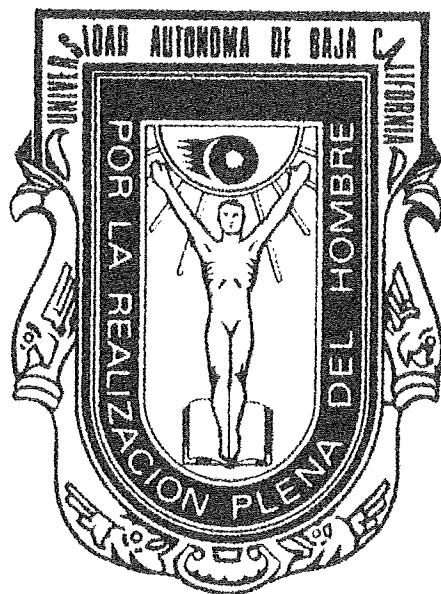


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



VARIACIÓN DEL PERFIL DE PLAYA BAJO CONDICIONES DE
TORMENTA EN LA ZONA DE PLAYAS DE TIJUANA, B.C.



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O
PRESENTA:
HÉCTOR LAZCANO VENEGAS

Ensenada, Baja California, agosto 1997

RESUMEN

En 1963 se inició el desarrollo conocido como fraccionamiento Playas de Tijuana situado a 9 km. al oeste de la ciudad de Tijuana, B.C. y colinda con la frontera Internacional de México con Estados Unidos. En una sección próxima a la costa se construyó un malecón sobre un terreno ganado al mar (relleno), en el cual se utilizaron casi 400,000 m³ de material mucho más fino que el material original de playa. A partir del invierno de 1977-78 una serie de tormentas que generaron oleaje de gran altura erosionaron la parte baja del cantil generado por el relleno, con la consiguiente destrucción de infraestructura urbana. A la fecha no han sido eficientes las medidas para la protección y reconstrucción de tan importante zona. La única protección que existe del oleaje de tormenta en la zona es la angosta playa cuya capacidad como amortiguador a la acción del oleaje de tormenta es muy restringido, incrementando la vulnerabilidad del cantil a la erosión. Actualmente la continua demanda de uso de suelo por el crecimiento urbano de la zona hace necesario evaluar la magnitud potencial del retroceso de playa para disminuir las posibilidades de pérdidas en infraestructura en la zona. En este aspecto es necesario evaluar la erosión de la playa, por medio del análisis morfológico del perfil del playa. Para evaluar tal erosión y detectar los procesos del transporte de sedimento normal a la playa, se analizó la respuesta del perfil de playa bajo diferentes eventos de tormenta, por medio de un modelo numérico conocido como **SBEACH** (Numerical Model for Simulating Storm-Induced **BEACH** **CH**ange). Los coeficientes de transporte utilizados en el modelo para la zona de Playas de Tijuana, B.C. son: $K=1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$, $Eps=0.002 \text{ m}^2/\text{seg}$, $LAMM=0.2$. En los tres eventos de tormenta simulados se observó retroceso considerable entre las cotas +1 y +3 m, con una máxima erosión del perfil que varía entre 1.0 y 1.5 m en el pie del cantil. La playa es mucho más vulnerable a la erosión cuando ocurre una serie de eventos de tormenta aunque con altura de ola menores a las observadas en eventos de tormenta con duración de 1 o 2 días.

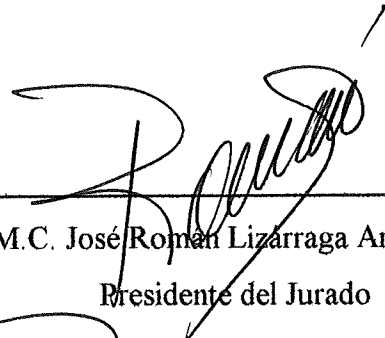
**VARIACIÓN DEL PERFIL DE PLAYA BAJO CONDICIONES DE
TORMENTA EN LA ZONA DE PLAYAS DE TIJUANA, B.C.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
O C E A N Ó L O G O

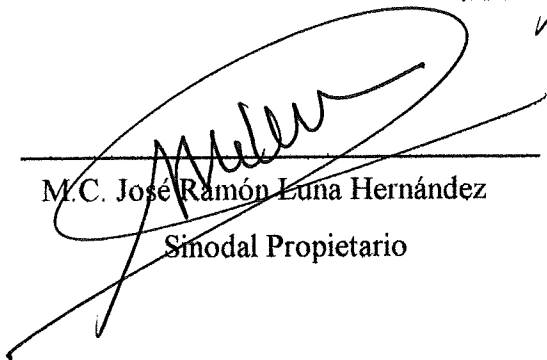
Presenta:

Héctor Lazcano Venegas

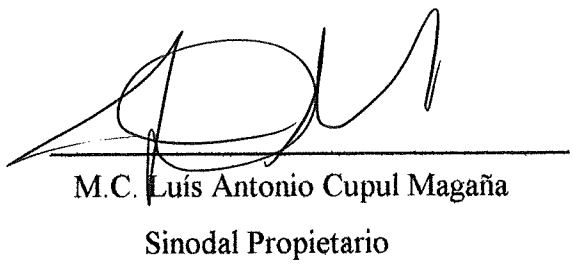
APROBADA POR:



M.C. José Román Lizarraga Arciniega
Presidente del Jurado



M.C. José Ramón Luna Hernández
Sinodal Propietario



M.C. Luis Antonio Cupul Magaña
Sinodal Propietario

Dedicatoria

A mis padres Héctor G. Lazcano Sandoval y Margarita Venegas de Lazcano, por su apoyo incondicional y por darme la oportunidad de una educación.

A mi única hermana Aurelia, por lo que hemos compartido en las buenas y en las malas, gracias por el apoyo en estos días.

A la familia Lazcano Castro que en algún momento de mi vida me hicieron reflexionar

A la familia Avila gracias por su respaldo y por abrir las puertas de su casa.

A todos mis compañeros de la Generación XLI (Snorquel's). Bruno, Luis, Jocelyn, Daniel, Oscar, Diego B., Cuauhtemoc, Diego G., Gerardo, Kathia, Lisa, Cecilia E., Luis P., Hector B., Chalo, J.Jesis, Gilberto, Juam Carlos, Berenice, Flor, Jose Maria, Rene, Raquel, Erika, Alejandra, Gerardo S.y Cecilia.

Agradecimientos

Al M.C. Román Lizárraga Arciniega, por su paciencia y tiempo que dedicó para esta tesis, por sus consejos y apoyo dentro de los congresos, por haberme brindado la oportunidad de aprender tanto en tan poco tiempo.

A mis sinodales M.C. Luís A. Cupul Magaña y M.C. Ramón Luna Hernández por sus valiosos comentarios y observaciones que hicieron mejor este trabajo.

Al Oc. Alfredo Chee Barragan por su apoyo en las mediciones de campo.

Al Derpartamento del Nivel del Mar (CICESE) y al M.C. Cuauhtémoc Nava Button por su atención y disponibilidad de datos.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A la planta de maestros de la Facultad de Ciencias Marinas por su tiempo y enseñanza durante toda mi carrera.

A mis compañeros de casa Gilberto y Juan Carlos por acompañarme los últimos años de la carrera.

Un sincero agradecimiento a todas aquellas personas que me ayudaron con sus comentarios en la elaboración de este trabajo.

Índice General

	Página
Resumen	<i>i</i>
Dedicatoria	<i>ii</i>
Agradecimientos	<i>iii</i>
Índice de Figuras	<i>v</i>
Índice de Tablas	<i>vii</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Antecedentes	4
I.2. Hipótesis	11
I.3. Objetivo	11
I.4. Descripción del área de estudio	12
II. METODOLOGÍA	14
II.1. Bases del Modelo	14
II.2. Análisis, selección e incorporación de datos al modelo	15
II.2.1. Oleaje	15
II.2.2. Nivel del mar	16
II.2.3. Características del perfil playa	17
II.2.4. Tamaño de sedimento	18
II.3. Manipulación de la estructura del modelo	18
II.3.1. Calibración	19
II.3.2. Verificación	20
II.3.3. Simulación	20
III. RESULTADOS	21
IV. DISCUSIONES	39
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
Literatura Citada	50

Índice de Figuras

	Pagina
Figura 1. Área de estudio cantil y berma de la playa (Otoño/1994).....	7
Figura 2. Localización del área de estudio (Playas de Tijuana, B.C.).....	13
Figura 3. Numero de observaciones de altura de ola registradas en el arreglo de Imperial Beach, CA. durante las temporadas invernales (Noviembre a Marzo) de 1983 a 1995.....	21
Figura 4. Evento de tormenta con duración promedio del 21 al 22 de Marzo de 1991.....	23
Figura 5. Evento de tormenta con máxima altura de ola 01 de Febrero de 1986.....	24
Figura 6. Eventos de tormenta consecutivos del 28 de febrero de 1991 al 07 de marzo de 1991.....	25
Figura 7. Perfil de playa localizado en la parte norte.....	26
Figura 8. Perfil de playa localizado en la parte sur.....	26
Figura 9. Tamaño de sedimento (perfil norte): a) muestra de berma, b)muestra de rompiente.....	27
Figura 10. Tamaño de sedimento (perfil sur): a) muestra de berma, b) muestra de rompiente.....	27
Figura 11. Perfiles de playa (SS-0003) situado al norte de Playas de Tijuana, B.C.....	28
Figura 12. Altura de ola y nivel del mar durante el evento de tormenta simulado en calibración (9 al 11 de febrero de 1984).....	29
Figura 13. Simulación del perfil del playa bajo el proceso de calibración.....	30
Figura 14. Altura de ola y nivel del mar para el evento de tormenta simulado en verificación(14 al 16 de Enero de 1986).....	30
Figura 15. Simulación del perfil de playa bajo el proceso de verificación.....	31

	Pagina
Figura 16. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta con altura máxima de ola (01 de febrero de 1986).....	33
Figura 17. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta con duración promedio (21 a 22 de marzo de 1991).....	34
Figura 18. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta consecutivo (28 de febrero al 07 marzo de 1991).....	35
Figura 19. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta con altura máxima de ola (01 de febrero de 1986).....	36
Figura 20. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta con duración promedio (21 a 22 de marzo de 1991).....	37
Figura 21. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta consecutivo (28 de febrero al 07 marzo de 1991).....	38

Índice de Tablas

	Pagina
Tabla I. Eventos de tormenta identificados.....	22
Tabla II. Resultado de la simulaciones realizadas para el proceso de calibración y verificación del modelo y de los evento de tormenta seleccionado.....	32

I. INTRODUCCIÓN

La línea de costa representa la interfase entre la atmósfera, océano y continente, asimismo comprende una de las regiones mas variables a nivel mundial. Sobre esta región se encuentran depósitos de material sedimentario no consolidado conocido como playas, los cuales, se hallan en un constante movimiento en respuesta a procesos generados por el oleaje, mareas, corrientes, viento y factores geológicos, fenómenos que originan una compleja dinámica en la región e influyen de manera continua en la morfología y configuración de las misma. (Aubrey, 1980).

El oleaje incidente, como uno de los principales agentes modificadores del frente de playa, provoca corrientes que transportan y distribuyen sedimento principalmente en dos sentidos: normal y paralelo a la playa (Wiegel, 1964; Bascom, 1964). La importancia del transporte producido por el oleaje radica fundamentalmente en el hecho de que es el que origina y regula, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros (Frias y Moreno, 1988).

Una de las principales formas para observar los cambios en la playa originados por el oleaje y el transporte en sentido perpendicular a la misma, es por medio del perfil de playa, el cual como rasgo topográfico, actúa como un mecanismo natural de disipación de energía, al provocar el rompimiento de las olas y al mismo tiempo, proteger a la parte posterior de la playa de la acción del oleaje (Komar, 1976).

La morfología del perfil de playa se relaciona directamente a las características de la altura (H) y periodo (T) del oleaje asicomo de su ángulo de incidencia(α), los cuales

presentan cambios a lo largo del año y conforme a la relación entre altura y longitud de ola H/L (pendiente de la ola) refleja el transporte de arena en dirección hacia la playa ó hacia el mar abierto (Komar, 1976).

Los principales cambios del perfil de playa se presentan de manera estacional y se refieren como el perfil de verano (perfil de calma) y perfil de invierno (perfil de tormenta). El perfil de verano se caracteriza por tener una berma ancha y plana, con pendiente suave hacia el mar y se forma cuando $H/L < 0.03$. En cambio, el perfil de invierno cuya formación ocurre cuando $H/L > 0.03$, se caracteriza por no tener berma y presentar una pendiente mayor con barras arenosas paralelas a la costa (Bascom, 1951; Winant *et al.*, 1975; Komar, 1976). Este comportamiento muestra excepciones ya que en verano pueden presentarse eventos de tormenta y formar un perfil de invierno y viceversa, en la temporada invernal la persistencia de oleaje bajo puede formar un perfil de calma.

La erosión de importantes volúmenes de sedimento en la playa, ocurre en períodos cortos de tiempo y está regida por la ocurrencia de tormentas en la zona (Dubois, 1988; Hallermeier, 1981). Estos eventos dan lugar a la formación de olas con alturas significativas mayores y pueden producir una recesión considerable de la costa (Kuhn y Shepard, 1983; Mancillas y Sánchez, 1989). Estas modificaciones en la costa pueden influir en el desarrollo de proyectos de infraestructura costera y de protección, e intervenir a su vez sobre la evolución de la misma (Castillon-Alvarez, 1988).

En años recientes la ingeniería costera se ha enfocado en el estudio y desarrollo de modelos numéricos que simulen los cambios en el perfil de playa con la capacidad de

predecir la formación y evolución de las principales características del perfil de playa particularmente, en la zona de la berma y en las barras arenosas (Larson y Kraus, 1989), por lo que es de gran importancia utilizar esta herramienta para evaluar y predecir el efecto del oleaje y el transporte de arena que produce sobre el perfil de playa.

Por lo tanto, el estudio sobre la cantidad de sedimento que se mueve sobre la playa y su efecto sobre el perfil de playa es una herramienta auxiliar en la determinación de patrones de erosión y depositación en las playas.

I.1. ANTECEDENTES

En 1963, se inició la construcción del fraccionamiento Playas de Tijuana situado al oeste de la Ciudad de Tijuana, B.C. En una sección de la costa se colocó un relleno de material con una longitud de 1500 m, 50 m de ancho y una altura media sobre el nivel de playa de 4.5 m, utilizando un volumen de material del orden de 400,000 m³. Sobre este relleno se construyó un malecón y un boulevard costero. A partir de su construcción no se había registrado ningún evento de erosión hasta los eventos de tormenta ocurridos en la temporada invernal de (1977-78), los cuales erosionaron la playa y parte del cantil generado por el relleno con la consiguiente destrucción, no nada mas del malecón, sino de la infraestructura urbana existente en el área adyacente como restaurantes, residencias e infraestructura de servicios.

Cupul-Magaña (1983), concluyó que los procesos erosivos suscitados en Playas de Tijuana fueron causados por: a) Mayor ocurrencia de olas de período largo; b) Alcance del "run-up" combinado con mareas altas que actuaron sobre la base del cantil; c) Incompatibilidad textural del material de relleno con el sedimento original de la playa; d) Efecto de la presa Rodríguez y la canalización del Río Tijuana como posible trampa de sedimento cortando el aporte al sistema costero.

Los eventos de tormenta registrados en nuestra región se generan en la parte norte del Océano Pacífico, desde el sureste de Asia hasta el Golfo de Alaska y coinciden con las estaciones de invierno y primavera; los centros de baja presión que se originan al sur de Alaska favorecen la aparición de tormentas en la región central del Pacífico norte y

posteriormente se desplazan con olas de mayor altura sobre las costas de California y el norte de Baja California (González-Villagran, 1992). Mediciones han revelado que mas del 80% de la energía producida por el oleaje local se encuentra distribuido en olas con periodo de 5s y mayores. Cuando el oleaje lejano con una altura mayor a 0.91 m esta presente, el porcentaje de energía alcanza hasta un 90%. Esto indica que el oleaje producido a una gran distancia en mar profundo (swell), influye de manera importante en la línea de costa de la región (Flick y Sterrett, 1994).

Los eventos de tormenta han tenido efectos significativos en la zona: durante los meses de Enero y Febrero en el invierno 1977-78 en el estado de California E.U., se observaron condiciones de tormenta que en combinación con mareas vivas y acompañado con vientos de alta intensidad, causaron la erosión de sus playas y daños severos a estructuras costeras de protección (Domurat, 1978; Kuhn y Shepard, 1981). De la misma manera, a partir del mes de Febrero de 1978 la zona de Playas de Tijuana, B.C. fue atacada por una serie de tormentas que originó una erosión significativa de la playa y postplaya (acantilado), este evento fue el detonador de la erosión intensa que ha tenido hasta la fecha esta zona (Gonzalez-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986).

En el invierno de 1982-83 se observaron tormentas que originaron oleaje con una altura máxima de 8.2 m con períodos largos de 20s en aguas profundas y causaron daños severos en las costas de California, E.U. (Seymour *et al.*, 1984). Los factores que intensificaron los efectos de la tormenta registrada en el invierno de 1982-83 fue que el oleaje alto inducido por tormenta coincidió con mareas vivas y afectó, principalmente a la

costas de California, ya que se registró un incremento del nivel medio del mar mucho mayor al promedio predicho, como el observado en San Diego, CA. el día 27 de enero de 1983 de 2.54m sobre el NBMI (Flick y Cayan, 1984; Wiegel, 1992).

Del 16 al 18 de Enero de 1988, se registró un evento de tormenta en 21 estaciones olográficas a lo largo de la costa de California, desde San Francisco CA. hasta la estación encontrada en Mision Bay, CA; donde se registró una altura máxima de ola en aguas profundas de 11.4 m con un periodo pico de 17s y mostró una distribución de altura significativa con un periodo de retorno calculado de 200 años (Seymour, 1989; Strange *et al.*, 1989; Zueck y Bartel, 1989). Simultáneamente, se observó un aumento del nivel del mar, desde San Francisco CA. hasta San Quintin, B.C. con un incremento de 10 hasta 25 cm. con respecto a la marea predicha para todas las estaciones, lo que intensificó la severidad de la tormenta y ocasionó grandes daños a estructuras costeras a todo lo largo de la costa de California y Baja California (Flick y Badan, 1989; Armstrong y Flick, 1989). Este evento provocó la erosión hasta de 190 m³/m de frente de playa registrado en 8 días (15 al 23 de Enero de 1988) en las playas de Dockweiler/El Segundo California (Egense, 1989).

En la mismas fechas, Enero de 1988, Baja California sufrió una inundación de las costas intensificando la erosión de playas y la destrucción de infraestructura costera. Los puntos mas afectados fueron el área de Tijuana, Rosarito, La Salina y el Puerto de Ensenada (Mancillas y Sánchez, 1989).



Figura 1.- Área de estudio cantil y berma de la playa (Otoño/1994).

Hoy en día, en Playas de Tijuana existe una angosta playa arenosa y el cantil formado en el margen costero del relleno se ha erosionado, mostrando un retroceso importante (Fig. 1). Desde la destrucción de la zona en el año de 1978, la reconstrucción y protección de tan importante obra de recreo y actividad comercial no ha sido eficiente y aún en los mismo años se ha observado el desplome de otras construcciones sobre la playa. La zona tiene como única protección contra el embate de las olas, la angosta playa al pie del relleno y su capacidad como amortiguador a la acción del oleaje de tormenta es muy restringido incrementando la vulnerabilidad del cantil a la erosión.

Actualmente la continua demanda de uso de suelo por el crecimiento urbano de la zona hace necesario evaluar la magnitud potencial de la erosión costera para disminuir las

posibilidades de pérdidas en infraestructura en la zona. En este aspecto, el análisis de la evolución y/o predicción de variación del perfil de playa bajo condiciones de tormenta puede proporcionar una valiosa ayuda.

Las principales formas de evaluar estos cambios del perfil de playa (Kana, 1977; Aubrey, 1979; Balsillie, 1986) son:

- 1.- La comparación histórica de perfiles.
- 2.- La medición directa del perfil mediante el registro de distancia y diferencias de altura en sentido perpendicular a la costa.
- 3.- El empleo de modelos numéricos y analíticos.

Los modelos numéricos más utilizados en años recientes son el **GENESIS** (Generalized model for simulating shoreline changes), **Kriebel** y **SBEACH** (Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change), (CCSTWS, 1991a; Larson y Kraus, 1989; Gravens, 1989)

La principal diferencia entre ellos es que **GENESIS** predice cambios en la posición de línea de playa en función del transporte a lo largo de la costa, aún en presencia de estructuras. El modelo de **Kriebel** desarrollado por **Kriebel** (1982,1986), **Kriebel** y **Dean** (1985 cit. por Larson y Kraus, 1989), fué diseñado para simular el comportamiento del perfil de playa bajo condiciones erosivas, particularmente en la zona de dunas (Larson y Kraus, 1989; Work y Dean, 1995). Ambos modelos numéricos **Kriebel** y **SBEACH** modelan el cambio del perfil (alto y ancho de playa). En años recientes el modelo **GENESIS** fué utilizado en la Bahía de Bolsa Chica, CA. con el propósito de evaluar el

impacto que produciría sobre la línea de costa adyacente la construcción de una nueva entrada al sistema de la Bahía, e investigar alguna alternativa en caso de algún efecto adverso provocado por la estructura (Gravens, 1989; Rosati *et al.*, 1993; Appendini-Albrechtsen, 1995).

En comparación, el modelo SBEACH es un modelo numérico que predice la variación en altura del perfil de playa en función solamente del transporte normal a la misma, por lo que se considera como un modelo que analiza variaciones verticales en dos dimensiones (ancho y alto). Este modelo en su concepción, simula la respuesta del perfil de playa en condiciones de tormenta (Larson *et al.*, 1989). El modelo numérico SBEACH se ha utilizado con resultados satisfactorios en las costas de California en la playa conocida como Torrey Pines Beach, CA., bajo condiciones de tormenta ocurridas entre Diciembre de 1975 y Enero de 1977 alcanzando un gran éxito en la simulación (Kadib *et al.*, 1989); en la zona de Imperial Beach, CA., simulando los cambios del perfil de playa bajo eventos de tormenta ocurridos el 28 de Febrero al 4 de Marzo de 1983 y el evento de tormenta ocurrido del 16 al 19 de Enero de 1988, obteniendo resultados satisfactorios (CCSTWS, 1991a); en Argentina en la costa de Mar de Ajó y Pinamar en el Océano Atlántico, se obtuvieron resultados favorables aunque la información de altura de ola y nivel del mar para los eventos de tormenta ocurridos entre Agosto de 1974 y Noviembre de 1976 haya sido limitada (Caviglia y Pousa, 1996).

El manejo del modelo numérico SBEACH no exige extensas mediciones de campo, permite un amplio manejo de las variables que influyen en la forma y posición del perfil de playa y su operación no requiere de infraestructura computacional mayor.

I.2. HIPÓTESIS.-

Bajo condiciones de tormenta el perfil de playa en la zona de Playas de Tijuana, B.C. manifestará un importante proceso erosivo del material arenoso exponiendo la parte inferior del cantil costero y elevando su vulnerabilidad a la erosión.

I.3. OBJETIVO

Estimar los cambios máximos del perfil de playa y de la postplaya bajo condiciones de tormenta en la zona de Playas de Tijuana, B.C.

I.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Playas de Tijuana se localiza 9 km. al Oeste de la ciudad de Tijuana, B.C. a los $32^{\circ} 32'$ y $32^{\circ} 28'$ de latitud norte y a los $117^{\circ} 08'$ y $117^{\circ} 06'$ de longitud oeste (Fig. 2), se caracteriza por ser una costa expuesta con isobatas casi paralelas a línea de costa (Hernandez-Walls, 1986). En la parte norte de Playas de Tijuana, se sitúa una playa de aproximadamente 2 km de longitud la cual está constituida principalmente de arena con un tamaño de grano que varía entre 0.5 a 0.12 mm: inmediatamente al norte de la frontera con E.U. se encuentra la desembocadura del Río Tijuana el cual forma un delta situado entre Imperial Beach, CA., y Playas de Tijuana, México, hacia el Este se limita por un cantil constituido por sedimento semiconsolidado (limo arcilloso) con una altura 8.75 m sobre el NMM en el perfil norte y 11.85 m sobre el NMM en el perfil sur, mientras que hacia el sur se limita por el promontorio rocosos conocido como Punta Costa Azul. El oleaje incidente generado por eventos de tormenta en la parte norte del Océano Pacífico coincide con las estaciones de invierno y primavera en la región.

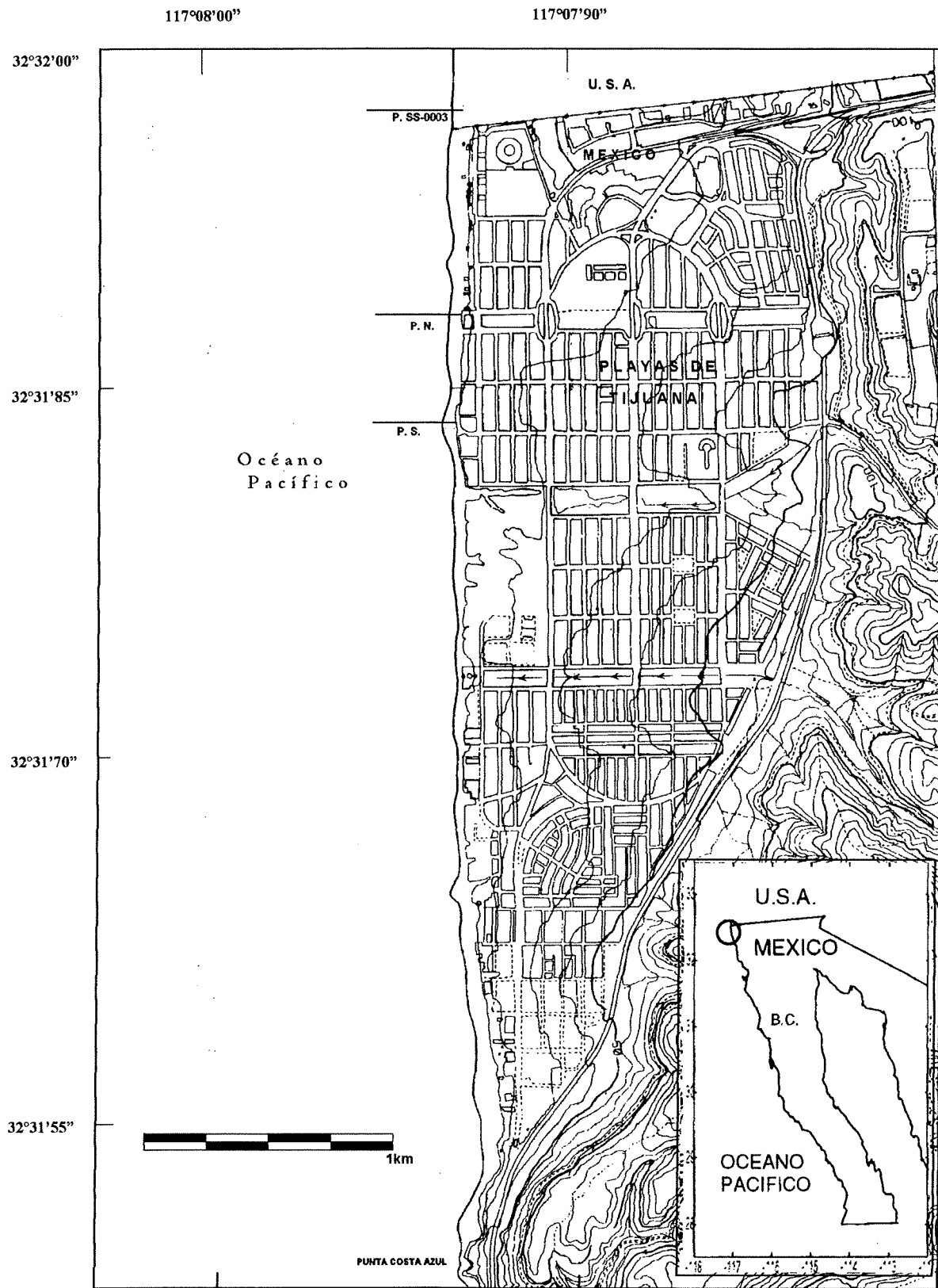


Figura 2.- Localización del área de estudio.

II.- METODOLOGÍA

II.1 Bases del Modelo.-

En este estudio se analizó la variación del perfil de playa y el posible efecto sobre el cantil que produciría la ocurrencia del oleaje de alta energía generado por las tormentas invernales en la región. Para ello se utilizó el modelo numérico SBEACH (Larson y Kraus, 1989; Larson *et al.*, 1990; Rosati *et al.*, 1993; Wise *et al.*, 1996) siguiendo los procedimientos señalados por estos autores y se resume de la siguiente forma:

- 1.- Análisis y selección de datos de las variables.
- 2.- Manipulación de la estructura del modelo.
- 3.- Calibración y Verificación del modelo.
- 4.- Análisis Gráfico.
- 5.- Evaluación de los cambios gráficos del perfil de playa.

La ejecución del modelo requiere de estructurar la información en archivos individuales de:

- >Climatología del oleaje (altura y periodo)
- >Variación del nivel del mar.
- >Intensidad y dirección del viento.
- >Tamaño de sedimento.
- >Configuración del perfil de playa y de la parte posterior de la playa.

A continuación se señalan los procedimientos que se siguieron para la integración de cada uno de ellos.-

II.2 Análisis, selección e incorporación de datos al modelo

II.2.1 Oleaje

Debido a la proximidad de la zona estudio, así como a la continuidad de sus registros y al período de tiempo del mismo, se seleccionó la información de oleaje medido por un arreglo de sensores situado en Imperial Beach, CA. localizado a los 32°35.0' latitud norte y 117°08.2' longitud oeste y a 10.2 m de profundidad (aguas someras). Este arreglo forma parte de diferentes estaciones que registran el oleaje y otras variables desde el estado de Oregon en E.U. hasta la frontera de E.U. con México y es operado por CERC y SCRIPPS bajo el programa CDIP (Costal Data Information Program) (Domurat, 1981).

Para detectar la ocurrencia y persistencia de las tormentas con base a la altura de ola que arriba a la costa se analizaron los datos del arreglo registrados cada 6 hr para los períodos invernales de Noviembre a Marzo de los años de 1983 a 1995.

Se estableció que un evento de tormenta es aquel que registró una altura de ola ≥ 1.40 m ya que este valor corresponde a la altura de ola promedio de todos los registros más una desviación estándar.

Dado que se observan los registros de altura de ola ≥ 1.40 m con una duración de algunas horas (6 y 12 hrs) y los registros de oleaje incluyen el oleaje generado por tormentas locales y por tormentas lejanas, es necesario eliminar la ocurrencia aislada de oleaje referido a esta altura, por lo que se seleccionaron aquellos registros con una altura de ola ≥ 1.40 m y que presentan una ocurrencia de 18 hr o más en el día. Este criterio se

estableció de acuerdo con lo determinado en la predicción de eventos de tormenta con oleaje extremo para los años de 1990 a 2040 realizado por el (CCSTWS, 1991a) para las costa del California, los cuales presentan una duración de alrededor de 1 día y menores a 2 días. De esta manera se obtuvieron alrededor de 104 eventos de tormenta en la región.

Considerando que la variabilidad en intensidad, duración y periodicidad de tormenta influye de manera diferente en la forma del perfil de playa, se procedió a analizar los 104 eventos previamente señalados para seleccionar:

- a).- El evento de tormenta con duración promedio.
- b).- El evento de tormenta con una altura de ola máxima registrada
- c).- Persistencia de eventos de tormenta durante un lapso de 8 días.

De esta manera, las características del oleaje de tormenta (altura y período) así como el número de días de los mismos se almacenó en el archivo de entrada "data_set.WAV" para el modelo y posteriormente simular la influencia de cada una de estas condiciones de tormentas en el perfil de playa.

II.2.2 Nivel del Mar

Junto con los datos de oleaje, se observaron los registros del nivel del mar de la estación mareográfica situada en Scripps Pier, CA. a los 32°52.0' latitud N y 117°15.4' longitud W (NOAA, 1988). Los registros obtenidos son una serie de datos que comprenden los años de 1986 a 1992 registrando el nivel del mar cada hora. Estos datos son referidos originalmente al "0" de la regla. Para determinar el nivel de marea referido al nivel medio del mar (NMM), se calculó el valor medio de todos los datos que es igual a

2.166 m. Para referirlos al datum del NMM de Scripps Pier, CA. (2.091m) se determinó una corrección de $(2.166-2.091= 0.075 \text{ m})$ mismo que se resto a cada uno de los datos originales para obtener el NMM referido. Los datos del nivel del mar se almacenaron en un archivo de entrada "data_set.ELV" para su posterior utilización dentro del modelo.

II.2.3 Características del perfil de playa y de la parte posterior de la playa

Los perfiles de playa estudiados corresponde a condiciones pre-tormenta y post-tormenta, ya que esta es la información de entrada del modelo SBEACH y a partir de estos se simulan los cambios del perfil de playa inducido por un evento de tormenta. Los primeros fueron obtenidos en Octubre de 1983 [SS-0003] (CCSTWS, 1991b) en la zona inmediatamente al norte de la zona de estudio y los segundos mediante mediciones realizadas el 23 de Abril de 1996 del perfil de playa y de la parte posterior de la playa (cantil), siguiendo la técnica de nivelación topográfica simple descrita por (Montes de Oca, 1989). Los perfiles representativos de las condiciones de invierno se obtuvieron mediante la medición directa por la técnica señalada anteriormente, ambos perfiles se refirieron a un banco de nivel instalado por SEDUE con una altura de 15.19 m sobre el NMM (Nivel Medio del Mar).

Es recomendable que el perfil de playa incluya la zona de rompiente por lo que en el momento de la medición se estimó la altura de rompiente y la profundidad de rompiente; utilizando el criterio de McCowan cit. por Komar (1976), a partir de este punto se extendió el perfil de playa con la información obtenida por (CCSTWS, 1991b) perfiles realizados inmediatamente al norte de la zona de estudio, de esta manera se

prolongaron los perfiles de playa a una distancia de 500 m a partir del banco del nivel establecido. De esta forma se recabo la información del perfil de playa, ya que en la zona de estudio es limitada la información de perfil de playa. Una vez obtenidos estos datos se almacenaron en un archivo de entrada "data_set.PRI" para integrarlo al modelo.

II.2.4 *Tamaño de sedimento*

Esta variable se obtuvo a partir de 4 muestras de arena colectadas en la zona de rompiente y berma sobre el perfil norte y sur respectivamente, se calculó el tamaño grano promedio de las muestras por medio de un análisis granulométrico de acuerdo al método descrito por Folk (1974).

II.3 Manipulación de la estructura del Modelo

La aplicación de la metodología del modelo SBEACH exige de un proceso de calibración y verificación previo al proceso de predicción. El termino calibración se refiere al proceso para definir los valores de los coeficientes de transporte (**K**= coeficiente de proporción de transporte; **Eps**=coeficiente de transporte del termino de pendiente y **LAMM**=coeficiente de transporte para la porción fuera de la linea de rompiente) que permita al modelo reproducir los cambios del perfil de playa medidos en un intervalo de tiempo definido. Una vez calibrado, se inicia un proceso de verificación aplicando el modelo ya calibrado para que reproduzca los cambios del perfil de playa en un intervalo de tiempo distinto al de calibración, si la verificación es satisfactoria indica que las predicciones del modelo son independientes de los intervalos de simulación. (Appendini-Albrechtsen, 1995).

II.3.1 Calibración

La calibración del modelo se realizó a partir de prueba y error hasta encontrar los valores que mejor reproducen los cambios del perfil de playa con respecto al perfil post-tormenta (medido) (Appendini-Albrechtsen, 1995). Los perfiles pre y post-tormenta utilizados en la calibración son los medidos inmediatamente al norte de la zona de estudio (CCSTWS, 1991b), en Octubre de 1983 para el perfil pre-tormenta y Febrero de 1984 para el perfil post-tormenta (SS-0003). Con estos perfiles y un evento de tormenta ocurrido en las fechas de medición de los perfiles se calibró el modelo.

La calibración del modelo SBEACH, se realizó con base en la metodología descrita anteriormente y se definieron los valores de los coeficientes de transporte de sedimento (**K** : $1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$, **Eps**: $0.002 \text{ m}^2/\text{seg}$, **LAMM**: 0.2) de los cuales se seleccionaron aquellos valores que mostraron la mejor respuesta del perfil post-tormenta (calculado) con respecto a la morfología del perfil post-tormenta (medido).

Dentro de la calibración es importante definir el tamaño de malla y el intervalo de tiempo de simulación. Un tamaño de malla y un intervalo de tiempo de simulación erróneo puede producir inestabilidad en el modelo numérico, el tamaño de malla que recomienda el modelo SBEACH está entre el rango de 10 a 20 ft (3.0 a 6.0 m) y para el intervalo de tiempo de simulación se recomienda un rango entre 5 y 10 minutos ya que se han considerado como valores típicos para modelar un evento de tormenta (Rosati *et al.*, 1993).

En la calibración que se efectuó, se utilizó un tamaño de malla de 3 m a lo largo del perfil de playa y un intervalo tiempo de simulación de 5 min.; se seleccionaron estos valores ya que están dentro del rango que establece el modelo numérico SBEACH y simularon la mejor respuesta del perfil pre-tormenta (inicial) con respecto a la morfología del perfil post-tormenta (medido).

II.3.2 Verificación

La verificación del modelo se realizó con los mismo perfiles de playa utilizados en la calibración, pero en contraste se utilizó un evento de tormenta en un intervalo de tiempo distinto al de calibración. Para la verificación del modelo SBEACH se utilizaron los mismos coeficientes de transporte que en la calibración. La verificación del modelo SBEACH se realizó comparando el perfil calculado por el modelo bajo las condiciones de tormenta seleccionadas para calibración, si la erosión calculada por el modelo SBEACH es semejante entre los dos eventos de tormenta, el modelo SBEACH está verificado y calibrado.

II.3.3 Simulación

Una vez calibrado y verificado se corrió el modelo con diferentes juegos de datos correspondientes a los eventos de tormenta seleccionados: evento de tormenta promedio en duración, evento de tormenta con una máxima altura de ola y el período donde ocurrió la persistencia de una serie de eventos de tormenta durante un lapso de tiempo dado.

III.- RESULTADOS

Se analizaron alrededor de 6000 datos de altura de ola registrados durante las temporadas invernales de 1983 a 1995 por el arreglo instalado en Imperial Beach, CA. (Fig. 3). Con base en este análisis se estableció una altura de ola ≥ 1.40 m como el límite inferior para la identificación de eventos de tormenta. Adicionando el criterio de duración ≥ 18 hrs/día se obtuvieron los 104 eventos de tormenta que se señala en la (Tabla. I).

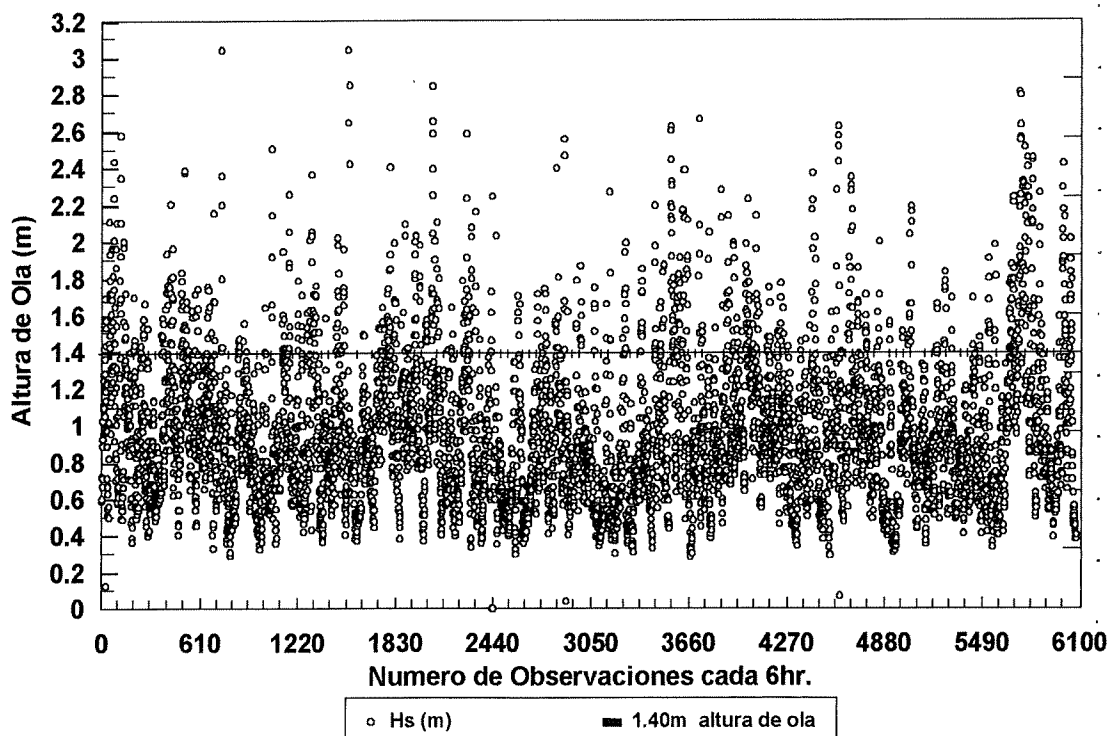


Figura 3. Numero de observaciones de altura de ola registradas en el arreglo de Imperial Beach, CA. durante las temporadas invernales (Noviembre a Marzo) de 1983 a 1995. Hs (Altura de ola significativa en metros).

Los eventos de tormenta con duración promedio, con altura máxima de ola y de mayor persistencia se obtuvieron a partir de ellos y corresponden a:

Tabla I. Eventos de tormenta identificados. (Calibra) Evento simulado en el proceso de calibración, (Verif) Evento simulado en el proceso de verificación, (Ev. Max) Evento de tormenta con altura de ola máxima, (Ev. Conse.) Secuencia de eventos de tormenta, (Ev. Prom) Evento de tormenta con duración promedio.

No. Evento	Inicio Tormenta	Fin Tormenta	Duración (días)	H.de ola (m)		No. Evento	Inicio Tormenta	Fin Tormenta	Duración (días)	H.de ola (m)	
1	06/Nov/83	06/Nov/83	1	1.43		53	26/Nov/90	26/Nov/90	1	1.7	
2	14/Nov/83	15/Nov/83	2	1.45		54	20/Dic/90	21/Dic/90	2	1.83	
3	18/Nov/83	19/Nov/83	2	1.47		55	14/Ene/91	15/Ene/91	2	1.64	
4	21/Nov/83	22/Nov/83	2	1.67		56	04/Feb/91	04/Feb/91	1	1.86	
5	25/Nov/83	25/Nov/83	2	1.48		57	17/Feb/91	17/Feb/91	1	1.69	
6	04/Dic/83	04/Dic/83	1	2.15		58	28/Feb/91	28/Feb/91	1	1.57	Ev. Conse
7	10/Dic/83	10/Dic/83	1	1.48		59	01/Mar/91	04/Mar/91	4	2.01	Ev. Conse
8	26/Dic/83	26/Dic/83	1	1.4		60	06/Mar/91	07/Mar/91	2	1.57	Ev. Conse
9	11/Ene/84	11/Ene/84	1	1.48		61	14/Mar/91	15/Mar/91	2	1.69	
10	09/Feb/84	11/Feb/84	3	1.41	Calibra.	62	19/Mar/91	19/Mar/91	1	2.27	
11	17/Feb/84	17/Feb/84	1	1.71		63	21/Mar/91	22/Mar/91	2	1.98	Ev. Prom.
12	22/Feb/84	23/Feb/84	2	1.43		64	27/Mar/91	27/Mar/91	1	1.91	
13	25/Feb/84	25/Feb/84	1	1.68		65	14/Nov/91	14/Nov/91	1	1.89	
14	10/Mar/84	10/Mar/84	1	1.68		66	19/Nov/91	19/Nov/91	1	2.27	
15	12/Mar/84	12/Mar/84	1	1.51		67	19/Dic/91	19/Dic/91	1	1.73	
16	15/Mar/84	15/Mar/84	1	1.65		68	29/Dic/91	30/Dic/91	2	1.66	
17	04/Nov/84	04/Nov/84	1	1.56		69	06/Ene/92	07/Ene/92	2	1.71	
18	19/Nov/84	19/Nov/84	1	1.61		70	26/Ene/92	26/Ene/92	3	1.62	
19	29/Nov/84	29/Nov/84	1	1.69		71	30/Ene/92	31/Ene/92	2	1.69	
20	12/Dic/84	12/Dic/84	1	2.34		72	02/Feb/92	02/Feb/92	1	1.44	
21	02/Mar/85	02/Mar/85	1	1.5		73	06/Feb/92	06/Feb/92	1	1.4	
22	19/Mar/85	19/Mar/85	1	1.57		74	11/Feb/92	11/Feb/92	1	1.79	
23	22/Mar/85	22/Mar/85	1	1.46		75	14/Feb/92	14/Feb/92	1	1.49	
24	29/Mar/85	29/Mar/85	1	1.87		76	03/Mar/92	03/Mar/92	1	1.48	
25	12/Nov/85	12/Nov/85	1	1.49		77	21/Mar/92	21/Mar/92	1	1.5	
26	30/Nov/85	30/Nov/85	1	1.56		78	20/Nov/92	20/Nov/92	1	1.4	
27	03/Dic/85	04/Dic/85	2	1.78		79	08/Dic/92	08/Dic/92	1	2.11	
28	06/Dic/85	06/Dic/85	1	1.54		80	12/Dic/92	12/Dic/92	1	1.77	
29	08/Dic/85	09/Dic/85	2	1.58		81	19/Ene/93	19/Ene/93	1	2	
30	13/Dic/85	15/Dic/85	3	1.66	Verifica.	82	06/Feb/93	06/Feb/93	1	1.41	
31	23/Dic/85	24/Dic/85	2	1.6		83	06/Feb/93	10/Feb/93	3	1.91	
32	01/Feb/86	01/Feb/86	1	2.32	Ev. Max	84	20/Feb/93	20/Feb/93	1	1.66	
33	02/Ene/87	05/Ene/87	4	1.63		85	04/Mar/93	05/Mar/93	2	1.46	
34	12/Ene/87	12/Ene/87	1	1.49		86	27/Mar/93	27/Mar/93	1	1.6	
35	15/Feb/87	17/Feb/87	3	1.68		87	12/Dic/93	13/Dic/93	2	1.56	
36	24/Feb/87	24/Feb/87	1	1.66		88	15/Dic/93	15/Dic/93	1	2.07	
37	05/Mar/87	06/Mar/87	2	1.47		89	06/Feb/94	06/Feb/94	1	1.67	
38	14/Mar/87	16/Mar/87	3	2.05		90	03/Nov/94	03/Nov/94	1	1.4	
39	19/Mar/87	19/Mar/87	1	1.77		91	17/Feb/94	18/Feb/94	2	1.49	
40	22/Mar/87	22/Mar/87	1	1.77		92	22/Dic/94	23/Dic/94	2	1.62	
41	24/Mar/87	24/Mar/87	1	1.64		93	26/Dic/94	26/Dic/94	1	1.8	
42	05/Dic/87	05/Dic/87	1	1.49		94	28/Dic/94	28/Dic/94	1	1.44	
43	07/Dic/87	08/Dic/87	2	1.8		95	02/Ene/95	06/Ene/95	5	1.95	
44	11/Dic/87	12/Dic/87	2	1.46		96	06/Ene/95	13/Ene/95	6	1.87	
45	17/Dic/87	17/Dic/87	1	1.67		97	16/Ene/95	17/Ene/95	2	1.9	
46	23/Dic/87	23/Dic/87	1	1.75		98	21/Ene/95	21/Ene/95	1	1.77	
47	04/Dic/89	04/Dic/89	1	1.52		99	23/Ene/95	25/Ene/95	3	1.67	
48	15/Ene/90	15/Ene/90	1	1.56		100	03/Feb/95	03/Feb/95	1	2.01	
49	01/Feb/90	01/Feb/90	1	1.67		101	11/Mar/95	13/Mar/95	3	2.02	
50	05/Feb/90	05/Feb/90	1	1.4		102	15/Mar/95	15/Mar/95	1	1.51	
51	12/Mar/90	12/Mar/90	1	1.58		103	22/Mar/95	22/Mar/95	1	1.75	
52	02/Nov/90	02/Nov/90	1	1.49		104	24/Mar/95	24/Mar/95	1	1.62	

a).-Evento de tormenta con duración promedio: dado que la duración promedio de todos los eventos de tormenta es de dos días, el evento de tormenta que presentó la mayor altura de ola con esta duración corresponde al evento ocurrido el 21 y 22 de Marzo de 1991 con una distribución de altura de ola en conjunto con el nivel del mar (NMM) a cada hora y se muestra en la (Fig. 4).

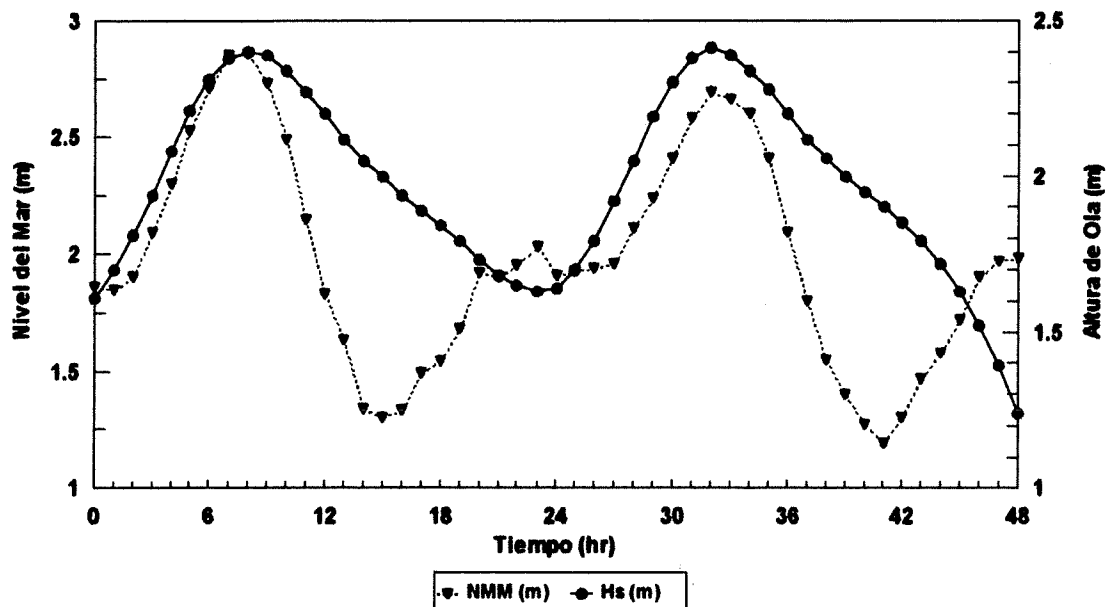


Figura 4. Evento de tormenta con duración promedio del 21 al 22 de Marzo de 1991. NMM (Nivel medio del mar en metros), Hs (Altura de ola significativa en metros).

b).-Evento con altura máximas de ola: del total de eventos de tormenta, el evento que presentó la mayor altura de ola fue el que ocurrió el día 1 de Febrero de 1986 con una distribución de altura de ola en conjunto con el nivel del mar (NMM) a cada hora y se muestra en la (Fig. 5)

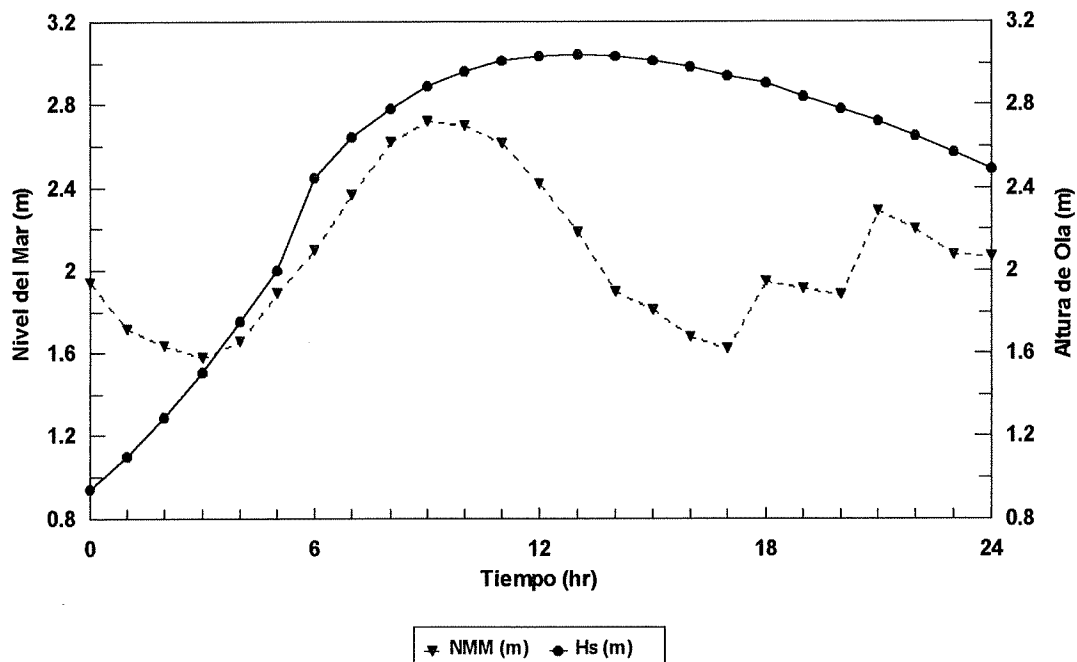


Figura 5. Evento de tormenta con máximo altura de ola 01 de Febrero de 1986. NMM (Nivel medio del mar en metros), Hs (Altura de ola significativa en metros).

c) Evento de tormenta consecutivo: del total de eventos de tormenta se identificó la secuencia de eventos de tormenta (3) que ocurrieron en una lapso de 8 días y con un máximo de 2 días intermedios entre eventos de tormenta los cuales ocurrieron entre el día 28 de Febrero de 1991 y el 07 de Marzo de 1991 con una distribución de altura de ola en conjunto con el nivel del mar (NMM) a cada hora y se muestra en la (Fig. 6).

Los perfiles de playa pre-tormenta Octubre de 1983 y post-tormenta Marzo de 1996 para la zona de estudio norte y sur se muestran en la (Fig. 7 y 8) así como los perfiles de playa medidos para este trabajo.

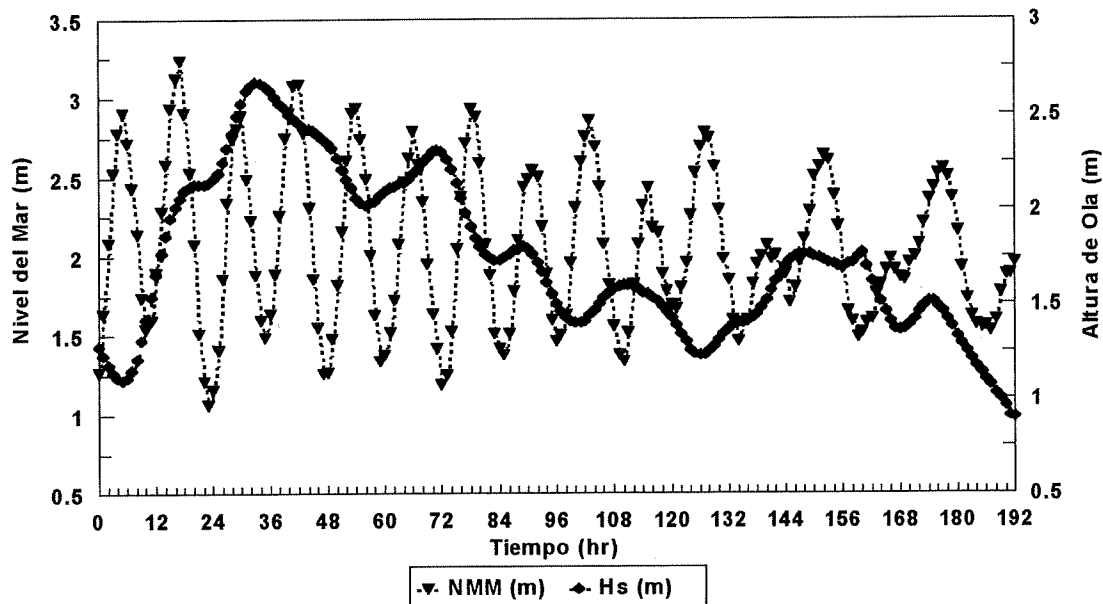


Figura 6. Eventos de tormenta consecutivos 28 de febrero de 1991 al 07 de marzo de 1991. NMM (Nivel medio del mar en metros), Hs (Altura de ola significativa en metros).

A partir del análisis granulométrico realizado de las muestras obtenidas en el perfil norte y sur, se determinó el tamaño medio de grano, resultando un tamaño medio de grano de 0.25 mm (arena media-fina) para las dos zonas como se observa en las (Fig. 9 y 10). La calibración del modelo SBEACH se realizó con los perfiles obtenidos en Octubre de 1983 y Febrero de 1984 por (CCSTWS, 1991b) inmediatamente al norte de la zona de estudio con una longitud de 500 m hacia mar y referidos al Nivel Medio del Mar (NMM) ver (Fig. 11) y con el evento de tormenta ocurrido del 9 al 11 de Febrero de 1984 con una duración de 3 días y una altura de ola promedio de 1.41 m (Fig. 12).

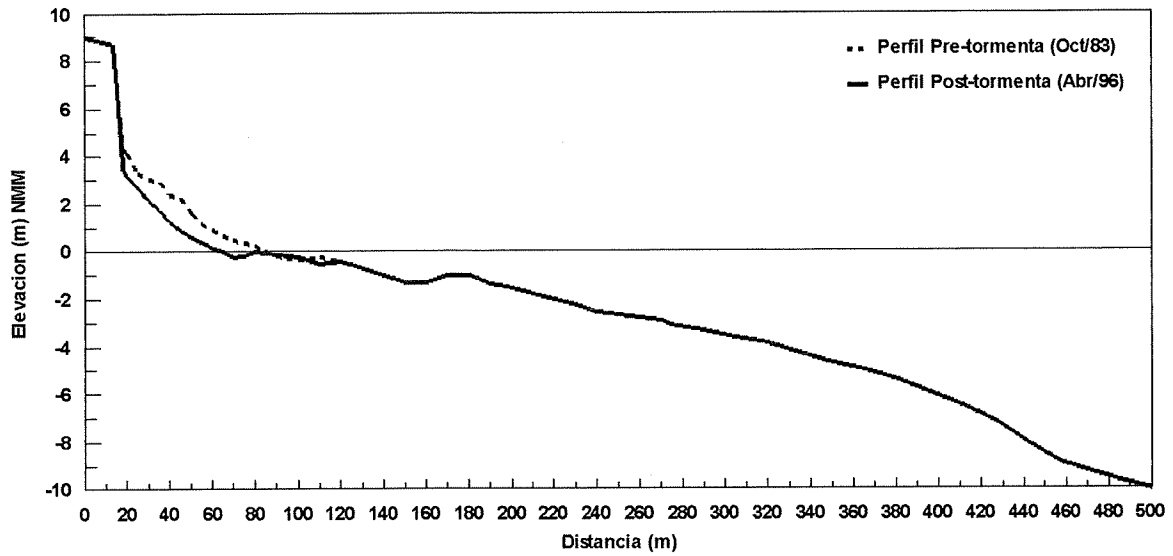


Figura 7. Perfil de playa localizado en la parte norte.

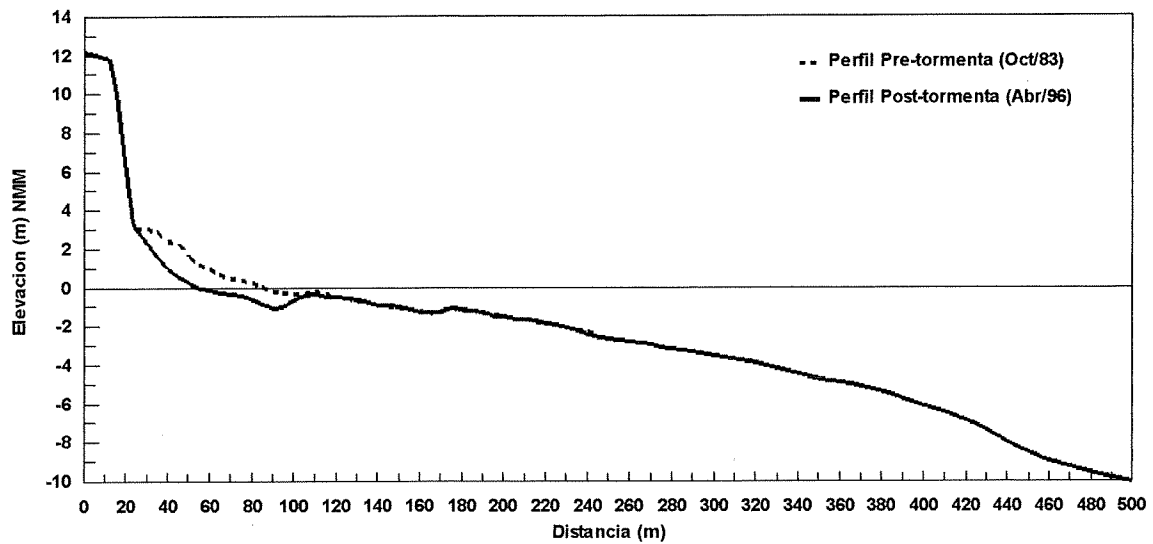


Figura 8. Perfil de playa localizado en la parte sur.

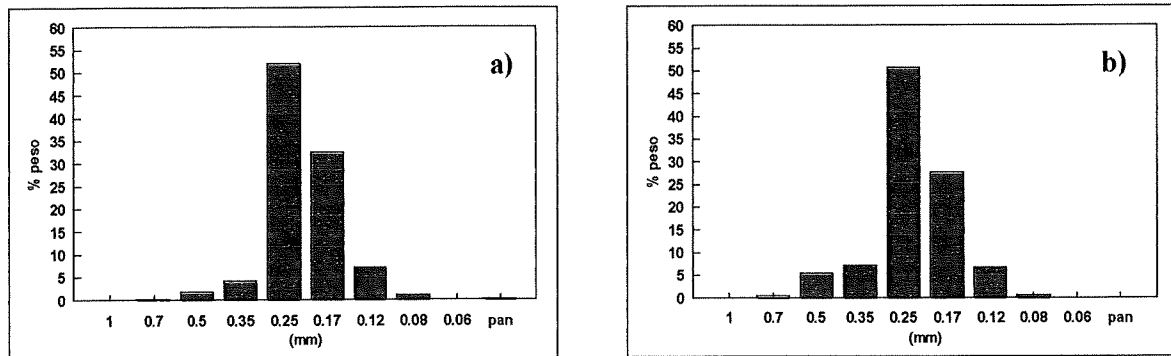


Figura 9. Tamaño de sedimento (perfil norte): a) muestra de berma, b) muestra de rompiente

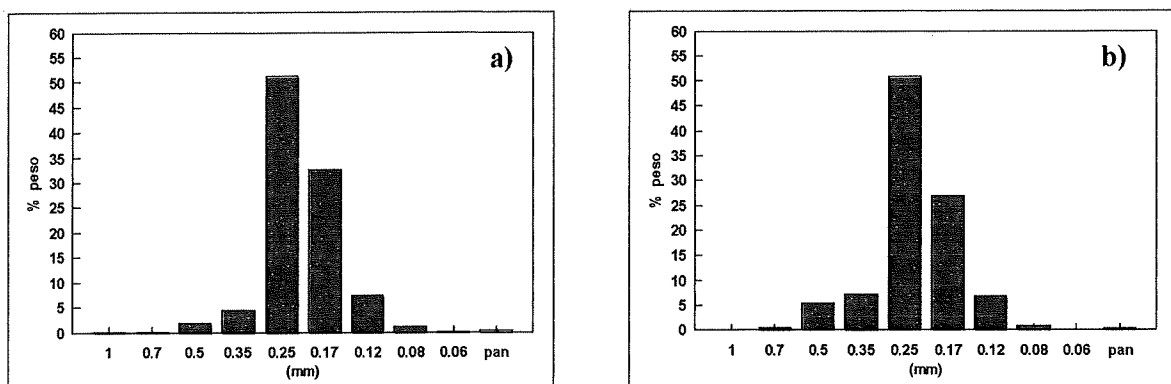


Figura 10. Tamaño de sedimento (perfil sur): a) muestra de berma, b) muestra de rompiente

La mejor respuesta del perfil calculado por el modelo SBEACH con respecto al medido se obtuvo con los coeficientes de transporte $K:1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$; $Eps :0.002 \text{ m}^2/\text{seg.}$ y $LMM :0.2$ como se señala en el apartado de metodología. El resultado de la calibración se muestra con una distancia del perfil de playa de 340 m del punto de referencia (Fig. 13).

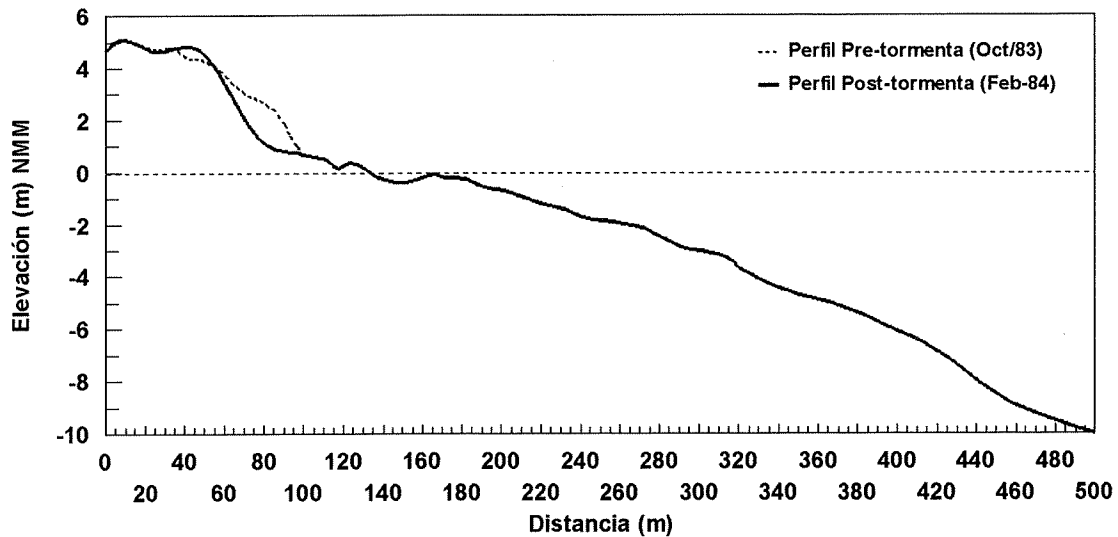


Figura 11. Perfiles de playa (SS-0003) situado al norte de Playas de Tijuana, B.C.

La verificación del modelo SBEACH se efectuó con el evento de tormenta que ocurrió del 13 al 15 de Enero de 1986, con un duración de 3 días y una altura de ola promedio de 1.66 m ver (Fig. 14). El resultado del proceso de verificación se muestra con una distancia del perfil de playa de 340 m del punto de referencia (Fig. 15)

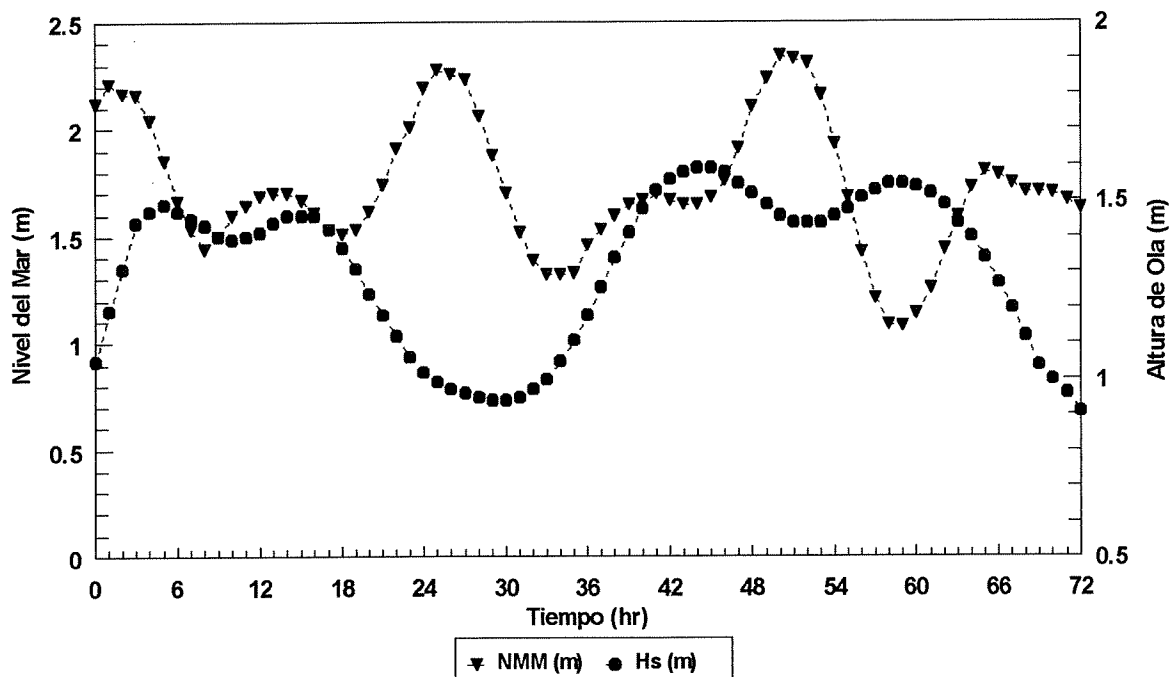


Figura 12. Altura de ola y nivel del mar durante el evento de tormenta simulado en calibración (9 al 11 de febrero de 1984). NMM (Nivel medio del mar en metros), Hs (Altura de ola significativa en metros).

Las simulaciones de los efectos del evento de tormenta con duración promedio, evento de tormenta con máxima altura de ola y el evento de tormenta consecutivo, sobre el perfil de playa norte y sur respectivamente. Los perfiles se muestran a una distancia de 300 m del punto de referencia (Fig. 16 a 21) y la variabilidad del máximo retroceso de las cotas entre el perfil pre-tormenta (inicial) y el perfil calculado para cada una de las condiciones modeladas se muestra en la (Tabla. II).

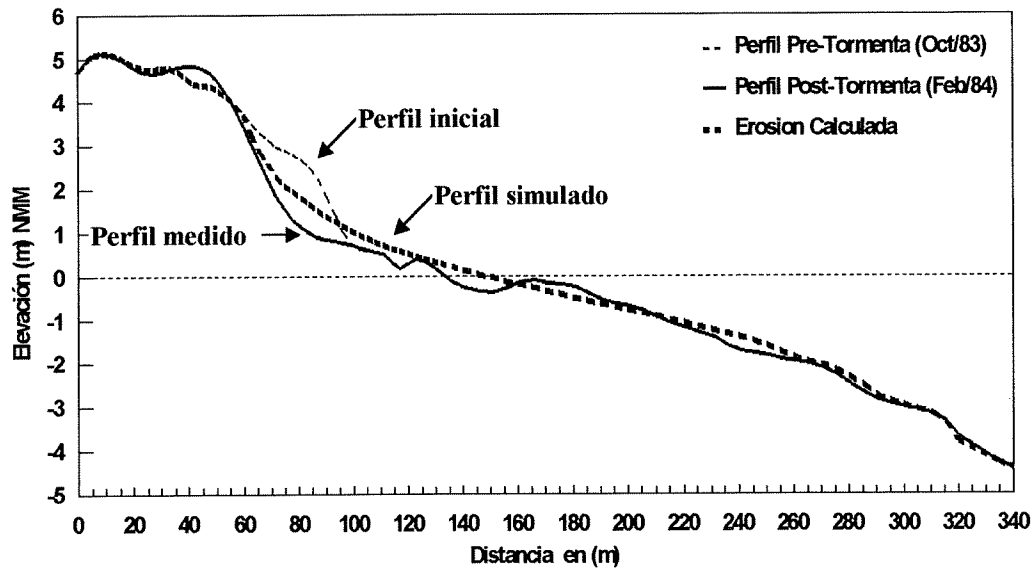


Figura 13. Simulación del perfil del playa bajo el proceso de calibración.

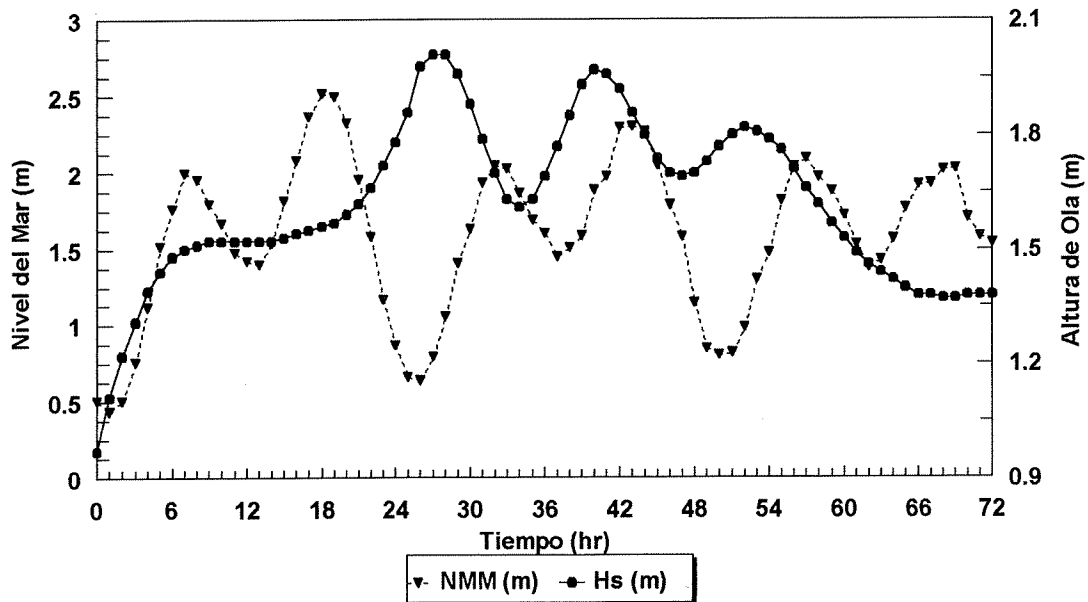


Figura 14. Altura de ola y nivel del mar para el evento de tormenta simulado en verificación (14 al 16 de enero de 1986). NMM (Nivel medio del mar), Hs (Altura de ola significativa).

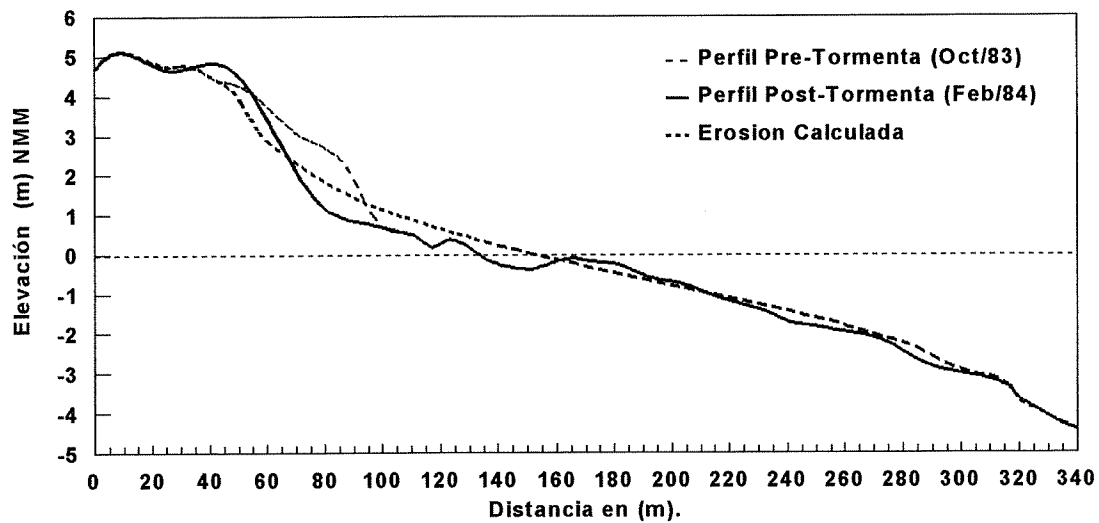


Figura 15. Simulación del perfil de playa bajo el proceso de verificación.

Las diferencias de volumen de material (m^3) redistribuidos entre el perfil pre-tormenta y el calculado se presentan en la (Tabla. II). Con base en lo referido anteriormente se reconocerá si el perfil ha pasado por un proceso de erosión o depositación provocado por un evento de tormenta.

Tabla II. Resultado de la simulaciones realizadas para el proceso de calibración y verificación del modelo y de los evento de tormenta seleccionado. (Hs) altura de ola significativa.

Evento de Tormenta	Propósito de simulación	Altura de ola Hs (m)	RESULTADO
9 al 11 de Febrero de 1984	Calibración del modelo.	1.4 a 1.6 m	Calibración del modelo obtenido con los ¹ coeficientes de transporte: $K=1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$; $Eps=0.002 \text{ m}^2/\text{seg}$; $LAMM=0.2$
13 al 15 de Enero de 1986	Verificación del modelo	1.5 a 2.0 m	Simulación aceptable. perfil calculado es el típico sujeto a un oleaje de mayor altura, barra arenosa situada mas hacia mar a los 240 m del punto de referencia.
01 de Febrero de 1986	Evento de tormenta con altura de ola máxima	2.0 a 2.6 m	Perfil Norte.- Máxima erosión en la postplaya y al pie de cantil aprox. 1m, diferencia de volumen entre perfil pre-tormenta y perfil calculado de $0.4 \text{ m}^3/\text{m}$, con un máximo retroceso horizontal en las cotas +1 ,+2 y +3 de 0.9 m , 8.2 m y 11.9 m respectivamente.
21 al 22 de Marzo de 1991	Evento de tormenta con duración promedio	2.0 a 2.4 m	Perfil Norte.- Erosión considerable en la postplaya con un máximo retroceso horizontal en las cotas +2 y +3 de 12.2 m y 12.9 m, erosión al pie del cantil mayor a 1 m. Diferencia de volumen entre perfil pre-tormenta y perfil calculado de $0.6 \text{ m}^3/\text{m}$.
28 de Febrero a 07 Marzo de 1991	Evento de tormenta consecutivo	1.4 a 2.4 m	Perfil Norte.- Máxima erosión registrada al pie del cantil 1.5 m, con un máximo retroceso horizontal en las cotas +1 ,+2 y +3 de 6.5m 25.5m y 15.2m respectivamente. Diferencia de volumen entre perfil pre-tormenta y perfil calculado de $0.8 \text{ m}^3/\text{m}$.

¹ Coeficientes de transporte, utilizados en la calibración del modelo **SBEACH**

K= coeficiente de proporción o razón de transporte.

Eps= coeficiente de transporte del termino de pendiente.

LAMM= coeficiente de transporte para la porción fuera de la línea de rompiente.

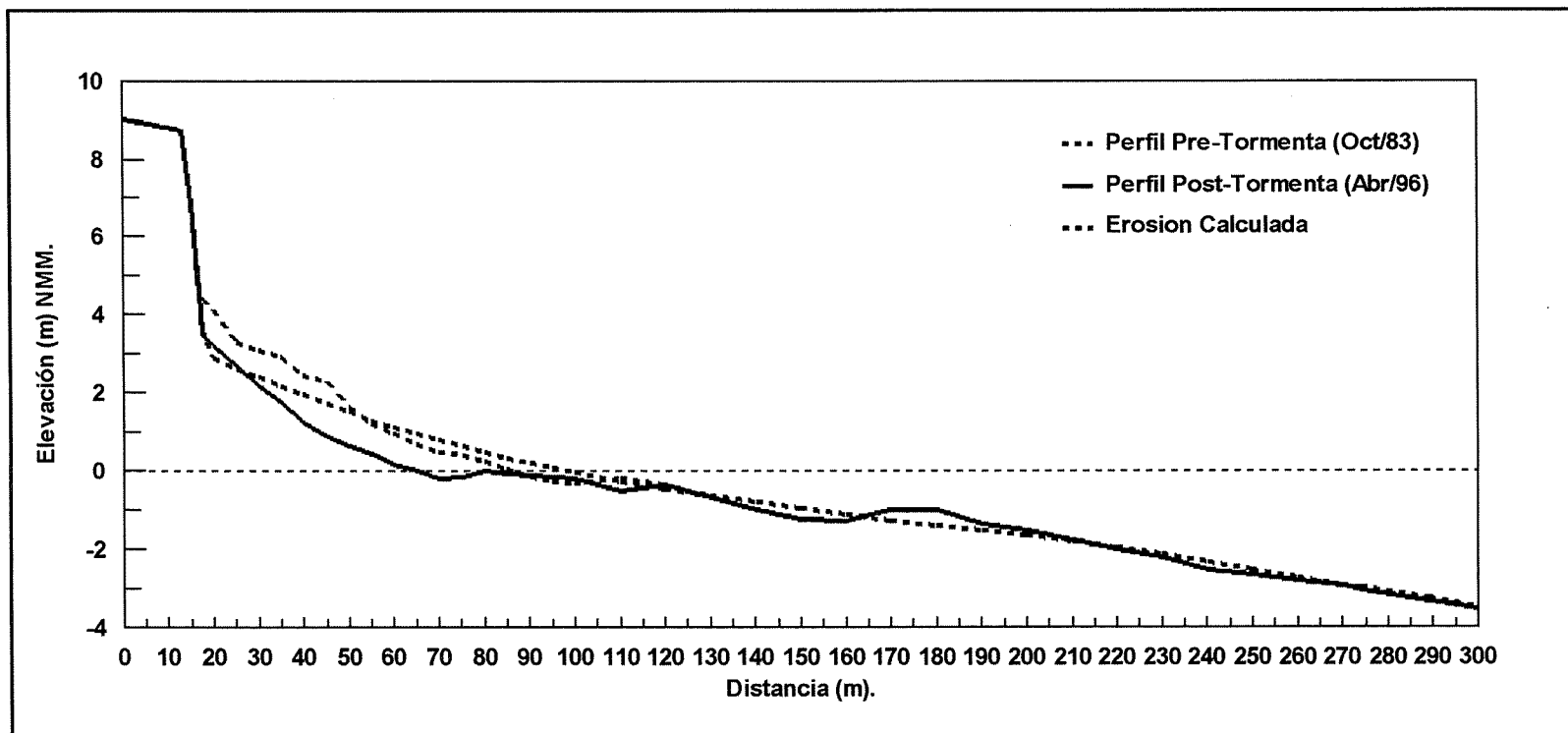


Figura 16. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta con altura maxima de ola (01 de febrero de 1986).

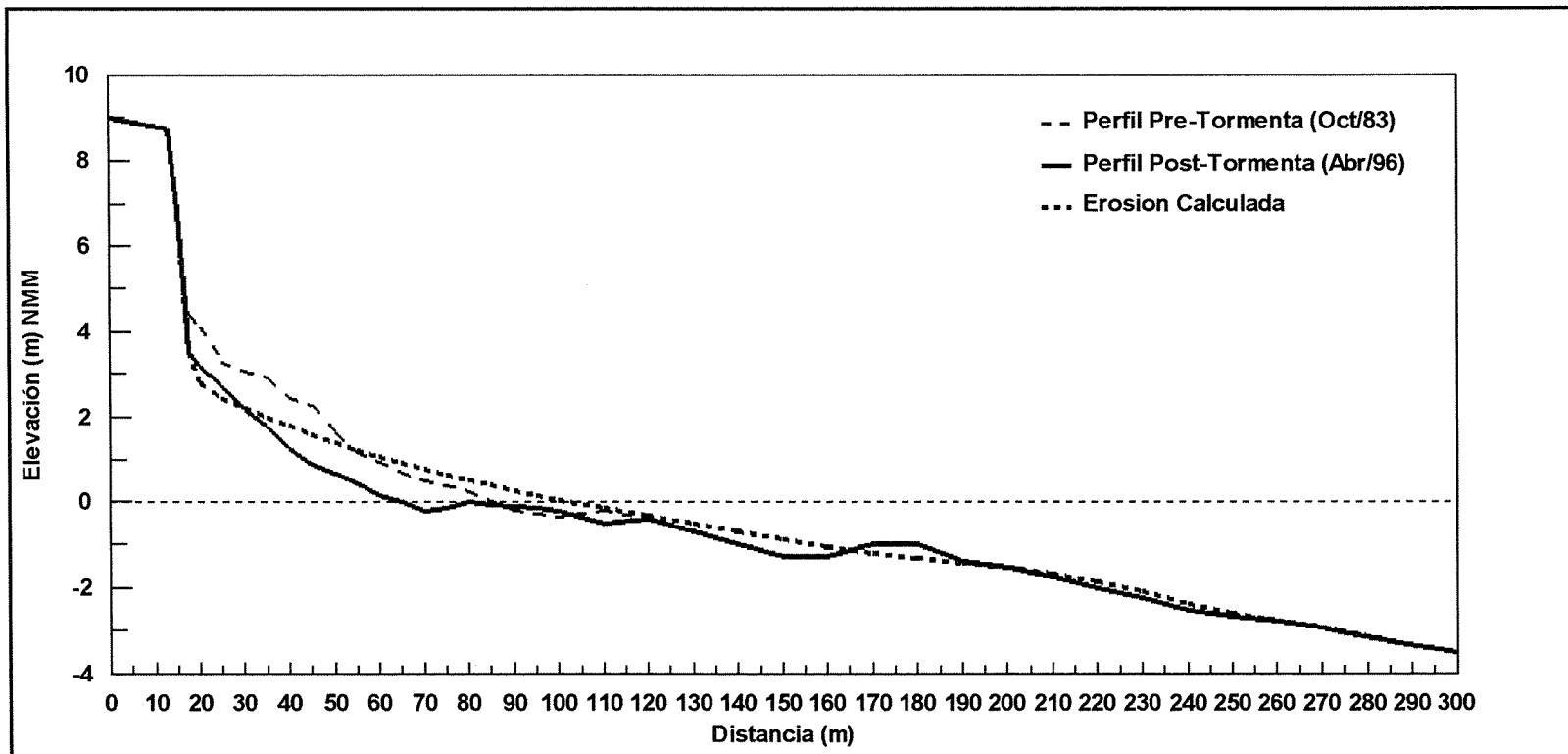


Figura 17. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta con duración promedio (21 a 22 de marzo de 1991).

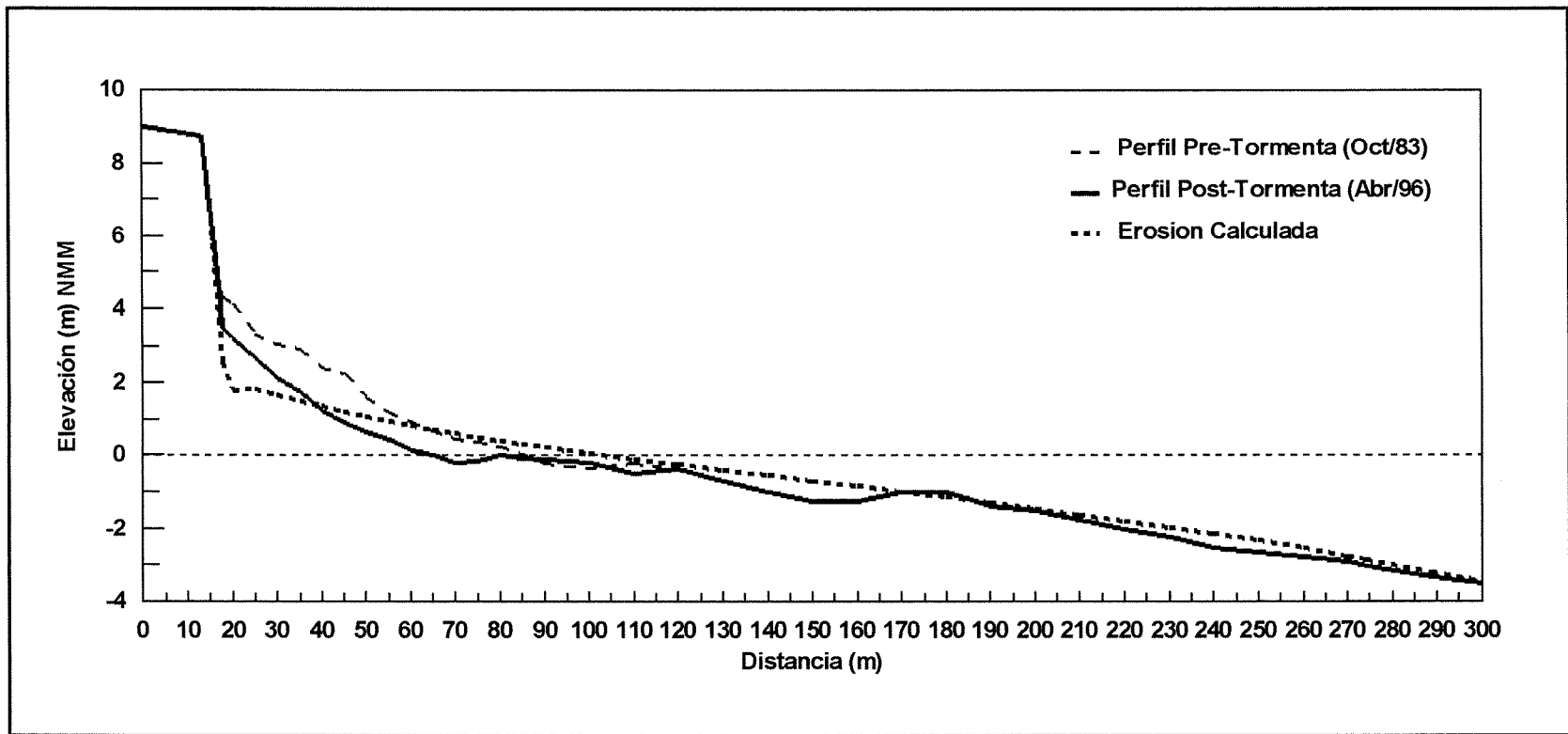


Figura 18. Perfil norte, simulación bajo el evento de tormenta consecutivo (28 de febrero al 07 marzo de 1991).

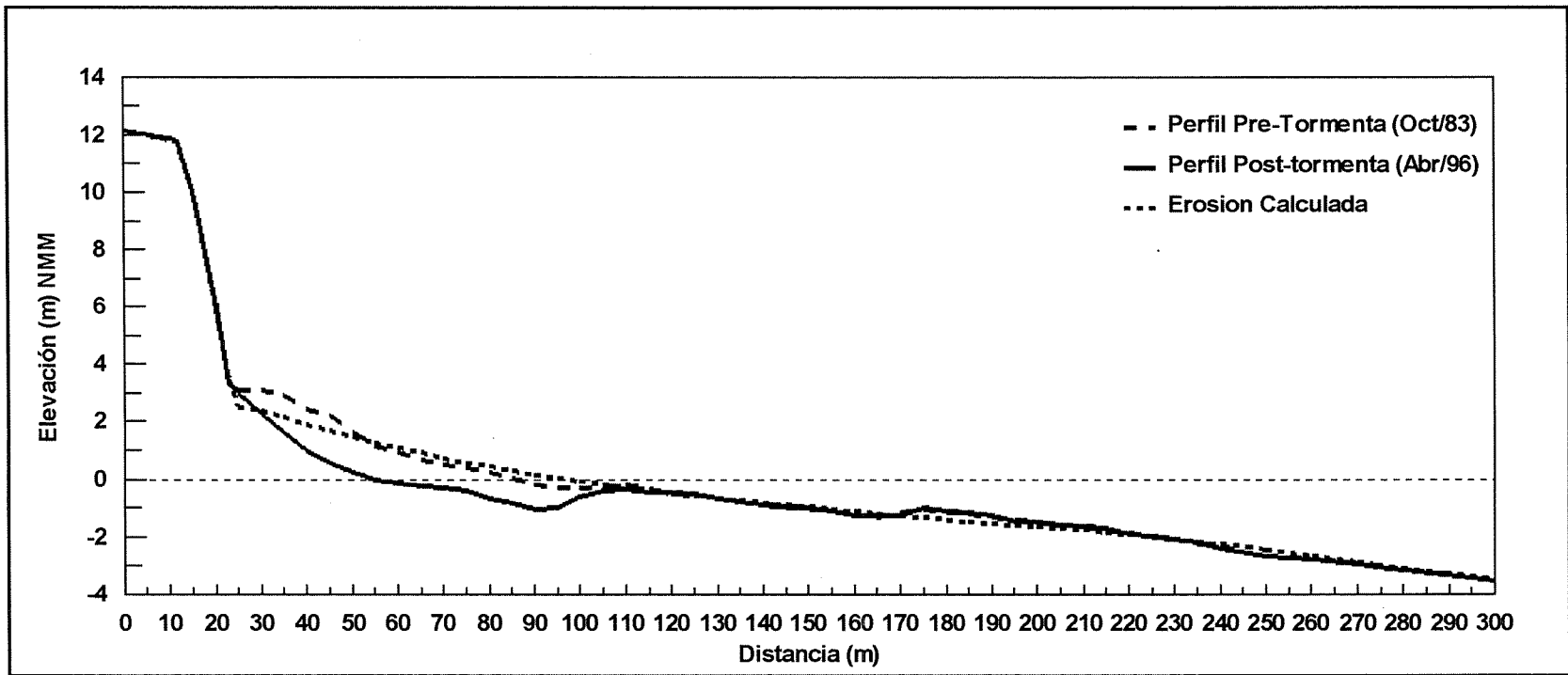


Figura 19. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta con altura maxima de ola (01 de febrero de 1986).

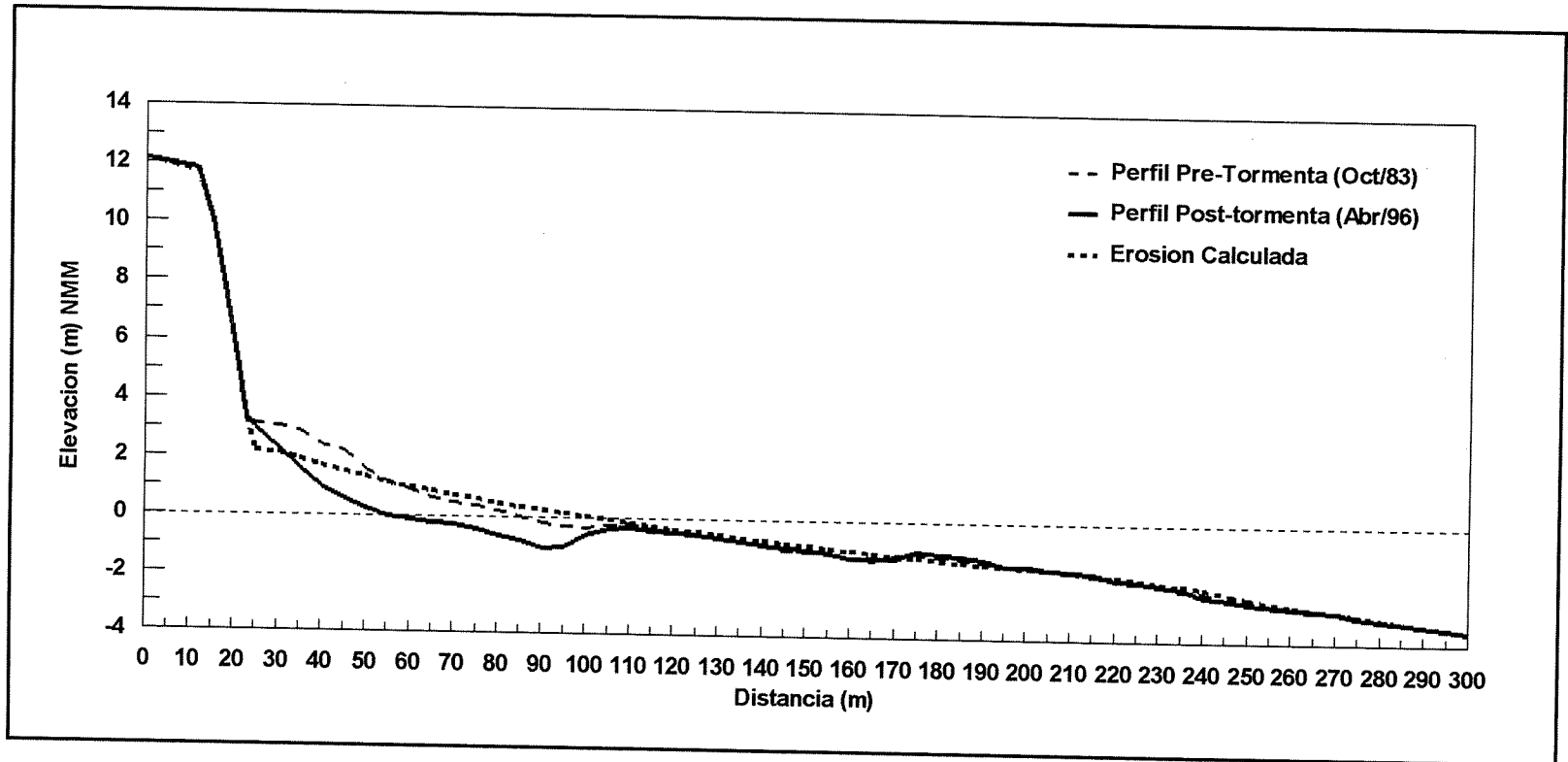


Figura 20. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta con duración promedio (21 a 22 de marzo de 1991).

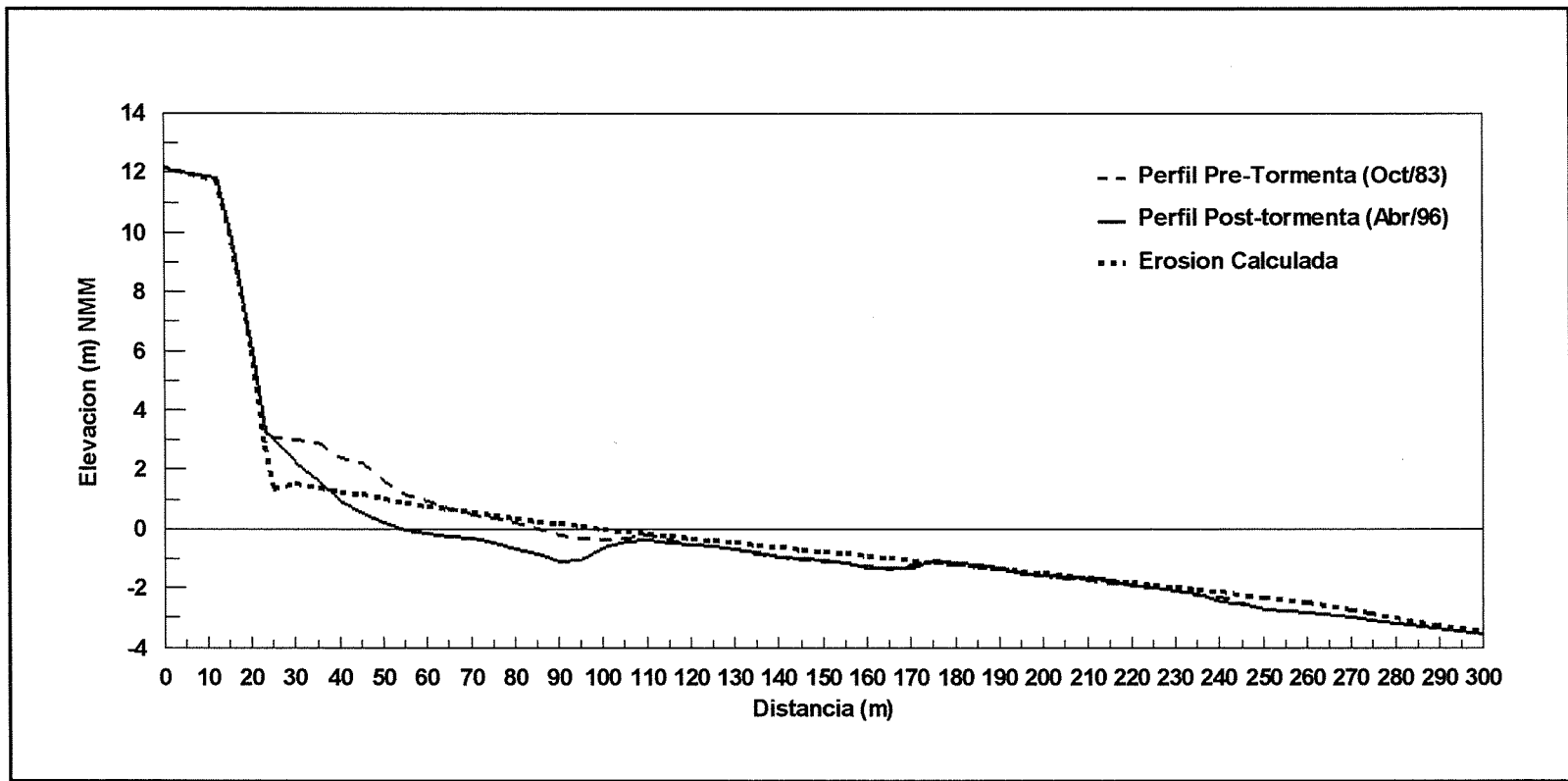


Figura 21. Perfil sur, simulación bajo el evento de tormenta consecutivo (28 de febrero al 07 marzo de 1991).

IV. DISCUSIONES

La definición de evento de tormenta está basado únicamente en la altura de ola ya que este parámetro origina la variación de la cantidad de energía que está disponible para producir el transporte de sedimento. La energía es proporcional a la altura de ola al cuadrado de acuerdo con al Teoría de Airy ($E=1/8\rho gH^2$). El establecimiento de la altura de ola ≥ 1.40 m como mínimo para diferenciar un evento de tormenta se definió, en parte, por el análisis de la distribución de alturas de ola en las temporadas invernales. Este valor de altura de ola es parecido al observado por Cerca-Martinez (1995) en la área de Rosarito, B.C. el cual, identifica la altura de ola significativa igual a 1.38 m con un $T=7s$, ya que aportó en el área de estudio la mayor energía en la distribución espectral a una profundidad de 25 m. De igual forma con base en el análisis de un registro de un año de oleaje (Martínez Díaz de León, A. *et al.*, 1989) en la Bahía de Todos Santos, B.C., identificó una altura de ola de 1.50 m en (aguas someras) como el valor que permitió las características relacionadas con el oleaje de tormenta. Asimismo para la zona de estudio se realizó un análisis de altura de ola de los registros mensuales en Imperial Beach, CA. (CDIP) y Rosarito, B.C.(CFE) de Diciembre de 1975 a Octubre de 1984 identificando los meses con mayor altura de ola (Gonzalez-Calvillo y Cupul-Magaña, 1986), de los cuales más de la mitad de los meses observados en temporada invernal registraron un altura de ola ≥ 1.40 m.

Para eliminar la ocurrencia aislada de oleaje con esta altura de ola e identificar eventos de tormenta se estableció un criterio de duración con base en lo determinado por

el estudio *Coast of California Storm and Tidal Waves Study* (CCSTWS, 1991a) en donde aparece una predicción de ocurrencia de eventos de tormenta para los años de 1990 a 2040. Con base al origen de tormenta y en la ocurrencia o no de eventos de gran escala como El Niño se determinó que los eventos de tormenta tienen una duración mayor a 1 día y menor a 2 días. Del procedimiento señalado para obtener los dos días de duración producido por un evento de tormenta, coincide con el valor de duración promedio generado por un evento de tormenta determinado en este trabajo.

Con base en los criterios de altura de ola y persistencia señalados se identificaron las siguientes condiciones de tormenta: a) evento de tormenta con duración promedio; b) evento con altura máxima de ola; c) evento de tormenta consecutivo, eventos simulados por el modelo SBEACH en los perfiles norte y sur respectivamente. Es importante dar a conocer que la temporada invernal comprendida de 1988-89 no se consideró por falta de registros completos de altura de ola ya que en esta temporada ocurrieron eventos de tormenta extraordinarios.

Para la simulación de dichos eventos de tormenta seleccionados se utilizaron valores del nivel del mar registrados a cada hora referidos al NMM para las fechas indicadas como evento de tormenta (Fig. 4,5,6,12, y 14). En contraste con los datos de altura de ola significativa registrados típicamente a cada 6 hr, fueron pretratados para cubrir el intervalo de simulación del modelo SBEACH a intervalos de 60 min (Fig. 4,5,6,12, y 14) de manera que se representaran las condiciones más apegadas a la

realidad, ya que el arribo de oleaje monocromático a la costa raramente ocurre en la naturaleza (Larson *et al.*, 1989).

El tamaño de grano medio utilizado en todas las simulaciones fue de (0.25 mm) (Fig. 9 y 10) valor similar a lo encontrado por (Cupul-Magaña, 1983 y CCSTWS, 1991a). Sin embargo en el área del perfil sur se observó que después de un evento erosivo de la playa queda al descubierto un depósito de material formado por cantos rodados. Este fenómeno tiene una importante influencia en la modelación de dicho perfil como se señala más adelante.

Mediante la calibración del modelo SBEACH se determinaron los valores de los coeficientes de transporte observándose que la mejor respuesta simulada por el modelo del perfil post-tormenta (medido) con respecto a la morfología del perfil post-tormenta (calculado) correspondieron a los valores del: coeficiente de proporción de transporte ($K=1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$), coeficiente de transporte del término de pendiente ($Eps=0.002 \text{ m}^2/\text{seg}$) y coeficiente de transporte para la porción fuera de la línea de rompiente ($LAMM=0.2$) (ver Fig. 13), comprobándose en el proceso de verificación del modelo (ver Fig. 15).

Dado que una pequeña variación en los valores de los coeficientes de transporte K , Eps y $LAMM$ tiene un efecto importante en la posición y dimensión de las barras arenosas, los valores obtenidos se compararon con la moda en otros trabajos concluyendo que los coeficientes de transporte usados en este trabajo son comparable a los utilizados en otros lugares bajo condiciones de campo y de laboratorio, por ejemplo: $K=1.6 \times 10^{-6}$

m^4/N es utilizado en un tanque de oleaje (Larson y Kraus, 1989); $K=1.4 \times 10^{-6} m^4/N$ en la playa de Torrey Pines Beach, CA. (Larson *et al.*, 1990); $K=1.5 \times 10^{-6} m^4/N$ en la playa de Mar de Ajo y Pinamar, Argentina. (Caviglia y Pousa, 1996) y $K=2.0 \times 10^{-6} m^4/N$ en la zona de Manasquan y Point Pleasant Beach, N.Y. (Larson *et al.*, 1990).

Los resultados del proceso de calibración (ver Fig. 13) modelado bajo el evento de tormenta ocurridos del 9 al 11 de Febrero de 1984 (Fig. 12) simulo la erosión de la postplaya produciendo la forma del perfil calculado similar a la forma del perfil post-tormenta (medido), aunque la posición de las barras areanosas fueron diferentes en el perfil calculado, este mostró una barra arenosa muy alejada al punto de referencia (aproximadamente 250 m) evidenciando el arribo del oleaje con gran potencia (oleaje alto)

La verificación del modelo se efectuó con el evento ocurrido del 13 al 15 de Enero de 1986 con un rango de altura de ola entre los 1.5 a 2.0 m (Fig. 14). Los resultados de esta simulación permitieron concluir que la predicción es apropiada ya que la forma del perfil calculado en un intervalo de tiempo distinto al de calibración presenta el comportamiento típico de un perfil sujeto a condiciones de oleaje alto, ya que provocó la erosión de la postplaya hasta la cresta de la duna distribuyendo el material erosionado a lo largo del perfil formando un depósito de material a los 240 m del punto de referencia; por esta razón este comportamiento valida los valores K , Eps y $LAMM$ obtenidos en la calibración.

El efecto del evento de tormenta con altura de ola máxima para el perfil norte se modeló con el ocurrido el día 01 de Febrero de 1986, con una altura de ola que presentó una variación entre 2.0 y 2.6 m. La máxima remoción de material se observó sobre la postplaya siendo la más notoria la ocurrida al pie del cantil donde se registró una erosión de 1m aproximado (Fig. 16), con una diferencia de volumen entre el perfil pre-tormenta y el calculado de $0.4 \text{ m}^3/\text{m}$ (Tabla. II). La distribución de material provocó el retroceso horizontal de las cotas +1 m,+2 m y +3m de 0.9 m, 8.2 m y 11.9 m respectivamente entre el perfil pre-tormentas y el calculado (Tabla. II). Parte del material erosionado fue depositado en la anteplaya y parte de este cubrió un canal situado a los 150 m de distancia del punto de referencia (Fig. 16). Tal erosión fue generada al aproximarse olas altas durante 10 hr continuas y al coincidir con el nivel del mar máximo del evento (Fig. 5). La combinación simultánea de oleaje alto y marea alta incidió de manera directa sobre el pie del cantil removiendo el material ahí situado, incorporando el material removido hacia fuera de la costa depositándolo sobre los canales. Parte de la barra arenosa situada a los 180 m de distancia del punto de referencia, fue removida ya que el oleaje con mayor altura al romper más hacia el mar, y genera el desplazamiento de la barra hacia atrás de la línea de rompiente .

La simulación realizada para el perfil norte bajo el evento de tormenta con duración promedio se efectuó con la tormenta ocurrida del 21 al 22 de Marzo de 1991 (Fig. 4) evento en el cual se observó alturas de olas en un rango de 2.0 a 2.4 m. La erosión máxima ocurrió en la postplaya con una diferencia de volumen entre el perfil pre-

tormenta y el calculado de $0.6 \text{ m}^3/\text{m}$ (Tabla. II), de la misma manera se observó una erosión considerable (mayor 1 m) en el pie del cantil como se observa en la (Fig. 17), además se registro un retroceso horizontal en las cotas +2 m y +3 m de 12.2 m y 12.9 m respectivamente entre el perfil pre-tormenta y el calculado. El proceso de erosión se intensificó sobre la postplaya, ya que las olas con mayor altura ocurridas en el evento coincidieron con el más alto nivel del mar durante dos ciclos de marea (Fig. 4), ocasionando una considerable erosión de la postplaya incluyendo el pie del cantil, depositando el material erosionado sobre la anteplaya y cubriendo la depresión situada a 150 m de distancia del punto de referencia (Fig. 17). Cabe recordar que el modelo considera que el transporte de sedimento paralelo a la playa no ocurre, por lo tanto la distribución del material necesariamente tiene que ocurrir a lo largo del perfil.

El perfil norte simulado por el modelo bajo el eventos de tormenta consecutivo ocurrido del 28 de Febrero al 07 de Marzo de 1991 (Fig. 6), se caracterizó por tener una duración de 8 días de los cuales se detectaron una serie de 3 eventos de tormenta consecutivos. Durante la serie de eventos de tormenta se registraron alturas de olas en un rango de 1.4 a 2.4 m como se observa en la (Fig. 6), en el primer evento de tormenta ocurrido se observó altura de olas en un rango de 1.5 m a 2.6 m, oleaje que permaneció aproximadamente 3 días y coincidió con un rango de nivel del mar mucho mayor en comparación a los otros eventos. En los eventos consiguientes se registro altura de ola menores aproximadamente de 1.6 m en promedio y coincidieron con un rango de nivel del mar menor en comparación al evento inicial.

La máxima remoción de arena ocurrió de nuevo al pie del cantil registrando una erosión hasta de 1.5 m como se observa en la (Fig. 18), la postplaya registro un retroceso horizontal en las cotas +1 m,+2 m y +3 m de 6.5 m, 25.5 m y 15.2 m respectivamente entre el perfil pre-tormenta y el calculado, la diferencia de volumen registrado fue de 0.8 m³/m entre el perfil pre-tormenta y el calculado (Tabla. II). Parte del material erosionado cubrió un canal situado a los 150 m del punto de referencia y a una distancia de 250 m del punto de referencia se formo una barra arenosa (ver Fig. 18).

La mayor erosión registrada se observó durante el primer evento de tormenta ya que oleaje alto permaneció durante 3 días incidiendo sobre la playa, lo cual originó la mayor remoción de arena en este lugar, exponiendo el frente de playa a la inundación por olas altas alcanzando el pie del cantil. De esta forma los dos consiguientes eventos de tormenta aunque con altura de ola menor y con un nivel del mar mas bajo atacaron directamente el pie del cantil socavándolo. La arena que fue removida de la postplaya fue transportada a lo largo del perfil cubriendo algunos canales en la inmediación de la zona de rompiente y parte del material fue depositado fuera de esta zona formando una barra arenosa. La secuencia de estos eventos de tormenta con oleaje alto limitó la capacidad de recuperación del perfil de playa intensificando su erosión.

La diferencia calculada del volumen total entre el perfil pre-tormenta y post-tormenta para el perfil norte fue de 56.8 m³/m (Fig. 7) y para el perfil sur 77.5 m³/m (Fig. 8) valores aproximados de una erosión extrema provocado por condiciones de tormenta.

Comparando las tres simulaciones realizadas para el perfil norte se observó que el evento de tormenta con duración promedio originó más erosión en la postplaya que el comparado con el evento de tormenta con altura máxima de ola ya que se presentó la coincidencia de oleaje con altura mayor con el nivel de mar máximo durante dos ciclos de marea (Fig. 4). A lo que se refiere a la simulación para el perfil norte bajo el evento de tormenta consecutivo este registró la mayor erosión en la postplaya, generando la mayor erosión al pie del cantil registrando 1.5 m bajo el nivel de playa y el retroceso de 6.5 m, 25.5 m, y 15.2 m de las cotas +1 m, +2 m, y +3 m respectivamente (Tabla. II). El máximo retroceso calculado dentro de las tres simulaciones fue entre las cotas +3 m y +1m (Fig. 16, 17, 18) ya que entre estas cotas ocurre la mayor variación en el ancho de la zona de rompiente durante eventos de tormenta.

Simulaciones realizadas por el modelo SBEACH para el perfil sur se muestran en la (Fig. 19,20,21) bajo los mismos eventos de tormenta. El evento en el cual se registró una mayor erosión fue con la simulación del evento de tormenta consecutivo (Fig. 21), observando un retroceso máximo de 23.4 m en la cota +2m con una diferencia de volumen entre el perfil inicial y el perfil calculado de $0.1\text{m}^3/\text{m}$. Los máximos retrocesos horizontales para el perfil sur se registraron en la cota de +2m y la máxima diferencia de volumen entre el perfil pre-tormenta y calculado $0.3\text{m}^3/\text{m}$ determinado dentro de la simulación del evento de tormenta con duración promedio. En las tres simulaciones realizadas se observó una continua erosión del pie de cantil y una depositación de material fuera de la zona de rompiente (Fig. 21). Esto se atribuye que el perfil de playa en la zona

posee una playa muy angosta y restringida exponiendo la postplaya al oleaje de tormenta alcanzando el pie de cantil, de esta forma se erosiona el material de la postplaya descubriendo un depósito de material mas grueso (canto rodado). Considerando que el modelo SBEACH fue diseñado para modelar playas con un tamaño de arena en un rango (0.15 mm a 1.0 mm) la erosión producida en le perfil sur por los eventos de tormeta seleccionados es incierta.

En la zona inmediatamente al norte de Playas de Tijuana, B.C. en la área de Imperial Beach, CA. se registro el mayor retroceso provocado por condiciones de tormenta entre las cotas +2 m y +3 m, con una erosión máxima registrada en la cota +5.5 m en la cresta de la duna, erosión simulada bajo los eventos de tormenta ocurridos del 28 de Febrero al 03 Marzo de 1983 y del 16 al 19 Enero de 1988, retrocesos semejantes a los obtenidos en este trabajo (CCSTWS, 1991a).

V. CONCLUSIONES

- 1.- El límite inferior de la altura de ola para la determinación de eventos de tormenta es de 1.40 m, adicionado el criterio de ocurrencia $\geq 18\text{hr/día}$ a la altura de ola, se identificó 104 evento de tormenta.
- 2.- Los coeficientes de transporte determinados para el modelo numérico SBEACH dentro de las simulaciones realizadas en la zona de Playas de Tijuana son: ($K=1.6 \times 10^{-6} \text{ m}^4/\text{N}$) coeficiente de proporción de transporte, ($Eps=0.002 \text{ m}^2/\text{seg}$) coeficiente de transporte del término de pendiente y ($LAMM=0.2$) coeficiente de transporte para la porción fuera de la línea de rompiente, ya que simuló aceptablemente la erosión que ocurre en el perfil de playa bajo evento de tormenta de corta duración.
- 3.- Eventos de tormenta con una altura de ola $\geq 1.4\text{m}$ y con una duración de 1 día alcanza la parte superior del perfil provocando erosión en esa área. En los tres eventos de tormenta simulados para el perfil norte, se observó considerable retroceso entre las cotas +1 m y +3 m.
- 4.- La playa es más vulnerable a la erosión cuando ocurre una serie de eventos de tormenta aunque ocurran alturas de ola menores a las observadas en un evento de tormenta con duración de 1 o 2 días.
- 5.- La erosión máxima del perfil varía entre 1.0 y 1.5 m aproximadamente y se observa en el pie del cantil.

VI. RECOMENDACIONES

1.- Llevar a cabo un seguimiento estacional de la evolución del perfil de playa y generar información local de la climatología del oleaje, ya que esta información que es escasa en el área nos ayudaría a conocer la transición de la playa y si esta se encuentra en un proceso de depositación o erosión.

2.- Disminuir la construcción de infraestructura sobre el margen del cantil ya que es una zona muy inestable y esta expuesta a procesos de erosión. Es recomendable establecer un margen de seguridad para la construcción en esta área.

3.- Para reducir el retroceso de la línea de costa (cantil), se recomienda proteger el pie del cantil sobre todo entre las cotas +1 m y +3 m ya que en estas se registran la mayor remoción del material de playa.

4.- Se recomienda analizar con mayor detalle, en función de costos y disponibilidad de recursos, la utilización de alternativas de construcción de muros, enrocamiento o la alternativa de alimentación artificial de playa.

LITERATURA CITADA

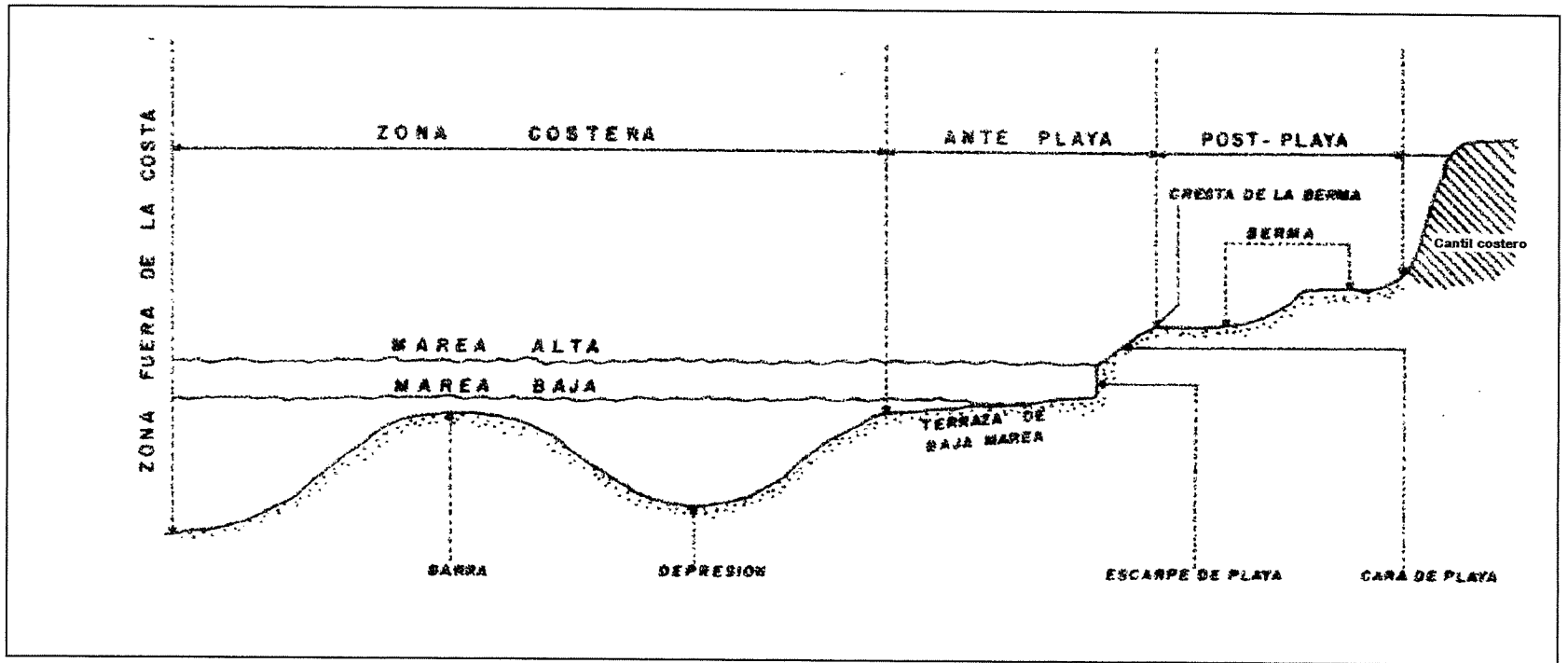
- Aubrey, D.G.**(1979) Seasonal Patterns of Onshore/Offshore Sediment Movement, *Jour. of Geophysical Research*. 84(10):6347-6354.
- Aubrey, D.G.**(1980) Our Dynamic Coastline, *Oceanus* 23(4):5-13.
- Armstrong, G. and R.E. Flick** (1989) Storm Damage Assessment for the January 1988 Storm Along the Southern California Shoreline. *Shore and Beach*. 57(4):18-23.
- Appendini-Albrechtsen, C.M.**(1995) Aplicación de un modelo numérico para la estimación de volúmenes de azolve en la central termoeléctrica de Rosarito, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 93pp.
- Bascom, W.** (1951) The Relationship Between Sand Size and Beach Slope. *American Geophysical Union, Trans.*32(6):866-874.
- Bascom, W.**(1964) *Waves and Beaches, the dynamics of ocean surface*. Anchor Books Science Study Series S34. 1ra. Edit, Garden City, N.Y.267pp.
- Balsillie, J.H.**(1986) Beach and Coast Erosion Due to Extreme Event Impact. *Shore and Beach*, 54(4):22-37.
- Castillon-Alvarez, R.C.**(1988) Transporte de Sedimento y su efecto sobre el perfil de playa en la Bahía de Todos Santos, B.C. México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 72pp.
- Caviglia, F.J. and J.L. Pousa**(1996) Beach Profile Response Simulation to Storm on the Argentine Coast. *Shore and Beach*.64(2):11-15.
- Cerca-Martínez, L.M.**(1995) Evaluación del Potencial de Extracción de Energía eléctrica a partir del oleaje, como posible fuente alterna en Rosarito, B.C. Tesis de Licenciatura Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 51pp.

- CCSTWS(1991a)** U.S. Army Corps of Engineers. Los Angeles, District:*Coast of California Storm and Tidal Waves Study*, State of the Coast Report San Diego Region. Vol I. Main Report CCSTWS 91-9.
- CCSTWS(1991b)** U.S. Army Corps of Engineers. Los Angeles, District:*Coast of California Storm and Tidal Waves Study*, State of the Coast Report San Diego Region. Vol II - Appendices.
- Cupul-Magaña, L.A.**(1983) Causas de Erosión en Playas de Tijuana durante el invierno de (1977-78). Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Ciencias Marinas-Universidad Autonoma de Baja California, Ensenada, B.C. 56pp.
- Domurat, G.W.**(1978) Selected Coastal Storm Damage in California, Winter of 1977-78. *Shore and Beach*. :45(4)15-20.
- Domurat, G.W.**(1981) The Coastal Data Information Program. *Shore and Beach*. 49(4):12-18.
- Dubois, R.N.**(1988) Seasonal Changes in Beach Topography and Beach Volume in Delaware. *Marine Geology*., 81:79-86.
- Egense, A.K.**(1989) Southern California Beach Change in Response to Extraordinary Storm. *Shore and Beach*. 57(4):14-18.
- Folk, R.L.**(1974) *Petrology of Sedimentary Rocks*. Univ. of Texas. 1ra Ed. Hemphill Publishing Co. Austin, TX. U.S.A. 182pp.
- Frías, A.V y G.C. Moreno**(1988) *Ingeniería de Costas*. Edit. LIMUSA, 2da. Edición, México, D.F.339pp.
- Flick, R.E. and D.R. Cayan**(1984) Extreme Sea Level on the Coast of California, *Proceedings of the 19th Coastal Engineering conference*. Edge, Bully L.(ed.) 886-898.
- Flick, R.E. and A. Badan-Dangon** (1989) Coastal Sea Level During the January 1988 Storm off the California. *Shore and Beach*, 57(4):28-30.

- Flick, R.E. and E.H. Sterrett** (1994) "The San Diego Shoreline" Shoreline Erosion Assesment and Atlas of the San Diego Region, vol. I. Sacramento, CA: California Dept. of Boating and Waterways. 133pp.
- González Calvillo, A. y Cupul Magaña, L.A.**(1986) Causas de erosión en Playas de Tijuana B.C., durante el período 1975-1985. *Ciencias Marinas*. 12(3):82-84.
- Gonzalez-Villagran, A.**(1992) Reevaluación de los Estudios Utilizados para el Diseño del Puerto de Ensenada, B.C., Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas-Universidad Autonoma Baja California, Ensenada, B.C. 126pp.
- Hallermeier, R.J.**(1981) A Profile Zonation for Seasonal Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering.*, 4:253-277.
- Hernandez-Walls, R.**(1986) Circulación Inducida por el Viento en la Zona Costera. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas- Universidad Autonoma Baja California, Ensenada, B.C. 53pp.
- Kana, T.M.** (1977) Beach Erosion during minor storm. *Jour. of Waterway port coastal and ocean division*, Beach Erosion, 505-518.
- Komar, P.D.**(1976) *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, 1st. Ed, Englewood Cliffs, N.Y. 429pp.
- Kuhn, G.G. and F.P. Shepard**(1981) Should Southern California Build Defenses Against Violent Storms Resulting in Lowland Flooding As Discovered in Records in Past Century. *Shore and Beach*. 49(4):3-11.
- Kuhn, G.G. y Shepard, F.P.**(1983) Newly Discovered Evidence From The San Diego County Area of Some Principles of Coastal Retreat. *Shore and Beach*. 51(1):3-12.
- Kadib, A., Fine, S. and S. Ryan**(1989) Coast of California Storm and Tidal Wave Study an Overview. *Proc. Coastal Zone '89*, ASCE, 836-848 pp.

- Larson, M., and N.C. Kraus**(1989) "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change", Report 1, Empirical Foundation and Model Development, Technical Report CERC-89-9, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 256pp.
- Larson, M., Kraus, N.C. and M.R. Byrnes**(1990) "SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change"; Report 2, Numerical formulation and model test, Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 115pp.
- Mancillas, M and A.J. Sanchez**(1988) Coastal Effects of the Extratropical Storm of January 17-18/1988. Along the West Coast of Northern Baja California, México. *Proced. Natural and Man-Made Hazards/89*. 74-79.
- Montes de Oca, M.**(1989) *TOPOGRAFÍA*. Edit Alfaomega 4ta. Ed. Mexico, D.F. 343pp.
- Martínez Díaz de León, A., Nava-Button, C. y F.J. Ocampo Torres**(1989) Estadística del oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C. de septiembre de 1986 a agosto de 1987, *Ciencias Marinas*. 15(3): 1-20.
- NOAA**(1988) U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service. Tidal Bench Marks, La Jolla, CA. Pacific Ocean. <http://www.olld.nos.noaa.gov/bench/9410230.txt>. 5pp.
- Rosati, J.D., R.A. Wise, Kraus, N.C. and M. Larson**(1993) "SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Changes". Report 3 Users Manual. Coastal Engineering Research Program, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 54pp.
- Seymour, R.J., Strange, R.R., Cayan, D.R. and R.A. Nathan**(1984). Influence of el niño on California wave climate, *Proceedings of the 19th Coastal Engineering conference*. Edge, Bully L.(ed.)577-592.

- Seymour, R.J.**(1989) Wave Observation in the Storm of 17-18 January,1988. *Shore and Beach*, 57(4):10-13.
- Strange, R.R., Graham, N.E. and D.R. Cayan**(1989) Meteorological Development of the Unusually Severe Coastal Storm During January 16-18, 1988. *Shore and Beach*, 57(4):3-9.
- Wiegel, R.L.**(1964) *Oceanographical Engineering*. Prentice-Hall Internacional Series in Theoretical and Applied Mechanics, 1st. Edition, Englewood Cliffs, N.J. 532pp.
- Wiegel, R.L.**(1992) Some Complexities of Coastal Waves, Currests, Sand, and Structures. *Shore and Beach*, Coastal Forum. 60(1):21-33.
- Winant, C.D., D.L. Inman. and C.E. Nordstrom**(1975) Description of Seasonal Beach Changes Using Empirical Eigenfunctions. *Jour. of Geophysical Research*. 80(15):1979-1986.
- Wise, R.A., Smith, S.J. and M. Larson**(1996) "SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change"; Report 4, Cross-shore transport under random waves and model validation with SUPERTANK and field data, Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 139pp.
- Work, P.A. and R.G. Dean**(1995) Assesment and Prediccion of Beach-Nourishment Evolution. *Jour. of Waterways, Port, Coastal, Ocean Engineering*. 121(3):182-189.
- Zueck, R.F. and W.A. Bartel**(1989) Experimental Ocean Plataform Survives Extreme Storm Waves. *Shore and Beach*, 57(4):44-47.



Terminología del Perfil de playa (Figura tomada de Lizarraga, 1972)