

52



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**
FACULTAD DE INGENIERIA

**“PROPUESTA PARA ESTABLECER LIMITES DE
SEGURIDAD PARA LA CONSTRUCCION
DE DESARROLLOS COSTEROS”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTA**

JULIAN JAVIER GALLEGOS GALLEGOS

**DIRECTOR DE TESIS:
M. EN C. MIGUEL ANGEL YAÑEZ MONROY**



296570

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/205/99

Señor
JULIAN JAVIER GALLEGOS GALLEGOS
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MIGUEL ANGEL YAÑEZ MONROY, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL

**"PROPUESTA PARA ESTABLECER LIMITES DE SEGURIDAD PARA LA
CONSTRUCCION DE DESARROLLOS COSTEROS"**

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- I. BREVE RESEÑA DE DESARROLLOS COSTEROS Y SU CONDICION FÍSICA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS
- II. PROCESOS FÍSICOS QUE AFECTAN LA PLANEACIÓN DE LOS DESARROLLOS COSTEROS
- III. ZONA FEDERAL MARITIMO TERRESTRE
- IV. MODELOS DE DINÁMICA COSTERA Y LÍMITE DE CONTROL DE CONSTRUCCIÓN COSTERA (LCCC)
- V. CASO PRÁCTICO DISCUSIÓN DE CRITERIOS PARA ESTABLECER EL LÍMITE DE CONTROL DE CONSTRUCCIÓN EN EL FRENTE PLAYERO DEL PUERTO DE DOS BOCAS, TABASCO.
- VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 15 de agosto de 2001
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/Instg.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por la oportunidad de vivir esta vida con mis seres queridos.

Al M. en C. Miguel Ángel Yáñez Monroy:

Por su apoyo, entusiasmo, y dedicación a este trabajo, por sus buenos consejos y por la oportunidad de laborar en Consultoría Yáñez-Taylor S.A. de C.V.

Al Personal de Consultoría Yáñez-Taylor S.A. de C.V.:

Por la convivencia, el apoyo y las enseñanzas, pero sobre todo por su amistad.

Al Arq. Andrés Bustamante:

Por la oportunidad de iniciarme en el desempeño profesional en Dovela S.A de C.V. y por brindarme su amistad.

A Álvaro Hernández Clemente:

Por su ayuda y colaboración en la realización de este trabajo.

A todas aquellas personas que de alguna forma colaboraron en la realización de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México

Por la enseñanza recibida de sus profesores, por todo lo que me ha brindado y por el orgullo que siento de pertenecer a ella.

A todos ellos

Muchas Gracias

DEDICATORIAS

A mis Padres Alejandra y José Guadalupe:

A los que quiero con todo mi corazón y agradezco su cariño, educación y los esfuerzos que han hecho siempre para procurarme una buena vida y formación.

A mis Hermanas Erika y Mónica:

A quienes tanto quiero y admiro, y para quienes siempre deseo lo mejor de la vida.

A mis Abuelos Juanita, Prisca (+), Manuel, (+) y José Guadalupe:

Por el cariño que les tengo y por ser un ejemplo claro de superación y trabajo continuo.

A mi Familia Paterna y Materna:

Por el cariño que nos une, por la convivencia diaria y por todo lo que hemos pasado juntos en las buenas y malas.

En especial a la Familia Cruz Gallegos:

Por el cariño tan grande que les tengo, por todos los buenos momentos que hemos vivido y por permitirme ser parte importante de su familia.

Por supuesto, a mi tío José Alfredo Gallegos Motte (+)

A quien tanto quiero y admiro pero sobre todo, a quien tanto extraño.

A mis Compañeros y Amigos:

Por la suerte de haberlos conocido y por ser parte importante en mi vida.

En especial a mis amigos de la Secundaria No 27:

Por los años juntos, por todo lo que hemos vivido y por la amistad tan especial que nos mantiene unidos.

A todos ellos:

Mí promesa de hacer siempre mi mejor esfuerzo.

INDICE

<i>T E M A</i>	<i>Pag.</i>
Índice de Tablas	V
Índice de Figuras	VI
INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	ii
CAPÍTULO 1.0	
BREVE RESEÑA DE DESARROLLOS COSTEROS Y SU CONDICIÓN FÍSICA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS	1
1.1 Tipo de Desarrollo	1
<i>1.1.1 Desarrollo Turístico</i>	1
<i>1.1.2 Desarrollo Urbano</i>	3
<i>1.1.3 Desarrollo Portuario</i>	5
<i>1.1.4 Desarrollo Lagunario</i>	7
1.2 Daños Causados por Fenómenos Extremos	9
<i>1.2.1 Origen de los Ciclones Tropicales</i>	10
<i>1.2.2 Regiones Matrices de los Ciclones Tropicales en México</i>	12
<i>1.2.3 Resumen de Daños Causados por Ciclones Tropicales en México durante la Última Década</i>	13
CAPÍTULO 2.0	
PROCESOS FÍSICOS QUE AFECTAN LA PLANEACIÓN DE LOS DESARROLLOS COSTEROS	24
2.1 Morfología	24
<i>2.1.1 Las Formas: Acantilado y Playa</i>	25
<i>2.1.2 Acantilado</i>	25
<i>2.1.3 Playa</i>	26
2.2 Vientos	27
<i>2.2.1 Clasificación de los Vientos</i>	27
<i>2.2.2 Elementos que Caracterizan al Viento</i>	28
<i>2.2.3 Relación Intensidad del Viento – Estado del Mar u Oleaje</i>	29

<i>T E M A</i>	<i>Pag.</i>
2.3 Mareas	31
2.3.1 Planos de Referencia Generados por las Mareas	32
2.4 Oleaje	33
2.4.1 Tipos de Oleaje	35
2.4.2 Refracción de Ola	37
2.4.3 Difracción de Ola	38
2.5 Corrientes	38
2.5.1 Clasificación de Corrientes	39
2.6 Transporte de Sedimentos	41
2.6.1 Transporte Litoral	42
2.6.2 Perpendicular a la Costa	43
2.7 Comportamiento Bajo Condiciones de Tormenta	44
2.7.1 Vientos	44
2.7.2 Oleaje	46
2.7.3 Marea de Tormenta	47
2.7.4 Precipitaciones	50
CAPÍTULO 3.0	
ZONA FEDERAL MARÍTIMO TERRESTRE	51
3.1 Definición	51
3.2 Sustentación	53
3.3 Normatividad	54
3.4 Comportamiento ante Cambios en la Configuración Playera	55
3.4.1 Erosión Playera	55
3.4.2 Terrenos Ganados al Mar	56

T E M A	<i>Pag.</i>
CAPÍTULO 4.0	
MODELOS DE DINAMICA COSTERA Y LCCC	57
4.1 Criterio de GENESIS	57
4.1.1 <i>Fundamentos Teóricos</i>	57
4.1.2 <i>Capacidades y Limitaciones</i>	59
4.1.3 <i>Interacción con GENESIS</i>	60
4.2 Criterio de SBEACH	62
4.2.1 <i>Fundamentos Teóricos</i>	62
4.2.2 <i>Capacidades y Limitaciones</i>	63
4.2.3 <i>Interacción con SBEACH</i>	64
4.3 Límite de Control de Construcción Costera, (LCCC)	67
4.3.1 <i>Factor de Seguridad (FS)</i>	67
CAPÍTULO 5.0	
CASO PRACTICO: DISCUSION DE CRITERIOS PARA ESTABLECER EL LIMITE DE CONTROL DE CONSTRUCCION EN EL FRENTE PLAYERO DEL PUERTO DE DOS BOCAS, TABASCO.	70
5.1 Descripción y Problemática	70
5.2 Análisis de Información Básica	72
5.2.1 <i>Vientos</i>	72
5.2.2 <i>Mareas</i>	75
5.2.3 <i>Oleaje Normal</i>	75
5.2.4 <i>Oleaje Ciclónico</i>	81
5.2.5 <i>Marea de Tormenta</i>	84
5.2.5 <i>Características del Material de Playa</i>	85
5.3 Simulación con GENESIS (25 años)	85
5.4 Simulación con SBEACH (Tr = 25 años)	90
5.5 LCCC para el Frente Playero del Puerto de Dos Bocas, Tabasco.	94

<i>T E M A</i>	<i>Pag.</i>
CAPÍTULO 6.0	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
6.1 Conclusiones	97
6.2 Recomendaciones	98
BIBLIOGRAFÍA	100

Indice de Tablas

T A B L A		Pag.
CAPÍTULO 1.0		
1.1 Principales API's del Pacífico y Golfo de México		7
1.2 Sistemas Lagunarios más Importantes de México		8
1.3 Clasificación de la OMM		11
1.4 Escala de Huracanes de Saffir/Simpson		12
1.5 Resumen de Temporada Ciclónica 1990		15
1.6 Resumen de Temporada Ciclónica 1991		16
1.7 Resumen de Temporada Ciclónica 1992		17
1.8 Resumen de Temporada Ciclónica 1993		18
1.9 Resumen de Temporada Ciclónica 1994		19
1.10 Resumen de Temporada Ciclónica 1995		20
1.11 Resumen de Temporada Ciclónica 1996		21
1.12 Resumen de Temporada Ciclónica 1997		22
1.13 Resumen de Temporada Ciclónica 1998		23
CAPÍTULO 2.0		
2.1 Escala de Beaufort		29
2.2 Escala de Douglas		30
CAPÍTULO 4.0		
4.1 Modo de Interacción con SBEACH		66
CAPÍTULO 5.0		
5.1 Resumen de Eventos Extremos		83
5.2 Marea de Tormenta		84

Indice de Figuras

<i>FIGURA</i>	<i>Pag.</i>
CAPÍTULO 1.0	
1.1 Ubicación de los Principales Centros Turísticos en México	3
1.2 Ubicación de los Principales Centros Urbanos en México	4
1.3 Ubicación y Vocación de los Principales Puertos de México	6
1.4 Conformación Típica de un Sistema Lagunar	7
1.5 Regiones Matrices de Huracanes	13
CAPÍTULO 2.0	
2.1 Descripción Gráfica de los Términos Utilizados en la Zona Costera	24
2.2 Conformación Típica de Costa	25
2.3 Esquemmatización de la Acción de un Fetch	30
2.4 Formación de Mareas por la Atracción de la Luna	31
2.5 Movimiento de las Moléculas de Agua en el Oleaje	34
2.6 Definición de las Características del Oleaje	35
2.7 Transporte de Sedimentos Debido al Oleaje	41
2.8 Acción del Oleaje en Condiciones Normales y de Marea de Tormenta	49
CAPÍTULO 3.0	
3.1 Descripción de la Zona Federal Marítimo Terrestre	51
3.2 Delimitación de la ZFMT en las Desembocaduras de los Ríos	52
CAPÍTULO 4.0	
4.1 Sección Transversal del Perfil de Playa	58
4.2 Esquema de Interacción con GENESIS	61
4.3 Cambio en el Perfil del Frente Playero Inducido por Tormenta	63
CAPÍTULO 5.0	
5.1 Localización del Frente Playero del Puerto de Dos Bocas, Tabasco	71
5.2 Rosa de Vientos Vientos Reinantes-Resumen Anual	73
5.3 Rosa de Vientos Vientos Dominantes-Resumen Anual	74
5.4 Rosa de Oleaje Anual	76
5.5 Rosa de Oleaje Resumen Período Diciembre-Febrero	77
5.6 Rosa de Oleaje Resumen Período Marzo-Mayo	78
5.7 Rosa de Oleaje Resumen Período Junio-Agosto	79
5.8 Rosa de Oleaje Resumen Período Septiembre-Noviembre	80

	<i>FIGURA</i>	<i>Pag.</i>
5.9	Levantamientos Topográficos de Líneas de Costa 1990 y 1997	86
5.10	Calibración de GENESIS	88
5.11	Posición de la Línea de Costa / 25 Años	89
5.12	Perfiles de Playa 1990 y 1997	91
5.13	Calibración de SBEACH	92
5.14	Perfil de Playa Después de la Tormenta	94
5.15	Posiciones de la Línea de Costa Obtenidas de los Modelos, ZFMT y LCCC	95

INTRODUCCION

Es innegable que las costas siempre han sido de vital importancia para la humanidad. Desde el principio, el hombre se sintió atraído a ellas y ha aprendido a habitarlas y aprovecharlas para su beneficio. En las costas, el hombre ha podido desarrollar de manera importante actividades productivas y de entretenimiento que se han traducido en factores de vital importancia para su forma de vida y en consecuencia, en factores económicos de relevancia para los países.

En México, las costas cobran una importancia muy particular. Debido a su extensión de más de 13,000 km de litoral distribuidos en el océano Atlántico, el Mar Caribe, Mar de Cortés y el Golfo de México, y a su favorable ubicación geográfica, en las costas del país se han podido establecer diferentes tipos de desarrollos costeros de gran importancia como lo son los turísticos, portuarios, urbanos y lagunarios.

Es evidente que gran parte de la economía del país esta sustentada en sus destinos turísticos costeros, que son reconocidos a nivel mundial como parte de los mejores; así también, los puertos juegan un papel relevante para la economía del país debido al gran volumen de carga que manejan y a su ubicación geográfica que los convierte en puntos obligados para las navieras. Por otro lado, los desarrollos urbanos y lagunarios no han tenido un desarrollo pleno debido a ciertos factores culturales, políticos y económicos, sin embargo, el potencial de crecimiento a futuro para los diferentes tipos de desarrollos costeros es grande.

Para poder lograr un crecimiento pleno y la creación de nuevos desarrollos costeros con una visión de calidad y seguridad, se debe considerar en la planeación que en las costas del país, año con año se presentan fenómenos extremos que causan daños, frecuentemente de gran magnitud, a la infraestructura de los desarrollos costeros, lo cual se traduce en el mejor de los casos, a pérdidas económicas sin tener que lamentar la pérdida de vidas.

En ese sentido, el objetivo los objetivos del presente trabajo de tesis son los siguientes.

OBJETIVOS

1. Definir los factores que influyen en el comportamiento de las costas, en las cuales se deben desplantar los desarrollos costeros.
2. Identificar si el actual criterio de delimitación de la Zona Federal Marítimo Terrestre, (ZFMT), es seguro para la integridad física de los desarrollos costeros.
3. Proponer como medida de seguridad para los desarrollos costeros, la aplicación de técnicas de pronóstico de comportamiento de las costas bajo condiciones normales y de eventos extremos.
4. Proponer como límite de construcción hacia el mar, el criterio del Límite de Control de Construcción Costera, (LCCC), para el desarrollo de futuros desarrollos costeros.

Para poder lograr los objetivos anteriormente planteados, este trabajo de tesis se ha desarrollado en seis capítulos, los cuales se describen a continuación.

El capítulo 1.0 hace una breve reseña de los desarrollos costeros con que cuenta el país, clasificándolos en turísticos, urbanos, portuarios y lagunarios, con el objeto de hacer notar su importancia para el país, de igual forma, a manera ilustrativa y de justificación del tema de tesis, se hace un informe de la condición física que guardan los mencionados desarrollos costeros producto de la acción de fenómenos extremos durante los últimos diez años.

En el capítulo 2.0 se describen los procesos físicos que afectan la planeación de los desarrollos costeros y el comportamiento de los mismos en condiciones de eventos extremos.

En el capítulo 3.0 se trata particularmente la ZFMT describiéndola, definiendo como se delimita y para que sirve; así como su comportamiento ante los cambios que sufre la configuración playera.

El capítulo 4.0 describe los modelos de pronóstico de comportamiento playero utilizados en este trabajo y define el Límite de Control de Construcción Costera (LCCC).

En el capítulo 5.0 se realiza el caso práctico para la zona de playa del puerto de Dos Bocas, Tabasco, en la cual se calcula el LCCC y se compara con la ZFMT que correspondería para tal playa.

Finalmente en el capítulo 6.0 se exponen las conclusiones y recomendaciones obtenidas mediante la realización de este trabajo.

1.0 BREVE RESEÑA DE LOS DESARROLLOS COSTEROS Y SU CONDICION FISICA EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS

El propósito de presentar este capítulo es proporcionar una visión general de la importancia que tienen los desarrollos costeros en nuestro país, su estado de desarrollo y sus expectativas a futuro, así como una evaluación de su situación física y los daños más importantes que han sufrido debido a la acción de los huracanes y tormentas ciclónicas, motivo por lo cual se ha desarrollado el presente trabajo de tesis.

1.1 Tipo de Desarrollo

En una costa pueden tener lugar diferentes tipos de desarrollos: Turístico, Urbanos, Portuarios o Lagunarios, en algunos casos se pueden encontrar dos o más en la misma costa, a continuación se hace una reseña de los desarrollos de estos tipos más importantes del país así como un recuento de los daños causados en la última década por fenómenos extremos.

1.1.1 Desarrollo Turístico

Con el auge mundial del turismo como una necesidad básica, contemporánea, esta actividad ha llegado a convertirse en una de las principales fuentes de ingreso e inversión para muchos países, México por la diversidad y riqueza de atractivos con que cuenta, resulta un país turístico por excelencia con mayores potenciales.

No cabe duda que el turismo ha incrementado su importancia en la economía nacional, cuya capacidad ha superado los 20 millones de turistas por año que provocan una derrama anual de 7,856 millones de dólares (Secretaría de Turismo, 1999), siendo equiparable su importancia en relación con los ingresos petroleros.

Lo anterior contribuye con el 12.4% del PIB, de lo cual gran parte de ello se capta gracias a los desarrollos turísticos con que cuenta México a todo lo largo de su litoral. No por nada, México ocupa el 8° lugar a nivel mundial en función de llegada de turistas y el 11° (Secretaría de Turismo, 1999) en función de ingresos por concepto del turismo, siendo principalmente los centros turísticos costeros los que más aportan a esta causa.

Un desarrollo turístico costero es el aprovechamiento de una playa permanente de tal manera que se establezcan allí lugares de divertimento, con la infraestructura necesaria para su funcionamiento, (hoteles, comercios, marinas, etc.), su función es la de proporcionar un lugar de descanso y recreación para sus visitantes. Así pues, la playa que se haya escogido para desarrollar un centro turístico debe ser una playa atractiva y segura para los visitantes, por lo tanto, se deben considerar todas las cuestiones físicas y climatológicas del lugar

Durante los últimos años los desarrollos turísticos establecidos en las costas del país en general han guardado un estado físico aceptable, sin embargo, cada año las costas mexicanas se ven agobiadas por la presencia de tormentas tropicales, nortes y huracanes, los cuales se presentan tanto en el Océano Pacífico, como en el Mar Caribe y el Golfo de México, provocando daños de menor o mayor grado en los centros turísticos; quizá los fenómenos climatológicos más importantes de los últimos años han sido los huracanes Gilberto, Paulina y Mitch los cuales dejaron grandes pérdidas para el sector después de su presencia. En particular, el huracán Gilberto causó serios daños a la infraestructura hotelera de Cancún y la pérdida de playa en la zona.

Anteriormente no se seguía una metodología bien pensada para la planeación y desarrollo de un desarrollo turístico, todo se hacía espontáneamente y por ello los primeros desarrollos han tenido problemas para su funcionamiento y crecimiento, tal es el caso de Acapulco; pero a partir de la creación del Fomento Nacional al Turismo, (FONATUR), se ha tratado de cambiar esto y así, esta dependencia ha tomado en sus manos la planeación y desarrollo integrales de Cancún, Los Cabos, Ixtapa, Loreto y

Bahías de Huatulco entre otros, procurando darle a estos lugares un trato a futuro con una zonificación bien definida.

Estos desarrollos turísticos costeros y otros de importancia se encuentran ubicados principalmente en el Océano Pacífico y el Caribe como se muestra en la Figura 1.1

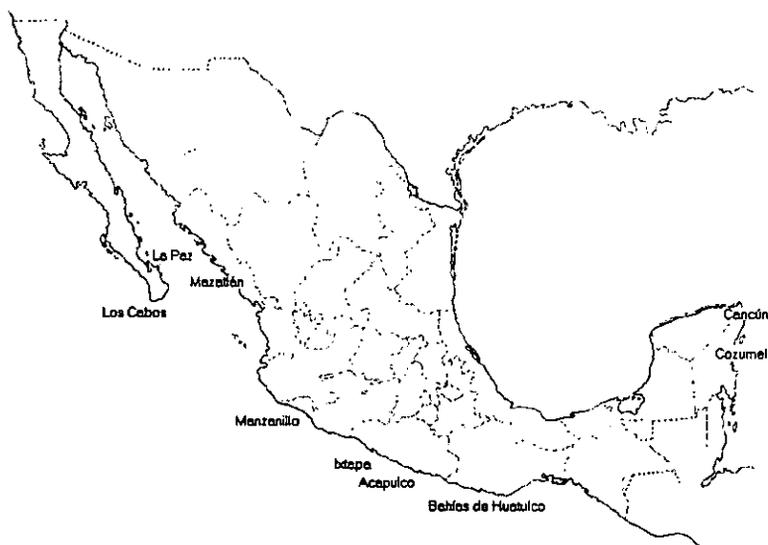


Figura 1.1 Ubicación de los Principales Centros Turísticos de México

1.1.2 Desarrollo Urbano

Los desarrollos urbanos establecidos directamente en las costas del país se limitan únicamente a pequeños pueblos. Estos pueblos tienen por actividad principal la pesca a baja escala pero que es de gran importancia para la alimentación y el sustento económico de las personas de la zona y también le da abasto a los centros turísticos proporcionándoles los pescados y mariscos a la industria restaurantera de la zona.

Los desarrollos urbanos de mayor magnitud se han establecido en donde ha tenido lugar un desarrollo turístico o portuario y por lo general se encuentran relativamente lejos de la franja costera, puesto que allí es donde se ubica la llamada zona hotelera y la infraestructura portuaria respectivamente, tales son los casos, por mencionar algunos, de Ensenada, Mazatlán, Campeche, Veracruz, Boca del Río, Cd. Madero o Progreso los cuales son ya grandes centros de población con todos los servicios. En la Figura 1.2 se presentan los principales desarrollos urbanos del país.



Figura 1.2 Ubicación de los Principales Centros Urbanos de México

Probablemente en Veracruz es donde encontramos una concentración más grande de personas que han establecido su vivienda cerca de la línea de costa pero no llega a ser ni con mucho un desarrollo urbano como los que tienen lugar en países como Estados Unidos, Holanda, Inglaterra, Noruega, Australia o Japón, los cuales son realmente ciudades establecidas muy cerca de la línea de costa que han sido planeadas mediante técnicas para minimizar al máximo los daños causados por fenómenos naturales extremos como lo son los huracanes, nortes o tormentas tropicales.

El hecho de que en México, a pesar de contar con una gran extensión de litoral, (más de 13,000 km), no se tenga una cultura de habitar en las cercanías de la costa se debe a dos causas principales: primero, en la época prehispánica existían muchos lugares costeros insalubres con proliferación de manglar e infestados de insectos que hacía imposible la vida en esos lugares, por lo tanto pocas culturas se establecieron en la zona costera y por tal motivo no se desarrolló una cultura de vivir en la costa, por consiguiente ninguna cultura prehispánica desarrolló ampliamente la navegación; y segundo, a una política centralista que se ha establecido en el país la cual concentra todo el aparato productivo y administrativo en el altiplano central lo cual hace que la población se concentre cerca de ellos y así se tenga que sólo el 13% de la población nacional vive en las zonas costeras (Maza et al. 1996).

1.1.3 Desarrollos Portuarios

Un puerto es el aprovechamiento físico de un sitio específico de una costa que reúna las características necesarias para brindar recepción, abrigo y atención a las embarcaciones, se compone del recinto portuario y, en su caso, de una zona de desarrollo, así como por accesos y áreas de uso común para la navegación interna y afectas a su funcionamiento.

Los factores físicos que se contemplan para definir la ubicación de un puerto son:

- Geográficos
- Climatológicos, Oceanográficos e Hidrológicos
- Sociales y Económicos.

Un puerto se dice que es de altura cuando atiende embarcaciones, personas y bienes procedentes de puertos extranjeros, y se le llama puerto de cabotaje al que tiene este mismo intercambio pero únicamente con puertos nacionales.

México tiene un importante sistema portuario. Contamos con 76 puertos marítimos y 9 fluviales. De ellos, 31 tienen actividad comercial nacional o internacional y atienden a los principales centros de producción y consumo del país, mientras que el resto se destina a actividades pesqueras o turísticas.

Los puertos comerciales cuentan con 76.4 kilómetros de muelles, 2.3 millones de metros cuadrados de bodegas y 7.5 millones de metros cuadrados de recintos fiscales (SCT, 1998). En la Figura 1.3 se ilustran la ubicación y vocación de los principales puertos del país.

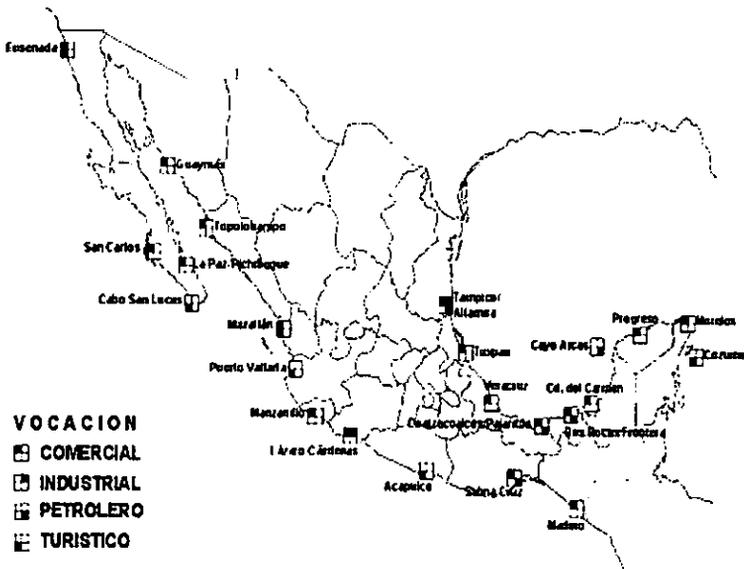


Figura 1.3 Ubicación y Vocación de los Principales Puertos de México

El sistema portuario nacional vive una nueva etapa administrativa. El modelo de organización y operación de los puertos establecido en estos años pretende impulsar la eficiencia y competitividad y asegurar el crecimiento y modernización de la infraestructura para atender la demanda futura y, de esta manera, su desarrollo en el largo plazo. Los puertos comerciales, industriales y turísticos del país cuentan con una administración propia, con autonomía de gestión y autosuficiencia financiera —

Administraciones Portuarias Integrales (API's)— que no sólo operan sin subsidios sino que generan utilidades, pagan impuestos y realizan nuevas obras de infraestructura portuaria en función de la demanda de servicios de cada puerto en que operan. En la Tabla 1.1 se muestran las principales API's del Océano Pacífico y del Golfo de México.

Tabla 1.1 Principales API's del Pacífico y Golfo de México

OCÉANO PACÍFICO		GOLFO DE MÉXICO	
	API del Puerto de Lázaro Cárdenas		API del Puerto de Altamira
	API del Puerto de Guaymas		API del Puerto de Veracruz

1.1.4 Desarrollos Lagunarios

Los sistemas lagunarios son cuerpos someros de agua salobre que están separados del mar por una barra de arena bien desarrollada, su comunicación con el mar es a través de una boca o de un estero; su profundidad es variable dependiendo de la época del año. Una conformación típica de un sistema lagunar se puede observar en la Figura 1.4.

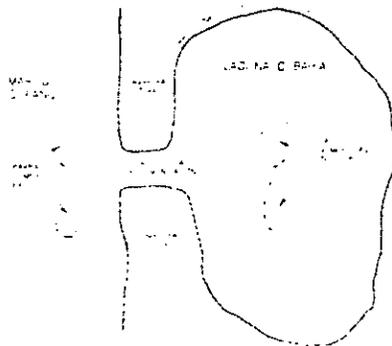


Figura 1.4 Conformación Típica de un Sistema Lagunar

Estas barreras, que morfológicamente se conforman de material granular poco cimentado y cuya edad geológica es relativamente corta, son más o menos frágiles y pueden sufrir rupturas continuas por efecto del oleaje y las mareas, dando lugar a canales o bocas de comunicación entre las lagunas y el mar. Asimismo, estos canales pueden sufrir cambios diversos en geometría y posición dependiendo de la importancia relativa de factores tales como oleaje, corrientes y transporte litoral.

De la superficie total de los sistemas lagunarios con que cuenta el país, 828,000 ha corresponden al litoral del Pacífico y 672,000 ha al litoral del Golfo de México y del Caribe (Fernández, 1995).

Los sistemas lagunarios más importantes de nuestro país, (Fernández, 1995), se encuentran listados en la Tabla 1.2

Cuando los canales de comunicación y las lagunas a las que sirven, brindan profundidades adecuadas y seguras para la navegación comercial, éstos son utilizados como cuerpos de abrigo naturales para la construcción de terminales marítimas y canales de navegación.

Tabla 1.2 Sistemas Lagunarios más Importantes de México

Golfo de México		Pacífico	
<i>Tamaulipas</i>	Madre San Andrés Mezquital	<i>Chiapas</i>	Los Patos solo Dios en Pijijiapan
<i>Veracruz</i>	Alvarado	<i>Oaxaca</i>	Corralero
<i>Tabasco</i>	Lagartera Mecoacán	<i>Colima</i>	Cuyutlán Nayarit Las Garzas Chagüin-Chuiga
<i>Campeche</i>	Términos	<i>Sinaloa</i>	Agua Verde Huizache-Caimanero
		<i>Sonora</i>	Yavaros

Cuando estas lagunas reciben agua dulce de las corrientes superficiales que desembocan en ellas, se convierten en un criadero de vida (acuicultura), esto tiene relevancia económica porque de ellos se extraen volúmenes importantes de la producción pesquera nacional.

La acuicultura se define como la práctica productiva a través de la cual el hombre ha logrado cultivar organismos acuáticos, plantas y animales, con el fin de aumentar la producción de alimentos y materias primas.

No obstante la tendencia a crecer de 1985 a 1997 en el sector pesquero, se debe hacer notar de acuerdo a los datos registrados en 1988 (SEMARNAP, 2000) que la producción acuícola nacional experimentó un decremento que ubicó a la acuicultura con una producción que no superó las 160 mil toneladas, mientras que la captura se ubicó en 1,233,000 toneladas. Es decir, de 1997 a 1998 decreció debido a los efectos generados por el fenómeno meteorológico conocido como “El Niño”, el cual provocó fuertes sequías disminuyendo sensiblemente los volúmenes de agua en las presas y lagos, causando efectos negativos en la acuicultura de fomento y pesquerías acuiculturales en especies como tilapia y carpa, que conforman los sistemas que aportan el mayor volumen de producción nacional.

1.2 Daños Causados por Fenómenos Extremos

México es particularmente vulnerable a los ciclones tropicales por su localización geográfica, debido a que se encuentra entre dos océanos, el Atlántico y el Pacífico, y en latitudes adecuadas para la formación y desarrollo de los ciclones tropicales, es por eso que cada año sus costas se ven agobiadas por el embate de fenómenos extremos que van desde los “nortes” hasta los huracanes y que ocasionan a su paso daños, en mayor o menor grado, a la infraestructura costera.

1.2.1 Origen de los Ciclones Tropicales

El origen de los ciclones tropicales es una depresión tropical, luego tormenta tropical y después huracán dependiendo de la velocidad del viento.

Los huracanes son una manifestación de la gran concentración de energía cercana al ecuador y sirven como una válvula de escape y mecanismo de transporte de dicha energía hacia latitudes altas. La ocurrencia de los ciclones en su etapa inicial está asociada a las elevadas temperaturas oceánicas superiores a 26°C, una elevada humedad relativa desde la superficie hasta más de 6 km de altura, un flujo de viento en espiral a bajos niveles y vientos divergentes en altitud (Vickers, 1991).

La temporada de huracanes da principio cuando el ecuador térmico se mueve en dirección de los polos, llevando consigo altas temperaturas que calientan el aire y el agua del mar dando lugar de esta forma al surgimiento de una zona de baja presión. Esto ocurre generalmente entre los meses de mayo a octubre.

El movimiento giratorio de los huracanes se origina en el momento en que los vientos alisos se encuentran de frente, e inician a consecuencia de ello, un giro alrededor del punto de convergencia, hecho que ocurre normalmente entre las latitudes de 5 y 10°N. A esta condición se suman las altas temperaturas marítimas de más de 26°C y los efectos de rotación terrestre que produce la fuerza de Coriolis, debido a la cual, cualquier movimiento en la superficie de la tierra tiende a desviarse hacia la derecha de su dirección original en el Hemisferio Norte y hacia la izquierda en el Sur y por este motivo el sentido de rotación es contrario a las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte y en el sentido de ellas en el Hemisferio Sur.

Existen 5 categorías para clasificar la magnitud de un huracán, además de otras características previas a la que se considera como huracán, para clasificar la magnitud de las tormentas tropicales, esta clasificación, donde el elemento distintivo principal es

la velocidad del viento, la dio el Organismo Meteorológico Mundial (OMM) y se presenta en la Tabla 1.3

Tabla 1.3 Clasificación de la OMM

CATEGORIA	PRESIÓN Mb	VIENTOS km/h.	TORMENTA DE MAREA m	CARACTERÍSTICAS
Onda Tropical				Perturbación ondulatoria débil, con tendencia a formar circulación ciclónica de baja presión, contraria a las manecillas del reloj. Los daños potenciales a la propiedad son mínimos.
Perturbación Tropical	1008			Hay indicios de que se está formando una circulación ciclónica. Los daños potenciales son menores
Depresión Tropical	1005	62		Etapa inicial de la formación de un ciclón tropical. Localmente destructivos
Tormenta Tropical	1004 a 985	63 a 117	1.1	Ciclón tropical organizado. Tiene efectos destructivos.
Huracán				Ciclón tropical bien organizado con viento máximo superior a 118 km/h. Se distinguen 5 categorías de huracán
Categoría 1	> 980	119-153	~1.5	Altamente destructivo
Categoría 2	965-979	154-177	~2.0-2.5	Altamente destructivo
Categoría 3	954-964	178-209	~2.5-4.0	Extraordinariamente destructivo
Categoría 4	920-944	210-249	~4.0-5.5	Extraordinariamente destructivo
Categoría 5	< 920	> 250	> 5.5	El más destructivo

En Estados Unidos, Herbert Saffir y Robert H. Simpsons (1970's) elaboraron una escala de huracanes, muy similar a la de la OMM, proporcionando una estimación de los daños materiales que pueden ser ocasionados por los huracanes. Esta escala de huracanes así como las estimaciones de los daños que pueden causar se presentan en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Escala de Huracanes de Saffir/Simpson

TIPO	PRESIÓN mb	VIENTOS Km/h.	MAREA M	ESTIMACIÓN DE LOS POSIBLES DAÑOS MATERIALES
Depresión	-	64		Ningún daño considerable a las estructuras.
Tormenta Tropical	-	65-118		Pequeños daños a las casas rodantes, pequeños árboles.
Huracán 1	> 980	119-153	1.5	Ningún daño efectivo a los edificios. Daños a casas rodantes, arbustos, árboles. También algunas inundaciones de carreteras costeras y daños leves en muelles.
Huracán 2	965-980	154-177	2-2.5	Daños en los tejados, puertas y ventanas de los edificios. Las carreteras costeras se inundan de dos a cuatro horas antes de la entrada del centro del huracán. Las pequeñas embarcaciones en fondeaderos sin protección rompen amarras.
Huracán 3	945-965	178-209	2.6-3.7	Daños estructurales a pequeñas residencias y construcciones auxiliares, con pequeñas fisuras en los muros de revestimiento. Los terrenos planos debajo de 1.5 m pueden resultar inundados hasta 13 km de la costa o más.
Huracán 4	920-945	210-249	4.5-5	Provoca fisuras generalizadas en los muros de revestimiento con derrumbe completo de toda la estructura del techo en las residencias pequeñas. Erosión importante en las playas. Inundaciones en los terrenos planos debajo de 3 m., situados hasta 10 km de la costa.
Huracán 5	< 920	> 250	>5	Derrumbe total de los techos en residencias y edificios industriales. Algunos edificios se desmoronan por completo y el viento se lleva las construcciones pequeñas. Daños graves en los pisos de todas las estructuras situadas a menos de 4 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

1.2.2 Regiones Matrices de los Ciclones Tropicales en México

Según la Secretaría de Gobernación (1991), se reconocen regiones donde durante cierta época del año, las condiciones atmosféricas específicas propician la generación de ciclones que afectan al país, dichas regiones se ilustran en la Figura 1.5 y se identifican a continuación:

1. En el Golfo de Tehuantepec se incrementa la actividad durante la última semana de mayo, cuando los ciclones de esta temporada se desplazan al occidente, alejándose del país algunos avanzan paralelos a la costa del Pacífico y en ocasiones penetran a tierra.

2. En la Sonda de Campeche los ciclones tropicales comienzan a partir de junio y siguen un movimiento al N-NW, afectando principalmente a Veracruz y Tamaulipas.
3. En la parte oriental del Mar Caribe, los ciclones tropicales aparecen en julio y tienen gran recorrido y potencia extraordinaria, ellos afectan frecuentemente a la península de Yucatán y a la península de Florida en Estados Unidos.
4. La región del Atlántico es más activa en agosto y presenta ciclones más intensos. Generalmente se dirigen al oeste, penetran en el Mar Caribe, Yucatán, Tamaulipas y Veracruz, algunos siguen una trayectoria hacia el norte afectando la costa de Estados Unidos

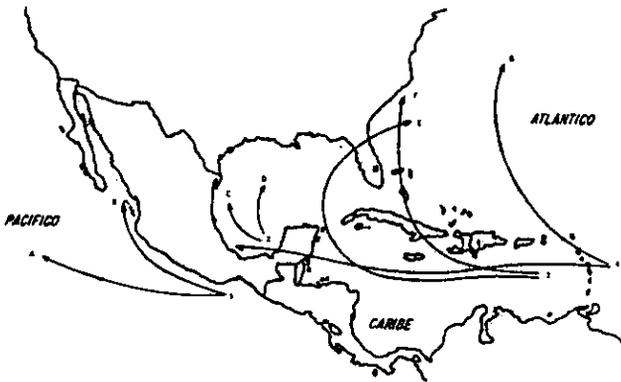


Figura 1.5 Regiones Matrices de Huracanes

1.2.3 Resumen de Daños Causados por Ciclones Tropicales en México durante la Última Década

Durante el periodo de 1989-1999 se formaron 100 ciclones tropicales en el Pacífico nor-oriental, de éstos 79 se acercaron al país a una distancia de 180 km, en tanto que 27 entraron a tierra, es decir, el promedio fue de más de dos ciclones por año. No obstante, para los años 1990 y 1991 se presentaron pocos huracanes en el continente.

En las Tablas 1.5 a 1.13 se presenta un resumen anual de la temporada ciclónica desde 1990 hasta 1998, así como sus características principales y los daños que ocasionaron a su paso por nuestro país.

En resumen y por lo expuesto en este capítulo, se puede entender la importancia que las costas representan para nuestro país, ya que, gracias a la diversidad de las mismas, se cuenta con importantes desarrollos de todos los tipos, y por lo tanto se debe procurar que el crecimiento futuro de estos desarrollos y la creación de nuevos se haga bajo una política de seguridad, reduciendo al mínimo las probabilidades de sufrir daños debido a fenómenos extremos y con ello procurar la seguridad de las personas que habitan en la costa y evitar inversiones cuantiosas en reparaciones de infraestructura. En el siguiente capítulo se exponen los factores físicos que deben considerarse en la planeación de cualquier tipo de desarrollos costero.

Tabla 1.5 Resumen de Temporada Ciclónica 1990

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Alma	H1	12-18 mayo	979	140		
Boris	H1	2-8 junio	977	150		Los remanentes del huracán contribuyeron con algunas lluvias intensas, en San Diego, Cal., se reportaron 22 mm durante 48 hrs.
Cristina	T.T	8-16 junio	994	100		
Douglas	T.T	19-23 junio	992	100		Generó abundantes precipitaciones en la República Mexicana en los estados de Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco. En Manzanillo fueron 178.1 mm en 36 hrs. Además se presentaron inundaciones relámpago y deslizamientos de tierra.
Elida	H1	26 jun-2 julio	990	130		Se registraron un total de 94.4 mm de precipitación. Las bandas nubosas del huracán fueron localizadas sobre la Sierra Madre del Sur
Fausto	H1	6-2 julio	979	140		Se acumularon 101.6 mm de lluvia en la Isla Socorro, Colima.
Genevieve	H2	10-18 julio	970	165		
Hernan	H5	19-31 julio	928	250		
Iselle	H3	20-30 julio	958	195		
Julio	H3	17-24 agosto	960	185		
Kenna	H1	21-30 agosto	980	138		
Lowell	H1	23 ago-1 sep	986	120		Afectó un área de 61 km en los poblados de Providencia, Ejido de la Habana y El Triunfo, Sonora.
Marie	H4	7-21 sep	944	220		
Norbert	H1	10-19 sep	983	130		
Odile	H4	23 sep-3 oct	935	230		
Polo	H1	28 sep-1 oct	987	120		
Rachel	T.T	27 sep-3 oct	994	100	10	Se reportó una lluvia de 215.9 mm en San José del Cabo, los remanentes del meteoro causaron inundaciones en el SW de Texas.
Simon	T.T	9-14 oct	990	110		
Trudy	H5	16 oct-1 nov	924	250		
Vance	H2	21-31 oct	975	160		Hundimiento de 10 embarcaciones y estragos a 40 viviendas en Guerrero, daños por más de 10 millones de pesos.

Tabla 1.6 Resumen de Temporada Ciclónica 1991

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Andres	T.T	16-20 mayo	994	100		
Blanca	T.T	14-22 junio	994	100		
Carlos	H3	16-27 junio	955	195		
Delores	H1	22-28 junio	979	140	4	Se registraron deslaves en las colonias populares del puerto de Acapulco, Gro., además de varios vehículos varados, 30 mil comunicados y suspensión de servicios.
Enrique	H1	15-21 junio	987	120		
Fefa	H3	29 jul-8 ago	959	198		Generó inundaciones relámpago en la isla de Hawaii
Guillermo	H1	4-10 agosto	983	130		
Hilda	T.T	8-14 agosto	992	100		Causó lluvias intensas sobre Baja California y SW de E.U.
Ignacio	T.T	16-19 sep	994	100		Causó 40 heridos e inundaciones en Acapulco, Gro. Dañadas 3500 has de maíz, deslaves en la carretera Acapulco-Chilpancingo. los planteles educativos suspendieron labores. Afectados 10 Estados.
Jimena	H4	20 sep-2 oct	945	215		
Kevin	H4	25 sep-12 oct	935	230		
Linda	H3	3-13 oct	957	195		
Marty	H1	7-18 oct	979	130		Derrumbes menores en carreteras des estado de Guerrero, inundación de 40 colonias populares en Acapulco
Nora	H2	7-12 nov	970	165		Provocó inundaciones en el estado de Sinaloa y Nayarit

Tabla 1.7 Resumen de Temporada Ciclónica 1992

Nombre	Categoría	Fecha	Presión mb	Viento km/h.	Decesos	Observaciones
Agatha	T.T	1-5 junio	990	110		
Blas	T.T	22-24 junio	1004	65		
Celia	H4	22 jun-4 jul	935	230		
Darby	H3	2-10 julio	968	195	3	Afectó las costas desde Acapulco hasta Puerto Vallarta. En Acapulco se registraron 146 mm de lluvia en 24 hrs, además de inundaciones. Extraviados 4 pescadores.
Estelle	H4	9-17 julio	943	220		
Frank	H4	13-23 julio	935	230		
Georgette	H2	14-27 julio	964	175		
Howard	T.T	26-30 julio	992	100		
Isis	T.T	28 jul-2 ago	992	100		
Javier	H1	30 jul-12 ago	985	130		
Kay	T.T	18-22 ago	1002	85		
Lester	H1	20-24 ago	977	130		Generó 220 mm en punta Abrejos, BC. 5,000 dagnificados. Destruyó la región W de Hermosillo, además de la autopista hacia San Diego. Inundaciones en California, Colorado y Utah
Madeline	T.T	27-31 ago	999	85		
Newton	T.T	28 ago-1 sep	999	85		
Orlene	H4	2-14 sep	934	230		
Iniki	H4	5-13 sep	938	100		
Paine	H1	11-16 sep	987	120		
Roslyn	H2	13-30 sep	975	160		
Seymour	H1	17-27 sep	980	140		
Tina	H4	1-5 oct	932	240		
Virgil	H4	1-5 oct	948	215		La precipitación fue de 255 mm en la Presa La Villita, Mich. Se registraron inundaciones y flujos de lodo, 3 desaparecidos, 1000 casas dañadas en Guerrero, Michoacán y Colima. Se desbordó el río Atoyac e inundó 7,400 has de cultivo.
Winifred	H3	6-9 oct	960	185	3	La lluvia máxima de 100 mm en Colima. Inundaciones en Colima, Guerrero y Michoacán. 1500 casas afectadas, así como 200,000 has de cultivo de maíz.
Xavier	T.T	13-14 oct	1003	75		
Yolanda	T.T	15-22 oct	993	100		
Zeke	T.T	24-30 oct	1000	85		

Tabla 1.8 Resumen de Temporada Ciclónica 1993

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Adrian	H1	11-19 junio	979	140		
Beatriz	T.T	18-20 junio	995	100	6	La lluvia máxima en 24 hrs fue de 390 mm en Salina Cruz, Oaxaca, las cuales causaron inundaciones.
Calvin	H2	4-9 julio	966	175	34	La precipitación máxima fue de 415 mm en Las Pilas, Oaxaca. inundaciones y flujos de lodo en Manzanillo, olas de hasta 5 m de altura en Acapulco. Además de varios accidentes en las carreteras.
Dora	H4	15-25 julio	945	215		
Eugene	H3	15-25 julio	948	200		
Fernanda	H4	9-19 agosto	934	215		
Greg	H4	15-28 agosto	948	230		
Hilary	H3	17-27 agosto	957	195		La lluvia máxima registrada de 288.2 mm en la estación Derivadora Jala, Colima. Los estados afectados: Michoacán, Jalisco, Colima y BCS.
Irwin	T.T	21-22 agosto	999	110		La precipitación en 24 hrs, fue de 180 mm en Jala, Colima.
Java	H4	29 ago-6 sep	948	110		
Kenneth	H4	5-18 sep	932	240		
Lidia	H4	8-14 sep	930	240	2	La lluvia máxima fue de 200 mm en Mazatlán, Sin., 100 casas destruidas, 1200 cabezas de ganado ahogadas en los estados de Sinaloa y Durango
Max	T.T	30 sep-4 oct	1000	75		
Norma	T.T	2-6 oct	1000	80		

Tabla 1.9 Resumen de Temporada Ciclónica 1994

Nombre	Categoría	Fecha	Presión mb	Viento km/h.	Decesos	Observaciones
Aletta	T.T	18-23 junio	999	80		
Bud	T.T	27-29 junio	1003	75		
Carlotta	H2	28 jun-5 jul	967	165		
Daniel	T.T	8-14 julio	993	100		
Emilia	H5	15-25 julio	926	250		Lluvias intensas de hasta 100 mm.
Fabio	T.T	19-24 julio	1002	75		
Gilma	H5	21-31 julio	920	260		
Hector	T.T	7-9 agosto	993	100		Lluvias intensas de 75 mm, en la Paz, BCS.
Ileana	H1	11 ago-10 sep	986	120		Lluvias intensas en Punta Eugenia, BC.
John	H5	11 ago-10 sep	929	280		John pasó a 370 km de Johnston Island, causó 15 millones de dólares en daños
Kristy	H2	28 ago-5 sep	992	165		
Lane	H4	3-10 sep	948	215		
Miriam	T.T	15-21 sep	1002	75		
Norman	T.T	19-22 sep	1004	65		
Olivia	H4	22-29 sep	923	240		
Paul	T.T	24-30 sep	1003	75		
Rosa	H2	8-15 oct	974	165	5	Entró a tierra cerca de Mazatlán, Sin, 4 desaparecidos, 100,000 damnificados. Lluvia de 75 a 125 mm. Inundaciones relámpago en Nayarit.

Tabla 1.10 Resumen de Temporada Ciclónica 1995

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Adolf	H4	15-21 junio	948	215		
Barbara	H4	7-18 julio	940	225		
Cosme	H1	17-22 julio	985	120		
Dalilia	T.T	24 jul-2 ago	994	100		
Erick	T.T	1-8 agosto	994	100		
Flossie	H1	7-14 agosto	978	130	7	Lluvias intensas en el Sw de San José del Cabo, BC, afectados los estados de Jalisco y Sinaloa.
Gil	T.T	20-27 agosto	993	100		
Henriette	H2	1-8 sep	970	160		Lluvias mayores de 250 mm en La Paz, BCS, inundaciones en las carreteras de dicho estado, 800 personas damnificadas. La agricultura fue el sector más afectado.
Ismael	H4	12-15 sep	983	130	105	Entró a tierra por Topolobampo, Sin., 1000 damnificados, 57 pescadores extraviados en el Golfo de California, 5000 casas inhabitables. Líneas de teléfono cortadas en la ciudad de Los Mochis, Sin.
Juliette	H4	16-26 sep	930	240		

Tabla 1.11 Resumen de Temporada Ciclónica 1996

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Alma	H2	13-16 mayo	969	160	3	Lluvia máxima en 24 hrs de 250.2 mm en la presa La Villita, Mich, 1800 viviendas dañadas, estados afectados: Chiapas, Guerrero, Michoacán y Jalisco.
Boris	H1	20-27 junio	979	150	7	Lluvia máxima en 24 hrs de 283.5 mm en Coyuca de Benitez, Gro, 5000 viviendas dañadas, estados afectados: Colima, Guerrero, Jalisco y Michoacán.
Cristina	T.T	1-3 julio	991	110	5	Lluvia máxima en 24 hrs de 193.5 mm en el Platanar, Tab, 287 viviendas afectadas en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Tabasco.
Douglas	H4	29 jul-6 ago	946	215		El huracán se formó en el Atlántico en ese momento se le designo el nombre de César y cruzó el Pacífico Nororiental donde se llamó Douglas
Elida	T.T	30 ago-6 sep	994	100		
Fausto	H3	10-14 sep	955	195	2	Lluvia máxima de 150 mm en la Presa A. López Mateos, Sin, 400 viviendas dañadas en BCS, Sinaloa y Sonora
Genevieve	T.T	27 sep-9 oct	999	85		
Hernan	H1	30 sep-4 oct	980	140	3	Lluvia máxima de 422.3 mm en la Presa la Villita, Mich, 1039 viviendas afectadas en los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit y Zacatecas.

Tabla 1.12 Resumen de Temporada Ciclónica 1997

Nombre	Categoría	Fecha	Presión mb	Viento km/h.	Decesos	Observaciones
Andres	T.T	1-6 junio	1000	75		Lluvia máxima de 44.7 mm en Talismán, Chis.
Blanca	T.T	9-12 junio	1006	75		Lluvia máxima de 65.0 mm en Jalapa de Marqués, Oax, afectó al estado de Guerrero. Provocó olas de 4 m de altura.
D.T3	D.T	21-24 junio	1006	55		
Carlos	T.T	25-27 junio	996	65		
Dolores	H1	29 jun-4 jul		150		
Enrique	H2	12-16 julio	970	165		
Felicia	H4	14-22 julio	948	215		
Guillermo	H5	30 jul-15 ago	921	260		
Hilda	T.T	10-15 agosto	1000	85		
Ignacio	T.T	17-18 agosto	1004	65		
Jimena	H4	25-29 agosto	948	215		
Kevin	T.T	3-6 sep	994	95		
Linda	H5	9-17 sep	900	300		
Marty	T.T	13-16 sep	1002	75		
Nora	H3	16-26 sep	950	205	2	Lluvia máxima de 337.5 mm en San Felipe, BCS, 5000 damnificados y pérdidas económicas de 80 millones de dólares.
Olaf	T.T	26 sep-12 oct		110	5	Lluvia máxima de 170.5 mm en Juchitán, Oax. Desbordamiento de ríos, inundaciones y deslaves en Guerrero.
Pauline	H4	6-10 oct	948	215	200	Lluvia máxima de 411.2 mm en Acapulco, Gro. Desbordamiento de ríos, inundaciones relámpago, deslizamientos de tierra en Oaxaca y Guerrero.
Rick	H1	7-10 nov		140		Lluvia máxima de 243 mm en Tehuantepec, Oax. Más de 700 familias damnificadas y 1000 viviendas destruidas en Salina Cruz, Oax.
Paka	T.T	2-6 dic				

Tabla 1.13 Resumen de Temporada Ciclónica 1998

<i>Nombre</i>	<i>Categoría</i>	<i>Fecha</i>	<i>Presión mb</i>	<i>Viento km/h.</i>	<i>Decesos</i>	<i>Observaciones</i>
Agatha	T.T	11-16 junio	992	100		
DT 2	DT 2	19-21 junio	1005	55		
Blas	H4	22-30 junio	945	220		
Celia	T.T	17-20 julio	1000	90		
Darby	H3	23-28 julio	960	195		
Estelle	H4	29 jul-6 ago	948	210		
Frank	T.T	6-9 ago	1001	65		Lluvia máxima de 98.4 mm en La Paz, BCS.
Georgette	H3	11-16 agosto	960	185		
Howard	H4	20-29 ago	935	240		
Isis	H1	1-3 sep	990	120	10	Lluvia máxima de 330 mm en San José del Cabo, BCS, entró a tierra en La Paz y golpeó por segunda ocasión en las costas de Topolobampo, Sin, hasta Ciudad Obregón y se disipó a 200 km al W-SW de Chihuahua.
Javier	T.T	7-11 sep	995	85		
DT 12	DT 12	1-2 oct	1006	55		
Kay	H1	12-16 oct	990	120		
Lester	H3	14-26 oct	960	185		
Madeline	H3	16-19 oct	979	140		

2.0 PROCESOS FÍSICOS QUE AFECTAN LA PLANEACIÓN DE LOS DESARROLLOS COSTEROS

El Ingeniero Civil interactúa estrechamente con la naturaleza en el diseño y construcción de proyectos; es por eso que debe conocer y comprender el comportamiento de los procesos físicos naturales que serán factor en su trabajo, así pues, el objetivo de este capítulo es explicar como funcionan los procesos físicos naturales que se deben tomar en cuenta en el desarrollo de proyectos costeros como los mencionados en el capítulo anterior y que son: la morfología, los vientos, el oleaje, las mareas, las corrientes y el transporte de sedimentos. De igual forma, se expone el comportamiento de estos procesos físicos naturales bajo condiciones de tormenta y su repercusión en las costas.

2.1 Morfología

La zona costera es la región en donde interactúan las fuerzas del mar con la tierra; el sistema se compone de la energía que trasmite el mar a través de su movimiento y que es absorbida por tierra firme. Para definir y entender mejor la zona costera en la Figura 2.1 se presentan gráficamente los límites y los términos involucrados en dicha zona y que posteriormente serán citados.

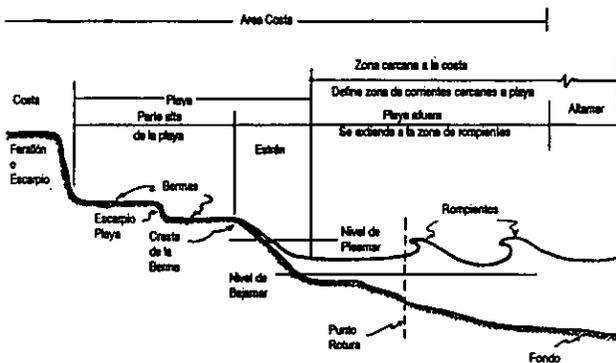


Figura 2.1 Descripción Gráfica de los Términos Utilizados en la Zona Costera

La forma que adquiere el litoral es diferente de un lugar a otro, y así por ejemplo, en la costa del Pacífico mexicano las playas son de pendiente fuerte, se presentan acantilados y montañas muy próximas al mar; en cambio, del lado del Golfo, las playas son más tendidas y difícilmente se encuentran acantilados.

2.1.1 Las Formas: Acantilado y Playa

Según predomine en el trabajo del mar la erosión o la sedimentación, la forma correspondiente será un acantilado o una playa. Las dos formas pueden hallarse en la misma costa; puede construirse una playa en un sector abrigado y formarse un acantilado por erosión en un lugar expuesto a este tipo de acciones. En la Figura 2.2 se puede observar una conformación típica de costa.

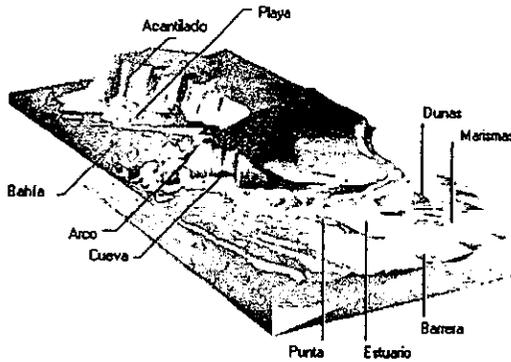


Figura 2.2 Conformación Típica de Costa

2.1.2 Acantilado

Un acantilado es un resalte no cubierto por vegetación, de pronunciada pendiente (de unos 15° entre la vertical y el saledizo), con altura muy variable, generado por el contacto de la tierra con el mar, y debido a la acción de éste último.

Se distinguen los acantilados vivos, aún batidos por el mar, y los acantilados muertos, separados del mar por una franja en la que tiene lugar disposición.

La teoría clásica de la formación de acantilados recurre tan sólo a la erosión mecánica de las olas, según esta teoría, es el golpe de ariete de las olas lo que socava el escarpe costero, le da un perfil en voladizo y determina el desmoronamiento por lienzos.

2.1.3 Playa

Una playa es una acumulación, en el borde del mar, de materiales más gruesos que los principales constituyentes del cieno. Los materiales de las playas comprenden bloques, guijarros, gravas, arenas, y aún elementos más finos.

La disposición de los materiales en las distintas partes de la playa no resulta de un azar, por lo general, los materiales más gruesos se colocan en la parte más elevada del cordón litoral, ya que son arrojados por las tempestades más fuertes, y durante ellas las olas son capaces de alcanzar niveles muy elevados.

De un modo general, las olas encrespadas realizan sobre todo la acción erosiva; las olas poco encrespadas, una acción constitutiva. Un temporal erosiona las arenas y deposita cantos; un mar tranquilo hace volver a las arenas, ya que los materiales arrastrados nunca se transportan lejos: son depositados en la antecosta o, incluso, en el estrán.

Es difícil considerar las bermas litorales como formas menores, ya que si bien es habitual una altura que no rebase los diez o veinte metros, existen grandes bermas de un centenar de metros de altura. Las bermas son formas efímeras en los estrán, donde sólo pueden nacer gracias a un fuerte viento desecante. Son permanentes detrás de la línea de pleamar. Su génesis se explica por una alimentación en arena desde la playa, y la presencia de fuertes vientos procedentes de alta mar, que por tanto no los frena ningún obstáculo. La ausencia de vegetación en la playa, y la amplitud del fuerte viento para

secar las arenas húmedas favorecen su desarrollo. Cuando la vegetación toma posesión de la berma, tiende a fijarla.

Las formas de las bermas litorales varían según la alimentación en arenas, la violencia del viento y el grado de evolución.

2.2 Vientos

Se define al viento, en general, como el movimiento de las masas de aire; sin embargo, una definición aceptada técnicamente, apoyada en la meteorología, es corriente horizontal (o casi) de aire que circula con relativa proximidad a la superficie terrestre; una variación de esta definición está representada por los “vientos orográficos” que circulan en forma ascendente.

El viento se atribuye a las desigualdades de la densidad del aire, y a las presiones bajas y altas; el excesivo calentamiento del aire hace que éste se dilate y se origine un movimiento ascendente dejando un lugar vacío en el lugar en donde se dilató, o centro de baja presión barométrica; este vacío se llena con aire más denso que procede de otras regiones o lugares de alta presión.

2.2.1 Clasificación de los Vientos

- a) Constantes o regulares.- soplan en una dirección todo el año.
- b) Periódicos.- invierten su dirección con las estaciones del año o con el día y la noche.
- c) Irregulares.- son los que carecen de periodicidad y soplan en una y otra dirección indiferente.

Atendiendo a su extensión se puede clasificar a los vientos en:

- a) Generales o planetarios
- b) Locales

Como ejemplo de los vientos constantes y a su vez generales se encuentran los vientos ALISIOS, CONTRALISIOS Y POLARES O VIENTOS DEL OESTE.

El viento es el principal generador de oleaje y su efecto sobre la costa es permanente, provocando, además, mareas de vientos y fuerzas sobre las estructuras; de ahí la importancia de su estudio desde el punto de vista de las obras marítimas y la ingeniería de costas.

2.2.2 Elementos que Caracterizan al Viento

- a) **Dirección de la que sopla.** La dirección del viento es el punto cardinal de donde sopla
- b) **Intensidad o velocidad con que sopla.** Se expresa en unidades de velocidad (m/s, km/h, nudo); y para su clasificación se utiliza la escala internacional llamada BEAUFORT, la cual se muestra en la Tabla 2.1
- c) **Frecuencia.** Es el número de veces, que con determinadas características, el viento se presenta durante un lapso cualquiera, utilizándose normalmente la hora, el día, el mes, estación o año.

Tabla 2.1 Escala de Beaufort

GRADO	NOMBRE	VELOCIDAD (m/s)	CONDICIONES DEL MAR
0	Calma	0.0 – 0.2	Mar llana
1	Ventolina	0.3 – 1.5	Ondulación pequeña de la superficie, sin producción de espuma
2	Muy Flojo	1.6 – 3.3	Olas cortas y bajas que no rompen, mar rizada
3	Flojo	3.4 – 5.4	Oleaje que empieza a romper; poca espuma; mar rizada
4	Bonacible	5.5 – 7.9	Olas de poca altura pero de mayor longitud, borregos de espuma, marejada pequeña
5	Poco Fresco	5.5 – 7.10	Se acentúa la longitud de las olas; generalización de borregos de espuma; esporádicamente rocío de espuma; marejada
6	Fresco	5.5 – 7.11	Se inicia la formación de grandes olas, que rompen; rocíos de espuma al aire; mar gruesa
7	Muy fresco	5.5 – 7.12	Crece la mar, mar muy gruesa
8	Duro	5.5 – 7.13	Olas de altura notable; las crestas despiden espuma pulverizada; mar alborotada
9	Muy duro	5.5 – 7.14	Olas muy grandes; balances pronunciados; la espuma empieza a afectar la visibilidad
10	Temporal	5.5 – 7.15	Olas considerables; mar blanca de espuma, balances fuertes
11	Borrasca	5.5 – 7.16	Olas extraordinariamente altas; visibilidad escasa a causa de espuma
12	Huracán	5.5 – 7.17	Atmósfera y mar completamente llena de espuma; visibilidad casi nula

2.2.3 Relación Intensidad del Viento – Estado del Mar u Oleaje

El oleaje generado por el viento, u “oleaje de viento”, es en realidad, función creciente de tres variables; la fuerza o intensidad del viento, su persistencia y su fetch.

El fetch es la extensión rectilínea sobre la que sopla un viento de dirección y fuerza teóricamente constantes. Es decir, es una “zona de generación”; el fetch delimita su longitud en forma paralela a la dirección del viento, expresándose en kilómetros o millas y, para un viento dado, la altura del oleaje es creciente. En otras palabras, la altura del oleaje es mayor, para un viento dado, con fetch’s largos que con fetch’s cortos. En la Figura 2.3 se esquematiza la forma del fetch.

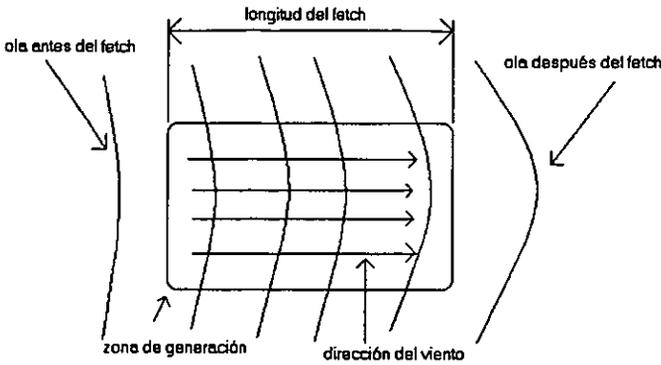


Figura 2.3 Esquemmatización de la Acción de un Fetch

Internacionalmente se ha adoptado la escala de Douglas para definir el estado del mar, asociado a un nombre característico y correspondiendo a cada uno de los grados de Beaufort. Esta forma de clasificación se encuentra resumida en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Escala de Douglas

GRADO DOUGLAS	DENOMINACION	EQIVALENCIA BEAUFORT	ALTURA DE OLA (m)
0	Calma	0	0
1	Llana	1	0 a 0.1
2	Rizada	2 a 3	0.1 a 0.5
3	Marejadilla	4	0.5 a 1.25
4	Marejada	5	1.25 a 2.50
5	Gruesa	6	2.50 a 4.00
6	Muy gruesa	7 a 8	4.00 a 6.00
7	Arbolada	9	6.00 a 9.00
8	Montañosa	10	9.00 a 14.00
9	Confusa	11 a 12	Más de 14.00

2.3 Mareas

La marea es la oscilación periódica del nivel del mar originada por la atracción gravitacional de la luna y el sol sobre la tierra como se ilustra en la Figura 2.4. Hay generalmente dos pleamars y dos bajamars en un día lunar o de marea. Existe una mayor influencia de la luna que del sol en el fenómeno de las mareas.

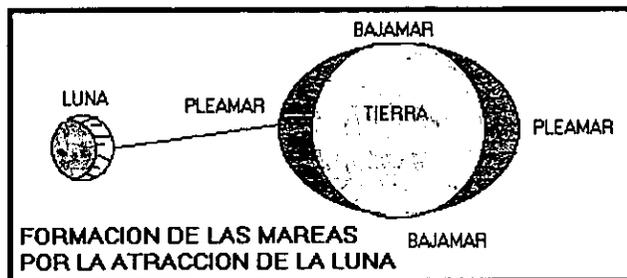


Figura 2.4 Formación de Mareas por la Atracción de la Luna

Es importante tener conocimiento del comportamiento de las mareas por las siguientes situaciones en las que se ven involucradas:

- Reclamación de áreas costeras
- Cierre o apertura de bocas
- Problemas de seguridad de estructuras
- Problemas de intrusión salina
- Generación de energía
- Transporte de sedimentos

De las cuales, la primera y la tercera son de sumo interés en el tema de ésta tesis.

2.3.1 Planos de Referencia Generados por las Mareas

Dependiendo del tipo de marea (diurna, semi-diurna o mixta) los planos de marea que se generan son:

Altura máxima registrada: nivel más alto registrado en la estación debido al efecto de un tsunami o ciclón combinado, probablemente, con el de la marea astronómica.

Pleamar máxima registrada (PMR): nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también a que tengan influencias sobre las mismas los factores meteorológicos.

Nivel de pleamar media superior (NPMS): promedio de la más alta de las dos pleamares diarias, durante el periodo considerado en la estación; válido para mareas semidiurnas y mixta.

Nivel de pleamar media (NPM): promedio de todas las pleamares durante el periodo considerado en cada estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la pleamar más alta diaria, lo que equivale a que la pleamar media en este caso sea lo mismo que la pleamar media superior.

Nivel medio del mar (NMM): promedio de las alturas horarias durante el periodo registrado en la estación.

Nivel de media marea (MM): plano equidistante entre la pleamar media y la bajamar media; es decir, se obtiene promediando estos dos valores.

Nivel de bajamar media (NBM): promedio de todas las bajamares durante el periodo considerado en la estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se

calcula haciendo el promedio de la bajamar más baja diaria, lo que equivale a que la bajamar media en este caso sea lo mismo que la bajamar media inferior.

Nivel de bajamar media inferior (NBMI): promedio de la más baja de las dos bajamares diarias, durante el periodo considerado en la estación; válido para mareas semidiurnas y mixtas.

Bajamar mínima registrada (BMR): nivel más bajo registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también que tengan influencia sobre las mismas los factores meteorológicos.

Altura mínima registrada: nivel más bajo registrado en la estación debido al efecto de un tsunami o ciclón combinado, probablemente, con el de la marea astronómica.

Cada uno de los niveles generados por las mareas es empleado para definir diferentes elevaciones en los proyectos de las obras marítimas.

2.4 Oleaje

Las olas resultan de un movimiento ondulatorio, en el que cada molécula de agua presenta un movimiento orbital, aunque en teoría cada molécula retorne siempre al mismo lugar. Es lo propio de un movimiento oscilatorio, en contraste con uno de traslación, que desplaza en masa las moléculas. En realidad, la ola determina una débil corriente, ya que el movimiento de avance de cada molécula es un poco más amplio que el retroceso, de tal manera que toda molécula no vuelve a pasar, estrictamente hablando por el mismo punto tal como se ilustra en la Figura 2.5. A ésta resultante cabe llamarla corriente de ola.

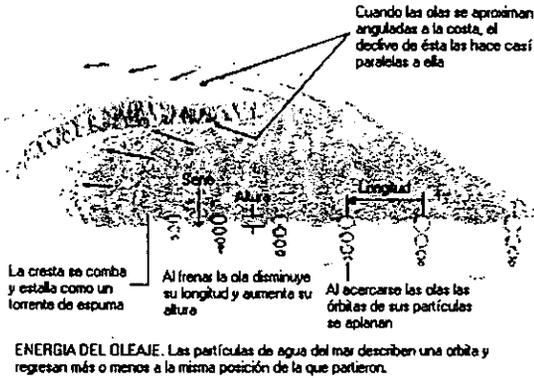


Figura 2.5 Movimiento de las Moléculas de Agua en el Oleaje

Las olas generadas por el viento quedan definidas por su altura, longitud y periodo, como se muestra en la Figura 2.6, así, la altura de la ola es la distancia vertical que existe entre una cresta y un valle, la longitud se refiere a la distancia horizontal que existe entre dos crestas o dos valles consecutivos, y el periodo se refiere al tiempo que transcurre entre el paso consecutivo de dos crestas o dos valles por el mismo punto. La dimensión de las olas depende de la fuerza del viento, de su duración, y de la dimensión de superficie de agua sobre la que sopla, es decir, del alcance o, si se prefiere, del recorrido (en inglés: fetch). Se ha intentado determinar con ayuda de fórmulas la altura de las olas en función de estos datos.

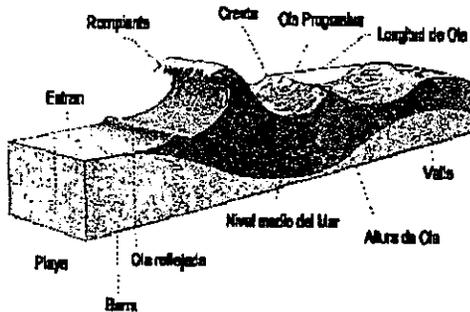


Figura 2.6 Definición de las Características del Oleaje

Cualesquiera que sean sus alturas, las olas resultan, por lo general, mucho más anchas que altas y de mucho mayor longitud que altura, por lo que generalmente se las conoce como oleaje de pequeña amplitud.

2.4.1 Tipos de Oleaje

Dentro del oleaje, se suelen distinguir dos tipos extremos entre los cuales existen un sinnúmero de estados intermedios. Se denominan por las palabras inglesas universalmente aceptadas: SEA y SWELL.

Tipo SEA

Este tipo de oleaje se produce en la zona de generación en altamar donde raramente se aprecian crestas de cierta longitud, y es difícil de observar un periodo bien definido; también se le denomina como "oleaje local". Las características que definen a este tipo de oleaje son:

- Gran irregularidad ya que la altura de la superficie líquida es impredecible, carece de periodicidad.
- Asimetría
- Gran peralte de olas.

Tipo SWELL

Cuando la ola se propaga y abandona el área de generación ocurren tres fenómenos en las olas:

- Pierden energía, las olas viajan a expensas de su propia energía, (Decaimiento).
- El oleaje sufre una doble dispersión. Una dispersión angular en la que las olas se dispersan en todas direcciones y otra radial, debida a que la velocidad es función directa del periodo por lo que las olas más largas viajan más rápido que las cortas. Se produce un filtrado de olas.
- Fenómeno de soldadura, según el cual las ondas de periodos cercanos se sueldan en largas crestas de onda lo que hace que la superficie caótica se simplifique. Al envejecer el oleaje y especialmente cuando abandona el área de generación va tendiendo a un oleaje de tipo SWELL.

Este tipo de oleaje, conocido también como “oleaje distante”, se puede observar muy acentuado sobre la plataforma costera, especialmente en profundidades reducidas, donde a los fenómenos descritos anteriormente se añade el de refracción que hace que las olas tiendan a progresar en forma paralela a las líneas batimétricas.

Así pues el oleaje que se acerca a la costa es más regular, se forman frentes de cresta muy grandes y las diferencias entre periodos y longitudes de onda son mínimas, surge una periodicidad, las direcciones no son tan dispersas, surgen ciertas direcciones predominantes. Todo esto proporciona cierto orden al fenómeno.

Existen olas distintas de las del tipo corriente: lo son los tsunamis. Se trata de olas generadas por sismos en el fondo del mar. Alcanzan dimensiones muy superiores a las de olas ordinarias que provocan estragos considerables al romper contra las costas.

Al acercarse al litoral la ola experimenta modificaciones; desde que la profundidad se hace inferior a la media distancia entre dos olas, se refracta, es decir, cambia de dirección de manera que se sitúa paralela a las isobatas (curvas de igual profundidad) y choca contra la costa perpendicularmente. En efecto, delante de cabos, donde la profundidad disminuye, la ola se ve más fuertemente frenada que en la entrada a bahías. Experimenta al mismo tiempo transformaciones de forma.

Cuando la ola toca la orilla, pueden ocurrir dos cosas:

- a) El choque tiene lugar en aguas profundas: la cresta de ola se levanta, pero normalmente no se ejerce ninguna presión notable contra la pared que no sea la presión hidrostática en su base; no hay golpe de ariete, ningún golpeteo se produce. Por el contrario, los golpes de ariete se producen al irrumpir el agua contra el techo de las cavernas.
- b) En aguas poco profundas: no puede continuar el movimiento orbital, y la ola rompe en volutas, es decir, dejando caer progresivamente su cresta sobre su cuerpo. En los dos casos la ola se resuelve en una masa de espuma. La onda de oscilación se ha transformado en una ola de translación. Esta onda de translación realiza un trabajo, que puede ser muy grande, por presión, choque, ametrallamiento con la ayuda de los elementos sólidos que lleva y, en fin, por succión durante el retroceso, que se efectúa, tras la ruptura, bajo la acción de la gravedad.

2.4.2 Refracción de ola

Entrando en aguas poco profundas, las olas se encuentran sujetas al fenómeno de refracción, el cual ocasiona que la dirección de la ola cambie conforme disminuye la

profundidad de tal manera que las olas tienden a ser paralelas con las curvas de nivel batimétricas.

Para costas rectas con las curvas de nivel batimétricas paralelas, las crestas de las olas se hacen casi totalmente paralelas a la línea de costa.

La topografía irregular del fondo puede causar que las olas sean refractadas de una manera compleja, produciendo variaciones en la altura de la cresta y en la energía a lo largo de la costa.

2.4.3 Difracción de ola.

El proceso de difracción se produce cuando la onda encuentra en su camino un obstáculo que impide su paso a la zona posterior del mismo, sin embargo una pequeña parte de la energía de la ola pasa hacia la zona tranquila y puede, quizá, crear condiciones de oleaje no deseadas para los botes.

En el proceso de difracción de ola, la energía es transferida lateralmente a lo largo de la cresta de la ola de la parte donde la cresta es más alta a donde es más baja.

Es fácilmente comprensible el interés que tiene el estudio de este fenómeno para el diseño y explotación de un gran número de obras e instalaciones marítimas. La resonancia en las dársenas, las condiciones de entrada a un puerto, los azolvamientos y las variaciones de las playas próximas a una obra son algunos de los casos comunes en los que la difracción del oleaje juega un papel importante.

2.5 Corrientes

En general se pueden definir a las corrientes como el desplazamiento de una corriente de agua, determinadas por dos características: dirección y velocidad.

La dirección de una corriente es el rumbo hacia el cual se dirigen; es decir, la forma de designar la dirección de una corriente es contraria a la que se utiliza en los vientos, ya que en éstos se considera de donde sopla y no hacia donde sopla. La velocidad de una corriente se expresa tradicionalmente en nudos.

2.5.1 Clasificación de las Corrientes

Las corrientes para su estudio se pueden dividir en cuatro apartados, corrientes oceánicas, corrientes inducidas por el viento, corrientes por marea y corrientes en la costa inducidas por oleaje. Aunque con relación a su ámbito, también pueden clasificarse en corrientes locales y generales, en función de la relativa área de influencia resultando obvia su diferenciación.

Corrientes Oceánicas

Las causas que generan las corrientes marinas son esencialmente dos: viento y gradiente.

El viento como elemento generador opera por efecto del arrastre de las moléculas superficiales, las cuales a su vez, por rozamiento actúan sobre las moléculas más profundas, según sea la intensidad y persistencia del viento y, también, dependiendo de que haya o no elementos que se opongan al mantenimiento del flujo de aguas. Por lo tanto, este tipo de corrientes se puede decir que en general son prácticamente superficiales y de poca intensidad.

El gradiente está determinado por las diferencias de densidad de las masas de agua, la cual es función de la temperatura y la salinidad. Es por ello que algunas corrientes presentan componentes en el plano vertical, que implica el traslado de masas de agua de uno a otro plano potencial o estrato.

Corrientes por Marea

La elevación y descenso periódico del nivel del agua genera movimientos notables en las masa líquidas, sobre todo en zonas costeras en donde la comunicación con el mar abierto esta relativamente restringida (estuarios, bahías, entradas a puerto, desembocaduras, etc.) y genera las llamadas corrientes de marea.

Corrientes Producidas por Oleaje

Para ciertos valores de la profundidad del fondo con relación a la altura de la ola, o bien por su relación de esbeltez, ésta tiende a romper, modificando sustancialmente las características del transporte de masa líquida y, en consecuencia, provocando corrientes

La importancia de las corrientes producidas por el oleaje radica fundamentalmente en el hecho de que son las que originan y regulan, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros.

En función de la dirección de su movimiento estas corrientes se clasifican en dos tipos:

- a) **Corrientes normales a la costa.** La importancia de este tipo de corrientes estriba en que producen una clasificación en los sedimentos de las playas, la cual interviene en su balance o estabilidad.
- b) **Corrientes paralelas a costa.** Se considera que esta corriente es la principal responsable de transportar los sedimentos a lo largo de la costa, por tal razón es muy importante dentro de la ingeniería de costas.

2.6 Transporte de Sedimentos

El área que es afectada más directamente por las fuerzas del mar es la playa, por lo que es considerada la parte más dinámica de la zona costera.

La playa se puede describir como el lugar en donde se deposita la arena y se localiza desde el punto en el mar donde las olas comienzan a mover la arena del fondo hasta la zona inter-mareal.

El movimiento de la arena es perpendicular a la costa (de mar a tierra y viceversa) y paralelo (a lo largo del litoral). Un esquema de cómo ocurren estos movimientos se ilustra en la Figura 2.7.

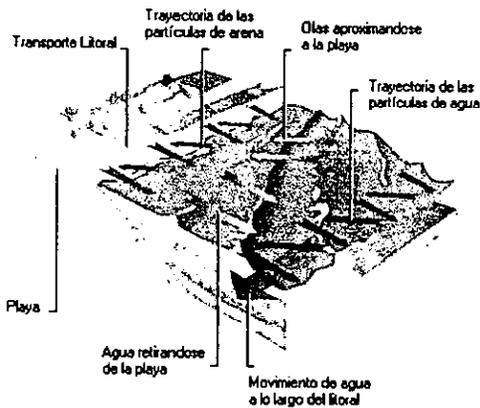


Figura 2.7 Transporte de Sedimentos Debido al Oleaje

Los cuatro factores de una playa arenosa pueden definirse por medio del análisis del material (sedimentos), de la playa y del fondo cercano a la playa; acarreo litoral (el material que es movido en la zona litoral bajo la influencia del oleaje y de las corrientes), el transporte litoral (el movimiento del acarreo litoral), y las cantidades de abastecimiento o pérdida de acarreo litoral.

A lo largo de una determinada franja playera deberá existir cuando menos una de las tres condiciones siguientes:

- a) El azolve predomina sobre la erosión y la playa se amplía;
- b) La línea de playa es estable, por lo tanto no predomina ni el azolve ni la erosión, y
- c) La playa se encuentra bajo la condición de erosión en la cual las pérdidas de material exceden al abastecimiento.

En circunstancias normales solamente la última condición es de importancia porque es ésta la que trata con la desaparición de playas de protección natural y la consecuente destrucción de propiedades con riesgos de pérdidas de vidas humanas. Es de gran importancia definir, cuando sea posible, el aprovechamiento total, las pérdida totales, y el balance neto entre el natural abastecimiento y las pérdidas.

2.6.1 Transporte Litoral

El transporte a lo largo de la costa es originado por el rompimiento de las olas, y depende del ángulo de aproximación, de la duración y energía del oleaje; está directamente influenciado por la acción de los vientos. La energía con que las olas se aproximan a la costa depende de la existencia o ausencia de estructura de arrecifes frente a ella, ya que estas estructuras amortiguan la energía del oleaje.

Al llegar a la costa las olas rompen y disipan su energía, en la zona de rompiente, producen un transporte de masas de agua generando una corriente paralela a la línea de costa que transporta la arena, llamada corriente litoral.

Generalmente no es fácil medir el transporte litoral de sedimentos. Tales cuantificaciones son difíciles de realizar.

Para el cálculo del volumen de sedimentos acumulado por el transporte litoral a largo plazo, se necesita un gran número de mediciones, por lo tanto y para ello, se utilizan 3 métodos indirectos que son los siguientes:

- 1) Tomar medidas de rapidez de acumulación o de erosión en una barrera litoral como lo son los rompeolas,
- 2) Se calcula de estadísticas de olas en donde se encuentren datos como la altura de ola, su rapidez, etc., y se usa una ecuación que las relacione y,
- 3) Tomando medida de grado de disolución de granos gruesos entre las arenas de la playa.

La dirección del transporte litoral a veces puede ser determinada por observaciones en la configuración de la costa, cerca de las estructuras de costa naturales o hechas por el hombre. La acumulación de arena detrás de escolleras o espigones nos puede indicar la dirección del transporte litoral en algún momento, pero como esto puede representar el de solo un periodo corto de tiempo, se requiere hacer observaciones de durante periodos de un año.

Los rompeolas pueden acumular una gran cantidad de arena así que la configuración de la línea de costa cerca de ellos es un mejor indicador a largo plazo de la dirección del transporte litoral, pero aún aquí hay que tener precaución ya que podría darse el caso de que atrape todo el sedimento, por la rapidez de acumulación o de erosión.

2.6.2 Transporte Perpendicular a la Costa

El movimiento perpendicular esta determinado principalmente por la altura de del oleaje y la pendiente de la playa. En general las olas de mayor tamaño mueven la arena fuera de la playa y las de menores dimensiones causan el efecto contrario, por lo que este tipo de transporte de la arena está directamente asociado a los cambios estacionales en la energía del oleaje y a los eventos de tormenta.

Los cambios en la forma de la playa a través del tiempo se deben a que las olas incrementan su altura y su energía, llegando a lugares ubicados por arriba de su nivel promedio, a su regreso llevan consigo la arena (erosión) depositándola en la zona por debajo de la línea de marea (estrán), después de la tormenta las olas moverán una vez más la arena localizada en la zona de estrán hacia fuera del mar para formar la berma y posteriormente la duna.

2.7 Comportamiento de las Costas Bajo Condiciones de Tormenta

Para la población en general y para la comunidad ingenieril en particular, los efectos o acciones producidas por los ciclones son de mayor interés que los detalles meteorológicos y de estructura de estas tormentas. Son estos efectos los que ponen en peligro a la población, sus bienes materiales, su actividad económica y a las diferentes estructuras de protección, comunicación y transporte, aprovechamientos hidráulicos, etc. En general, los principales efectos de ciclones y sus representantes de máxima intensidad, los huracanes, son: vientos, oleaje, marea de tormenta y precipitación.

2.7.1 Vientos

Los vientos son la característica que mejor identifica a los huracanes y son éstos, con excepción de los tornados, los fenómenos que presentan las mayores intensidades de viento que en ocasiones sobrepasan velocidades de 300 km/h. Estos vientos producen daños importantes, ya que las fuerzas que ejercen sobre las estructuras son muy apreciables. Por ejemplo, una placa cuadrada de sólo 1m por lado colocada frontalmente en un viento de 300 km/h. estaría sujeta a una fuerza lateral aproximada de 425 Kg. Estas fuerzas son proporcionales al cuadrado de la velocidad de viento, lo que hace sumamente crítica su estimación para fines de diseño; bastaría un viento de 140 km/h. para producir fuerzas dos veces mayores que otro de 100 km/h.

Una característica esencial del campo superficial de vientos en un huracán es su estructura giratoria alrededor del ojo, producida por el equilibrio entre las fuerzas de presión, la centrífuga y la de Coriolis. A una altura apreciable sobre la superficie del mar, la dirección local del viento es tangencial y presenta una magnitud decreciente y una deflexión creciente (hacia el ojo del huracán) dentro de la capa límite, que alcanza magnitudes de 15 a 30 grados, para los vientos de superficie.

Esta característica es importante en cuanto al diseño, pues los vientos producidos por los huracanes no tienen una dirección predominante; la mayor parte de las áreas son atacadas, durante el paso de un huracán, por vientos que cubren aproximadamente 180 grados.

A menudo, la población cercana a puntos sobre la trayectoria de un huracán se ve confundida por el hecho de que los vientos que experimenta tienen una dirección casi normal a lo que se reporta como la dirección de aproximación del huracán. Otro factor de confusión usual para la población es el reporte de velocidades asociadas con el huracán: la de translación del sistema completo (casi siempre muy baja, alrededor de 10 a 40 km/h) y la velocidad máxima de viento (en general muy alta, 125 a 300 km/h.).

La sobreposición de las velocidades mencionadas hace que los puntos que se encuentran a la derecha de la trayectoria (en el hemisferio Norte) experimenten velocidades mayores que los puntos correspondientes simétricos del lado izquierdo de dicha trayectoria, puesto que en el primer caso a la velocidad del campo de vientos se agrega la de translación del sistema, mientras que en el segundo, se disminuye.

En nuestro país las zonas que son afectadas por vientos huracanados significativos son las vertientes del Pacífico y del Golfo, así como la totalidad de la península de Yucatán; los vientos que sobreviven el paso del huracán sobre el parteaguas de alguna cadena montañosa de cierta altura no son significativos.

2.7.2 Oleaje.

Los huracanes están íntimamente relacionados con el mar, puesto que se originan y tienen posibilidad de trasladarse por grandes distancias e intensificarse sólo sobre él. La gran intensidad y extensión del campo de vientos generan fuertes oleajes que, al trasladarse en aguas profundas (con poca pérdida de energía), pueden afectar en gran medida inclusive las zonas alejadas del punto de incidencia del huracán sobre la tierra. En grandes zonas del mundo, especialmente en México, los huracanes (conocidos como tifones en Oriente), producen las condiciones de oleaje más severas y, por lo tanto, dominan el diseño de obras costeras y marítimas contra el oleaje. Este se genera cuando la energía del viento se transfiere al mar. El oleaje será mayor con la duración de esta acción y con la extensión del campo de vientos. Conforme el oleaje generado crece en tamaño (longitud y altura), avanza más rápido hasta que alcanza una velocidad igual a la del viento, momento en el que no puede transferirse más energía y se alcanzan las condiciones máximas.

Otro factor limitante de la altura de la ola es la pérdida de energía cuando las olas rompen al alcanzar su pendiente límite estable (rompientes en aguas profundas). Sobre la plataforma continental el oleaje se ve afectado además por su interacción con el fondo, lo que se manifiesta principalmente en una atenuación por la fricción, y en un cambio de dirección y altura por la refracción y por las rompientes debido a las condiciones límites de profundidad (rompientes en aguas someras).

En el campo de la ingeniería se acostumbra caracterizar un cierto estado de agitación de la superficie libre del mar con un oleaje representativo monocromático y unidireccional. La realidad es que el proceso de generación de oleaje es tal, que todas las frecuencias en un cierto rango son excitadas por el viento, y el resultado es una sobreposición de trenes de oleaje de frecuencia y dirección múltiples (espectro direccional de oleaje) que proporcionan a la superficie del mar su aspecto caótico característico. Las componentes del oleaje de diferentes frecuencias y direcciones son afectadas en forma desigual por la presencia del fondo en la plataforma continental, lo

que implica que al menos el tránsito del oleaje de aguas profundas hasta la costa, no se pueda realizar a través de la técnica simplificadora de la ola monocromática unidireccional representativa. Sólo en las zonas alejadas del área de generación se observa un oleaje relativamente monocromático, ya que las olas de mayores periodos y longitudes avanzan más rápido que las de periodos y longitudes menores, dispersándose y arribando a las costas lejanas de manera separada.

Lo que resulta evidente es que el oleaje máximo reportado en alta mar siempre será mucho mayor que el que efectivamente se alcanza en la costa; la reducción depende de las condiciones específicas de la batimetría y el material de fondo, aunque esto no quiere decir que el oleaje incidente en la costa sea despreciable. Por ejemplo, las alturas de ola de 10 m en alta mar son comunes en los huracanes intensos, mientras que las mayores de 4 m en la costa son raras.

Sin embargo, las fuerzas que el oleaje ejerce sobre las estructuras son apreciables; una ola incidente de sólo 2 m de altura sobre un muro vertical producirá típicamente una fuerza por metro de ancho de incidencia de 13 ton, en el caso de no ser una ola rompiente, y de 42 ton en el caso rompiente.

2.7.3 Marea de Tormenta

El efecto más conocido y menos apreciado entre la población y aun en el nivel técnico en nuestro país, es la marea de tormenta o sobreelevación del nivel medio del mar cuando el huracán se acerca a la costa. Esta sobreelevación se produce por varias razones. El viento en dirección normal a la costa ejerce una fuerza cortante sobre la superficie del mar que, como no puede producir una corriente (puesto que es normal a la costa), se contrarresta con una sobreelevación del nivel en la costa. Por otra parte, el viento en dirección tangencial a la costa produce una corriente a lo largo de ésta, y la fuerza de Coriolis tiende a desviarla a la derecha; si la costa se encuentra a la derecha de dicha corriente, tal desviación no puede ocurrir y la manifestación es, de nuevo, una sobreelevación del nivel. Este doble efecto del viento, quizá el que mayor

sobreelevación produce, sólo es importante en las aguas someras y tiene efectos despreciables en alta mar. Sin embargo, la baja presión en el ojo del huracán produce una sobreelevación del nivel que actúa independientemente de la profundidad local.

Otro efecto es el desbalance del momentum que entra y sale de la franja entre el litoral y la línea de rompientes, lo que se manifiesta con un incremento en el nivel de la superficie libre. El nivel máximo de la marea de tormenta puede verse adicionado por la marea astronómica, dependiendo de la coincidencia de la pleamar o a la bajamar con la incidencia del huracán.

La razón por la que un efecto tan importante se desconozca y menosprecie, es tal vez que para un observador en la costa, esta sobreelevación no es obvia, puesto que el nivel del mar no se puede percibir independiente al oleaje y por ello simplemente se reportan olas que tienen mayores alcances tierra adentro, conforme se acerca el huracán. Es un hecho que el principal efecto de esta marea de tormenta es la inundación de extensas zonas costeras con agua de mar que, dependiendo de la topografía, puede llegar a cubrir franjas de varios kilómetros.

Es evidente que el cálculo de esta sobreelevación tiene gran importancia en el contexto de la seguridad de la población y los procedimientos de evacuación.

La combinación del oleaje y la sobreelevación del nivel del mar produce efectos muy interesantes y destructivos, pues este nivel incrementado permite la supervivencia de un oleaje mayor sin romper y perder energía, tal y como se muestra en la Figura 2.8 en donde se esquematiza, (en un perfil de relleno playero), la acción del oleaje en condiciones normales y de sobreelevación en el nivel medio del mar debido a la marea de tormenta. Por ejemplo, a una profundidad inicial de 3 m, una ola rompería al alcanzar sólo 2.4 m de altura; sin embargo, bajo la acción de un huracán, con un incremento de 2 m del nivel del mar para alcanzar una profundidad temporal de 5 m, el oleaje puede llegar hasta 4 m de altura, y ser mucho más destructivo que bajo las condiciones del

nivel original. Esta combinación aumentada con la acción del viento y la lluvia hace que las zonas más afectadas (y de mayor riesgo para la población) sean las franjas costeras.

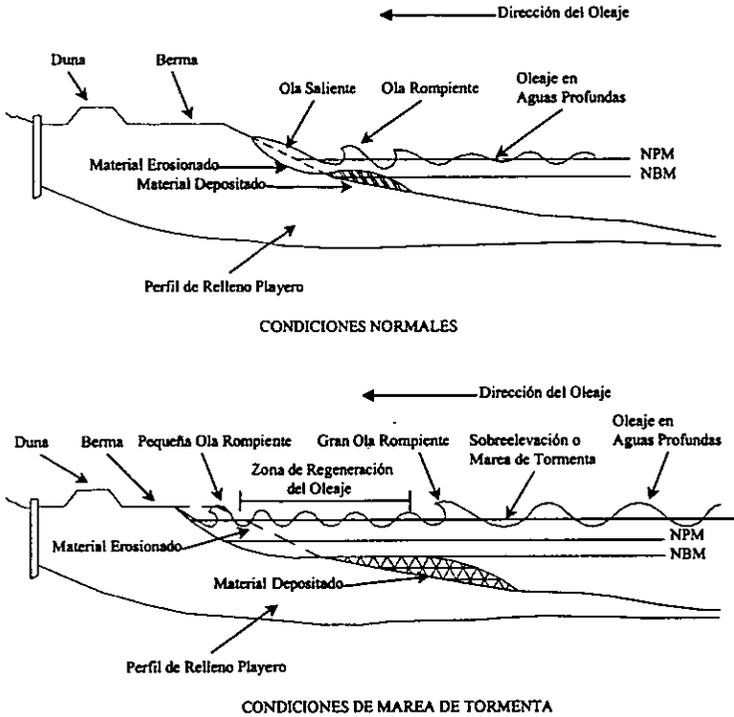


Figura 2.8 Acción del Oleaje en Condiciones Normales y de Marea de Tormenta

Otra combinación interesante de efectos se puede dar cuando las avenidas extraordinarias en los cauces se encuentran con niveles (temporalmente) extraordinarios en su descarga al mar, lo que provoca un arre-mansamiento que en ocasiones rebasa las condiciones de diseño de los bordos de protección.

2.7.4 Precipitaciones

El último efecto y quizá el más conocido para los pobladores del altiplano, es el de las extraordinarias precipitaciones pluviales. Los huracanes arrastran consigo enormes cantidades de humedad que al precipitarse, generalmente con mayor intensidad cuando el huracán encuentra una barrera montañosa provocan avenidas extraordinarias, deslizamientos de tierra e inundaciones en las zonas mal drenadas. Muchas veces estas solicitaciones representan las condiciones hidrológicas de diseño de las obras hidráulicas. Las intensidades de lluvia de 50 mm/h y láminas totales de 400 mm no son desusadas para las precipitaciones durante los huracanes. Aunque parezca paradójico, éste es también el medio por el que los huracanes benefician a la población, sobre todo en aquellas zonas que poseen infraestructuras para el almacenamiento y distribución de grandes volúmenes de agua, lo que permite asegurar el riego en el siguiente ciclo agrícola y la producción de electricidad sin usar los recursos no renovables.

La importancia de este capítulo radica en que es necesario entender de forma correcta el comportamiento normal y bajo condiciones extremas de los procesos físicos que afectan la planeación de los desarrollos costeros para poder estar en condiciones de comprender y utilizar los modelos de pronóstico que se tratan en el Capítulo 4.0 y de realizar el análisis del caso práctico tratado en esta tesis en el Capítulo 5.0.

3.0 ZONA FEDERAL MARÍTIMO TERRESTRE

El propósito del presente capítulo es explicar y describir la Zona Federal Marítimo Terrestre para comprender cual es su función, como se delimita y que papel juega en lo referente a la seguridad de las construcciones en las cercanías de las costas, para ello, se describen su definición, sustentación legal y normatividad, así como también su comportamiento ante cambios en la configuración playera.

3.1 Definición

Desde los inicios del siglo XIX diversas leyes y ordenamientos jurídicos han hecho referencia a una franja de tierra firme de 20 metros, inicialmente como delimitación de las playas de las cuales formaban parte, y posteriormente, distinguiéndola del concepto de playa y caracterizándola como propiedad o bien de dominio público; durante ese periodo su denominación también ha cambiado, hasta adoptar en 1982 su nombre actual de Zona Federal Marítimo Terrestre (ZFMT).

Actualmente, la Ley General de Bienes Nacionales define a la ZFMT, cuando la costa presente playas, como la faja de veinte metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas, medida a partir de la pleamar máxima, Figura 3.1.

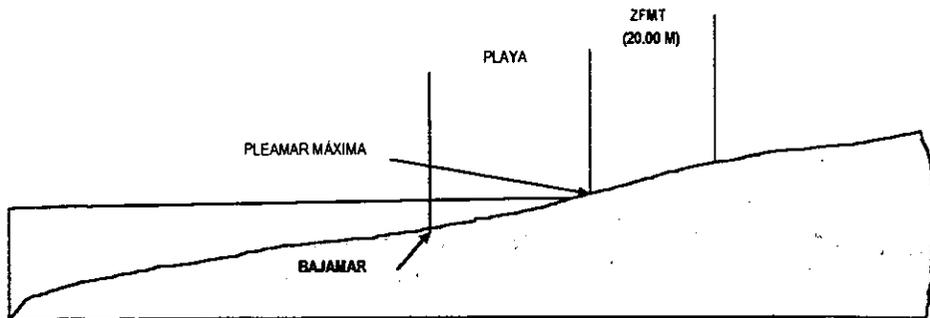


Figura 3.1 Descripción de la Zona Federal Marítimo Terrestre

Fuente: SEMARNAP, Subsecretaría de Recursos Naturales, 1999

Los aspectos técnicos que se toman en cuenta para delimitar la ZFMT en las playas y en las desembocaduras de los ríos se describen en el Artículo 3° del Reglamento para el Uso y Aprovechamiento del Mar Territorial, Vías Navegables, Playas, Zona Federal Marítimo Terrestre y Terrenos Ganados al mar

Artículo 3°. - La zona federal se deslindará considerando la cota de pleamar máxima observada durante 30 días consecutivos en una época del año en que no se presenten huracanes, ciclones o vientos de gran intensidad y sea técnicamente propicia para realizar los trabajos de delimitación, esto en el caso de que no existieran estudios de mareas.

En el caso de los ríos, la zona federal marítimo terrestre se determinará por la Secretaría desde la desembocadura de estos en el mar hasta el punto río arriba donde llegue el mayor flujo anual, lo que no excederá de doscientos metros (cien metros de acuerdo a la ley general de bienes nacionales), Figura 3.2.

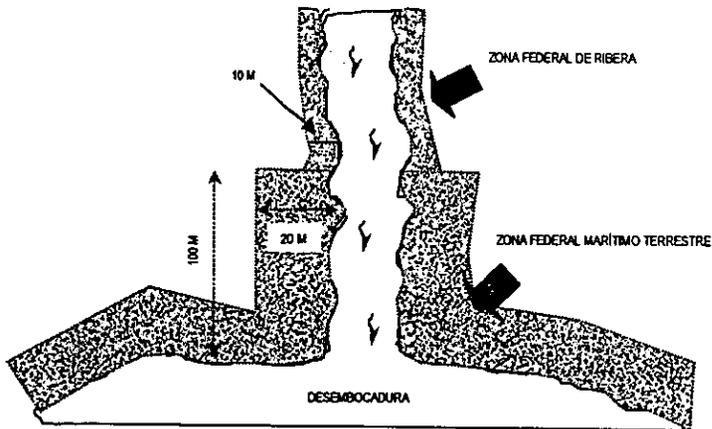


Figura 3.2 Delimitación de la ZFMT en las Desembocaduras de los Ríos

Fuente: SEMARNAP, Subsecretaría de Recursos Naturales, 1999

Las principales actividades que se desarrollan en las áreas de zona federal son obras de servicio público, desarrollos turísticos, portuarios, pesqueros, acuícolas y habitacionales, así como instalaciones petroleras, navales y eléctricas, entre otras. Conforme al criterio de desarrollo sustentable que actualmente rige la administración de la ZFMT, se busca no sólo la protección, conservación y restauración del ambiente y sus recursos, sino también fomentar las actividades productivas que no rebasen las capacidades de los ecosistemas para reproducirse y mantenerse, lo mismo que mejorar la calidad de vida de las comunidades que poseen los recursos

3.2 Sustentación

La República Mexicana cuenta con 17 estados costeros con una extensión de litoral de más de once mil kilómetros distribuidos en 166 municipios costeros, en donde por disposición legal, corresponde al Gobierno Federal a través de la SEMARNAT administrar las playas, la ZFMT y los terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito de aguas marítimas. Para ello es preciso definir con exactitud los límites y linderos de estas áreas, con el objeto de conocer el universo inmobiliario que es propiedad de la Nación y que están sujetos a la Administración Federal.

Por lo tanto el programa de delimitación es una actividad primordial, ya que da a conocer en primera instancia el espacio físico y el potencial de las playas, la zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito de aguas marítimas.

Los periodos para realizar las delimitaciones se ven reducidos a solamente unos meses del año por las variaciones estacionales, periodos que difieren de una costa a otra y aun dentro de una misma región, aunado a la época de mareas máximas.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, el objetivo fundamental del programa de delimitación se concentra en ejecutar los trabajos tendientes para determinar la delimitación, deslinde y amojonamiento de la zona federal marítimo terrestre, que dará

paso, a inventariar, controlar, vigilar y administrar la zona federal marítimo terrestre y los terrenos ganados al mar, fijando sus límites por medio de apoyo terrestre y comparar con levantamientos anteriores determinando las variaciones sufridas en el litoral costero, a través del tiempo, y finalmente procesar la información mediante un sistema de información geográfica, para que dentro del marco de la planeación y considerando su uso potencial, se promueva el óptimo aprovechamiento, uso y explotación de la zona federal marítimo terrestre y de los terrenos ganados al mar y de esta manera contribuir con los planes y programas de desarrollo socio-económico de los gobiernos federal, estatal y municipal.

3.3 Normatividad

La vecindad entre el mar y la tierra firme se presenta de diversas formas, por ello, el Artículo 49 de la Ley General de Bienes Nacionales, que a continuación se cita, determina como se delimita la ZFMT en cada caso.

Artículo 49. - Tanto el macizo continental como en las islas que integran el territorio nacional, la zona federal marítimo terrestre se determinara:

I.- Cuando la costa presente playas, la zona federal marítimo terrestre estará constituida por la franja de veinte metros de ancho de tierra firme, transitable y contigua a dichas playas o, en su caso, a las riberas de los ríos, desde la desembocadura de estos en el mar hasta cien metros río arriba.

II.- La totalidad de la superficie de los cayos y arrecifes ubicados en el mar territorial, constituirán zona federal marítimo terrestre.

III.- En el caso de lagos, lagunas, esteros o depósitos naturales de agua marina que se comuniquen directa o indirectamente con el mar, la franja de veinte metros de zona federal marítimo terrestre se contará a partir del punto donde llegue el mayor embalse anual o límite de pleamar, en los términos que determine el reglamento. Y

IV.- En el caso de marinas artificiales o esteros dedicados a la acuicultura no se delimitará zona federal marítimo terrestre cuando entre dichas marinas o esteros medie una zona federal marítimo terrestre, la zona federal marítimo terrestre correspondiente a las marinas que no se encuentren en este supuesto no excederá de tres metros de ancho y se delimitará procurando que no interfiera con el uso o destino de sus instalaciones.

3.4 Comportamiento Ante Cambios en la Configuración Playera

El proceso de delimitación es en sí mismo dinámico, toda vez que está sujeto a cambios físicos del litoral, por lo cual su posición cambia si se tiene una situación en la que se presenta erosión en la playa o bien se gane terreno al mar y por consiguiente se toman medidas correctivas según sea el caso.

3.4.1 Erosión Playera

Cuando por algún motivo se presenta erosión en la playa, el Artículo 51 de la Ley General de Bienes Nacionales describe la forma en que debe corregirse la delimitación de la ZFMT.

Artículo 51. - En el caso de que la zona federal marítimo terrestre sea invadida total o parcialmente por las aguas, o de que éstas lleguen inclusive a invadir terrenos de propiedad particular colindante con la zona federal marítimo terrestre, ésta se delimitará nuevamente en los términos de esta ley y sus reglamentos. Las áreas de los terrenos que pasen a formar parte de la nueva zona federal marítimo terrestre perderán su carácter de propiedad privada. Pero sus legítimos propietarios tendrán el derecho de preferencia para que se les concesione, conforme a lo establecido por esta ley.

3.4.2 Terrenos Ganados al Mar

Cuando por algún motivo se ganen terrenos al mar, el Artículo 51 de la Ley General de Bienes Nacionales describe la forma en que debe corregirse la delimitación de la ZFMT.

Artículo 54. - Cuando por causas naturales o artificiales. Se ganen terrenos al mar los límites de la zona federal marítimo terrestre se establecerá de acuerdo con la nueva configuración física del terreno. De tal manera que se entenderá ganada al mar la superficie de tierra que quede entre el límite de la nueva zona federal marítimo terrestre y el límite de la zona federal marítimo terrestre original.

Por lo expuesto en este capítulo, se puede observar que el sustento técnico de la ZFMT es muy pobre y su enfoque es meramente administrativo, ya que su delimitación se realiza sin contemplar la dinámica costera a largo tiempo ni el efecto de fenómenos extremos, lo cual, aunado a un vacío técnico-legal (límite de construcción costera), se traduce en riesgos para la seguridad de los desarrollos costeros.

Así pues en el Capítulo 6.0 se realiza un ejemplo práctico para determinar el Límite de Control de Construcción Costera mediante técnicas de pronóstico de comportamiento de las costas con el propósito de compararlo con la ZFMT correspondiente y así poder emitir juicios y recomendaciones al respecto de la seguridad de los desarrollos costeros.

4.0 MODELOS DE DINAMICA COSTERA Y LIMITE DE CONTROL DE CONSTRUCCION COSTERA, (LCCC)

En el fenómeno de erosión playera y costera, que consiste en la socavación debido a la acción de energía sobre el material costero, intervienen múltiples variables en forma muy compleja, y ya que este fenómeno es de gran interés para la humanidad, se han desarrollado modelos matemáticos que buscan calcular de la manera más exacta posible su comportamiento. Así pues, el objeto de este capítulo es explicar como funcionan los dos modelos matemáticos que se usarán en este trabajo de tesis.

4.1 Criterio de GENESIS

El GENeralized Model for SImulating Shoreline Change, (US Army Corps of Engineers) GENESIS, por sus siglas en inglés, es un modelo matemático que fue desarrollado para simular cambios en la línea de costa a largo tiempo como resultado de las diferencias en espacio y tiempo del transporte litoral de sedimento. El sistema del modelo esta fundamentado en considerables investigaciones y aplicaciones de otros modelos numéricos de cambio en las costas. La acción del oleaje es el mecanismo que produce el transporte litoral de sedimentos, y en GENESIS, las diferencias en espacio y tiempo de este tipo de transporte son causadas por diversos factores como la batimetría irregular, la difracción del oleaje, las condiciones de frontera, el origen y las pendientes de la arena, etc., estos factores están inter-relacionados y trabajan con distintas combinaciones en diferentes tiempos.

4.1.1 Fundamentos Teóricos

La primera y más básica suposición que hace GENESIS para modelar el cambio en las costas es que el perfil de playa mantiene la misma forma, Figura 4.1, ya sea que se mueva mar a dentro o tierra adentro. Por lo tanto, cualquier punto sobre el perfil es suficiente para especificar la posición horizontal del perfil respecto a una línea base y una curva de nivel puede usarse para describir el cambio visto en planta de la playa, así

como el volumen de erosión o terreno ganado al mar. La curva de nivel que se toma es la de la línea de costa, (Batimétrica 0), y por lo tanto el modelo es llamado “modelo de cambio de la línea de costa” ó “modelo de respuesta de la línea de costa”.

Una segunda suposición geométrica es que la arena es transportada a lo largo de la costa entre dos elevaciones bien definidas del perfil. La elevación límite del lado de la costa es la de la parte superior de la berma activa, y la elevación límite del lado del mar es la profundidad en la que ya no ocurren cambios significativos.

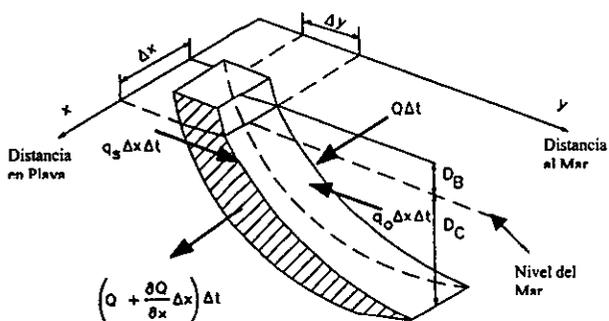


Figura 4.1 Sección Transversal del Perfil de Playa

El modelo también requiere de una expresión de pronóstico para el índice neto del transporte litoral. Para playas en mar abierto, el índice de transporte se toma como una función de la altura de rompimiento de las olas y de su dirección a lo largo de la costa. La dirección horizontal en las cercanías de la costa, con los consecuentes movimientos de la arena, no es considerada directamente. Finalmente, el modelo debe ser aplicado para un largo plazo, con el fin de predecir, de forma adecuada, el comportamiento de la línea de costa.

En resumen, las consideraciones estándar que deben asumirse para la modelación del cambio en las costas son las siguientes:

- a) La forma del perfil de playa es constante
- b) Las elevaciones límites del lado de la costa y del lado del mar son constantes
- c) La arena es transportada debido a la acción de las olas rompientes
- d) La estructura detallada de la circulación cerca de la costa puede ser ignorada
- e) Se presenta una evolución a largo tiempo en la línea de costa

4.1.2 Capacidades y Limitaciones

Los modelos para predecir el cambio en la línea de costa, incluido GENESIS, son diseñados para describir la tendencia a largo plazo de la forma de la playa hacia un equilibrio bajo las condiciones de oleaje impuestas, las condiciones de frontera, la configuración de estructuras costeras y otros parámetros de entrada. GENESIS y modelos similares trabajan mejor en el cálculo de la respuesta de la línea de playa, porque la tendencia a largo tiempo producida por la perturbación es distinta a donde ocurre un movimiento perpendicular de arena en la playa. En otras palabras, el modelo de cambio en la línea de playa calcula mejor el movimiento de la línea de playa en la transición de un estado de equilibrio a otro.

Los modelos para predecir el cambio en la línea de costa no son aplicables para simular una fluctuación al azar de un sistema de playa en donde no existe una tendencia de la posición de la playa. En particular, GENESIS no es aplicable para calcular el cambio en la línea de costa en las siguientes situaciones:

- a) Cambio en la playa dentro de los estuarios o áreas dominadas por la fluctuación de la marea
- b) Cambio en la playa producido por corrientes generadas por el viento
- c) Erosión de la playa inducida por tormenta en donde el proceso de transporte de sedimento en dirección transversal es dominante
- d) Y en los contornos de las estructuras.

4.1.3 Interacción con GENESIS

Para correr GENESIS se debe contar con cuatro archivos de entrada al programa, (Figura 4.2), los cuales deben contener el formato y la cantidad de datos adecuados. Estos cuatro archivos de entrada y su contenido son los siguientes:

- El archivo START, contiene las instrucciones para el control de la simulación del cambio en la línea de playa, como los coeficientes a usar, los tiempos de simulación, etc., y es la principal liga entre el modelador y GENESIS
- El archivo WAVES, contiene la información referente al oleaje
- El archivo SHORL, contiene la posición inicial de la costa
- El archivo SHORM, contiene la posición final de la costa o perfil de comparación

Los archivos SEAWL, NSWAV y DEPTH, sólo son necesarios si el proyecto y el archivo START así lo requieren. En tal caso el archivo SEAWL contendrá las posiciones de los muros que existan en el modelo, en el archivo NSWAV guardará la altura y dirección de los trenes de olas a lo largo de una línea cercana a la orilla definida por el usuario, y finalmente, el archivo DEPTH tendrá la información de las profundidades a lo largo de la línea cercana a la orilla definida por el usuario para propagar el rompimiento de las olas mediante los valores proporcionados en el archivo NSWAV.

Como paso inicial para trabajar con GENESIS es necesario calibrar el modelo, para ello es necesario contar con un perfil de posición inicial de la costa y otro de posición final, así como el período de tiempo transcurrido entre las dos posiciones, además se debe tener la información respecto al oleaje que se presenta en la zona para preparar los archivos de entrada con la información referente al caso particular.

Por otro lado, el archivo START, además de contener la información referente a las características físicas de la playa y de la simulación, contiene las variables k_1 y k_2

que son variables de calibración del modelo a las cuales se les pueden asignar valores dentro de cierto rango para ajustar el modelo al caso particular.

Cuando el modelo calcule, a partir de la posición inicial de costa dada, la posición final esperada en el periodo de tiempo correspondiente, el modelo estará calibrado y en condiciones de correrlo para el periodo de tiempo de proyecto.

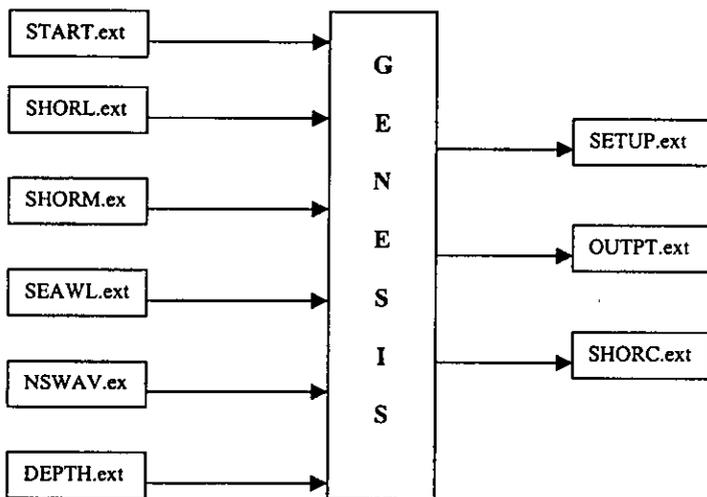


Figura 4.2 Esquema de Interacción con GENESIS

Una vez que se ha corrido el programa se obtendrán tres archivos de salida, (Figura 4.2), los cuales se listan a continuación así como su contenido:

- El archivo SETUP, repite los parámetros de entrada especificados en el archivo de entrada START, así como información de la corrida del programa y mensajes de error que pudiera haber encontrado GENESIS durante la simulación
- El archivo OUTPT, contiene los mayores resultados de la simulación, incluyendo la posición final de la línea de costa y los coeficientes netos y brutos del transporte litoral.

- El archivo SHORC, contiene las posiciones calculadas de la línea de costa en las últimas iteraciones de la simulación.

4.2 Criterio de SBEACH

El *Storm Induced BEAch CHange Model*, (US Army Corps of Engineers) SBEACH, por sus siglas en inglés, es un modelo matemático para simular el cambio en un perfil de playa inducido por una tormenta, tiene capacidades significativas que lo hacen útil para el estudio cuantitativo y cualitativo de la respuesta del perfil de playa a las tormentas.

4.2.1 Fundamentos Teóricos

SBEACH es un modelo de base geomorfológica fundamentado en un extensivo análisis del cambio de perfil de playa producido en grandes tanques de oleaje a escala y mediciones en campo.

Es un modelo bidimensional en el sentido longitudinal de la ola y en el cual el proceso de transporte litoral se omite, por lo tanto, sólo puede ser aplicado si el proceso de transporte litoral puede ser despreciado en el análisis.

Las olas rompientes y el cambio en el nivel del agua son los agentes de mayor peso en SBEACH ya que producen el movimiento del sedimento en el sentido perpendicular a la línea de costa y el consecuente cambio en el perfil de playa tal y como se ilustra en la Figura 4.3. Así pues, el modelo fue creado bajo la suposición de que los oleajes y corrientes paralelas a la costa no son importantes para fines de evaluación playera.

Una característica importante de SBEACH es que simula la formación de una barra en el punto de rompimiento de la ola, la cual se convierte en una protección natural de la playa contra las tormentas.

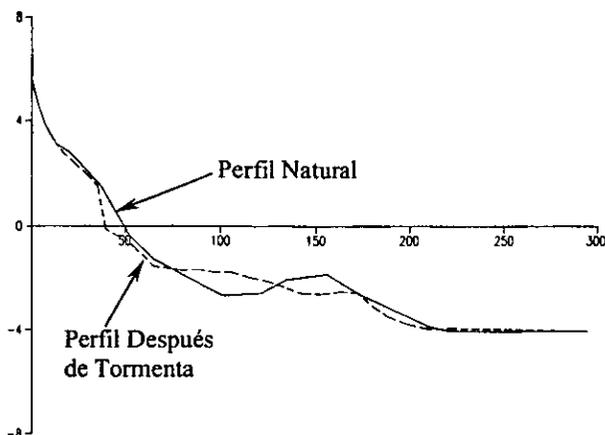


Figura 4.3 Cambio en el Perfil del Frente Playero Inducido por Tormenta

4.2.2 Capacidades y Limitaciones

SBEACH no puede ser usado para examinar el cambio del perfil en las cercanías de muelles y estructuras similares ya que forman barreras para el transporte litoral de sedimento; en tal caso, el cambio del perfil puede controlarse más por la interrupción del transporte litoral que por los procesos en sentido transversal al perfil.

No se puede usar el modelo para el análisis a largo tiempo del transporte de sedimento en sentido transversal, en donde otras fuerzas hidrodinámicas, más que las del rompimiento de las olas y el nivel del agua, pueden ser factores. SBEACH esta proyectado para analizar y predecir a corto plazo la erosión inducida por tormenta.

SBEACH es un modelo de bases empíricas, que fue desarrollado para playas arenosas con tamaños de granos uniformes y representativos que se encuentren entre 0.20 a 0.42 mm. Aunque es de esperarse que produzca resultados razonables para playas que están fuera de este límite pero dentro del rango de arena fina a media. Similarmente,

no se puede aplicar a playas con arcilla predominante o capas de roca, ya que pueden quedar expuestas bajo condiciones de tormenta.

SBEACH tiene capacidades significativas que lo hacen útil para el estudio cuantitativo y cualitativo de la respuesta del perfil de playa a las tormentas. Por ejemplo, se acepta como variable de entrada los niveles del agua producidos por el encrespamiento de marea y tormenta, las variables de la ola son las alturas y los periodos, y un tamaño de grano arbitrario en el rango de fino a medio.

4.2.3 Interacción con SBEACH

Como paso inicial para la utilización de SBEACH es necesario realizar una calibración para determinar los parámetros a utilizar dentro del modelo y la sensibilidad del mismo a cada uno de ellos; en segundo lugar se debe determinar el grado aproximado de confiabilidad de los resultados arrojados y de este modo expresar las recomendaciones y consideraciones que se juzguen pertinentes.

Así, para llevar a cabo la evaluación se debe realizar el proceso de calibración señalado en el párrafo anterior y para ello se requiere contar con la siguiente información:

- Perfil del frente playero antes de la tormenta
- Perfil del frente playero después de la tormenta (perfil de comparación)
- Granulometría del frente playero
- Condiciones de oleaje actuantes en el frente playero

Una vez que se cuenta con la información necesaria se puede hacer que el modelo trabaje. Así pues, para correr SBEACH , es necesario crear los siguientes cinco archivos de entrada al modelo:

- Perfil inicial de playa, (“data_set.PRI”)
- Tamaño medio representativo del grano de arena en la zona de lamido y playa, (“data_set.CFG”)
- Datos de las series de tiempo del nivel del mar, (“data_set.ELV”)
- Datos de las series de altura y periodo del oleaje, (“data_set.WAV”)
- Valores de los parámetros del modelo, (“data_set.CFG”)

Para la calibración, y datos adicionales se requiere de un perfil medido después de la tormenta o también llamado perfil final, (“data_set.PRM”).

Otros tres tipos de archivos o información pueden ser introducidos al modelo con la finalidad de proporcionar una configuración de la playa más amplia y de las fuerzas actuantes:

- Condiciones de frontera tierra adentro, (“data_set.CFG”). (En este archivo se puede establecer la presencia de un muro)
- Datos de las series del ángulo del oleaje, (“data_set.ANG”). (Si la dirección del oleaje no se especifica, se asumirá que incide normalmente a la línea de costa)
- Datos de las series de la velocidad y dirección del viento, (“data_set.WND”). (Si la velocidad y dirección del viento no se especifican, se asumirá que éste no actuará)

Los datos de salida son reportados en cuatro archivos:

- Perfiles simulados para diferentes tiempos, (si se desea), y el perfil final calculado se obtienen en el archivo “data_set.PRC.”
- La variación de varios parámetros en sentido perpendicular a la costa que soportan los programas de visualización se obtienen en el archivo “data_set.XVR.”, tales como: alturas intermedias, (si se desea), y final del

oleaje, niveles intermedios, (si se desea), y final del mar, profundidad máxima y volumen de cambio.

- El archivo “data_set.LOG”, contiene una historia de varios procesos costeros, que pueden ocurrir en distintos tiempos, tales como acumulación de arena, erosión, inundación, etc.
- Finalmente el archivo “data_set.RTP” contiene la información de entrada, así como parámetros de salida que se consideran de interés.

En la Tabla 4.1 se resume de manera general la forma de interactuar con SBEACH, indicando los archivos de entrada necesarios para el sistema y los archivos de salida que proporciona la corrida del programa.

Tabla 4.1 Modo de Interacción con SBEACH

Fuente: SBEACH Report 3, US Army Corps of Engineers

SBEACH			
Archivos de Entrada		Archivo de Salida	
Perfil Inicial	.PRI	Perfil Calculado	.PRC
Parámetros del Modelo	.CFG	Parámetros en Sentido Transversal	.XVR
Elevación del Mar	.ELV	Reporte de SBEACH	.LOG
Altura y Periodo de Ola	.WAV	Archivo de Reporte	.RPT
Perfil de Comparación	.PRM		
Angulo del Oleaje	.ANG		
Velocidad y Orientación del Viento	.WND		

4.3 Límite de Control de Construcción Costera (LCCC)

En función de las condiciones morfológicas de la región y de las características de los procesos físicos costeros reinantes, el transporte litoral paralelo a la costa puede alcanzar valores próximos a cientos de miles de m^3 al año con continuos cambios en su dirección por efecto de cambios estacionales de la dirección de incidencia del oleaje. A través del tiempo, las franjas costeras tienden a estabilizar de manera natural su perfil y alineamiento ante el embate repetido del oleaje característico, sin embargo, la acción del hombre al construir diversas obras costeras o la presencia de meteoros extremos como los huracanes pueden llegar a modificar en distintos niveles el comportamiento del litoral, provocando la recesión o crecimiento de franjas costeras.

Es por lo anterior que se busca establecer el LCCC con la finalidad principal de asegurar la integridad física de las construcciones que se desplantarán en la zona costera y por ende de las personas que hagan uso de ellas.

En este trabajo de tesis se propone que los modelos matemáticos descritos anteriormente sirvan de base para la definición del LCCC el cual tiene por objeto proporcionar un estado de seguridad y protección para las futuras construcciones que se realicen en cualquier frente playero del país. La combinación de estos dos modelos matemáticos servirá para establecer el límite en el cual será seguro construir.

Es importante señalar que los resultados obtenidos de los modelos deben analizarse e interpretarse de manera objetiva para poder emitir juicios adecuados.

4.3.1 Factor de Seguridad (FS)

Al desarrollar modelos matemáticos para simular los fenómenos naturales, se requiere hacer suposiciones acerca del comportamiento complejo de ciertos factores involucrados en el fenómeno que simplifiquen dicha complejidad y que para fines prácticos sean aceptadas como adecuadas para la modelación.

Así también, al hacer uso de los modelos se presenta cierta incertidumbre producto de la naturaleza misma de los datos con que se cuenta y de las condiciones particulares del problema en estudio.

Por lo anterior y como medida de seguridad adicional, se deberá considerar en la determinación del LCCC la aplicación de un factor de seguridad.

El factor de seguridad que se propone esta basado en la recesión provocada por la tormenta de diseño obtenida mediante SBEACH debido a que dicha recesión ocurre como un evento puntual en el corto tiempo y es la condición más desfavorable a la que se sometería la costa en el periodo de diseño que para el caso practico será de 25 años.

Así pues, como factor de seguridad se propone que a la recesión obtenida mediante la combinación de los modelos de pronóstico se le sume la mitad de la recesión obtenida con SBEACH. De esta manera, la propuesta de combinación de los modelos será de la siguiente manera:

1. Se correrá GENESIS para un periodo de 25 años bajo condiciones normales de oleaje, esto nos proporcionará una nueva posición de la línea de costa en la cual podremos obtener una acumulación de arena o una recesión.
2. Al termino del periodo de 25 años en que GENESIS calculó la nueva posición de la línea de costa bajo condiciones normales, se hará una corrida de SBEACH con las condiciones de oleaje inherentes a la tormenta de diseño cuyo periodo de retorno sea de 25 años, la cual nos dará una nueva posición de la línea de costa.
3. Finalmente para establecer el LCCC, a la posición final de la línea de costa se le deberá sumar la mitad de la recesión provocada por la tormenta de diseño para proporcionar así un factor de seguridad.

Una vez determinado el funcionamiento de las técnicas de pronóstico de comportamiento de las costas y la forma en que se emplearán para determinar el LCCC, en el siguiente capítulo se realiza un ejemplo práctico en el cual se ilustra como este límite a las construcciones proporciona un alto grado de seguridad a la integridad física de las mismas y se demuestra que el criterio de la ZFMT queda rebasado por el comportamiento de las costas.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

5.0 CASO PRACTICO: DISCUSION DE CRITERIOS PARA ESTABLECER EL LIMITE DE CONTROL DE CONSTRUCCION EN EL FRENTE PLAYERO DEL PUERTO DE DOS BOCAS, TABASCO.

5.1 Descripción y Problemática

La dinámica de un perfil playero es altamente compleja, como fue descrito en el Capítulo 2, ya que la interacción entre los diferentes factores físicos que sobre él hacen sentir sus acciones, genera sobre las líneas de costa avances, retrocesos del perfil playero y otras modificaciones, como consecuencia de acumulaciones o pérdidas de material granular.

En el frente playero del Puerto de Dos Bocas, en la zona comprendida entre el rompeolas poniente y el espigón de protección del canal de acceso al puerto de abastecimiento (Figura 5.1), la interacción de los fenómenos físicos descritos en el Capítulo 2 ha provocado una recesión en la línea de costa, por lo cual, a continuación se hace el análisis del comportamiento de este frente playero para un periodo de 25 años bajo condiciones normales (con la ayuda de GENESIS). Así mismo, al término de esta simulación se someterá el perfil playero a las condiciones extremas de una tormenta cuyo periodo de retorno será de 25 años, (mediante la aplicación de SBEACH), para así obtener el cambio total de configuración en el perfil playero; posteriormente a este cambio en la posición de la línea de costa se le agregará el factor de seguridad, (FS), definido en el capítulo anterior para así obtener el LCCC.

Finalmente se hace la comparación del LCCC con la ZFMT que correspondería a este frente playero para así emitir juicios y opiniones acerca de la conveniencia de aplicar esta técnica de pronóstico en los lineamientos para futuros desarrollos costeros y de esta manera procurar que los inmuebles que se construyan cerca de las líneas de costa no sufran grandes daños a causa de los eventos extremos.

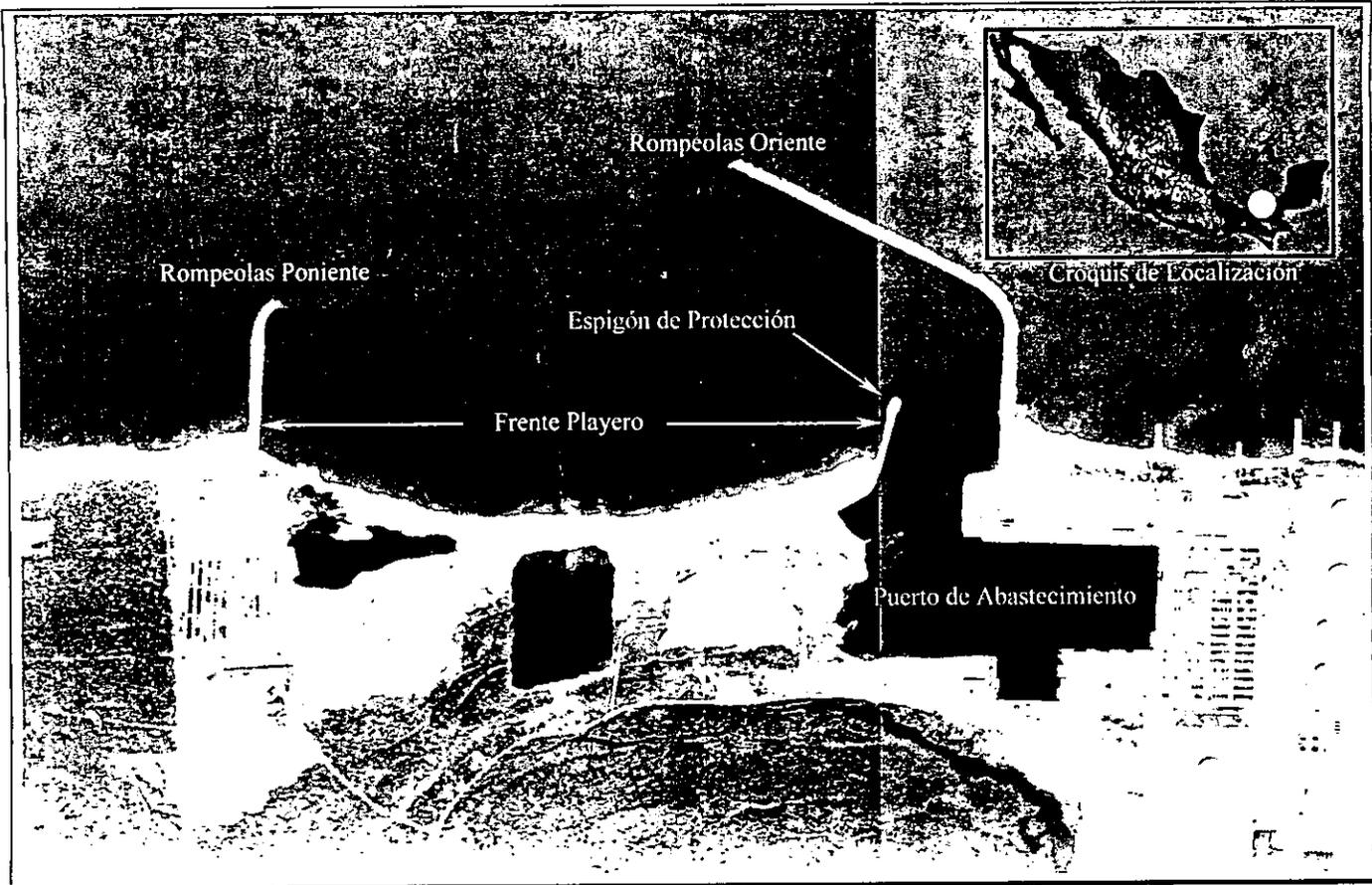


Figura 5.1
Localización del Frente Playero del Puerto de Dos Bocas, Tabasco

5.2 Análisis de Información Básica.

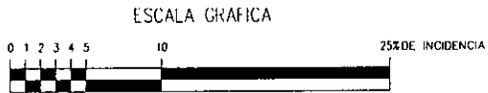
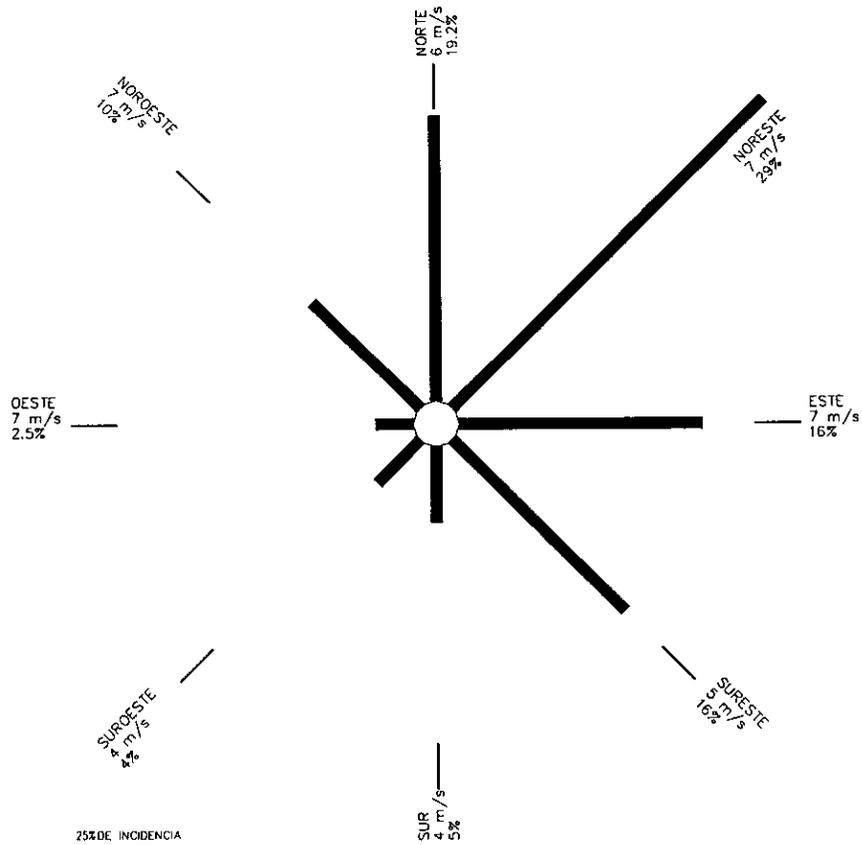
5.2.1 Vientos

Existen para la zona de estudio diversas fuentes de información documentada sobre la estadística de viento, su régimen anual y estacional, frecuencia de ocurrencia (vientos reinantes) e intensidad máxima (vientos dominantes). Las fuentes de información que se seleccionaron fueron las siguientes:

- La Estación Meteorológica Dos Bocas, en Tabasco (con coordenadas 18° 26' de latitud norte y 93° 10' de longitud este), y
- La Estación Meteorológica Paraíso, en Tabasco (con coordenadas 18° 24' de latitud norte y 93° 10' de longitud este)

Los datos obtenidos de estas estaciones comprenden registros de viento para los años 1979 a 1999, a partir de las cuales fue realizado el análisis que da origen a las rosas anuales de vientos reinantes y dominantes, mostradas en las Figuras 5.2 y 5.3.

A partir del análisis de las figuras citadas puede observarse que los vientos reinantes son en orden de ocurrencia, los provenientes del noroeste (29%), norte (19.2%), este (16%) y noroeste (10%), con velocidades medias comprendidas entre 7.0 m/s (14 nudos) y 6.0 m/s (12 nudos)



FUENTE: TERMINAL MARITIMA DE DOS BOCAS (METEOROLOGICO)

Figura 5.2
Rosa de Vientos
Vientos Reinantes - Resumen Anual

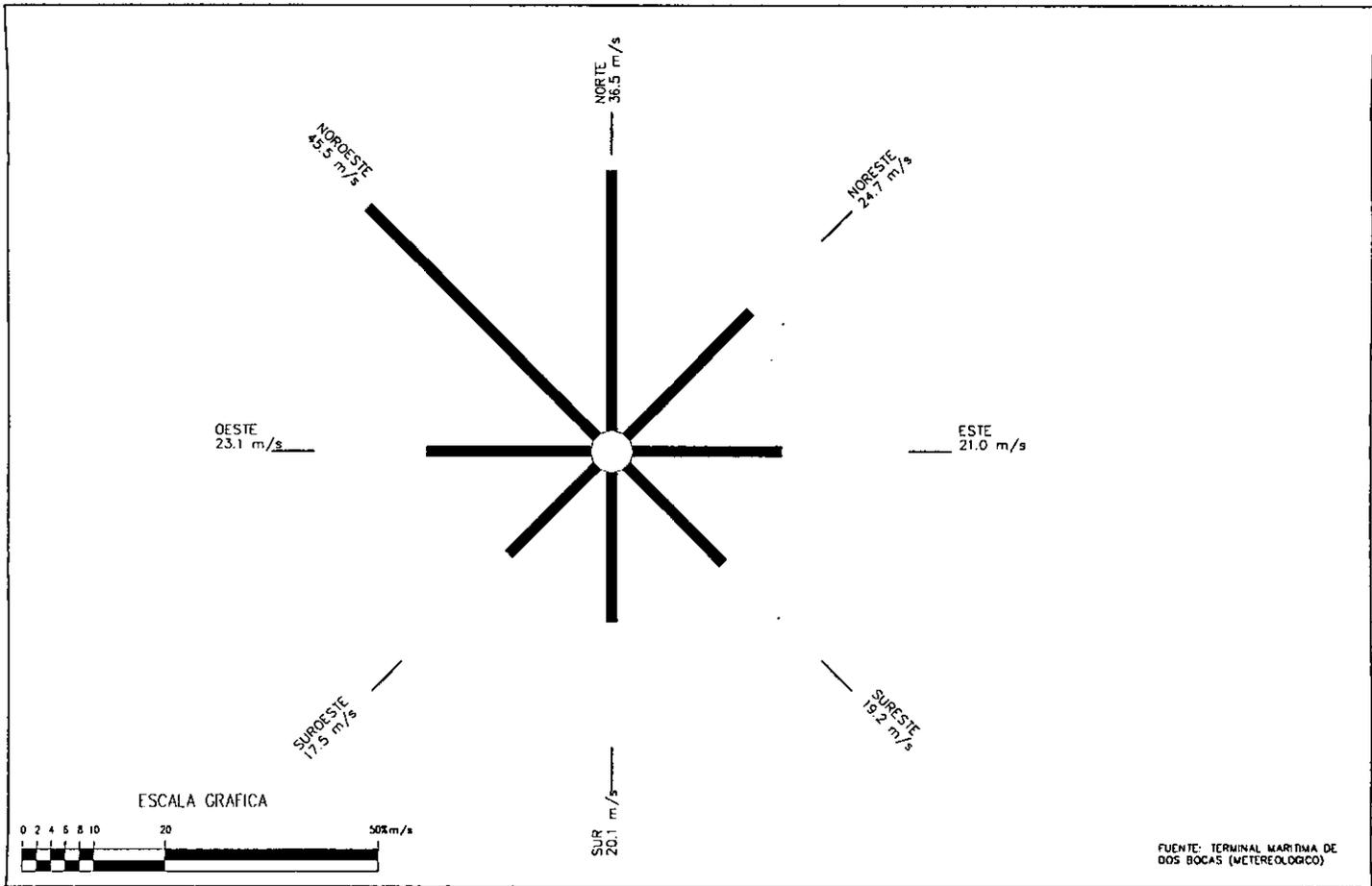


Figura 5.3
Rosa de Vientos.
Vientos Dominantes - Resumen Anual

5.2.2 Mareas

Considerando como aplicable a Dos Bocas la información de la marea astronómica para el Puerto de Frontera, Tabasco (Tablas de Predicción de Mareas 1997, SMAM), los principales niveles o planos de referencia son los siguientes:

Pleamar Máxima Registrada	1.135 m
Nivel de Pleamar Media	0.502 m
Nivel Medio del Mar	0.286 m
Nivel de Bajamar Media	0.000 m
Bajamar Mínima Registrada	0.393 m

El Puerto de Dos Bocas se encuentra localizado en una zona donde la variación de la marea es de pequeña magnitud, alcanzando en promedio una variación media de 0.502 m, manifestándose como un evento de naturaleza mixta diurna; es decir, con pleamares y bajamares consecutivas y diferentes, con período promedio de 24 horas.

5.2.3 Oleaje Normal

La caracterización del oleaje normal que se presenta en la zona de Dos Bocas fue realizada con base en el procesamiento estadístico de mediciones de altura y periodo, registrados durante 6 años (1987 a 1992) en un instrumento medidor de oleaje operado por el departamento de Meteorología de PEMEX en Dos Bocas.

El procesamiento estadístico de los registros de oleaje puede representarse en rosas de oleaje en función de su distribución frecuencial de su ocurrencia para cada dirección y estación. Las Figuras 5.4 a 5.8 ilustran las rosas de oleaje de distribución frecuencial para el período anual y estacional, (invierno, primavera, verano y otoño). Adicionalmente, para cada una de las direcciones, se encuentran determinadas la altura y el período.

ALTURA DE OLA (m)	DIRECCIONES						TOTAL
	NORTE	NNE	NE	ENE	NE	NNW	
0 - 0.5	3.39	21.36	9.57	0.36	0.42	1.70	37.13
0.5 - 1.0	4.65	21.26	9.81	0.48	0.18	3.51	40.10
1.0 - 1.5	1.68	1.91	0.91	0	0.12	3.33	9.15
1.5 - 2.0	0.97	0.91	0.78	0	0.30	2.76	6.72
2.0 - 2.5	0.67	0.42	0.72	0	0.42	1.74	5.39
2.5 - 3.0	0.41	0.30	0.12	0	0.18	1.27	2.40
3.0 - 3.5	0.30	0.05	0.06	0	0.30	0.55	2.7
3.5 - 4.0	0	0	0.36	0	0.12	0.24	0.42
4.0 - 4.5	0	0	0	0	0	0.12	0.12
4.5 - 5.0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	12.48	47.24	21.14	0.66	1.02	16.23	100

PLATAFORMA DE OBSERVACION
 ESTACION METEOROLOGICA

FUENTE: ESTACION METEOROLOGICA DOS Bocas TABASCO

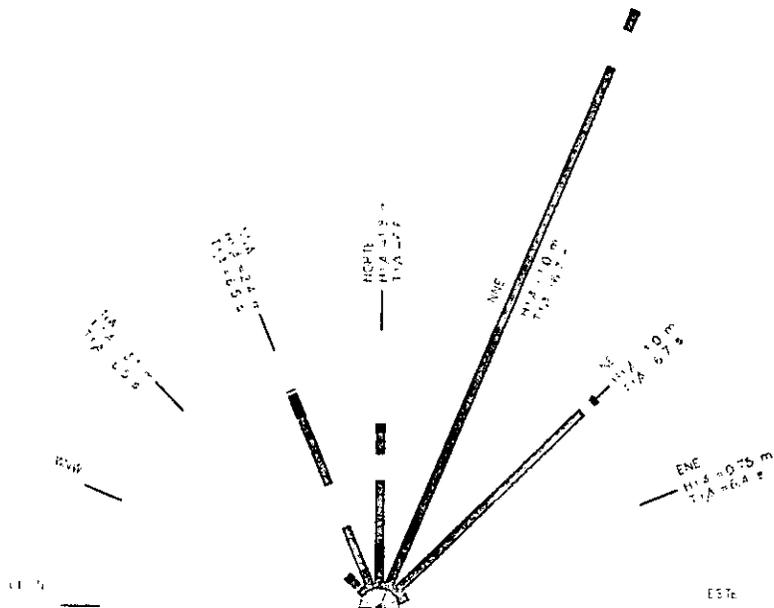
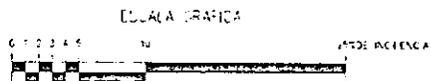


Figura 5.4
 Rosa de Oleaje
 Anual

ALTURA DE OLA (m)	DIRECCIONES						TODAS
	NORTE	NNE	NE	ENE	NW	NNW	
0.0 - 0.5m	2.00	17.29	6.43	0	0	1.11	26.83
0.5 - 1.0m	5.10	15.52	7.10	0	0.22	5.32	33.26
1.0 - 1.5	3.10	4.43	0.44	0	0.22	5.76	13.97
1.5 - 2.0m	1.11	2.00	0.44	0	0.22	8.20	11.97
2.0 - 2.5m	0.67	0.22	0.44	0	0.67	2.88	4.88
2.5 - 3.0m	1.11	0.44	0.44	0	0.22	2.66	4.88
3.0 - 3.5m	0.89	0.22	0	0	0.67	1.33	3.10
3.5 - 4.0	0	0	0	0	0	0.67	0.67
4.0 - 4.5m	0	0	0	0	0	0.44	0.44
4.5 - 5.0m	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	13.97	40.13	15.30	0	2.22	28.38	100

NOTA: LOS DATOS ESTAN DADOS EN PORCENTAJES DE INCIDENCIA

FUENTE: ESTACION METEOROLOGICA DOS BOCAS TABASCO

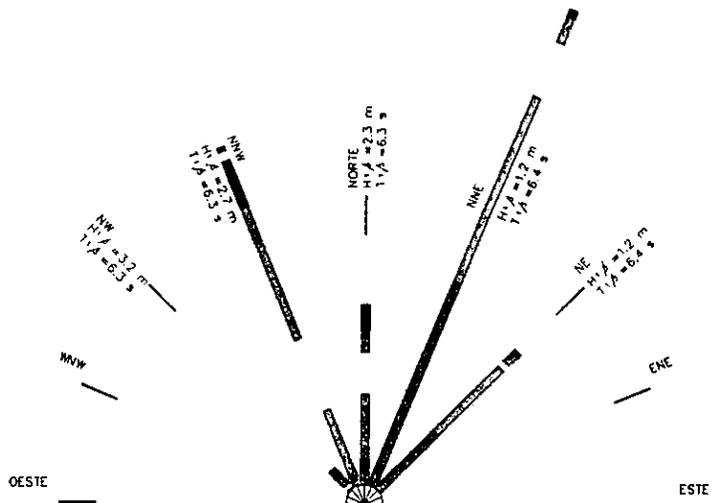


Figura 5.5
Rosa de Oleaje
Resumen Periodo Diciembre - Febrero

ALTURA DE OLA (m)	DIRECCIONES						TODAS
	NORTE	NNE	NE	ENE	NW	NNW	
0.0 - 0.5	3.94	15.97	10.42	0.23	0.46	1.85	32.87
0.5 - 1.0	5.09	28.94	11.57	0.46	0	3.47	49.54
1.0 - 1.5	2.78	3.70	1.62	0	0	2.08	10.19
1.5 - 2.0	1.39	0.46	0.23	0	0.23	1.85	4.17
2.0 - 2.5	0.23	0.23	0	0	0	1.16	1.62
2.5 - 3.0	0	0.46	0	0	0	0.46	0.93
3.0 - 3.5	0	0	0.23	0	0	0	0.23
3.5 - 4.0	0	0	0.23	0	0.23	0	0.46
4.0 - 4.5	0	0	0	0	0	0	0
4.5 - 5.0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	13.43	49.77	24.31	0.69	0.93	10.88	100

NOTA: LOS DATOS ESTAN DADOS EN PORCENTAJES DE INCIDENCIA

FUENTE : ESTACION METEOROLOGICA DOS Bocas TABASCO

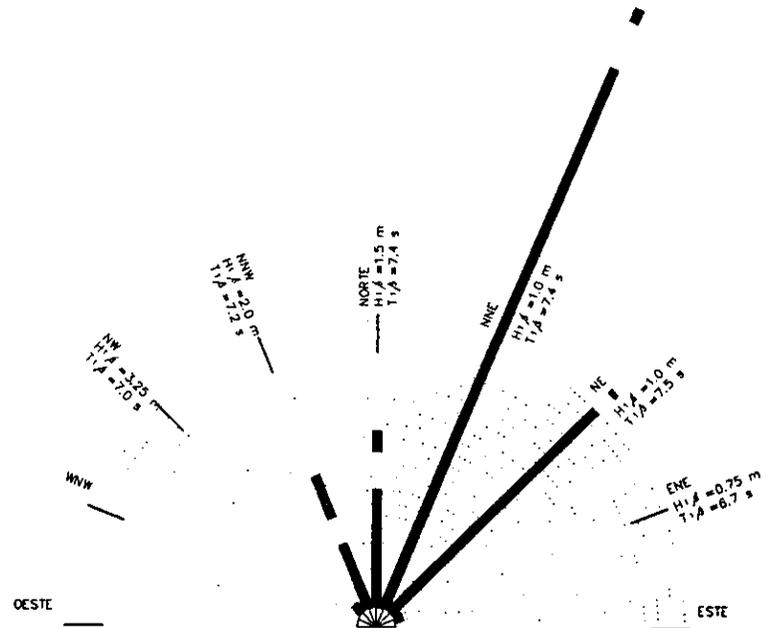
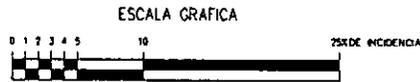


Figura 5.6
Rosa de Oleaje
Resumen Periodo Marzo - Mayo

ALTURA DE OLA (m)	DIRECCIONES						100AS
	NORTE	NNE	NE	ENE	NW	NNW	
0.0 - 0.5	2.49	31.22	15.19	0	1.10	1.10	51.10
0.5 - 1.0	1.93	26.24	15.19	0.83	0	0.83	45.03
1.0 - 1.5	0	0.83	0.83	0	0	0.83	2.49
1.5 - 2.0	0	0	0	0	0	0	0
2.0 - 2.5	0	1.10	0	0	0	0	1.10
2.5 - 3.0	0	0.28	0	0	0	0	0.28
3.0 - 3.5	0	0	0	0	0	0	0
3.5 - 4.0	0	0	0	0	0	0	0
4.0 - 4.5	0	0	0	0	0	0	0
4.5 - 5.0	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	4.42	59.67	31.22	0.83	1.10	2.76	100

NOTA: LOS DATOS ESTAN DADOS EN PORCENTAJES DE INCIDENCIA

FUENTE : ESTACION METEOROLOGICA DOS BOCAS TABASCO

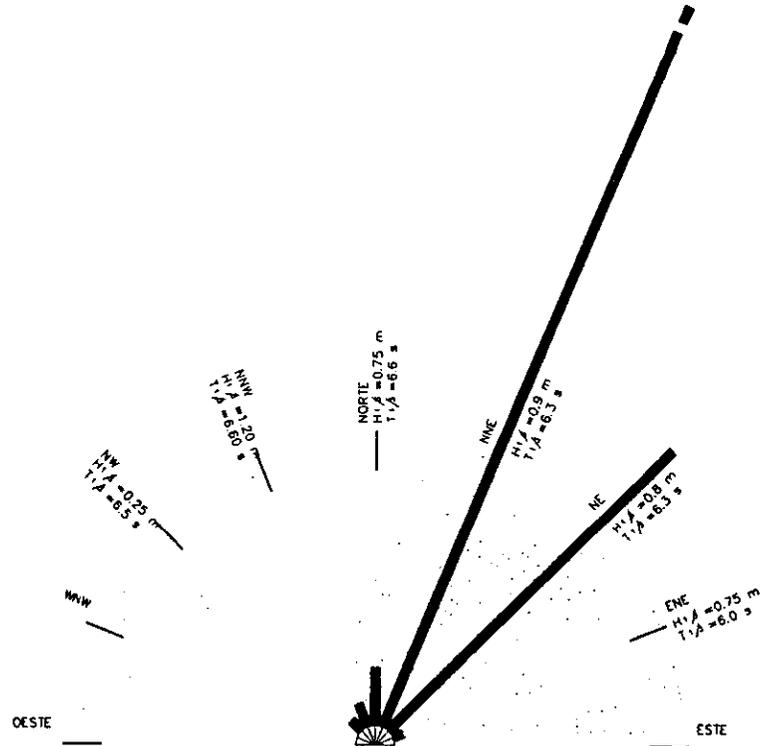
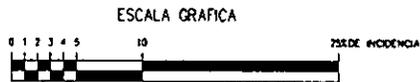


Figura 5.7
Rosa de Oleaje
Resumen Periodo Junio - Agosto

ALTURA DE OLA (m)	DIRECCIONES						TODAS
	NORTE	NNE	NE	ENE	NW	NNW	
0.0 - 0.5m	5.17	22.91	8.37	1.23	0.25	2.71	40.64
0.5 - 1.0m	6.90	15.02	8.16	0.74	0.49	3.94	33.75
1.0 - 1.5m	1.23	2.22	0.74	0	0.25	4.19	8.82
1.5 - 2.0m	1.23	0.99	0	0	0.74	4.19	7.14
2.0 - 2.5m	1.72	0.25	0	0	0.99	2.71	5.67
2.5 - 3.0m	0.49	0	0	0	0.49	1.72	2.71
3.0 - 3.5m	0.25	0	0	0	0.49	0.74	1.48
3.5 - 4.0m	0	0	0	0	0.25	0.24	0.49
4.0 - 4.5m	0	0	0	0	0	0	0
4.5 - 5.0m	0	0	0	0	0	0	0
SUMA	17.00	41.38	15.27	1.97	3.94	20.44	100

NOTA: LOS DATOS ESTAN DADOS EN PORCENTAJES DE INCIDENCIA

FUENTE : ESTACION METEOROLOGICA DOS BOCAS TABASCO

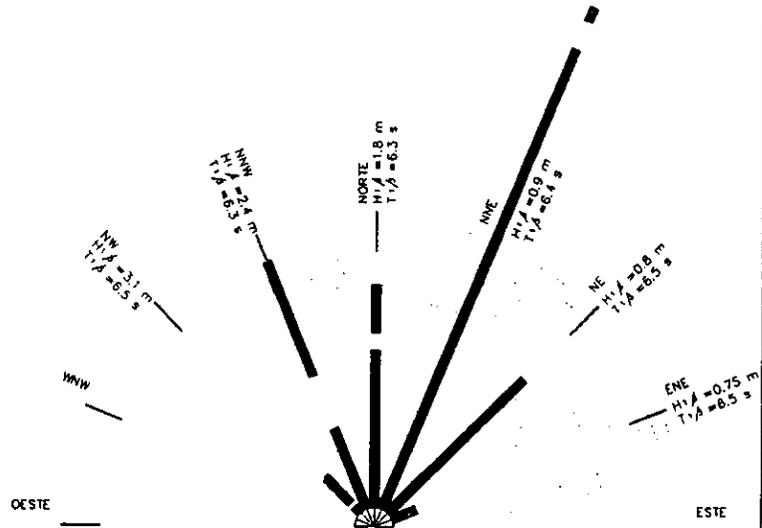


Figura 5.8
Rosa de Oleaje
Resumen Periodo Septiembre - Noviembre

Como puede apreciarse en las rosas de oleaje, el oleaje proveniente del NNE resulta ser el más frecuente, pudiendo caracterizarse con altura de ola de 1 m y periodo de 6.7 s.

En orden de ocurrencia, los oleajes provenientes del NE, N y NW resultan ser los eventos más frecuentes, sin embargo, debido a la altura de ola, los oleajes del NW, NNW y N resultan ser los eventos dominantes.

Estacionalmente, la ocurrencia del oleaje del NNE se mantiene durante todo el año, con pequeñas variaciones en su altura característica; el resto de las direcciones registra variaciones de poca magnitud a lo largo del tiempo, excepto para la época de invierno, en donde la presencia de los nortes se manifiesta con una mayor influencia en altura y periodo del oleaje asociado a las direcciones NNW y N.

5.2.4 Oleaje Ciclónico

Para la recopilación de información acerca de los eventos extremos (huracanes, depresiones y tormentas tropicales), que se han presentado en las inmediaciones del Puerto de Dos Bocas se consultaron las diversas fuentes de información con el objetivo de obtener las trayectorias, intensidades y características de los mismos; estas fuentes consultadas se enlistan a continuación:

- National Oceanographic and Atmospheric Agency (NOAA), USA.
- El Servicio Meteorológico Nacional (SMN)
- El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
- La Universidad de Purdue, USA.

Como resultado de esta consulta se obtuvo de la Universidad de Purdue, (USA), y la NOAA, a través de Internet, una base de datos accesible y confiable, conteniendo las trayectorias y características de 34 eventos, los cuales se consideraron como los de mayor impacto en la zona.

Una vez identificados los eventos por analizar, se aplicó el método de Sverdrup, Munk y Bretschneider, (Shore Protection Manual, 1984), el cuál determina los oleajes generados por tormentas, siguiendo la metodología propuesta por el U.S. Army Corps of Engineers, así como el procedimiento descrito en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, en su sección de Hidráulica Marítima, (C.F.E., 1983).

Finalmente, los resultados del análisis proporcionaron la altura y periodo de oleaje ciclónico en el sitio de estudio. El resumen de los eventos analizados así como sus características de oleaje ciclónico se muestran en la Tabla 5.1.

Como puede apreciarse en esta tabla, de los 34 eventos analizados, el Huracán Laurie, (octubre de 1969), es el evento de mayor influencia en la zona de estudio, provocando oleajes de 4.84 m de altura y periodo asociado de 5.77 segundos. En orden descendente de los eventos que influyeron directamente en la zona de estudio, el huracán Brenda y la tormenta tropical Hermine, son los eventos que siguen en importancia, al provocar oleajes de 4.81 y 3.34 m de altura y periodos de 8.20 y 8.14 segundos respectivamente; resulta importante señalar que el Huracán Gilberto, aunque de intensidad mucho mayor, no afectó significativamente a la zona de estudio ya que su trayectoria lo situó aproximadamente a una distancia mínima de 400 km, razón por la cual el oleaje decaído asociado, llegó al puerto con una altura de 2.58 m.

Tabla 5.1 Resumen de Eventos Extremos

Año	Nombre del evento	Aviso N°	Latitud °	Longitud °	Velocidad		PR [mb]	Clasificación	Hs dec [m]	Ts dec [s]	Observaciones
					[Nudos]	[m/s]					
1960	Tormenta tropical #1	3	21.20	-94.80	15.0	7.72	1008	Dep.Trop.	3.51	9.43	Se generó en la zona de estudio
1961	Carl	19	22.30	-87.30	100.0	51.44	968	Huracán-1	2.08	11.17	Trayectoria en el centro del Golfo No tocó tierra
	Inga	9	19.50	-94.00	60.0	30.87	1004	Torm.Trop.	4.06	7.37	
1964	Hilda	10	23.80	-89.00	60.0	41.16	978	Huracán-1	2.11	10.67	Se encuentra mar adentro
1965	Betsy	59	30.80	-91.80	65.0	33.44	965	Torm.Trop.	1.87	13.05	Duración prolongada
1966	Inez	67	21.50	-91.00	115.0	59.16	972	Huracán-4	2.80	10.56	Presentó dos periodos de intensidad alta
1967	Beulah	52	21.60	-91.80	95.0	48.87	978	Huracán-2	3.00	10.35	Trayectoria en el centro del Golfo Trayectoria en el centro del Golfo
	Fen	1	20.30	-93.00	25.0	15.43	1005	Dep.Trop.	3.29	7.54	
1969	Laurie	41	18.70	-93.10	25.0	12.86	1006	Dep.Trop.	4.84	5.77	Inicia en el Caribe y termina frente a la zona de estudio
1970	Ella	13	23.00	-90.80	65.0	33.44	993	Torm.Trop.	2.95	10.92	Trayectoria en el centro del Golfo
	Tormenta tropical Greta	29	21.00	-93.10	25.0	12.86	1009	Dep.Trop.	3.09	8.03	
1971	Edith	27	20.70	-91.40	35.0	18.01	1001	Dep.Trop.	3.53	9.38	Cruzó la península y entró al Golfo
1973	Ivelda	14	18.40	-92.30	60.0	30.87	975	Huracán-1	4.81	8.20	Incidenca directa en el sitio de estudio
1974	Carmen	27	20.50	-91.00	55.0	28.29	995	Torm.Trop.	2.70	8.45	Trayectoria en el centro del Golfo
1975	Caroline	23	23.30	-94.20	65.0	33.44	990	Torm.Trop.	2.39	9.75	Trayectoria en el centro del Golfo Se mueve hacia el norte desde Yucatán
	Elaine	35	22.40	-88.50	55.0	28.29	995	Torm.Trop.	2.53	10.41	
1977	Anita	12	25.80	-93.70	85.0	43.73	972	Huracán-2	2.04	11.17	Trayectoria en el centro del Golfo hacia Yucatán
1978	Tormenta tropical Bea	7	23.30	-95.00	40.0	20.58	1012	Torm.Trop.	2.19	8.43	Trayectoria en el centro del Golfo hacia norte de Veracruz Golpeo las costas de E. U.
	Tormenta tropical Debra	4	24.50	-91.40	25.0	12.86	1008	Dep.Trop.	2.24	9.36	
1979	Helen	9	20.20	-93.60	55.0	28.29	995	Torm.Trop.	3.84	8.55	Trayectoria frente a zona de estudio
1980	Alba	33	23.40	-90.50	115.0	59.16	960	Huracán-4	2.32	11.62	Centro de Golfo, llegó a categoría 5 Trayectoria frente a zona de estudio
	Tormenta tropical Hermana	13	19.30	-92.60	50.0	25.72	995	Torm.Trop.	3.34	8.14	
1984	Tormenta tropical Edouard	5	20.30	-95.80	55.0	28.29	998	Torm.Trop.	2.64	8.36	Corta duración
1983	Kate	26	30.20	-85.10	80.0	41.16	975	Huracán-1	1.76	12.43	Trayectoria alejada
1988	Debby	4	20.40	-93.10	25.0	12.86	1004	Dep.Trop.	3.58	8.09	Trayectoria en el centro del Golfo, cruzó la República Se mueve hacia el norte desde Yucatán Trayectoria en el centro del Golfo
	Florence	1	22.80	-92.00	25.0	12.86	1000	Dep.Trop.	2.77	9.73	
	Gilbert	29	22.10	-92.80	90.0	46.30	950	Huracán-2	2.58	11.31	
1989	Jerry	1	19.40	-92.40	25.0	12.86	1009	Dep.Trop.	3.87	6.79	Inicia frente a zona de estudio y se mueve al norte
1990	Diana	13	20.60	-93.60	60.0	30.87	998	Torm.Trop.	3.71	8.90	Trayectoria frente a zona de estudio
1993	Tormenta tropical Arlene	6	23.80	-94.10	30.0	15.43	1006	Dep.Trop.	3.17	11.05	Inicia frente a zona de estudio y se mueve al norte Trayectoria frente a zona de estudio
	Gert	18	19.60	-91.60	30.0	15.43	1001	Dep.Trop.	4.10	8.77	
1995	Oph	18	20.70	-91.90	55.0	28.29	984	Torm.Trop.	2.99	9.06	Inicia frente a zona de estudio y se mueve al norte Trayectoria frente a zona de estudio
	Rosalee	20	19.50	-92.20	55.0	28.29	994	Torm.Trop.	1.99	8.02	
1996	Dolby	13	20.10	-92.60	45.0	23.15	1002	Torm.Trop.	4.07	8.42	Trayectoria frente a zona de estudio

5.2.5 Marea de Tormenta

La determinación de la marea de tormenta se basa en el método empírico basado en nomogramas presentado por el Shore Protection Manual, el cual toma en cuenta las características del viento asociadas a la depresión atmosférica generadora del huracán y la pendiente del fondo en su aproximación a la línea de costa.

Para el caso del Puerto de Dos Bocas, la determinación de la marea de tormenta considera los tres eventos críticos que actuaron directamente en la zona de estudio y que proporcionaron las mayores alturas de ola ciclónica en el puerto, además, se incluyen los huracanes Gilberto y Roxanne debido a que en años recientes han sido los fenómenos de gran magnitud que provocaron condiciones críticas en diversas playas del Golfo de México. Los resultados de este análisis se resumen en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Marea de Tormenta

NOMBRE	LAT °	LON °	Velocidad de Traslación [millas/hora]	PR [mb]	R [millas]	dP [mb]	EP (1) [m]	CD (2)	FP (3)	MT (4) [m]
LAURIE	18.7	-93.1	7.73	1006	41.67	7.00	0.49	0.78	0.47	0.18
BRENDA	18.4	-92.3	4.31	975	52.80	38.00	2.44	0.66	0.47	0.76
HERMINE	19.3	-92.6	10.28	995	39.89	18.00	1.22	0.67	0.47	0.38
GILBERT	22.1	-92.8	11.82	950	35.61	63.00	4.27	0.67	0.47	1.34
ROXANNE 1	19.7	-92.6	4.96	995	39.22	18.00	1.22	0.58	0.47	0.33
ROXANNE 2	20.6	-91.6	4.06	980	57.26	33.00	2.13	0.67	0.47	0.67
ROXANNE 3	20.6	-92.4	3.59	991	37.83	22.00	1.31	0.58	0.47	0.36

PR = Presión, R = Radio, dP = Depresión
 EP = Estimación Preliminar de la Marea de Tormenta
 CD = Factor de Corrección por Desplazamiento de Tormenta
 FP = Factor de Profundidad
 MT = Marejada de Tormenta

De acuerdo con el análisis de resultados, puede observarse que de los tres eventos críticos que han incidido de forma directa en el sitio, el Huracán Brenda es el que genera la mayor marea de tormenta, (0.76 m). Debe mencionarse que el valor teórico de la marea de tormenta asociada al Huracán Gilberto, (1.34 m), aunque mayor a 0.76 m, presenta incertidumbre con respecto a su magnitud en función de que durante el

paso de este meteoro, fueron registradas mediciones de la marea de tormenta asociada, correspondiendo para la zona del Río Cazones y Veracruz una magnitud de entre 20 a 40 cm (Rosengaus 1990).

5.2.6 Características del Material de Playa

Dentro de los parámetros que más influyen en el comportamiento de un perfil playero encontramos el tamaño del material que lo constituye.

Las pruebas granulométricas realizadas con las muestras de arena obtenidas de la playa de Dos Bocas, (Consultoría Yañez-Taylor), mostraron que para la arena proveniente de la zona de rompiente el diámetro D_{50} varía entre 0.60 y 0.21 mm; con base en esto, se puede definir como valor promedio un D_{50} de 0.31 mm, eliminando los valores extremos por considerárseles poco representativos del conjunto de la muestra.

5.3 Simulación con GENESIS (25 años)

Como fue descrito en el Capítulo 4.0, el paso inicial para la utilización del modelo matemático GENESIS es su calibración, para lograr esto se utilizaron las líneas de costa obtenidas de levantamientos topográficos para los años 1990, (PEMEX 1990), y 1997, (Consultoría Yañez - Taylor, 1997), (Figura 5.9). Esta calibración consistió en tomar el levantamiento del año 1990 como la posición inicial de la línea de costa y el levantamiento del año 1997 como la posición final o perfil de comparación.

Los valores numéricos de los parámetros necesarios para el modelo obtenidos del análisis de información básica son los siguientes:

- $H = 1.1$ m (Altura de Ola)
- $T = 6$ s (Periodo de la Ola)
- $\theta_0 = 30^\circ$ (Dirección de Incidencia)
- $d_{50} = 0.31$ mm (Tamaño de Grano)

Croquis de Localización

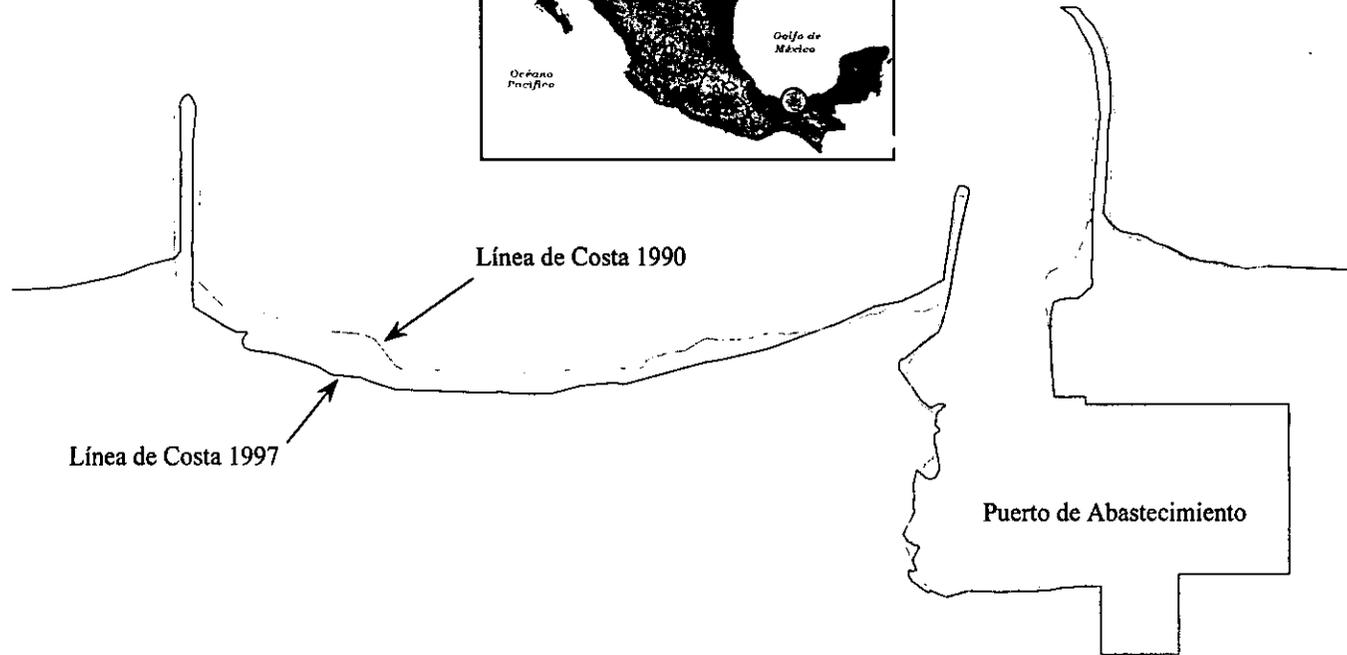
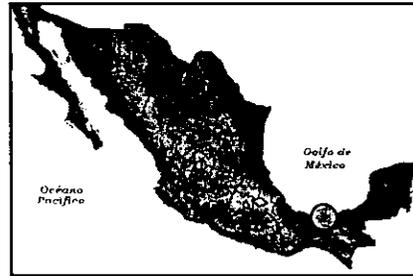


Figura 5.9
Levantamientos Topográficos de Líneas de Costa 1990 y 1997

Los valores que se determinaron para los parámetros de calibración son los siguientes:

- $k_1 = 0.4$
- $k_2 = 0.25$

Cabe señalar que la altura y periodo de ola se obtuvieron de promedios ponderados de los registros de las rosas de oleaje, (Figuras 5.4 a 5.7), que involucraron tanto sus frecuencias de ocurrencia como sus direcciones de incidencia.

En la Figura 5.10 se muestra el resultado de la calibración de GENESIS, puede observarse que en las cercanías del rompeolas poniente la línea de costa calculada por el modelo no tiende exactamente a la del levantamiento de 1997, tal diferencia puede ser producto de la acción de un evento extremo o de ciertos comportamientos, aún no determinados exactamente, de los fenómenos de dinámica costera, Sin embargo del lado opuesto, junto al espigón poniente, la línea de costa calculada por GENESIS muestra una clara tendencia al levantamiento de 1997 lo cual indica que puede considerarse como buena para el análisis.

Una vez calibrado el modelo se procedió a realizar la simulación para el periodo de 25 años, obteniéndose la nueva posición de la línea de costa, la cual se muestra en la Figura 5.11, en la cual se puede observar que en las cercanías del espigón poniente se presenta una acumulación de material, sin embargo, en la mayor parte de la longitud de la línea de costa se presenta una recesión en la posición de la misma, siendo el valor más grande de ésta de 70 m, muy por encima de los 20 m que se consideran para la delimitación de la zona federal.

Así pues, se tiene que para condiciones normales en un plazo de 25 años, la línea de costa sufrirá una recesión máxima de 70 m, a esta recesión habrá que sumarle la que resulte del análisis por condiciones extremas, (SBEACH), además del factor de seguridad para así obtener el LCCC y emitir recomendaciones.

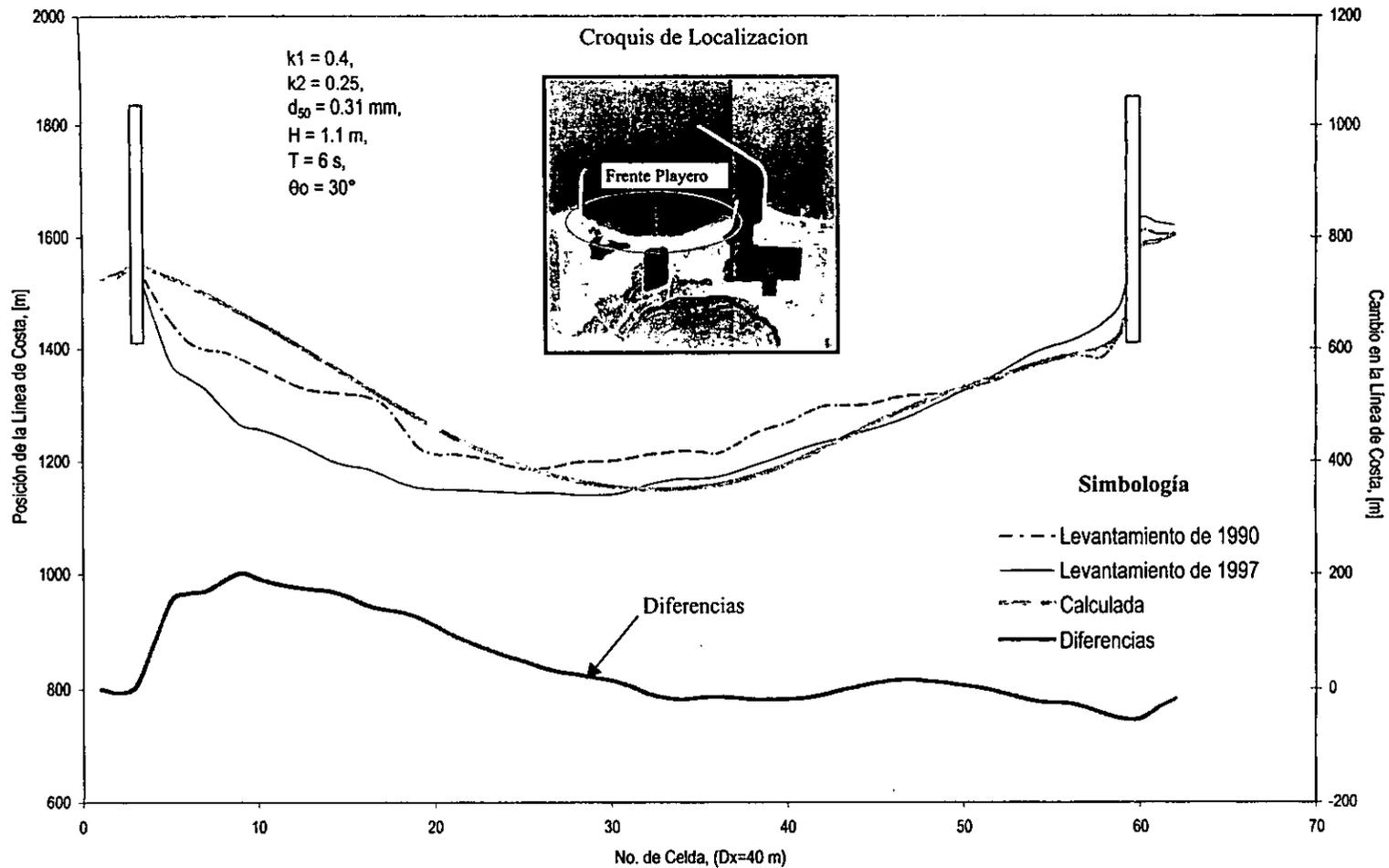


Figura 5.10 Calibración de GENESIS

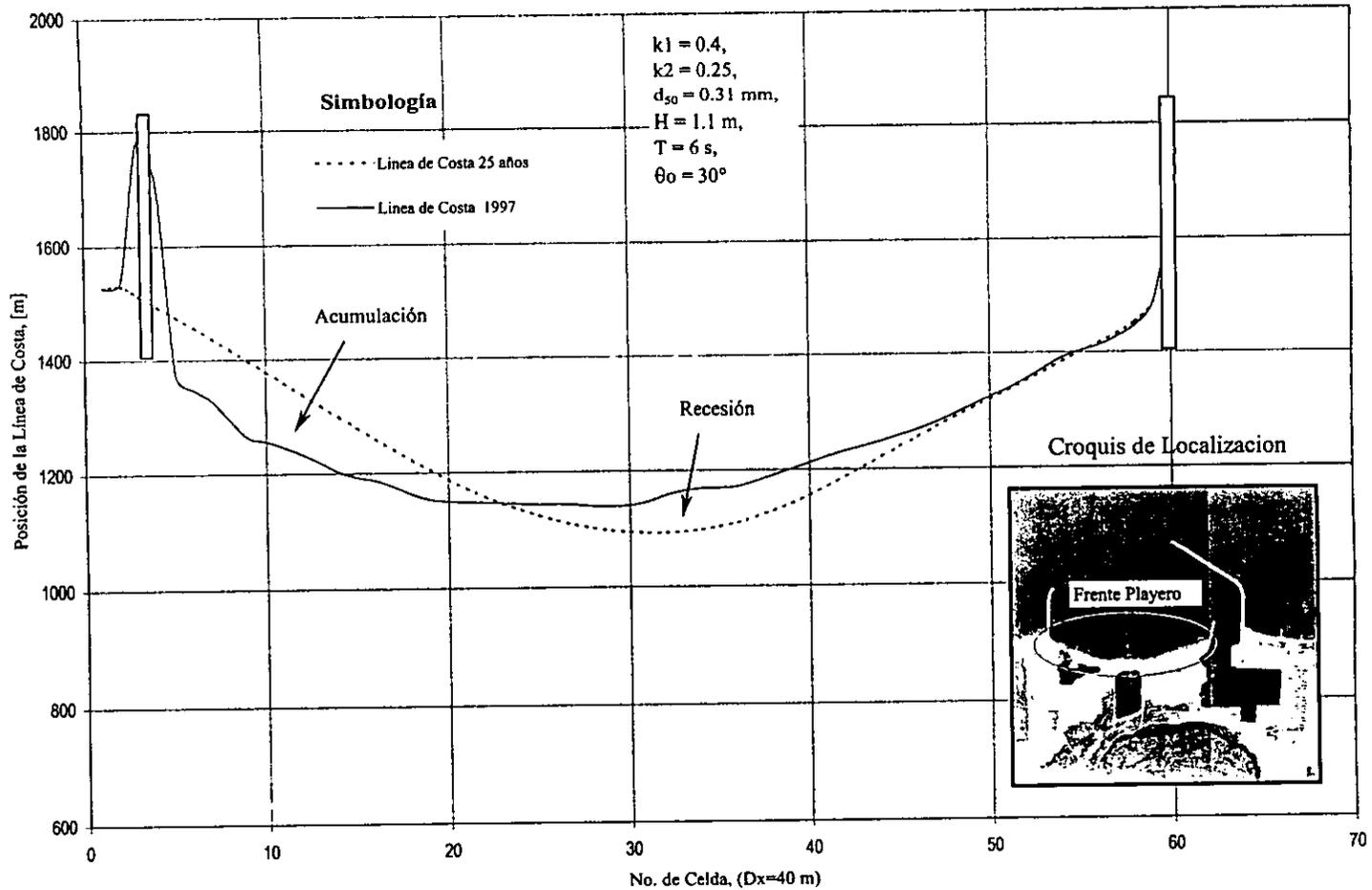


Figura 5.11 Posición de la Línea de Costa / 25 Años

5.4 Simulación con SBEACH ($T_r = 25$ años)

Como se mencionó en el capítulo anterior, para poder aplicar SBEACH es necesario, al igual que GENESIS, calibrar el modelo, para esto se cuenta con un levantamiento topobatimétrico del año de 1990, (PEMEX 1990), el cual usaremos como perfil inicial; también se cuenta con un levantamiento topobatimétrico del año de 1997, (Consultoría Yañez – Taylor 1999), el cual se asume como el perfil final o de comparación; ambos perfiles se muestran en la Figura 5.12.

Es importante señalar que lo recomendable es contar con perfiles del frente playero antes y después de una tormenta, sin embargo, para este caso en particular, la falta de información obliga a hacer estas suposiciones.

En cuanto a la granulometría de la playa, de pruebas de laboratorio, se determinó que el tamaño de grano se puede representar mediante un $D_{50} = 0.31$ mm. Este valor es de importancia ya que en base a él se ajustan los parámetros de calibración del modelo.

Finalmente, los datos de oleaje extremal para modelar el comportamiento del perfil playero se basaron en los resultados obtenidos del análisis realizado a los 34 eventos extremos que se han presentado en la zona de estudio (Tabla 5.1).

En la Figura 5.13 se muestra el resultado de la simulación calibrada, de ella se puede observar que el perfil calculado se encuentra en una posición lejana al perfil final o de comparación, esto se debe a que los perfiles tienen 7 años de diferencia y como se mencionó anteriormente, lo recomendable es tener perfiles antes y después de una tormenta, sin embargo, se puede observar que el perfil calculado tiende a tener la misma forma del perfil final o de comparación lo cual nos permite asumir como buena la calibración del modelo.

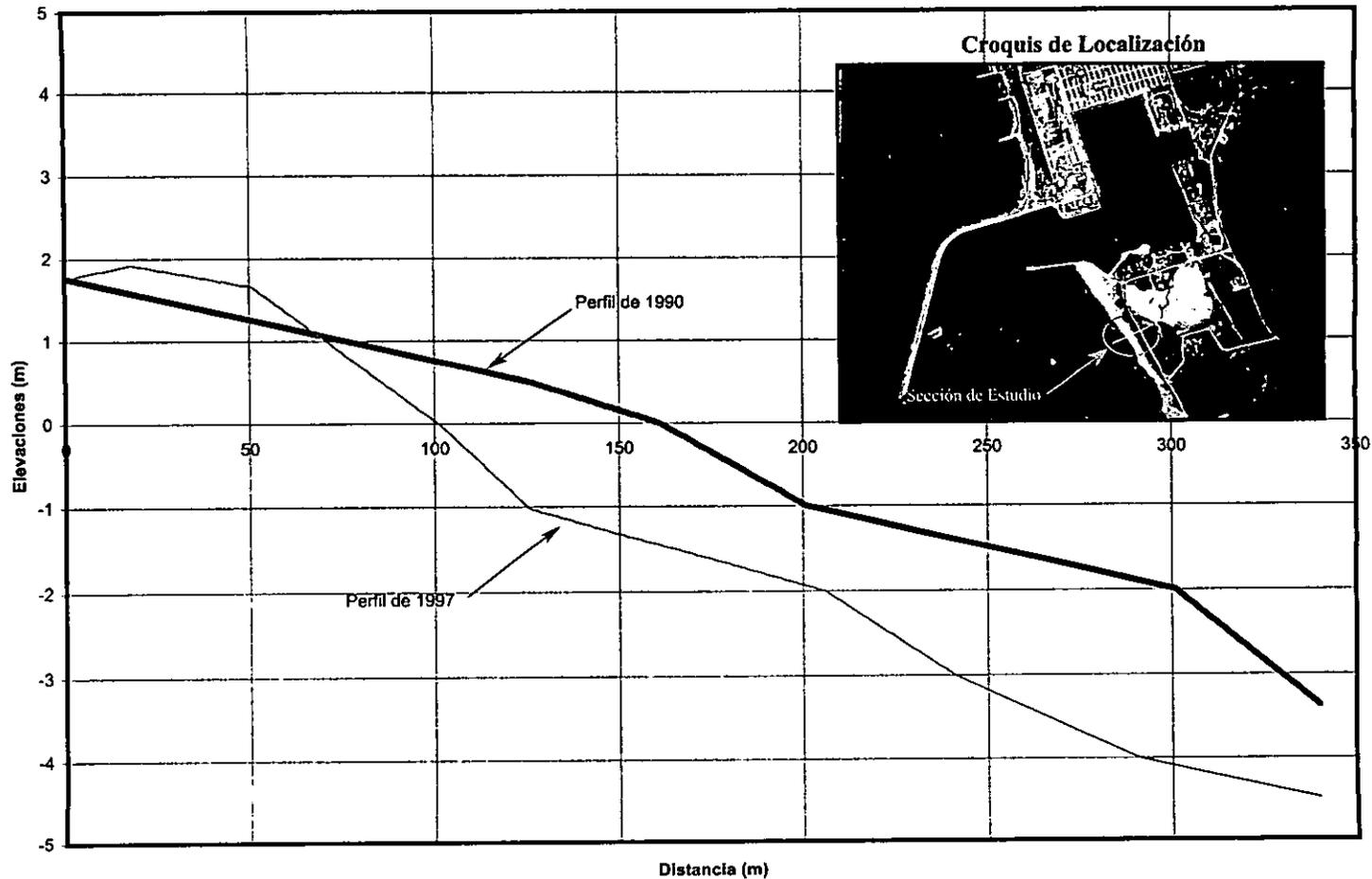


Figura 5.12 Perfiles de Playa 1990 y 1997

Croquis de Localización

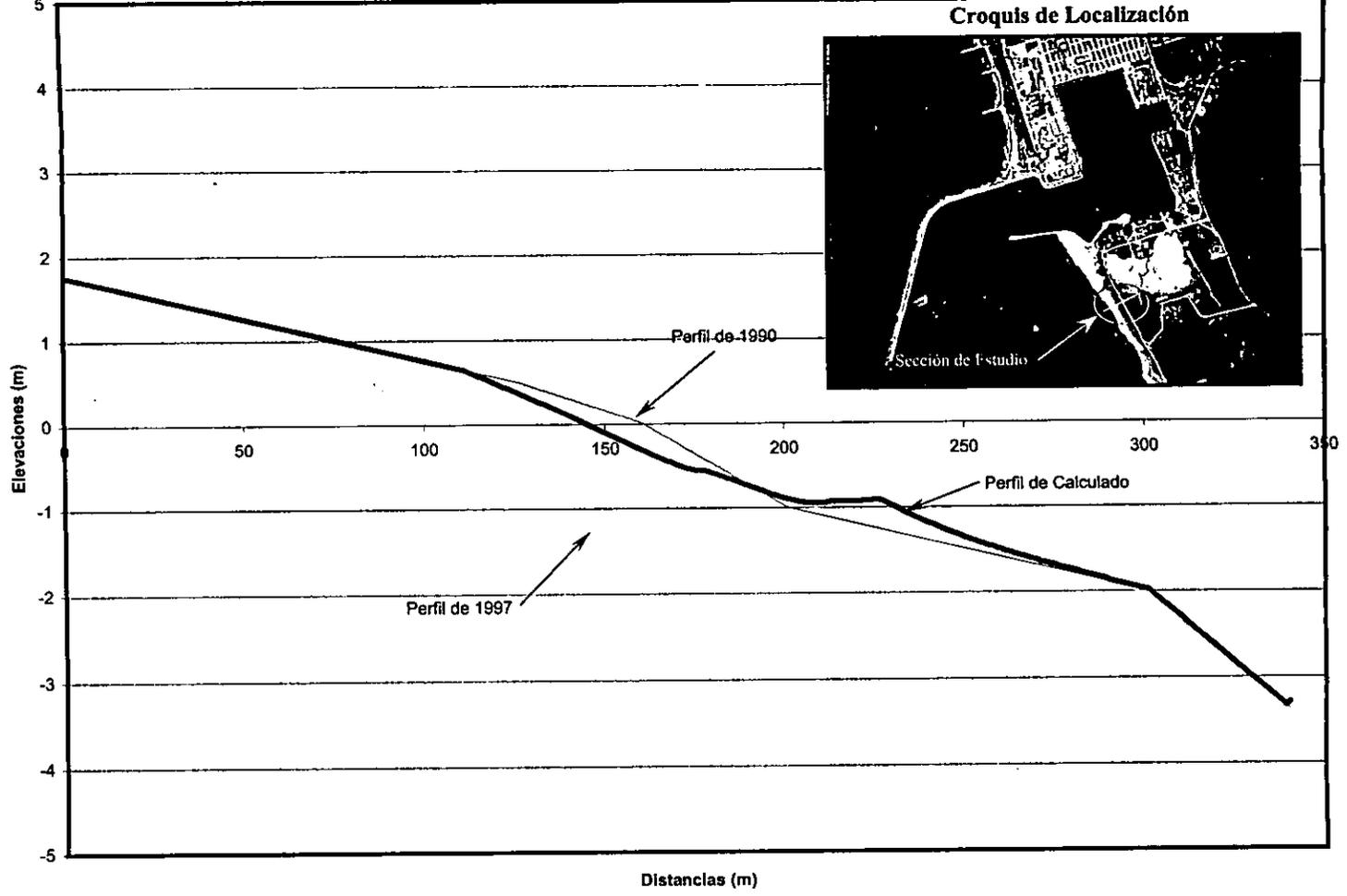
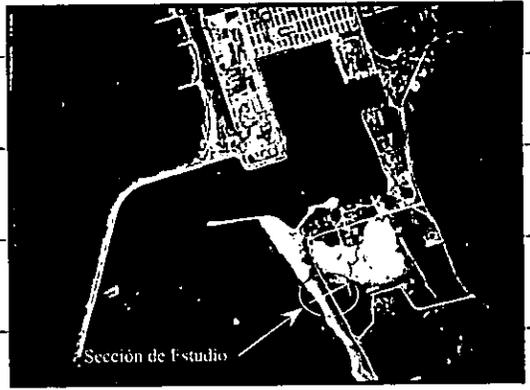


Figura 5.13 Calibración de SBEACH

Ya calibrado el modelo, para obtener el cambio en el perfil costero tomaremos los parámetros de la tormenta de diseño, ($T_r=25$ años), que en este caso es el Huracán Brenda para el cual se registró una marea de tormenta de 0.76 m, una altura de ola $H_s = 4.81$ m con un periodo $T_s = 8.20$ s; según pudo mostrarse en la Tabla 6.1.

En la Figura 5.14 se puede observar el resultado de la simulación, la cual proporciona el perfil de playa después de la tormenta. De la gráfica se obtiene que la recesión máxima de la costa es de 16.10 m, y como se mencionó en el Capítulo 4.0, este valor deberá sumarse al obtenido mediante la simulación con GENESIS y al factor de seguridad para obtener el LCCC.

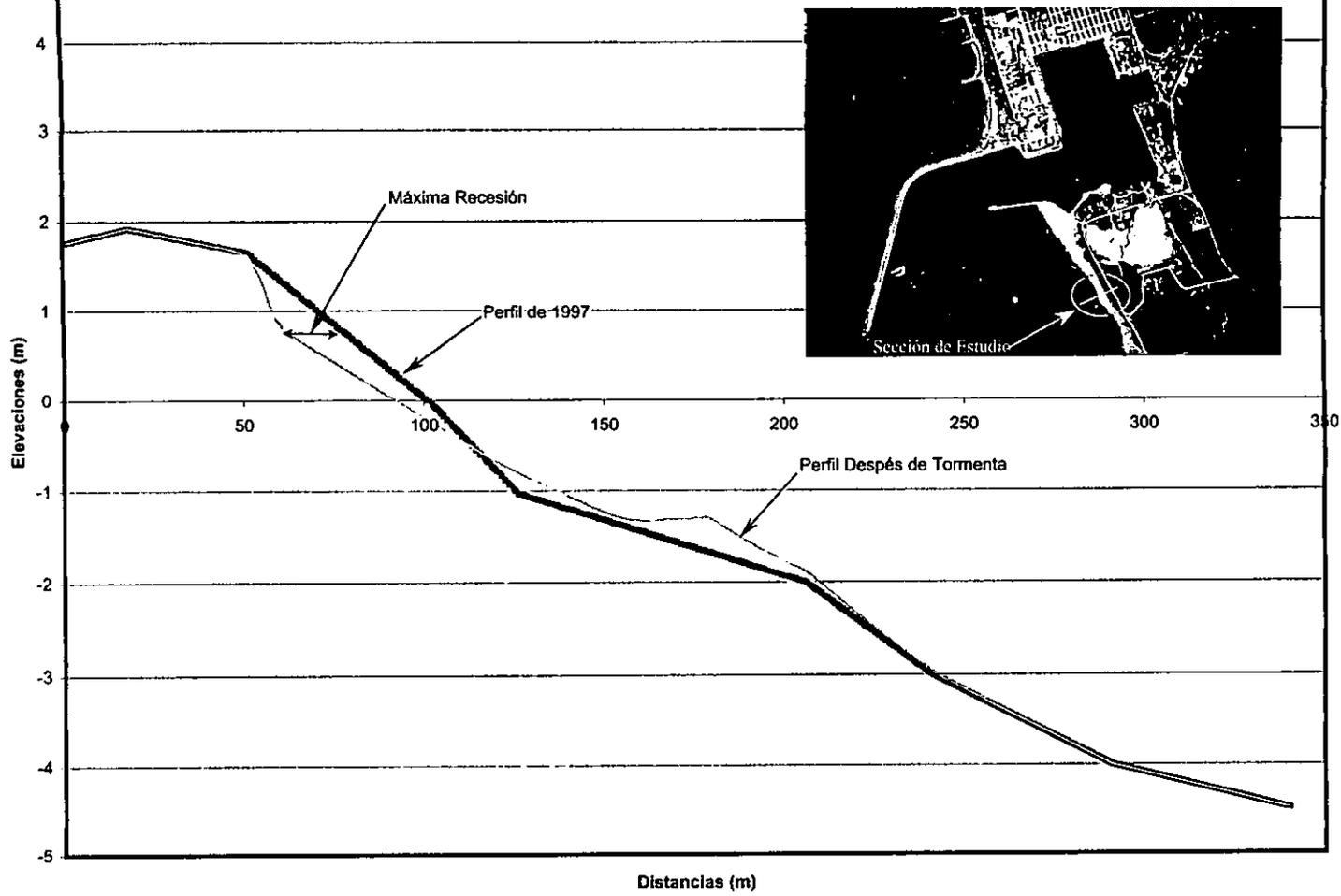


Figura 5.14 Perfil de Playa Después de la Tormenta

5.5 LCCC para el frente playero del Puerto de Dos Bocas, Tabasco.

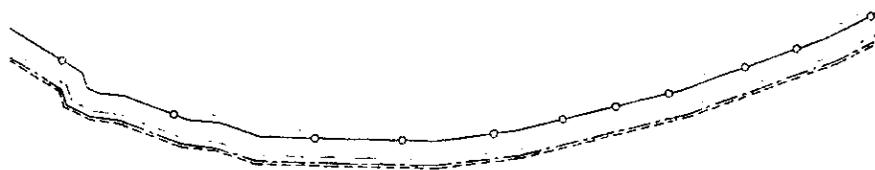
En base a lo establecido en el capítulo anterior, como factor de seguridad, al resultado de las recesiones obtenidas mediante los modelos matemáticos, se le deberá sumar la mitad de la recesión obtenida por SBEACH, que para este caso particular resulta ser de 8.00 m.

Así pues el LCCC se delimitará mediante una poligonal sensiblemente paralela a la línea de costa a una distancia horizontal de 94 m medida desde la cota cero.

En la Figura 5.15 se ilustran las posiciones de la línea de costa obtenidas mediante la aplicación de cada modelo matemático, así como la ZFMT correspondiente según el criterio de delimitación y el LCCC obtenido de los cálculos.



Croquis de Localización



- GENESIS
- - - SBEACH
- - - LCCC

Puerto de Abastecimiento

Figura 5.15
Posiciones de la Línea de Costa Obtenidas de los Modelos, ZFMT y LCCC

De la figura anterior se puede observar que el criterio de delimitación de la ZFMT queda rebasado ampliamente mediante la aplicación de las técnicas de pronóstico y por lo tanto no garantiza seguridad a la integridad física de las construcciones que se pudieran desplantar en el sitio de estudio.

Debido a lo anterior, se concluye que se deben tomar en consideración y desarrollar en el país la aplicación de técnicas de pronóstico de comportamiento de las costas con el propósito de determinar los límites de construcción hacia el mar, que deberán tomarse en cuenta para la planeación de los futuros desarrollos costeros, así como también para realizar un diagnóstico en los desarrollos existentes para determinar en que grado de riesgo se encuentran y así poder tomar medidas preventivas para evitar al máximo los daños que se pudieran causar debida a la acción de fenómenos extremos.

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De lo expuesto en este trabajo de tesis se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En México, las costas juegan un papel sumamente importante, como fue mostrado en el capítulo 2.0, sectores como el turístico y el portuario representan una parte significativa y estratégica de la economía nacional, solo por debajo de los ingresos obtenidos por la venta del petróleo.
- Gracias a su ubicación geográfica, México cuenta con una gran cantidad de costas que se aprovechan para el turismo y muchas más que se pueden explotar en el futuro, lo cual deberá hacerse con una visión de calidad y seguridad para evitar que se presenten desgracias como la del huracán Gilberto en Cancún o el huracán Paulina en Acapulco por mencionar algunas.
- El sector portuario se encuentra en franco crecimiento debido al nuevo esquema que permite la inversión privada, por ello es primordial que los inversionistas minimicen al máximo los gastos por reparación de daños para así poder destinar la mayor parte de los recursos económicos al crecimiento de la infraestructura, por lo tanto y para lograr esto, se debe adoptar una política de prevención de daños.
- En México, las grandes concentraciones de población se encuentran en las ciudades que se localizan en el altiplano, sin embargo es lógico pensar que esto llegará a un límite y surgirá la necesidad distribuir a la población hacia otros lugares estableciendo desarrollos urbanos importantes; dentro de esos lugares unos de los más viables son las costas y por ello es importante que desde ahora se prevenga esta situación desarrollando las medidas legales y técnicas que permitan que se urbanicen de manera adecuada.

- El enfoque de la Zona Federal Marítimo Terrestre, (ZFMT), es meramente administrativo y no esta basada en ningún aspecto técnico que proporcione seguridad a la integridad física de la infraestructura que se desplanta frente al mar, por causa del comportamiento de la costa a largo plazo en condiciones normales ni mucho menos por la acción de fenómenos extremos como los huracanes.
- La ZFMT deja muchos vacíos en cuanto a la explotación de las zonas costeras y en muchas ocasiones queda a juicio y conveniencia del encargado del desarrollo establecer el límite frente al mar en el cual desplantará la infraestructura.
- Es preocupante que, siendo México un país que cuenta con tan grande y variada extensión de litoral con todo lo que ello implica, no se cuente con un programa bien establecido que recopile constantemente información referente a los fenómenos relacionados con el mar y las costas y sus efectos, léase, oleaje, corrientes, mareas, huracanes, perfiles playeros, etc., para que puedan ser utilizados en la realización de proyectos y de esta manera obtener resultados más realistas.

6.2 Recomendaciones

Como parte final del presente trabajo se emiten las siguientes recomendaciones basadas en el conocimiento adquirido al realizarlo.

- Se debe realizar un estudio de comportamiento playero en cada desarrollo costero de importancia con que cuenta el país, en especial los de tipo turístico, para determinar en que grado de seguridad se encuentra la infraestructura de los mismos y de esta manera tomar medidas preventivas en los casos que así lo requieran para evitar al máximo las desgracias provocadas por los eventos extremos.
- El Gobierno Federal debe replantear el concepto de la ZFMT para convertirla en una herramienta que abarque todos los aspectos legales y técnicos referentes al

aprovechamiento de las costas, contemplando en su delimitación el análisis de comportamiento de las costas mediante técnicas de pronóstico como las ilustradas en esta tesis para de esta manera garantizar la integridad física de la infraestructura que se construya en las zonas costeras.

- Para obtener resultados cada vez más confiables de los modelos de pronóstico de comportamiento de costas, se debe contar con una datos actualizados para poder calibrarlos adecuadamente, sin embargo, resulta muy costoso realizar de manera continua y permanente estudios de los procesos físicos descritos en el capítulo 3.0 y de los efectos que éstos causan en las costas, por ello se debe buscar que los organismos que también les interese contar con este tipo de información, (léase PEMEX, API's, líneas navieras, universidades, etc), aporten conjuntamente los recursos para implementar un programa de medición continua y permanente.

- En las universidades se puede establecer una especialidad referente al tema y establecer convenios con instituciones y países que tengan experiencia comprobada en el estudio del comportamiento de las costas, como por ejemplo: la Universidad de Florida, El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, Holanda y Japón, por mencionar algunos; para preparar profesionistas que puedan aplicar en las costas del país los conocimientos adquiridos, además, transmitir sus conocimientos y desarrollar la investigación y experimentación del tema en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- Komar D. Paul (Ed) 1976. Beach Processes and Sedimentation, NJ.
- Molina et al. 1998. Normas Prácticas para el Desarrollo Turístico de la Zona Costera de Quintana Roo, México, Quintana Roo, México
- ASCE 1996. History and Heritage of Coastal Engineering
- Maza et al. 1996 History of Coastal Engineering in México
- Yañez, M. A. 1997. Lagunas Costeras, Bocas de Comunicación y Canales de Alimentación, México D. F.
- Secretaría del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca 2000, Avances y Prospectivas de la Acuicultura en México, México D.F.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes 2000, Los Puertos Mexicanos en Cifras 1993 – 1999 4ª edición, México
- Secretaría de Turismo 1999, El Turismo de México en Cifras, México
- Secretaría de Gobernación 1991, Atlas de Riesgo, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México
- Matías, L. G. 2000, Historia de los Huracanes en la República Mexicana, México D.F.
- Matías, L. G. 2000, Algunos impactos ambientales Generados por los Ciclones tropicales en el Pacífico Mexicano, México D.F.
- Rosengaus, M., Sánchez-Sesma, J., Gilbert: Ejemplo de Huracanes de Gran Intensidad, Ingeniería Hidráulica en México, D.F.
- US Army Corps Of Engineers 1984, Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS
- US Army Corps Of Engineers 1989, GENESIS Report 1 Thecnical Reference, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS
- US Army Corps Of Engineers 1991, GENESIS Report 2 Workbook and System User's Manual, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS
- US Army Corps Of Engineers 1989, SBEACH Report 1 Empirical Fundation and Model Development, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS
- US Army Corps Of Engineers 1990, SBEACH Report 2 Numerical Formulation and Model Test, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS

- US Army Corps Of Engineers 1990, SBEACH Report 3 User's Manual, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS
- Consultoría Yáñez-Taylor 1997, Estudio de Ingeniería Básica para el Desarrollo de la Infraestructura Portuaria para la Exportación de Crudo en el Puerto de Dos Bocas, Tabasco
- Principales Sitios Consultados de Internet

⇒ www.infoport.com.mx

⇒ www.fonatur.gob.mx

⇒ www.semamat.gob.mx

⇒ www.sct.gob.mx

⇒ www.csc.noaa.gov

⇒ www.cenapred.unam.mx

⇒ www.purdue.edu

⇒ www.chl.wes.mil.army

⇒ www.inegi.gob.mx

⇒ www.segog.gob.mx