10	1976	KATHLEEN	8.45	11
1967	CARLOTA	6.38	10	1977	DOREN	8.04	12
1968	REBECA	7.29	11	1978	NORMAN	8.05	11
1969	GLENDA	7.26	10	1979	GUILLERMO	6.34	10
				1980	CELIA	6.63	10

TABLA 5.2



CURVAS DE DECAIMIENTO

CURVAS 5.1

En realidad la altura Hd de la ola debe ser menor que la calculada pues el sitio del estero está protegido por la Punta Banda ubicada al SW (de donde llega el oleaje ciclónico en la mayoría de los casos) y por la isla de Todos Santos (ubicada al oeste del estero), sin embargo para el anteproyecto preliminar no se juzgó necesario elaborar un estudio más detallado.

5.3.3 Diseño de las escolleras

5.3.3.1 Determinación de la ola de diseño y de su rodamiento sobre el talud de la estructura

Para el diseño de estructuras de protección no basta con conocer la altura de la ola Hd obtenida en el punto anterior. El peso de los elementos que conforman un rompeloas y las dimensiones de la estructura dependen también de la condición del oleaje a la que está expuesta (condición de rompiente o no rompiente que se explica en párrafo posterior), el ángulo de incidencia de las olas y de la altura de rodamiento (run-up) de la ola.

Cuando la estructura (o parte de ella) se desplanta en aguas profundas, está expuesta a olas no rompientes y que podrían hacerlo en ella, en este caso se dice que la condición del oleaje es "no rompiente"; cuando a la estructura llega el oleaje que ha roto previamente la condición es de "rompiente".. Es muy importante entonces que se determine la altura de la ola rompiente y la profundidad a la que esto sucede. Para ello se pueden utilizar las gráficas 5.2 y 5.3 (Ingeniería de Costas.- Frías; Moreno.- paga. 248 y 249), calculando previamente el valor H'o, la longitud de la ola de diseño y la pendiente media de la playa.

El cálculo de H'o puede realizarse con la expresión:

$$H'o = Kr Ho \quad \dots (8)$$

donde Kr es el coeficiente de refracción (igual a uno en este caso por tratarse de un diseño preliminar)

Ho, altura de diseño en metros

H'o, altura de ola incidente sobre la estructura

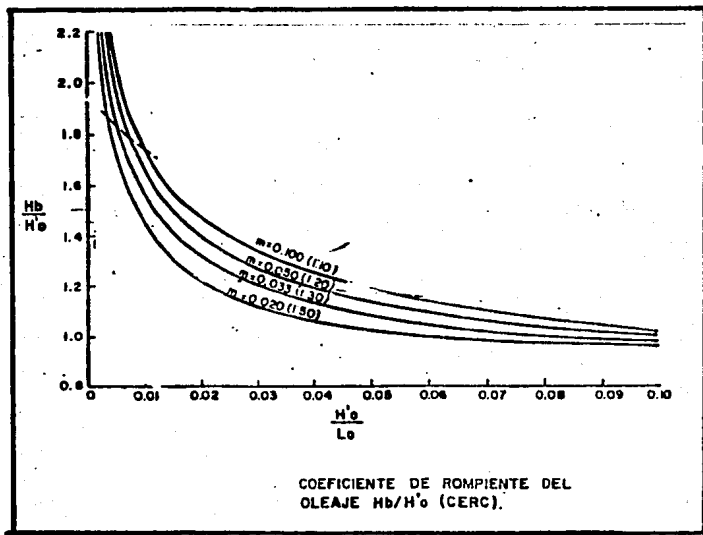
$$H'o = 1 \times 3.2 = 3.2 \text{ m}$$

La longitud de la ola de diseño se obtiene utilizando la fórmula deducida en el capítulo 3, $Lo = 1.56 Ts$, por lo que:

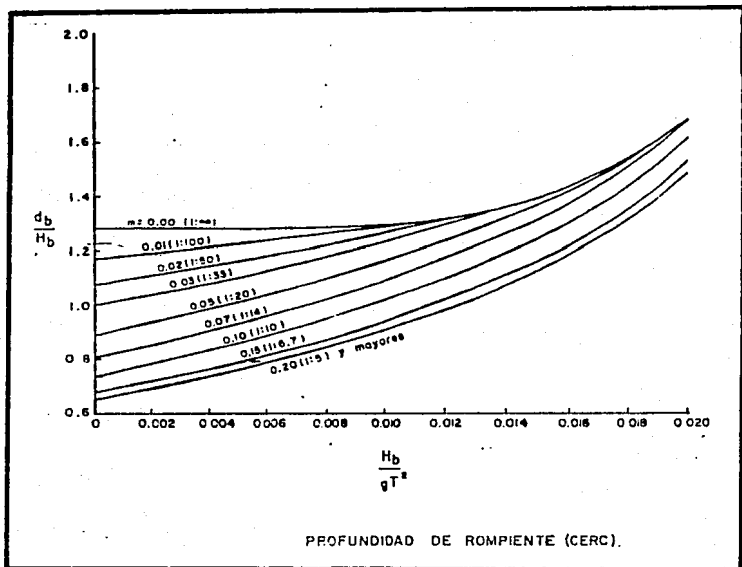
$$Lo = 1.56 \times 13.7^2 = 292.80 \text{ m}$$

La pendiente media de la playa ya fue calculada en un capítulo anterior y es $m = 0.01$.

Entrando a la gráfica con valor de $H'o/Lo = 0.01$ y con $m = 0.01$ se obtiene que $Hb/H'o = 1.45$, de donde $Hb = 4.64 \text{ m}$, siendo Hb la altura de la ola rompiente.



CURVAS 5.2



CURVAS 5.3

Con los valores de Hb (altura de rompiente en metros), g (aceleración de la gravedad en m/s²), T (periodo de la ola de diseño en segundos) y utilizando la curva 5.3, se obtuvo la profundidad a la que rompe la ola. Para el valor de $H_b/gT^2 = 0.0025$, resulta que $db/H_b = 1.20$, por lo tanto $db = 5.57$ metros.

De lo anterior se concluye que las olas ciclónicas de diseño romperían antes de llegar a la escollera (que está desplantada a una profundidad máxima de 5 metros) y por lo tanto la condición del oleaje es de rompiente.

La altura de rodamiento de la ola depende del periodo de la ola de diseño, de la profundidad al pie de la estructura, del ángulo de incidencia del oleaje, de la rugosidad de la superficie de la estructura y del talud que esta tenga. Los tres primeros parámetros ya han sido calculados, los últimos dos habrán de suponerse. En general las estructuras de este tipo son rugosas, debido a la naturaleza, dimensiones y disposición de los materiales que las conforman. En cuanto al talud se puede suponer uno usual para este tipo de obras que es 1.5 horizontal a 1 vertical.

Para definir la altura de rodamiento se utilizó el método de Saviile, expuesto en el libro Presas de almacenamiento y Derivación, de los ings. O. Vega y F. Arreguín (Ver Bibliografía). Para su aplicación es necesario definir la longitud Ls de la ola cuando esta actúa en aguas poco profundas. Además en la publicación mencionada se señala que la máxima altura de la ola es 0.78d, donde d es la profundidad en el área de acción de la ola (en este caso al pie de la estructura); esto disminuye el valor Hb de 4.64 a 3.90 metros.

Para obtener Ls se procedió de igual forma que en el capítulo II, resolviendo por tanteos la siguiente expresión:

$$(gT/2\pi)\tanh(2\pi d/Ls) = ((gLs/2\pi)\tanh(2\pi d/Ls))^{1/2}$$

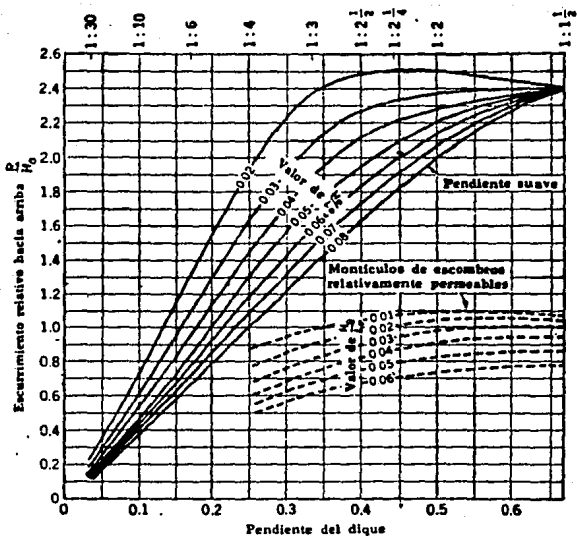
donde d, profundidad en metros
Ls, Longitud de la ola en metros

quedando finalmente $L_s = 94.02$ m

Se entró a las curvas 5.4 con la relación 0.78d/Ls igual a 0.04 y un valor del talud de 1:1.5, obteniendo que $R_u/H_{max} = 0.82$, por lo tanto el valor del rodamiento de la ola es:

$$R_u = 0.92(3.90) = 3.59 \text{ m}$$

De este modo se cuenta ya con todos los parámetros necesarios para el cálculo de las dimensiones de las escolleras y el peso de sus elementos.



Relaciones de la ola de escurrimiento hacia arriba contra inclinaciones de la ola y pendientes del dique⁽⁵⁾.

Curvas. 5,4

5.3.3.2 Dimensionamiento de las escolleras

Al dibujar las escolleras en un plano batimétrico de la zona del estero, se determinaron las longitudes de las mismas, que resultan ser, para la escollera SW de 403 metros y para la escollera NW de 391 metros. Ambas escolleras se dividen en tres partes: arranque, que es la parte inicial de la escollera en contacto con la costa; cuerpo, que es la parte media y la de mayor longitud; y morro o parte final y que tiene mayores dimensiones que el resto de la estructura. En la siguiente tabla se resumen las longitudes de cada una de las partes que integran ambas escolleras de ambas escolleras.

ESCOLLERA	ARRANQUE	CUERPO	MORRO
SW	43 m	320 m	40 m
NW	47 m	304 m	40 m

tabla 5.4

Para calcular el peso de los elementos que formarán la coraza de las escolleras se utilizó la fórmula de Hudson (Ingeniería de Costas.- Frías; Moreno) que indica:

$$Wc = \frac{\tau_s Hd^3}{Kd (Ss - 1) \cot \theta} \dots (7)$$

donde Wc , peso del elemento en toneladas, (se llama "elemento" a una pieza del material que forma la coraza, no importando que éste sea roca o estructuras de concreto prefabricadas)
 τ_s , peso volumétrico del elemento en ton/m³ ($\tau = 2.65$ ton/m³)
 Hd^3 , altura de la ola de diseño en metros ($Hd = 3.90$ metros)
 Ss , peso volumétrico relativo del elemento ($Ss = 2.65$)
 $\cot \theta$, cotangente del ángulo que forma el talud con la horizontal ($\cot \theta = 1.5$)
 Kd , es un factor que depende de la forma del elemento de su colocación y de las características del oleaje en sitio de la escollera, (condición de rompiente o no rompiente)

En la tabla 5.5 (Ingeniería de Costas.- Frías; Moreno.- pag. 232) se muestran los valores más usuales del coeficiente Kd . De la tabla a la que se hace referencia, considerando que el número de elementos que conforman la coraza es de tres y su colocación es al azar, se obtienen los siguiente valores de Kd :

Elemento	cuerpo	morro
pedra		
- lisa y redondeada	2.80	2.10
- rugosa y angular	3.90	3.70

T A B L A N o . 5.5
 VALORES DE Kd (CERC)
 criterio de no daño y reducido rebase

ELEMENTO	N (1)	COLOCACION	CUERPO		M O R R O		
			Kd (2)		Kd		
			rompiente	no rompiente	rompiente	no rompiente	talud
P I E D R A							
- lisa y redondeada	2	al azar	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5-3.0
- lisa y redondeada	> 3	al azar	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5-3.0
- rugosa y angular	2	al azar	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5
- rugosa y angular	> 3	al azar	3.9	4.5	3.7	4.2	1.5-3.0
T R I B A R							
	2	al azar	9.0	10.4	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					7.0	7.7	3.0
	1	uniforme	12.0	15.0	7.5	9.5	1.5-3.0
T E T R A P O D O							
	2	al azar	7.2	8.3	5.9	6.6	1.5
					5.5	6.1	2.0
					4.0	4.4	3.0
CUBO MODIFICADO							
	2	al azar	6.8	7.8	-	5.0	1.5-3.0

(1) número de capas que constituyen la ceraza

(2) válido para taludes de 1.5 a 5.0

Como aún no se tienen estudios de materiales en la zona se optó por calcular el peso de los elementos suponiendo primero piedra lisa y redonda y luego angular y rugosa para obtener después un valor intermedio.

**PESO DE LOS ELEMENTOS
(EN TONELADAS)**

	PIEDRA LISA Y REDONDA	PIEDRA RUGOSA Y ANGULAR
CUERPO	5.82	4.18
MORRO	7.75	4.40

tabla 5.6

Tomando en consideración los resultados consignados en la tabla 5.5 se determinó que para el cuerpo los elementos tuvieran un peso de $W_c = 5.00$ ton. y para el morro $W_m = 6.00$ ton.

Para la capa secundaria el peso del material se recomienda que sea de aproximadamente un décimo del peso del material de la coraza. Para el núcleo el peso deberá estar entre los siguientes límites, $W_c/200 < W_n < W_c/4000$.

Para elegir un valor de los coeficientes K_d , se supuso que el número de elementos de la coraza es de tres y con base en esta suposición se calculó el ancho de la coraza de acuerdo con la expresión:

$$e = N K_c (W/\tau_s)^{1/3}$$

donde: e, espesor de la coraza en metros
 N, número de elementos que forman la coraza (mínimo 3)
 K_c , coeficiente de capa, $K_c = 1.10$ (Ingeniería de Costas.- Frías; Moerno.- pag. 280)
 W, peso del elemento en toneladas
 τ_s , peso volumétrico del material en ton/m³

Sustituyendo valores en la expresión anterior se tiene que:

- para el cuerpo, $e = 4.08$ m ($e = 4.10$ m, para manejar cantidades cerradas al decímetro)
- para el morro, $e = 4.33$ m ($e = 4.30$, idem)

Se hizo una rápida comprobación de si los elementos, con el peso propuesto, si pueden ser acomodados en un ancho como el obtenido en el párrafo anterior. La comprobación consistió en los siguiente:

- se supuso un cubo de peso, a) $W=5.00$ T, b) 6.00 T
- se calculó el volumen del cubo, como W/τ_s -para a) y b)-
- se calcularon las dimensiones del cubo para el volumen obtenido

- se multiplicó el diámetro por tres para conocer el espesor de tres elementos y se verificó que no excediera del ancho calculado con la expresión (8)

Este método da resultados del lado de la seguridad, pues los elementos no serán cúbicos, sino más bien esféricos, pero su acomodo será relativamente compacto.

Para el caso a), el volumen es $V = 1.89 \text{ m}^3$, como la dimensión de los lados del cubo es igual a la raíz cúbica del volumen, $L = 1.24$ metros. Multiplicando el resultado por tres $3L = 3.71$ metros, (menor que 4.10 m). Para el caso b), $V = 2.26 \text{ m}^3$, por lo tanto $L = 1.31$ metros y $3L = 3.94$ metros, (menor que 4.30 m). En conclusión el ancho de la capa es suficiente para albergar los tres elementos.

Para el cálculo del ancho de la corona (B) se puede utilizar la expresión (8) sustituyendo e por B, pero tomando en cuenta que el ancho deberá ser suficiente para permitir el paso del equipo de construcción (en su caso) y/o del equipo de mantenimiento. Por lo anterior se determinó como ancho de corona, $B = 4.00$ metros para el cuerpo y $B = 4.50$ metros para el morro.

La elevación de la corona deberá estar a un nivel tal que no sea rebasada por el agua, suponiendo que cuando el nivel del mar sea el de pleamar media, ocurra la ola de diseño, tomando en cuenta además el rodamiento de la ola.

En las tablas de predicción de mareas para 1988 (Instituto de Geofísica.- UNAM) aparece que para el Puerto de Ensenada el nivel de pleamar media superior es igual a 0.781 m.s.n.m. En un capítulo anterior se mencionó que los valores consignados en esta publicación se tomarían como válidos para el sitio en estudio, por lo tanto el valor indicado es el utilizado en los cálculos.

5.6: La elevación de la corona será, de acuerdo con la figura

$$E.C. = 0.781 + 3.90/2 + 3.60 = 6.33 \text{ metros}$$

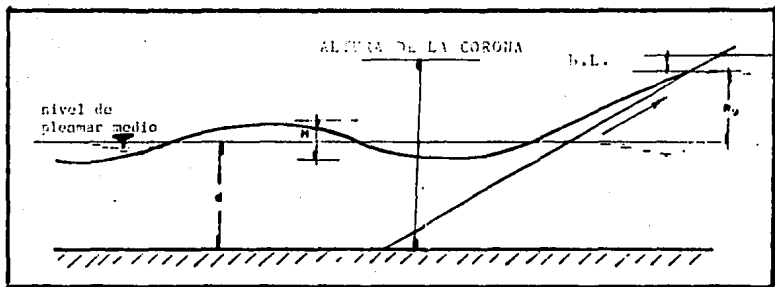
Redondeando la cantidad calculada se tiene que:

$$E.C. = 6.40 \text{ m.s.n.m.}$$

Con esto se tienen definidas todas las dimensiones de las escolleras. En el plano 5.1 se muestran las escolleras en planta y en perfil ilustrando cada una de sus partes.

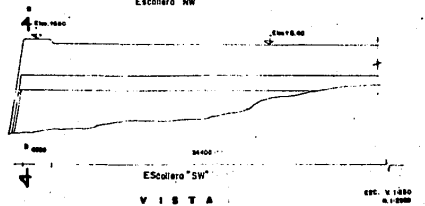
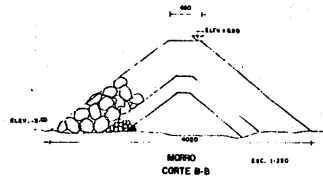
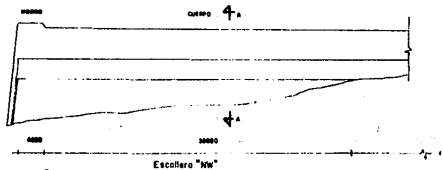
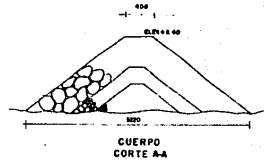
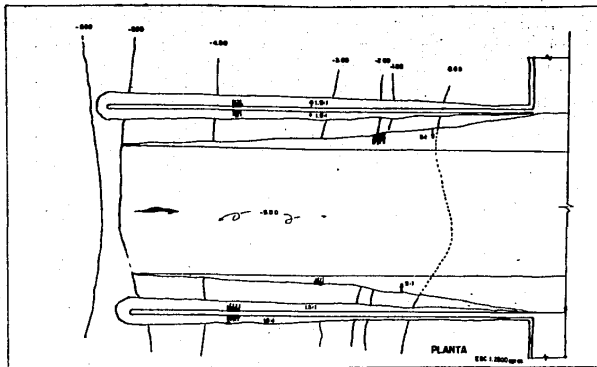
5.4 Revisión del funcionamiento de la protección

Para calcular la vida útil de las escolleras, considerando que el transporte litoral detenido se acumulará a un lado de la estructura y terminará por cubrirla si no se le da un mantenimiento adecuado, se aplicó la fórmula de Bozen (Shore Protection, Planning and Design.- CERC) que indica:



ALTURA DE LA CORONA

Fig. 9.5



OBRAS EXTERIORES

TESIS PROFESIONAL
ESTUDIOS FISICOS EN
PUNTA BANDA, B. C. N.

JUAN CARLOS FERNANDEZ CASILLAS

NOVIEMBRE 1989

F.I. UN.A.M.

$$t = \frac{1^\circ}{\frac{4\alpha Q}{\pi D}} \quad \dots (9)$$

donde t, vida útil en años
 α , ángulo de incidencia del oleaje ordinario en radianes (1.4 para el oleaje con dirección NW)
 L, longitud de la escollera en metros
 Q, gasto sólido en m³/año (transporte litoral bruto en el sitio)
 D, profundidad a la que esta desplantado el morro

Sustituyendo valores queda:

$$t = (403^\circ) / (4 \times 1.4 \times 29,334 / (\pi \times 5)) = 15.53 \text{ años, para la escollera NW, y}$$

$$t = (391^\circ) / (4 \times 1.4 \times 29,334 / (\pi \times 5)) = 14.62 \text{ años, para la escollera SW}$$

Sin dejar de considerar el mantenimiento a base de dragado como una posibilidad, se puede decir que la vida útil de las escolleras está garantizada en por lo menos 15 años.

Para calcular la estabilidad del acceso al estero (capítulo IV) fue necesario suponer la existencia de obras de protección que detienen el transporte litoral y encauzan las aguas del flujo y reflujo de la marea, además el área transversal de la sección depende del talud de estas escolleras (en parte, y en parte al talud mismo de la zona dragada). El hecho de que se llegara a la conclusión de que la estabilidad del acceso es buena es una confirmación implícita del buen funcionamiento de las escolleras.

Un punto adicional que no se estudió en esta tesis pero que es necesario en un proyecto definitivo es el cálculo de la refracción del oleaje en el canal de acceso y dentro del recinto.

CAPITULO VI

Conclusiones y recomendaciones

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El propósito de este capítulo es el de resumir las conclusiones a las que se ha llegado en los capítulos anteriores. Además se hacen recomendaciones con respecto a los estudios que han quedado pendientes.

6.1 Conclusiones

El estero de Punta Banda está localizado en la península de Baja California, aproximadamente a 10 kilómetros al Sur del Puerto de Ensenada. Su ubicación privilegiada en la costa del Pacifico, protegido en forma natural por la Punta Banda y por la isla de Todos Santos, así como su cercanía con poblaciones como Ensenada, Tijuana, San Diego, etc., lo hacen aparecer como un lugar con altas posibilidades para desarrollar complejos turísticos, pesqueros y/o industriales.

Con respecto al oleaje se determinó que son tres sus direcciones predominantes, Norte, Noroeste y Oeste. El oleaje que viene del Noroeste es el principal pues el 45% de las olas que inciden en el sitio provienen de esta dirección. La altura de la ola significante del Noroeste es de 1.70 metros con un período de 5.0 segundos.

Para el cálculo del transporte litoral en la zona se utilizaron los resultados arrojados por el método de Larras, el cual se consideró como el más adecuado de todos los propuestos. Para la zona norte del estero, donde se localiza la boca actual, el transporte litoral neto es de 84,000 m³ al año, con dirección al Sur; en la parte sur, zona donde se propuso localizar el nuevo acceso, el transporte litoral neto ocurre con dirección hacia el Norte y el volumen anual neto es de unos 7,000 m³.

La boca actual del estero es estable, así lo indican las fotografías aéreas tomadas en diferentes épocas y lo confirman los cálculos desarrollados. De acuerdo con la terminología usual en los estudios de este tipo, la estabilidad de la boca actual se puede calificar como "aceptable".

El nuevo acceso (con profundidad de 5 ó 14 metros, según se llegue a decidir el uso) tendrá una estabilidad aún mejor, calificándose de buena a óptima.

De los cálculos de tránsito de mareas se concluye que el estero es "activo". Esto significa que el movimiento de las masas de agua que lo forman es adecuado y no se presentan problemas de estancamiento.

En cuanto a la protección diseñada en forma preliminar, puede decirse que es adecuada tanto en su disposición y longitud como en su estructuración y dimensionamiento transversal. La vida útil de las obras se garantiza en por lo menos 15 años pero se recomienda prever mantenimiento a base de dragado.

6.2 Recomendaciones.

Todos los resultados a los cuales se ha llegado en esta tesis son "de gabinete". Deberán revisarse con estudios de campo, con los cuales los resultados obtenidos podrían ser confirmados, modificados e incluso refutados.

Los estudios de campo que se recomiendan son:

a) Análisis de oleaje.-

- Observación directa y medición del oleaje en el sitio en estudio.

b) Transporte litoral.-

- Estudios de transporte litoral por ejemplo por medio de trazadores fluorescentes, para estimar el volumen y la dirección del transporte, con base en parámetros medidos.

b) Estudios de mareas.-

- Colocación de reglas en diferentes puntos del estero y medición de alturas de marea en cada una de ellas a intervalos de tiempo iguales, con el propósito de conocer la propagación y el defasamiento de la marea dentro del estero.

Una característica en casi todas las publicaciones consultadas, es la presentación de las fórmulas usuales en la ingeniería marítima sin uniformidad en las unidades. Esto puede provocar confusión que a su vez posiblemente se traduzca en resultados equivocados. La presentación de las fórmulas del transporte litoral en unidades del sistema métrico, en el capítulo correspondiente, se considera como una aportación adicional que podría llegar a ser útil en caso de hacerse extensiva a todos los métodos descritos en esta tesis y en muchos otros no mencionados.

BIBLIOGRAFIA

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

TABLAS DE 1987 DE PREDICCIÓN DE MAREAS. Puertos del Océano Pacífico.- Instituto de Geofísica de la U.N.A.M.- México 1986.

TABLAS DE 1988 DE PREDICCIÓN DE MAREAS. Puertos del Océano Pacífico.- Instituto de Geofísica de la U.N.A.M.- México 1987.

TRAYECTORIAS CICLONICAS 1960-1980.- Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, S.A.R.H. 1981.

MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. Sección E. Hidráulica.- C.F.E.- México 1989.

INGENIERIA DE COSTAS.- Frias y Moreno.- México 1987.

ESTUDIOS FISICOS EN PUNTA BANDA. ENSENADA. B.C.- Secretaria de Marina, Dirección General de Obras Marítimas 1971.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL PUERTO TURISTICO DE PUNTA BANDA. B.C.N.- (Parcial).- Consultores, S.A. para la D.G.O.M. de la S.C.T. 1977.

PRACTICAS PARA DEFINIR LAS CARACTERISTICAS DEL OLEAJE.- Tesis Profesional.- Gustavo Alejandro Murillo Bagundo.- U.N.A.M. 1982.

ESTABILIDAD Y HABILIDAD NATURAL DE AUTODRAGADO DE LA BOCA DEL ESTERO DE PUNTA BANDA. B.C.N.- Tesis Profesional.- Adolfo González C.- U.A.B.C. 1982.

DETERMINACION DEL TRANSPORTE LITORAL PREDOMINANTE EN LA BAHIA DE TODOS LOS SANTOS. B.C.N.- Tesis Profesional.- Miguel Antonio Mendez A.- U.A.B.C. 1982.

PATRON DE CIRCULACION COSTERA A PARTIR DE ALGUNAS CARACTERISTICAS NATURALES DE SEDIMENTOS EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS.- Tesis Profesional.- Alfredo Chez Barragán y Roberto Pérez H.- U.A.B.C. 1982.

ESTUDIO DE MINERALES PESADOS COMO TRAZADORES DE LA CORRIENTE LITORAL EN LA BAHIA DE TODOS SANTOS. B.C.N.- Tesis Profesional.- Francisco Aranda M.- U.A.B.C. 1983.

ATLAS OF SEA AND SWELL. NORTH PACIFIC OCEAN.- U.S. Naval Oceanographic Office.- Washinton, D.C. 1969.

OCEAN WAVES STATISTICS.- British Meteorological Office.- Londres 1987.

TIDAL COMPUTATION IN RIVERS AND COASTAL WATERS. - J.J. Dronkers.- North-Holland Publishing Company.- Amsterdam 1964.

DESIGN OF SMALL TIDAL INLET. - M. O'Brien; L. Zeevaert.- 1968.

WAVE HINDCAST AND LITORAL DRIFT CALCULATION FOR ENSENADA YARD. - Inman & Horrera para Bos Pacific, S.A. de C.V. 1983.

ANTEPROYECTO DE LAS OBRAS DE BOS PACIFIC. - BOS PACIFIC, S.A. de C.V.

ESTUDIO DE LAS ESCOLLERAS. - Soil Expert International.- P. Couprie para Bos Pacific, S.A. de C.V.- 1983.

OPEN CHANNEL HYDRAULICS. - Ven-Te Chow

COURSE DE HYDRAULIQUE MARITIME. - R. Bonafille.- Masson Editeurs, Paris.

INGENIERIA MARITIMA (Apuntes). - Ing. Oscar Fuentes.