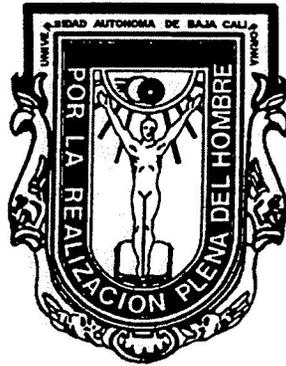


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



CAMBIOS EN EL PATRON DE CORRIENTES LITORALES EN UNA  
PLAYA DE BOLSILLO CON LA INTRODUCCION DE  
OBRAS COSTERAS

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**OCEANOLOGO**

PRESENTA:  
KATIA GALINDO ALBRECHTSEN

ENSENADA, B.C., NOVIEMBRE DE 1997.

## RESUMEN

Se compararon las modificaciones en el patrón de corrientes litorales en Playitas, para las condiciones previas y posteriores a la construcción del rompeolas y el espigón del Hotel Coral y Marina en 1993, utilizando 12 casos de oleaje de aguas profundas. Para las condiciones previas los datos de altura y ángulo de incidencia del oleaje en la zona de rompiente se obtuvieron con el modelo de refracción RCPWAVE. Con estos datos se calculó la velocidad y dirección de la corriente litoral con la fórmula semiempírica de Komar (1970). Se obtuvo un sólo patrón de corrientes litorales, en el cual la corriente fluye de los extremos de Playitas hacia el centro, creando una zona de convergencia. Las velocidades de la corriente litoral para la zona sur fueron de entre 27 y 78 cm/s, en el centro de la playa de 0 a 73 cm/s y en la zona norte de 24 a 176 cm/s. Para las condiciones posteriores a la construcción de la marina se elaboraron seis diagramas de difracción y se encontró que la reducción del oleaje fue del 80 al 91 %. La posible zona de rompiente se encuentra a lo largo del enrrocamiento de Quintas Papagayo a una profundidad máxima de 28.2 cm, por lo tanto, la zona de rompiente y el patrón de corrientes litorales en la zona sur es despreciable debido a que la profundidad es de 1.5 m.

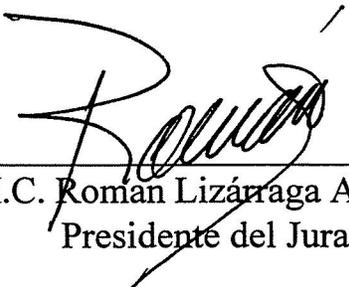
CAMBIOS EN EL PATRON DE CORRIENTES LITORALES EN UNA  
PLAYA DE BOLSILLO CON LA INTRODUCCION DE  
OBRAS COSTERAS

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**OCEANOLOGO**

PRESENTA:

KATIA GALINDO ALBRECHTSEN

Aprobada por:



---

M.C. Roman Lizárraga Arciniega  
Presidente del Jurado



---

M. C. Rigoberto Guardado France  
Sinodal Propietario



---

M. C. Cuauhtémoc Nava Button  
Sinodal Propietario

*Dedicada a  
mis papás,  
a Gerardo,  
a Silvia Saade  
y a la Familia García Silva*



En la vida no hay experiencias malas, todo es parte de un proceso de aprendizaje.

THIS

## AGRADECIMIENTOS

- ♣ Al M. C. Roman Lizárraga por el gran apoyo que me brindó durante la realización de esta Tesis y sobre todo, por enseñarme el arte de la paciencia y dedicación para lograr lo que uno quiere.
- ♣ A los sinodales M. C. Rigoberto Guardado y M. C. Cuauhtémoc Nava por sus valiosos comentarios.
- ♣ Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo.
- ♣ A la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ciencias Marinas por la formación profesional que me brindaron durante todos estos años.
- ♣ A *CIRIO*, Ambiente y Desarrollo Comunitario A.C.: Rogelio, Juan Carlos, Ana Luz, Carolina y Miguel por enseñarme que la Oceanología tiene una gran aplicación.
- ♣ A la M. C. Conchita Arredondo por los datos digitalizados del mapa de la Bahía de Todos Santos.
- ♣ Al M. C. César García por la información proporcionada y sobre todo por enseñarme a dar lo mejor cada día.
- ♣ A Gera por su paciencia, apoyo moral, comprensión etc., etc., en fin, por TODO y por enseñarme a no darme por vencida. ☺
- ♣ A Marisa, Liza, Ceci y Marisol por estar siempre ahí y por poder compartir lo que somos.
- ♣ A Chris por toda su ayuda y consejos.
- ♣ A Mariano por ayudarme con las fotos de la Tesis.
- ♣ A los SNORKEL'S
- ♠ A la vida, por todo lo bueno y lo malo.

## INDICE

Resumen	i
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Lista de Tablas	vii
Lista de Figuras	vii
Apéndice	viii
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Hipótesis	4
1.3. Objetivo	5
1.4. Area de estudio	5
2. Metodología	7
2.1. Oleaje	7
2.2. Batimetría	8
2.3. Modelo de refracción: RCPWAVE	10
2.4. Difracción	10
2.5. Cálculo de corrientes litorales	12
3. Resultados	13
3.1. Condiciones previas a 1993	13
3.1.1. Oleaje con un ángulo de aproximación de 250°	17
3.1.2. Oleaje con un ángulo de aproximación de 270°	18
3.1.3. Oleaje con un ángulo de aproximación de 290°	19
3.2. Condiciones posteriores a 1993	19

3.2.1. Oleaje con un ángulo de aproximación de 250°	26
3.2.2. Oleaje con un ángulo de aproximación de 270°	26
3.2.3. Oleaje con un ángulo de aproximación de 290°	27
4. Discusiones	28
4.1. Patrón de corrientes litorales previo a la construcción del Hotel Coral y Marina (1993)	28
4.2. Condiciones posteriores a 1993	29
5. Conclusiones	31
6. Literatura citada	32

## Lista de Tablas

1	Datos de oleaje utilizados.	8
2	Resultados de oleaje en la zona de rompiente y velocidades de la corriente litoral para las condiciones previas a la construcción de la Marina Coral.	14
3	Velocidades promedio de las corrientes litorales para las condiciones previas a 1993.	16
4	Relación de los casos del oleaje con el caso de difracción.	20
5	Altura del oleaje (cm) difractado para la zona sur de Playitas.	21

## Lista de Figuras

1	Area de estudio.	6
2	Batimetría de Playitas previo a 1993.	9
3	Batimetría actual de la zona de Playitas.	9
4	Ejemplo de los datos de salida del modelo RCPWAVE para las condiciones de oleaje de $\theta_{11} = -22.6^\circ$ , $H_{11} = 0.72$ cm y $T_{11} = 7$ s en Playitas.	11
5	Patrón de corrientes litorales previo a 1993.	13
6	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -15^\circ$ y $T = 7$ s.	22
7	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -15^\circ$ y $T = 9$ s.	23
8	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -15^\circ$ y $T = 10$ s.	23
9	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -15^\circ$ y $T = 12$ s.	24
10	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -30^\circ$ y $T = 7$ s.	25
11	Diagrama de difracción para $\theta_9 = -30^\circ$ y $T = 11$ s.	25

## APENDICE

H	altura de la ola
$H_0$	altura de la ola en aguas profundas
$H_9$	altura de la ola a los 9 m de profundidad
$H_{11}$	altura de la ola a los 11 m de profundidad
$H_b$	altura de la ola en la zona de rompiente
$\theta$	ángulo de aproximación del oleaje
$\theta_0$	ángulo de aproximación del oleaje en aguas profundas
$\theta_9$	ángulo de aproximación del oleaje a los 9 m de profundidad
$\theta_{11}$	ángulo de aproximación del oleaje a los 11 m de profundidad
$\theta_b$	ángulo de aproximación del oleaje en la zona de rompiente
k	coeficiente de difracción del oleaje
T	periodo de la ola
$T_0$	periodo de la ola en aguas profundas
$T_9$	periodo de la ola a los 9 m de profundidad
$T_{11}$	periodo de la ola a los 11 m de profundidad
$V_1$	velocidad de la corriente litoral con dirección de sur a norte
$-V_1$	velocidad de la corriente litoral con dirección de norte a sur

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Corrientes Litorales

La configuración de la línea de costa se encuentra regida por varios elementos, como son las corrientes, el nivel del mar, las fuentes de sedimento, las fuerzas físicas y la intervención del hombre. Dentro de las fuerzas físicas, el oleaje es el elemento principal que determina la configuración de la línea de costa, debido a que genera corrientes litorales que se encargan de distribuir el sedimento a lo largo de las playas.

El oleaje que se genera en mar abierto se transforma al entrar en aguas someras, debido a que la batimetría local produce cambios en la altura del oleaje y en el ángulo de aproximación. Los rasgos batimétricos determinan la concentración o disipación de energía debida a procesos de refracción y difracción; la refracción es causada por el cambio en la velocidad de la ola y la difracción es consecuencia de los rasgos superficiales o puntas rocosas, siendo ambos procesos importantes en el comportamiento de las corrientes litorales.

Las corrientes litorales se generan debido a la aproximación oblicua del oleaje y a la diferencia de altura de la ola a lo largo de la playa; se presentan entre la zona de rompiente y la línea de costa y su velocidad está en función de la altura de las olas al llegar a la playa y del ángulo que forma la cresta del oleaje con respecto a ella (Guza y Thornton, 1986). La dirección de las corrientes litorales depende de las características del oleaje y de la morfología costera, por lo tanto, a lo largo del año, se forman diferentes patrones de corrientes que determinan la distribución y volumen de sedimento que se mueve a lo largo de las playas, determinando dónde se deposita o dónde se erosiona el material (Komar, 1975).

La construcción de obras de protección costera modifica los patrones de corrientes litorales y por lo tanto, la distribución de la energía del oleaje y la manera en que se mueve el sedimento a lo largo de las playas. Los diferentes tipos de estructuras tienen distintos efectos en el comportamiento de estos patrones: los espigones y escolleras que se extienden perpendicularmente a la línea de costa bloquean o reducen el abastecimiento de arena; los rompeolas que se encuentran fuera de la zona de rompiente, ocasionan depositación de arena corriente arriba, erosión corriente abajo (Shore Protection Manual, 1984) y tienen la función de disminuir la energía del oleaje a lo largo de la costa, para crear zonas protegidas para marinas y áreas de recreación. Las obras que

bloquean el oleaje producen modificaciones en la altura y ángulo de la ola en la zona de rompiente, que alteran el patrón de corrientes litorales.

El estudio de las corrientes litorales es relevante para que las obras de protección costera tengan una orientación adecuada y por lo tanto, eviten un desequilibrio en la estabilidad de la línea de costa. Además, es importante entender el comportamiento de las corrientes litorales, debido a que son responsables de la distribución de sedimento, contaminantes, larvas y microorganismos a lo largo de la costa (Levin, 1983). Por ejemplo, su conocimiento previo nos puede proporcionar las zonas susceptibles a la concentración de sustancias o de microorganismos, así como los posibles canales de desalojo hacia mar adentro. El propósito de este trabajo es estimar los cambios que se producen en el patrón de corrientes litorales en una playa de bolsillo "Playitas" (Figura 1), al construir las obras de protección costera del Hotel Coral y Marina de Ensenada, B.C.

## 1.2. Antecedentes

El estudio de corrientes litorales se puede realizar por métodos directos o indirectos; los métodos directos se realizan utilizando crucetas y corrientímetros (Seymour y Higgins, 1978), mientras que en las mediciones indirectas, la dirección de la corriente se estima a partir de la distribución del tamaño de grano de la playa (Krumbein y Sloss, 1963), de la concentración de minerales pesados (Samura y Horikawa, 1971) y de las características del oleaje (Komar, 1975; Reddy *et al.*, 1979).

Las corrientes litorales en la Bahía de Todos Santos han sido estudiadas a partir del análisis estadístico de la distribución del tamaño de sedimento (Mendez-Ariaga, 1982), de la acumulación de minerales pesados (Aranda-Manteca, 1982) y de estadísticas de oleaje (Ahumada-Sempoal, 1993). En estos trabajos se reportan algunas estimaciones de la corriente litoral para la zona de Playitas antes de la construcción del Hotel Coral y Marina.

Mendez-Ariaga (1982) calculó el transporte y dirección de las corrientes litorales en la Bahía de Todos Santos a partir de un análisis estadístico sobre la distribución del tamaño de sedimento; para Playitas concluyó que la dirección de la corriente litoral fue de sur a norte. Estos resultados coinciden con los de Aranda-Manteca (1982), que realizó un estudio sobre la determinación de corrientes litorales a partir de minerales pesados para la Bahía de Todos Santos.

Ahumada-Sempoal (1993) utilizó ángulos de aproximación del oleaje de aguas profundas desde los  $230^\circ$  hasta los  $280^\circ$  (azimut). Para el área de Playitas, obtuvo que para olas con un ángulo de aproximación ( $\theta_o$ ) de  $230^\circ$ , una altura significativa ( $H_{s_o}$ ) de 1m y un periodo (T) de 12 s, la velocidad de la corriente fue de 70 cm/s con dirección de sur a norte. Para el caso de  $\theta_o = 242^\circ$ ,  $H_{s_o} = 1$  m y  $T = 12$  s, la dirección de la corriente fue de norte a sur, con una velocidad de 88.5 cm/s, mientras que para un  $\theta_o = 280^\circ$ ,  $H_{s_o} = 2$  m y  $T=12$  s, la velocidad de la corriente resultante fue de 14 cm/s en dirección de sur a norte.

La morfología de Playitas antes de la construcción de la Marina Coral, mantenía una zona de calma al norte, mientras que la saliente rocosa de la zona sur recibía el oleaje directamente y provocaba erosión (Aranda-Manteca, 1983). En 1988 Playitas sufrió una severa erosión causada por una fuerte tormenta, que provocó que la arena fina y media de la playa se erosionara, quedando una playa formada por cantos rodados (Dooren-Osio, 1991). Cruz-Colin (1994) encontró que Playitas no era capaz de regenerarse, debido a que el 80 % de la fracción

fin de sedimento aportado por el cantil (5 092 m<sup>3</sup>/año), fue puesto en suspensión y acarreado por el oleaje hacia mar adentro y por lo tanto, no había manera de que las olas lo regeneraran.

Benet-Camarena (1994) propuso un proyecto de regeneración artificial en Playitas a partir del método de transferencia de arena. Basándose en mediciones con boyas de tipo cruceta de deriva, obtuvo que la dirección de la corriente litoral era de sur a norte.

En 1993 se empezó la construcción de la Marina Coral en Playitas. La marina se terminó de construir a finales de 1995, cuenta con 582 espacios para embarcaciones de pequeño calado y con un hotel de 5 estrellas. La marina ofrece los servicios de abastecimiento de combustible, de mantenimiento de embarcaciones, de rampa para botar las embarcaciones y de recolección de desechos sólidos domésticos. La marina esta formada por un rompeolas, un espigón y un muro de contención.

Guardado France (1997) realizó un estudio sobre la funcionalidad de las obras de protección costera de la Marina Coral; encontró que el rompeolas y el enrocamiento de Quintas Papagayo tienen problemas de erosión lateral, erosión en la base, salida de elementos, fracturamiento y rebase de la estructura por oleaje en épocas de tormenta, mientras que el espigón no presentó ningún problema estructural. Los problemas de erosión se deben a la modificación en la aproximación y altura del oleaje ocasionadas por la introducción de obras costeras.

Resulta importante estudiar las modificaciones en el patrón de corrientes litorales, ya que determinan la dispersión de contaminantes, organismos y la distribución del sedimento a lo largo de la costa, por lo que es de suponer que las obras de protección costera modificaran estos patrones.

### **1.3. Hipótesis**

Las obras de protección costera modificaron el patrón de corrientes litorales en la zona sur de Playitas.

## 1.4. Objetivo

Estimar los cambios en el patrón de corrientes litorales en la playa de bolsillo conocida como "Playitas" con la introducción de las obras de protección costera del Hotel Coral y Marina.

## 1.5. Área de estudio

Playitas se encuentra ubicada dentro de la Bahía de Todos Santos, Ensenada, BC, entre los 31° 51' 56" de latitud norte y los 116° 39' 52" de longitud oeste, en el km 108 de la carretera Tijuana-Ensenada (Figura 1).

Playitas era una playa de bolsillo de 700 m de longitud, formada por rocas postbatolíticas de tipo marino y del cuaternario. Está limitada al norte por Punta Morro y al sur por Punta Papagayo, ambas de material basáltico (Benet-Camarena, 1994). La zona sur de Playitas está formada por cantiles de areniscas consolidadas (Figura 2).

Anterior a la tormenta de 1988, la zona sur de Playitas presentaba una pendiente pronunciada, compuesta principalmente de cantos rodados; la zona norte tenía una pendiente suave y una franja ancha de arenas claras en forma de luna. En invierno, Playitas presentaba un patrón de erosión, mientras que en verano, había depositación de sedimento (Aranda-Manteca, 1983).

Actualmente en Playitas se encuentra el Hotel Coral y Marina, que está formado por tres obras de protección costera:

- Un muro de contención y terrenos ganados al mar, que delimitan la nueva zona federal marítimo terrestre; el muro está construido a partir del NMBI de + 0.5 m.
- Un rompeolas con una longitud total de 610.5 m, orientado al suroeste.
- Un espigón con una longitud total de 281 m, perpendicular a la línea de costa.

El tamaño del canal de navegación que existe entre la punta del rompeolas y el espigón es de 88 m, con una profundidad media de 7.5 m. La zona de Quintas Papagayo se encuentra protegida por un enrocamiento de 80 m de largo y de 5 m de alto, construido con un ángulo de 75° con respecto a la horizontal (Guardado-France, 1997).

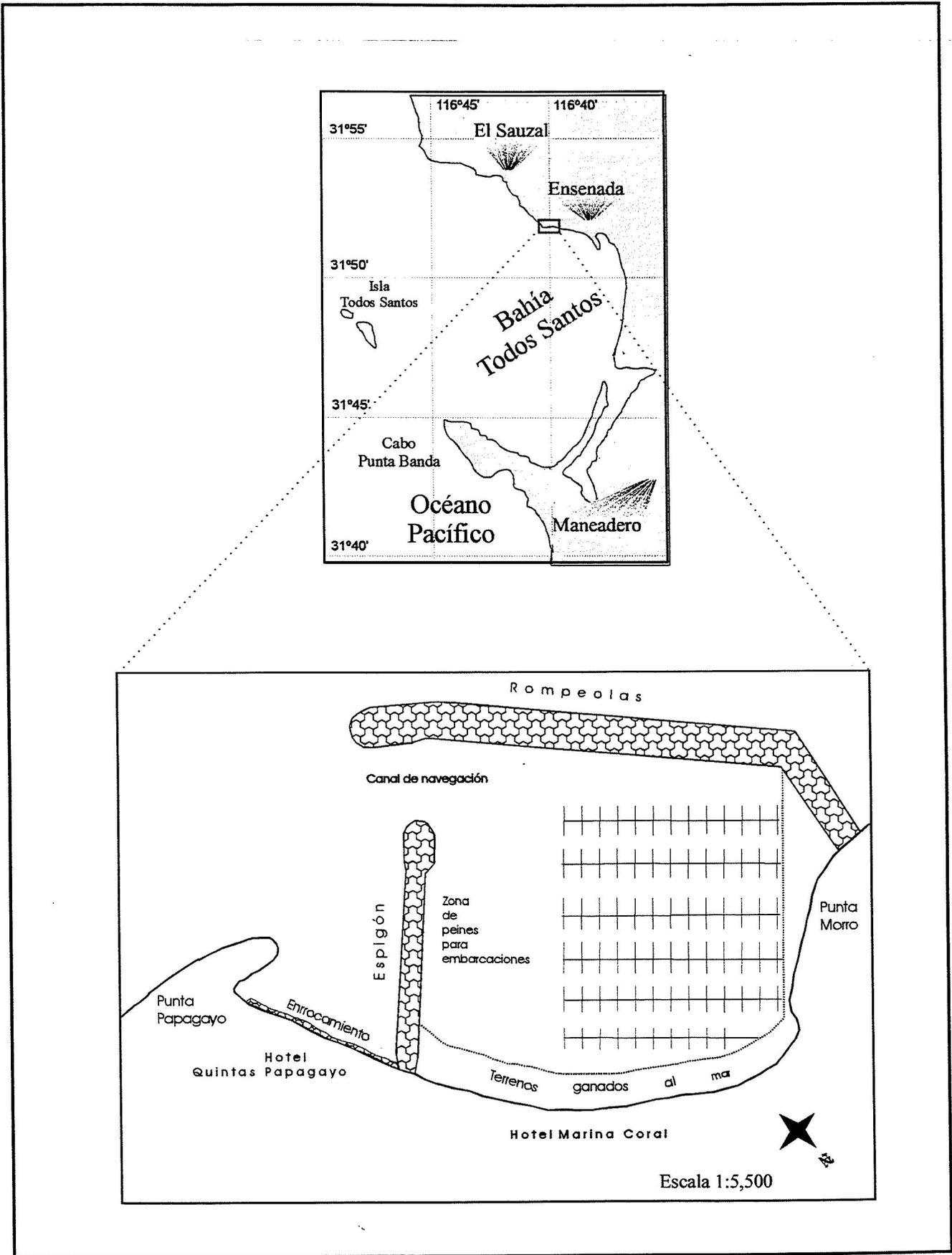


Figura 1. Localización del área de estudio.

## 2. METODOLOGÍA

Se describe la metodología que se utilizó para estimar y comparar las corrientes litorales inducidas por el oleaje, así como los elementos principales que intervienen en su generación, como son: condiciones de oleaje de mar profundo, batimetría, refracción (condiciones previas a 1993), difracción (condiciones posteriores a la construcción del Hotel Coral y Marina) y datos de oleaje en la zona de rompiente (ángulo y altura de la ola). Posteriormente se compararon los resultados de las condiciones previas y posteriores a la construcción de la marina, para conocer cuáles han sido las modificaciones en las corrientes litorales.

### 2.1. Oleaje

La estación de registro se encuentra frente a la playa de Imperial Beach, CA. Los datos se obtuvieron a partir de un diagrama de rosa de estadísticas de predicción de oleaje del WIS (Wave Information Studies of US Coastlines, reporte # 20, 1992) que comprenden un periodo de veinte años (1956-1975). Abarcan un intervalo de  $180^{\circ}$  a  $337.5^{\circ}$  con respecto al norte y se encuentran divididos en ventanas de  $22.5^{\circ}$ . El criterio de selección para los ángulos de aproximación del oleaje de mar profundo, se basó en el mayor porcentaje de ocurrencias en las estadísticas durante el periodo de registro.

En base a las tablas de datos del WIS, para cada ángulo de incidencia del oleaje se seleccionaron las dos alturas más frecuentes y para cada altura, los dos periodos más frecuentes; de esta manera se obtuvieron 12 casos de oleaje que incluyen altura, periodo y ángulo de aproximación. Los datos utilizados se presentan en la Tabla 1.

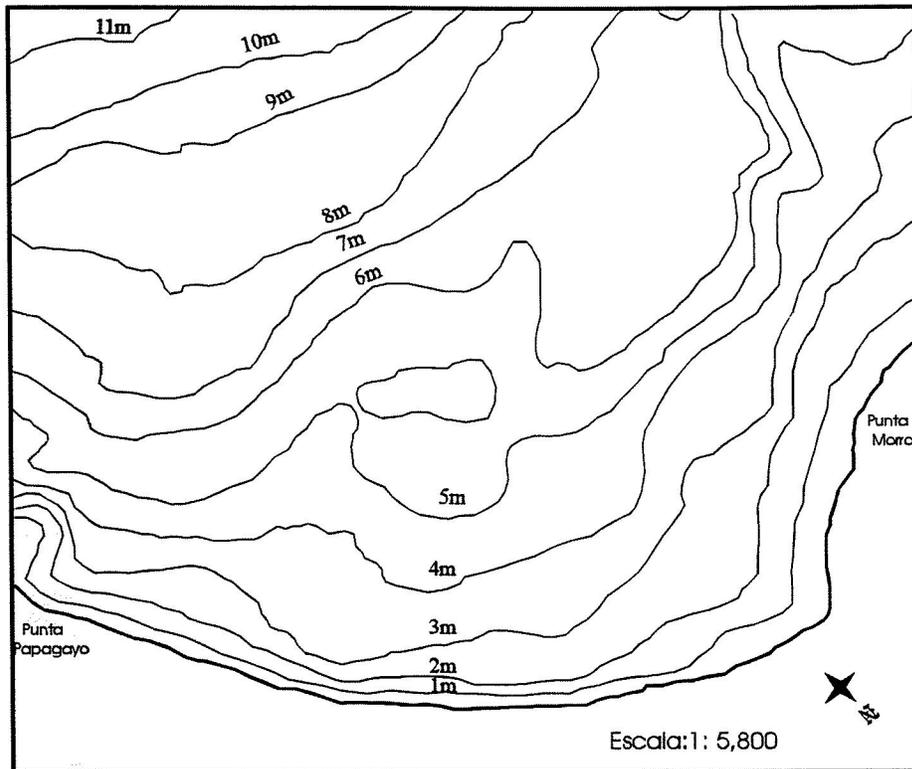
Para las condiciones previas y posteriores a la construcción de la marina, los datos de oleaje de mar profundo se transformaron para obtener sus características en la zona de rompiente.

**Tabla 1.** Datos de oleaje utilizados.

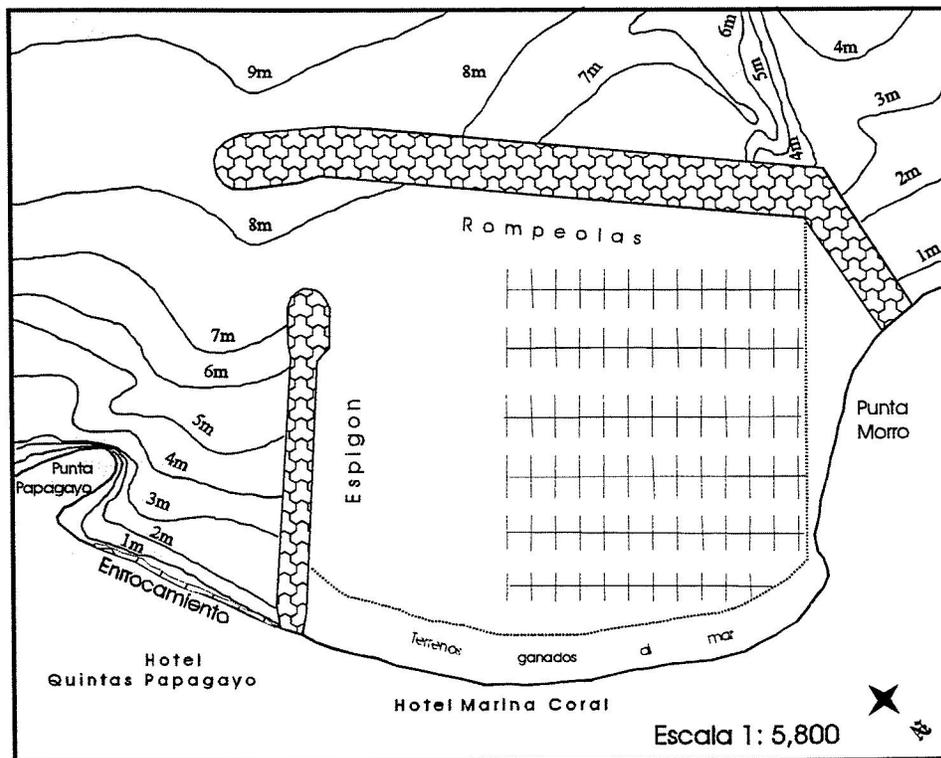
$\theta_o = 250^\circ$			
$H_o = 120 \text{ cm}$		$H_o = 170 \text{ cm}$	
$T = 7 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$
$\theta_o = 270^\circ$			
$H_o = 120 \text{ cm}$		$H_o = 170 \text{ cm}$	
$T = 7 \text{ s}$	$T = 11 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 12 \text{ s}$
$\theta_o = 290^\circ$			
$H_o = 75 \text{ cm}$		$H_o = 120 \text{ cm}$	
$T = 9 \text{ s}$	$T = 10 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$	$T = 10 \text{ s}$

## 2.2. Batimetría

Se digitalizó la batimetría de la Bahía de Todos Santos (Carta Urbana del Programa de Desarrollo Urbano de Ensenada, BC, 1995, con escala 1:35,000) y de la zona Playitas (anterior a 1993). Posteriormente se elaboraron las mallas con el programa SURFER, versión 5.0 para Windows, que se utilizaron en el modelo de refracción. El mapa de la bahía se utilizó para proyectar las olas desde los 55 m hasta los 11 m de profundidad, obteniéndose los ángulos de aproximación del oleaje ( $\theta_{11}$ ) y sus alturas ( $H_{11}$ ). La resolución de la malla de Playitas fue mayor que la de la bahía, para obtener resultados de oleaje cada 16 m a lo largo de la playa y cada 8 m a lo ancho (38 x 74 celdas) (Figuras 2 y 3).



**Figura 2. Batimetría de Playitas previo a 1993.**



**Figura 3. Batimetría de la parte sur de Playitas.**

### 2.3. Modelo de refracción: RCPWAVE

El modelo RCPWAVE (Regional Coastal Processes Numerical Modeling System) se utilizó para calcular la transformación del oleaje monocromático sobre batimetrías arbitrarias y se basa en la teoría lineal del oleaje. Este modelo ha sido probado exitosamente en muchos lugares, por ejemplo en Duck Pier, al norte de Carolina y en Homer Spit, Alaska (Ebersole *et al.*, 1986).

Los datos de entrada que se requieren son: el ángulo de incidencia, altura y periodo del oleaje de aguas profundas ( $\theta_o$ ,  $H_o$  y  $T_o$ ). Los resultados que se obtienen con el RCPWAVE son: el ángulo de incidencia (con respecto a la línea de costa) y la altura de la ola para todas las celdas de la malla, así como la altura y ángulo del oleaje en la zona de rompiente ( $H_b$  y  $\theta_b$ ). La Figura 4 muestra un ejemplo de los resultados que se obtuvieron con el modelo RCPWAVE en Playitas.

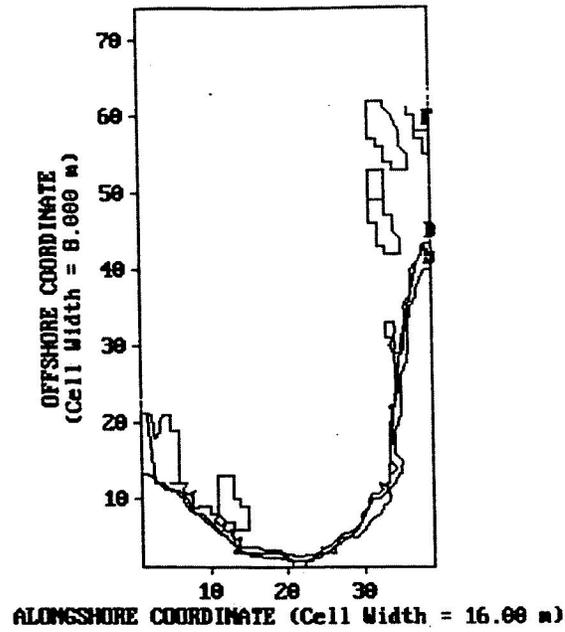
### 2.4. Difracción

Considerando que la construcción del rompeolas produce un efecto de difracción en la zona sur de Playitas, se elaboraron diagramas de difracción siguiendo la metodología del Shore Protection Manual (1984). Para elaborarlos, se utilizó el modelo RCPWAVE para obtener los ángulos y periodos del oleaje en la punta del rompeolas, que se encuentra a los 9 m de profundidad. La batimetría que se utilizó en el modelo fue la de Playitas. Los ángulos del oleaje se redondearon a  $15^\circ$  o a  $30^\circ$ , debido a que las plantillas se encuentran diseñadas para intervalos de oleaje de  $15^\circ$ . Con estos diagramas se obtuvieron las reducciones del oleaje en la zona sur de Playitas, utilizando la siguiente fórmula:

$$H = k H_9$$

donde:

- H = Altura de la ola difractada (cm).
- k = Reducción de la ola.
- $H_9$  = Altura de la ola en la punta del rompeolas (cm).



RCPWAVE DATA CONTOURS  
 WAVE ANGLES (DEGREES): CASE 1

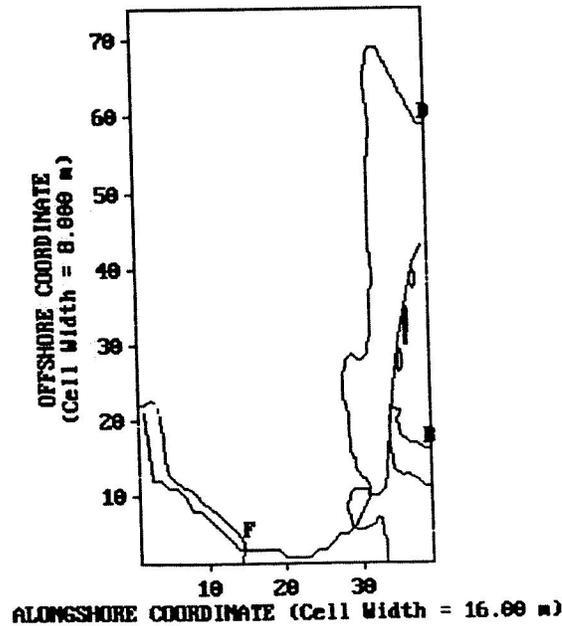


Figura 4. Ejemplo de los datos de salida del modelo RCPWAVE para las condiciones de oleaje de  $\theta_{11} = -22.6^\circ$ ,  $H_{11} = 0.72$  cm y  $T_{11} = 7$  s en Playitas.

## 2.5. Cálculo de corrientes litorales

A partir de los resultados generados por el RCPWAVE (ángulo, altura y periodo del oleaje), se calcularon las corrientes litorales con el modelo semiempírico de Komar e Inman (1970), para las condiciones previas a la construcción de la marina. La velocidad se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$V_1 = 2.7 U_m \text{ Sen} (\theta_b) \text{ Cos} (\theta_b)$$

donde:

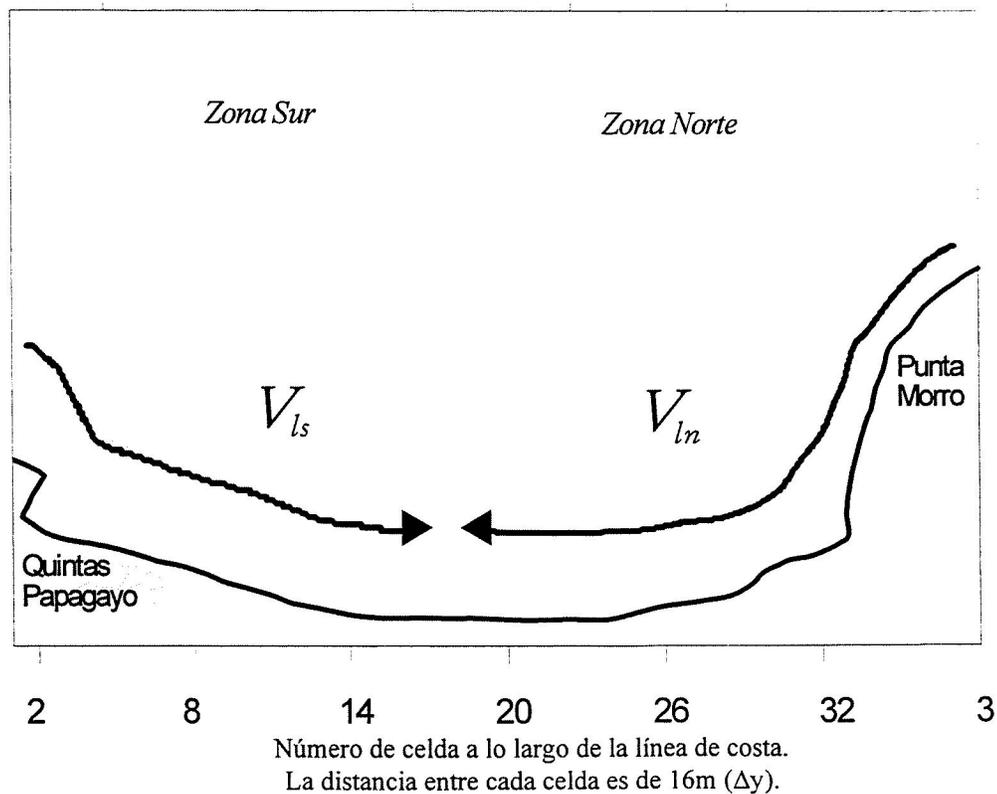
- $V_1$  = Velocidad de la corriente litoral ( $\text{cm s}^{-1}$ ).
- $U_m$  = Velocidad máxima orbital de las partículas:  $U_m = 2 E_b / (\rho h_b)$   $\text{cm s}^{-1}$ .
- $h_b$  = Profundidad en la zona de rompiente (cm).
- $\rho$  = Densidad del agua de mar ( $\rho = 1.025 \text{ gr cm}^{-3}$ ).
- $E_b$  = Energía del oleaje en la zona de rompiente:  $E_b = (\rho g H^2) / 8$   $\text{erg cm}^{-2}$ .
- $g$  = Aceleración debida a la gravedad ( $g = 981 \text{ cm s}^{-2}$ ).

### 3. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos para las 12 condiciones de oleaje previas y posteriores a la construcción de la marina. Para cada aproximación del oleaje de aguas profundas se describen los resultados de su transformación tanto para refracción (condiciones previas) como para difracción (condiciones posteriores).

#### 3.1. Condiciones previas a 1993

Se analizaron 12 condiciones de oleaje previas a la construcción de la marina, obteniendo siempre el mismo patrón de corrientes litorales (Figura 5), con variaciones únicamente en la rapidez. Por lo tanto para cada caso de oleaje sólo se describen de manera general las alturas, el ángulo de rompiente y las velocidades de la corriente litoral. En la Tabla 2 se aprecian los resultados de altura y ángulo del oleaje en la zona de rompiente a lo largo de cada celda y en la Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados de corrientes litorales obtenidos para cada aproximación del oleaje.



**Figura 5.** Patrón de corrientes litorales previo a 1993.

**Tabla 3.** Resultados de oleaje en la zona de rompiente y velocidades de las corriente litoral para las condiciones previas a la construcción de la Marina Coral.

CARACTERÍSTICAS DEL OLAJE			RESULTADOS DE OLAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTE EN CADA CELDA									
MAR PROFUNDO			A LOS 11 m		VARIABLES	2	8	14	20	26	32	38
$\theta_o$ (°)	$H_o$ (cm)	T (s)	$\theta_{11}$ (°)	$H_{11}$ (cm)								
250	120	7	-27	51	$\theta_b$ (°)	17	19	12	-4	-31	-37	-44
					$H_b$ (cm)	30	10	10	10	30	30	60
					$V_l$ (cm/s)	57	27	27	-6	-24	-84	-131
250	120	9	-16.2	73	$\theta_b$ (°)	14	21	14	-3	-29	-32	-33
					$H_b$ (cm)	70	50	70	10	30	30	70
					$V_l$ (cm/s)	65	56	65	0	-33	-35	-127
250	170	7	-22.6	100	$\theta_b$ (°)	12	20	13	-6	-31	-34	-42
					$H_b$ (cm)	70	50	70	80	80	50	90
					$V_l$ (cm/s)	63	84	68	-34	-147	-122	-176
250	170	9	-16.2	100	$\theta_b$ (°)	8	21	14	-4	-29	-33	-39
					$H_b$ (cm)	110	50	70	90	90	50	120
					$V_l$ (cm/s)	53	88	73	-24	-149	-120	-199
270	120	7	-27	51	$\theta_b$ (°)	17	19	12	-4	-31	-37	-44
					$H_b$ (cm)	30	10	10	20	40	30	30
					$V_l$ (cm/s)	57	36	23	-11	-104	-98	-102
270	120	11	-16.2	59	$\theta_b$ (°)	25	19	10	-2	-27	-34	-42
					$H_b$ (cm)	30	10	10	10	40	20	40
					$V_l$ (cm/s)	78	36	20	-4	-95	-77	-117

**Continuación Tabla 3.**

CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE			RESULTADOS DE OLEAJE EN LA ZONA DE ROMPIENTE EN CADA CELDA									
MAR PROFUNDO			A LOS 11 m		VARIABLES	2	8	14	20	26	32	38
$\theta_0$ (°)	$H_0$ (cm)	T (s)	$\theta_{11}$ (°)	$H_{11}$ (cm)								
270	170	7	-27	70	$\theta_b$ (°)	24	16	7	-4	-31	-33	-44
					$H_b$ (cm)	20	10	10	10	30	30	60
					$V_1$ (cm/s)	61	31	14	-8	-90	-93	-144
270	170	12	-14.9	89	$\theta_b$ (°)	24	23	16	-4	-27	-29	-24
					$H_b$ (cm)	10	50	70	80	60	30	110
					$V_1$ (cm/s)	43	24	82	-23	-116	-86	-145
290	75	9	-21	22	$\theta_b$ (°)	22	17	8	-3	-20	-29	-56
					$H_b$ (cm)	10	20	20	50	10	10	40
					$V_1$ (cm/s)	40	46	22	-13	-37	-49	-77
290	75	10	-19.5	24	$\theta_b$ (°)	24	17	9	-3	-20	-29	-39
					$H_b$ (cm)	30	20	20	40	10	10	40
					$V_1$ (cm/s)	75	46	25	-12	-37	-49	-115
290	120	9	-21.2	35	$\theta_b$ (°)	24	17	8	-4	-20	-29	-39
					$H_b$ (cm)	30	10	10	30	10	20	50
					$V_1$ (cm/s)	75	32	16	-14	-37	-80	-131
290	120	10	-19.9	38	$\theta_b$ (°)	25	18	9	-4	-29	-38	-44
					$H_b$ (cm)	30	10	10	30	50	20	60
					$V_1$ (cm/s)	78	34	18	-14	-111	-80	-131

Nota: El ángulo y altura del oleaje a los 11 m se obtuvieron de la malla de la Bahía de Todos Santos.

**Tabla 3.** Velocidades promedio de las corrientes litorales para las condiciones previas a la construcción de la marina, en base a las características de oleaje de mar profundo. Los valores positivos representan la corriente que fluye hacia la derecha ( $V_{ls}$ : dirección de sur a norte), mientras que los valores negativos, la que fluye hacia la izquierda ( $V_{ln}$ : dirección de norte a sur). Este criterio se siguió apartir del origen coordenado de los mapas (Lanfredi y Schmidt, 1983).

$\theta_o = 250^\circ$				
	$H_o = 120 \text{ cm}$		$H_o = 170 \text{ cm}$	
	$T = 7 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$
$V_{ln}$	- 61.2 cm/s	- 65 cm/s	- 116.7 cm/s	- 123 cm/s
$V_{ls}$	37.7 cm/s	62 cm/s	71.6 cm/s	71.3 cm/s
$\theta_o = 270^\circ$				
	$H_o = 120 \text{ cm}$		$H_o = 170 \text{ cm}$	
	$T = 7 \text{ s}$	$T = 11 \text{ s}$	$T = 7 \text{ s}$	$T = 12 \text{ s}$
$V_{ln}$	- 61.25 cm/s	- 78.7 cm/s	- 83.7 cm/s	-92.5 cm/s
$V_{ls}$	37.3 cm/s	38.6 cm/s	35.3 cm/s	49.6 cm/s
$\theta_o = 290^\circ$				
	$H_o = 75 \text{ cm}$		$H_o = 120 \text{ cm}$	
	$T = 9 \text{ s}$	$T = 10 \text{ s}$	$T = 9 \text{ s}$	$T = 10 \text{ s}$
$V_{ln}$	-44 cm/s	-53.2 cm/s	- 65.5 cm/s	-84 cm/s
$V_{ls}$	36 cm/s	48.6 cm/s	41 cm/s	43.3 cm/s

$V_{ln}$  = Velocidad en la zona norte de Playitas. La corriente litoral fluye de norte a sur.

$V_{ls}$  = Velocidad en la zona sur de Playitas. La corriente litoral fluye de sur a norte.

El patrón de corrientes litorales se obtuvo a partir de la refracción realizada desde los 11 m de profundidad hasta la zona de rompiente. Para la zona sur se obtuvo una corriente que fluye de sur a norte (celdas 2 a 14), con velocidades de entre 20 y 78 cm/s, en la zona norte, la dirección fue de norte a sur, (celdas 20 a 38), con velocidades de entre -176 y -4 cm/s; en el centro de Playitas las corrientes litorales convergieron con velocidades desde 0 hasta -27 cm/s (celdas 14 a 20).

### 3.1.1. Oleaje con un ángulo de aproximación de 250°

**$H_o = 120$  cm,  $T = 7$  s**

La altura del oleaje a los 11 m de profundidad fue de 71 cm. Las alturas de rompiente más altas se presentaron en las puntas rocosas (60 cm), mientras que las alturas más bajas, se obtuvieron en el centro de Playitas (10 cm). Los ángulos del oleaje variaron desde los 12° hasta los -44° (Tabla 3). La velocidad promedio de la corriente en la zona sur fue de 37.7 cm/s y de -62 cm/s para la zona norte.

**$H_o = 120$  cm,  $T = 9$  s**

La ola alcanzó un tamaño de 73 cm en la isóbata de 11 m, con un ángulo de -16.2°. En la zona de rompiente de Playitas se obtuvieron alturas máximas de 70 cm en las puntas rocosas y mínimas en el centro con alturas de 10 cm. Para la punta norte, el ángulo del oleaje en la rompiente fue de -33°, mientras que en la sur fue de 14°. Los ángulos en el centro de la playa variaron desde los 14° hasta los -3° (Tabla 2). Las velocidades promedio de las corrientes litorales fueron de -65 cm/s para la zona norte y de 62 cm/s para la sur. Las velocidades más altas se obtuvieron en las puntas rocosas (-127 cm/s en la punta norte y 65 cm/s en la sur).

**$H_o = 170$  cm,  $T = 7$  s**

La altura de ola se redujo a 100 cm a los 11 m de profundidad. Los ángulos de aproximación del oleaje en la zona de rompiente variaron desde -42° (punta norte) hasta 13° (celda 14). Las alturas de ola en la zona norte fueron mayores que las de la sur, lo que generó velocidades de -116.7 y de 71.6 cm/s, respectivamente.

**$H_0 = 170 \text{ cm}, T = 9 \text{ s}$**

—Las alturas en la zona de rompiente aumentaron en las puntas rocosas. La altura del oleaje en el centro de Playitas fue de 10 a 30 cm. Los ángulos de rompiente fueron mucho menores que para el caso anterior. Las velocidades disminuyeron hacia el centro de Playitas; sin embargo, a la altura de la celda 8, se observó un incremento en la velocidad de la corriente. La velocidad promedio para la zona sur fue de 71.3 cm/s y de -123 cm/s para la norte.

### **3.1.2. Oleaje con un ángulo de aproximación de 270°**

**$H_0 = 120 \text{ cm}, T = 7 \text{ s}$**

A una profundidad de 11 m, el oleaje sufrió una reducción mayor al 50 % de su altura ( $H_{11} = 51 \text{ cm}$ ). El  $\theta_{11}$  fue de  $-27^\circ$ . La variación en la altura de rompiente varió desde los 10 hasta los 40 cm. La  $H_b$  más alta se presentó en la celda 26 con una altura de 40 cm y una  $V_1$  de -104 cm/s. Las velocidades en la zona de convergencia variaron entre los -11 y 23 cm/s.

**$H_0 = 120 \text{ cm}, T = 11 \text{ s}$**

Para los 11 m de profundidad, la ola alcanzó una altura de 59 cm con un ángulo de aproximación de  $-16.2^\circ$ . Los ángulos en la zona de rompiente fueron en su mayoría menores que el caso anterior. Las  $H_b$  fueron también las mismas excepto para la celda 20, donde para esta condición de oleaje la  $H_b$  fue de 10 cm; sin embargo, las  $V_1$  obtenidas fueron mayores para este caso de oleaje. Las  $V_1$  menores se obtuvieron en la zona de convergencia del oleaje (-4 a 20 cm/s).

**$H_0 = 170 \text{ cm}, T = 7 \text{ s}$**

La altura de la ola a los 11 m fue de 70 cm con un  $\theta_{11}$  de  $-27^\circ$ . La  $V_1$  en la zona sur varió entre 31 y 61 cm/s (celdas 2 a 8), en el centro entre -8 y 14 cm/s y para la zona norte entre -144 y -90 cm/s (celdas 26 a 38).

**$H_0 = 170 \text{ cm}, T = 12 \text{ s}$**

La  $H_{11}$  fue de 89 cm con un  $\theta_{11}$  de  $-14.9^\circ$ . La  $H_b$  para la punta norte fue de 110 cm (Tabla 2). En general las alturas de rompiente y las  $V_1$  para el periodo de 12 s fueron mayores que para el de 7 s. La velocidad de la corriente litoral que fluye de sur a norte fue de 49.6 cm/s, mientras que la de norte a sur fue de -92.5 cm/s. La  $V_1$  disminuyó hacia el centro de la playa hasta alcanzar una velocidad de -23 cm/s.

### 3.1.3. Oleaje con un ángulo de aproximación de 290°

**$H_o = 75 \text{ cm}$ ,  $T = 9 \text{ s}$**

A partir de la refracción del oleaje se obtuvo una  $H_{11}$  de 22 cm y un  $\theta_{11}$  de -21°. El mayor  $\theta_b$  se obtuvo para la punta norte (-56°). Los ángulos de aproximación variaron desde los -3° hasta los -56°. La mayor  $H_b$  se observó en la celda central (50 cm, celda 20) y presentó una  $V_1$  de -13 cm/s. Para la zona sur, la  $V_1$  fue de 36 cm/s y para la norte fue de -44 cm/s.

**$H_o = 75 \text{ cm}$ ,  $T = 10 \text{ s}$**

Las alturas y ángulo de rompiente de la ola para los periodos de 9 y 10 s fueron muy similares. Para el periodo de 10 s las velocidades de la corriente fueron mayores que para el de 9 s, siendo éstas de -53.2 cm/s (zona norte) y de 48.6 cm/s (zona sur). La velocidad de la corriente en el centro varió de -12 a 25 cm/s.

**$H_o = 120 \text{ cm}$ ,  $T = 9 \text{ s}$**

La altura de ola a una profundidad de 11 m fue de 35 cm con un ángulo de -21.2°. En la punta norte la  $H_b$  fue de 50 cm y en la sur fue de 30 cm/s. Los ángulos obtenidos fueron mayores para la zona norte (-39° a -4°) que para la sur (8° a 24°, Tabla 2). Las corrientes litorales convergieron en el centro de la playa entre las celdas 14 y 20, con velocidades de 16 a -14 cm/s.

**$H_o = 120 \text{ cm}$ ,  $T = 10 \text{ s}$**

La  $H_{11}$  para este caso fue de 38 cm con un  $\theta_{11}$  de -19.9°. Las alturas de rompiente para la zona sur fueron las mismas que para el caso anterior, sin embargo, para la zona norte las  $H_b$  fueron mayores para la celda 26 y 38 (Tabla 2). Las  $V_1$  fueron de 43.3 cm/s (corriente en dirección de sur a norte) y de -84 cm/s (corriente con dirección de norte a sur). Las velocidades obtenidas para la zona de convergencia variaron de 18 a -14 cm/s.

## 3.2. Condiciones posteriores a 1993

Debido a que las condiciones posteriores están determinadas por la nueva configuración geométrica de las estructuras, se realizó la refracción del oleaje hasta la punta del rompeolas (9 m de profundidad) y posteriormente se calculó la difracción. Para realizar los diagramas de difracción, los ángulos de aproximación del oleaje se redondearon, debido a que las plantillas del Shore Protection Manual están diseñadas para aproximaciones de oleaje de cada 15°.

Los 12 casos de oleaje analizados previamente se sometieron al proceso de difracción. Se obtuvieron seis casos de difracción debido a que el ángulo de aproximación y el periodo del oleaje a los 9 m ( $\theta_0$  y  $T_0$ ) resultaron ser los mismos para algunos casos (Tabla 4). Los valores de altura de oleaje para cada reducción (coeficiente k) se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 4.** Relación de las condiciones de oleaje con el caso de difracción.

$\theta_0$ (°)	$H_0$ (cm)	$T_0$ (s)	$\theta_9$ (°)	$H_9$ (cm)	Caso	Figura
250	120	7	-15	70	A	6
250	120	9	-15	80	B	7
250	170	7	-15	110	A	6
250	170	9	-15	110	B	7
270	120	7	-30	50	E	10
270	120	11	-30	50	F	11
270	170	7	-30	80	E	10
270	170	12	-15	90	D	9
290	75	9	-15	20	B	7
290	75	10	-15	30	C	8
290	120	9	-15	40	B	7
290	120	10	-15	40	C	8

**Tabla 5.** Altura del oleaje (cm) difractado para la zona sur de Playitas.

CARACTERÍSTICAS DEL OLAJE					REDUCCIÓN DEL OLAJE (k)															
$\theta_o$	$H_o$	T	$\theta_p$	$H_p$	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.25	0.20	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09
(°)	(cm)	(s)	(°)	(cm)																
250	120	7	-15	70				42	35	28	21	17.5	14	10.5	9.8	9.1	8.4	7.7	7.0	6.3
250	120	9	-15	80			56	48	40	32	24	20	16	12	11.2	10.4	9.6			
250	170	7	-15	110	88		77	66	55	44	33	27.5	22	16.5	15.41	14.3	13.2	12.1	11	9.9
250	170	9	-15	110			77	66	55	44	33	27.5	22	16.5	15.4	14.3	13.2			
270	120	7	-30	50	45	40	35	30	25	20	15	12.5	10	7.5	7	6.5	6	5.5		
270	120	11	-30	50	45	40	35	30	25	20	15	12.5	10	7.5						
270	170	7	-30	80	72	64	56	48	40	32	24	20	16	12	11.2	10.4	9.6	8.8		
270	170	12	-15	90		72	63	54	45	36	27	22.5	18	13.5						
290	75	9	-15	20			12	10	8	6	5	4	3	2.8	2.6	2.4				
290	75	10	-15	30	27	24	21	18	15	12	9	7.5	6	4.5	4.2	3.9				
290	120	9	-15	40			28	24	20	16	12	10	8	6	5.6	5.2	4.8			
290	120	10	-15	40		32	28	24	20	16	12	10	8	6	5.6	5.2	4.8			

Nota: El ángulo y altura del oleaje se obtuvieron en la punta del rompeolas a los 9 m de profundidad.

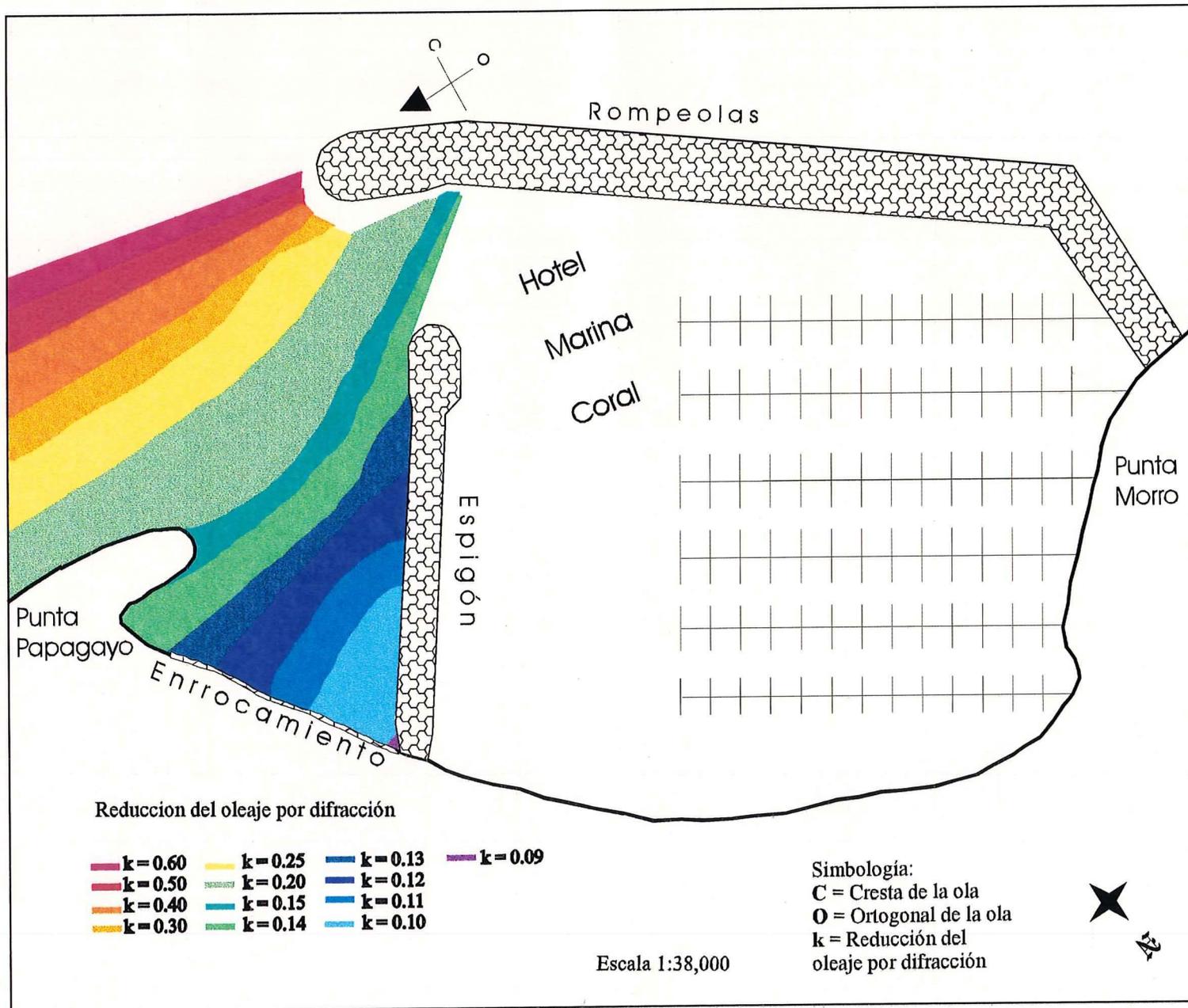


Figura 6. Patrón de difracción para  $\theta_s = -15$ ,  $T_s = 7s$   
 Caso "A"

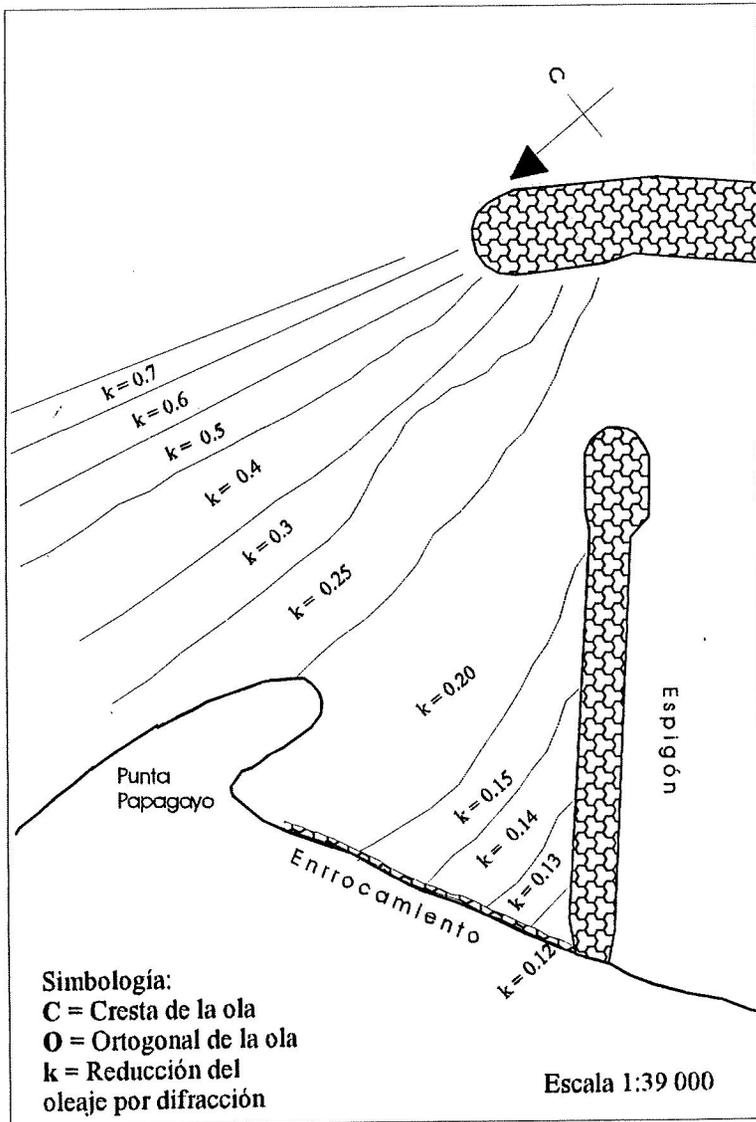


Figura 7. Patrón de difracción para  $\theta_s = -15$ ,  $T_p = 9$  s.  
Caso " B "

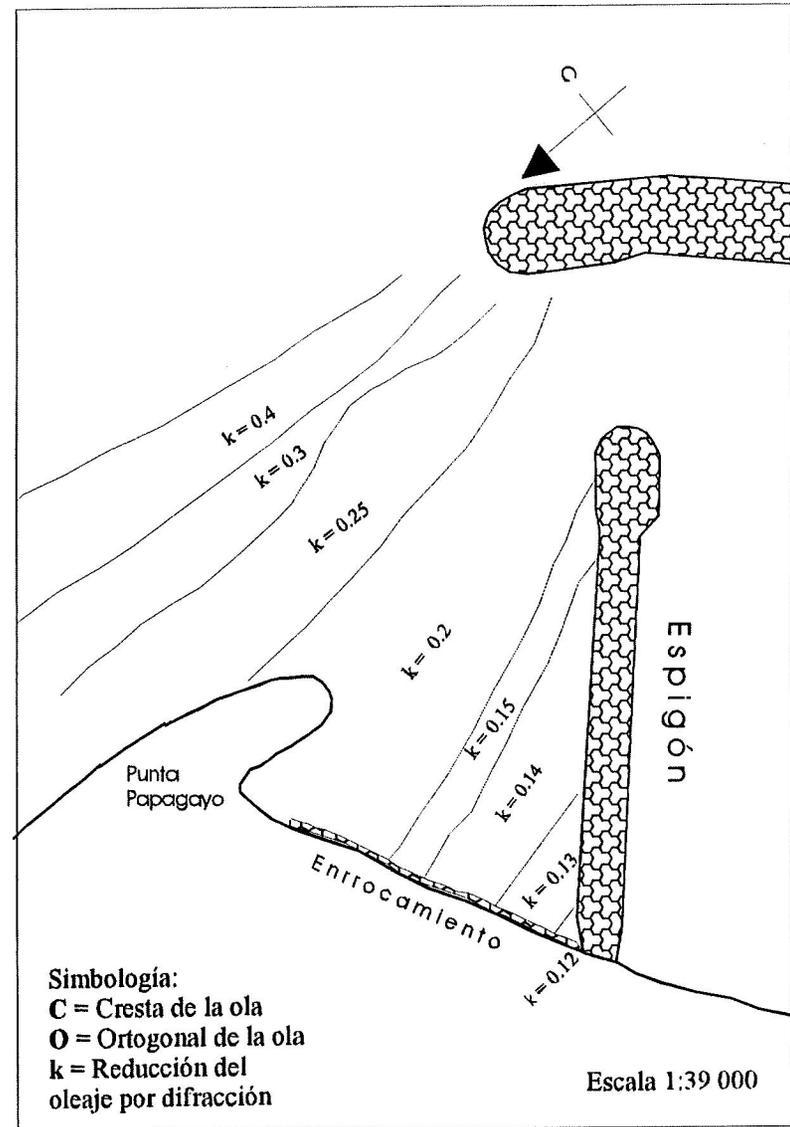
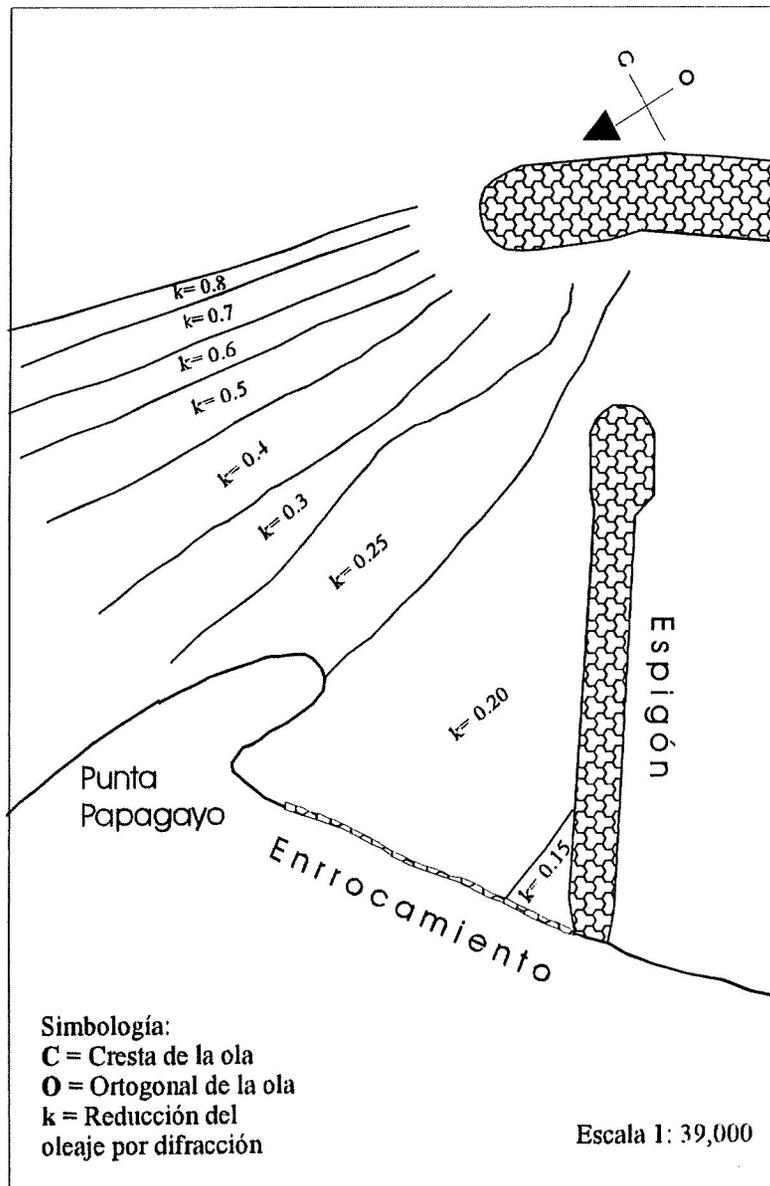


Figura 8. Patrón de difracción para  $\theta_s = -15$ ,  $T_p = 10$  s.  
Caso " C "



**Figura 9.** Patrón de difracción para  $\theta_s = -15$ ,  $T_s = 12s$ .  
**Caso " D "**

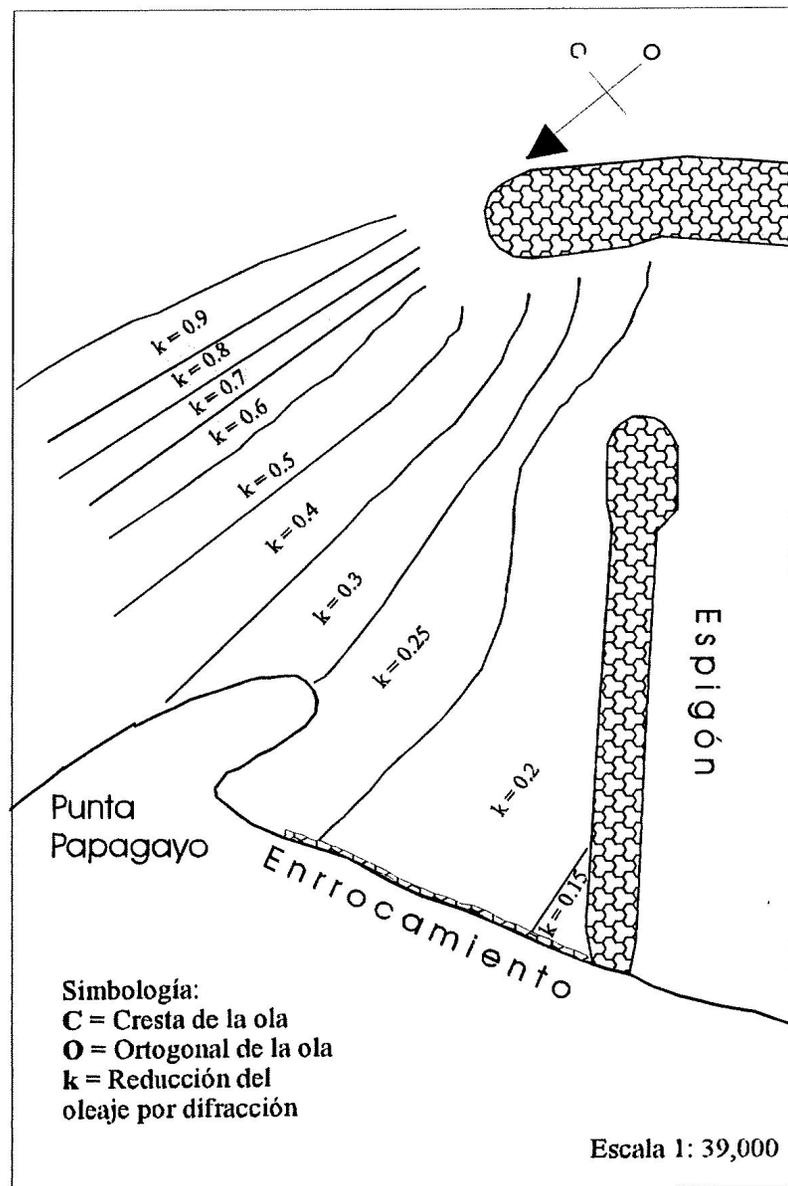
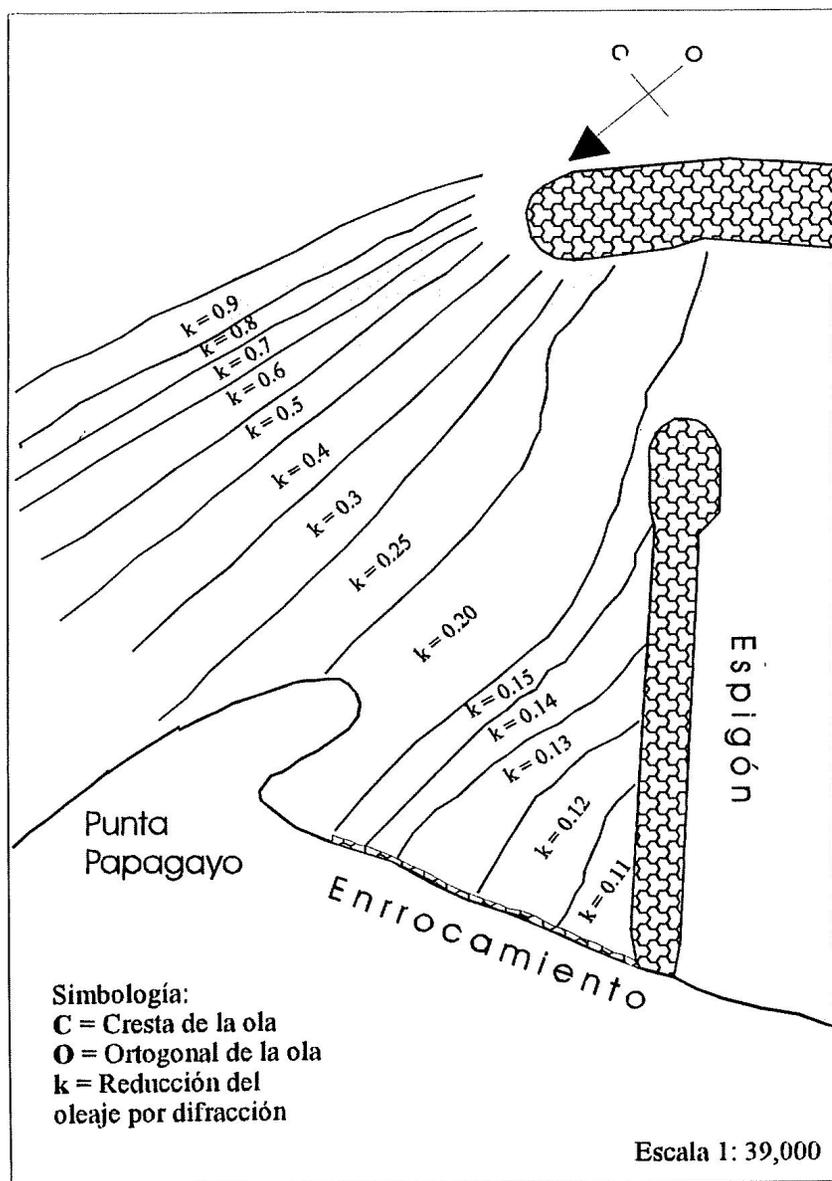


Figura 10. Patrón de difracción para  $\theta_s = -30$ ,  $T_p = 7$  s.  
Caso " E "

Figura 11. Patrón de difracción para  $\theta_s = -30$ ,  $T_p = 11$  s.  
Caso " F "

### 3.2.1. Oleaje con un ángulo de aproximación de 250°

Para el ángulo de 250° se obtuvieron dos casos de patrones de difracción: el A y el B (Figuras 6 y 7).

#### Caso A: $\theta_0 = -15^\circ$ , $T_0 = 7\text{s}$ , $H_0 = 70$ y $110$ cm

La reducción del oleaje en la punta del rompeolas fue de un 40 %, es decir, que el oleaje presentó una altura de 42 cm para un  $H_0 = 70$  cm y de 66 cm para un  $H_0 = 110$  cm. Cerca del canal de navegación de la marina, la altura de la ola tuvo un  $k = 0.15$ . La disminución en la altura del oleaje mostró un descenso regular de 10 cm hasta Punta Papagayo, donde la altura se redujo un 85 % su tamaño original. A lo largo de la playa la altura de ola varió entre 6.3 y 9.8 cm para un  $H_0 = 70$  cm y entre 9.9 y 15.4 cm para un  $H_0 = 110$  cm.

#### Caso B: $\theta_0 = -15^\circ$ , $T_0 = 9$ s, $H_0 = 80$ cm y $110$ cm

Para un  $H_0 = 80$  cm, la altura del oleaje en la punta del rompeolas fue de 56 cm y de 77 cm para un  $H_0 = 110$  cm, es decir, la altura se redujo un 30 %. En el canal de navegación la altura de la ola varió entre 20 y 27.5 cm. La reducción del oleaje frente al enrocamiento de Quintas Papagayo fue de un  $k = 0.18$  a 0.12, es decir, la altura del oleaje varió entre 9.6 y 14.4 cm para una  $H_0 = 80$  cm y entre 13.2 y 19.8 cm para una  $H_0 = 110$  cm.

### 3.2.2. Oleaje con un ángulo de aproximación de 270°

Para el ángulo de aproximación de 270° se obtuvieron tres casos de difracción: el D, el E y el F (Figuras 9, 10 y 11).

#### Caso D: $\theta_0 = -15^\circ$ , $T_0 = 12\text{s}$ , $H_0 = 90$ cm

La altura del oleaje al iniciarse la difracción se redujo un 20 % el valor de su tamaño original. La reducción fue de 9 cm hasta que la cresta de la ola llegó a Punta Papagayo. La altura de la ola a lo largo de la playa fue 13.5 a 17.1 cm.

#### Caso E: $\theta_0 = -30^\circ$ , $T_0 = 7$ s, $H_0 = 50$ y $80$ cm

Las alturas del oleaje entre la punta del rompeolas y Punta Papagayo variaron entre 10 y 45 cm ( $H_0 = 50$  cm) y entre 16 y 72 cm ( $H_0 = 80$  cm). La reducción de oleaje en la entrada del canal de navegación fue de un 80 %. A lo largo de la playa, la altura del oleaje se redujo entre un 80 y un 89 %.

**Caso F:  $\theta_0 = -30^\circ$ ,  $T_0 = 11$  s,  $H_0 = 50$  cm**

La reducción del oleaje comenzó con un  $k = 0.9$  (donde la altura fue de 45 cm) y se mantuvo constante (8 cm) hasta un  $k = 0.15$ . La altura del oleaje en la base del espigón fue de 7.5 cm.

**3.2.3. Oleaje con un ángulo de aproximación de  $290^\circ$** 

Se obtuvieron dos casos de difracción para un ángulo de aproximación de  $290^\circ$ : el B y el C (Figura 7 y 8).

**Caso B:  $\theta_0 = -15^\circ$ ,  $T_0 = 9$  s,  $H_0 = 20$  y  $40$  cm**

La reducción del oleaje en la punta del rompeolas fue de un 30 %, es decir, para una  $H_0 = 20$  cm, la altura de la ola fue de 12 cm, mientras que para una  $H_0 = 40$  cm fue de 28 cm. Cerca del canal de navegación, las alturas fueron de 4 y 10 cm, respectivamente (Tabla 4). Las alturas a lo largo de la playa variaron entre -2.4 y 3.6 cm ( $H_0 = 20$  cm) y entre -4.8 y 7.2 cm ( $H_0 = 40$  cm).

**Caso C:  $\theta_0 = -15^\circ$ ,  $T_0 = 10$  s,  $H_0 = 30$  y  $40$  cm**

La ola se redujo en un 50 % al empezar a difractarse y ocasionó que la altura disminuyera a 15 y 20 cm. La reducción de la ola entre cada  $k$  fue de 3 cm para un  $H_0 = 30$  cm y de 4 cm para un  $H_0 = 40$  cm. En la punta del rompeolas las alturas fueron de 6 y 8 cm. A lo largo de la playa la altura del oleaje varió entre 3.6 y 5.4 cm y entre 4.8 y 7.2 cm, respectivamente. La reducción máxima del oleaje fue del 91 % y ocurrió en la base del espigón.

## 4. DISCUSIONES

### 4.1. Patrón de corrientes litorales previo a la construcción del Hotel Coral y Marina (1993)

Se obtuvo un sólo patrón de dirección de corrientes litorales para las 12 condiciones de oleaje debido a que el ángulo de aproximación a los 11 metros presentó una variación de tan solo  $8^\circ$ , por lo tanto, el oleaje al entrar a Playitas se refractó de manera similar y se generaron patrones de corrientes litorales similares.

La morfología de la costa determinó la distribución de energía del oleaje a lo largo de la playa y por lo tanto, el patrón de corrientes litorales. En las puntas rocosas, la altura de las olas aumentó debido a que la distancia entre las ortogonales disminuyó ocasionando una concentración de energía. En la parte central de la playa las distancias entre las ortogonales aumentó, resultando en una altura de ola rompiente pequeña. La diferencia en el gradiente de alturas de la ola a lo largo de la zona de rompiente, ocasionó que las corrientes litorales fluyeran de las zonas de mayor a menor concentración de energía; es decir, desde las puntas rocosas hacia el centro de la playa. Este patrón de refracción es muy común para las playas de bolsillo (Shore Protection Manual, 1984).

La velocidad promedio de la corriente litoral en la zona sur de Playitas fue menor que en la zona norte, debido a que Punta Morro tiene una mayor proyección morfológica hacia el mar que protege a Punta Papagayo del oleaje. En la zona norte las alturas del oleaje y los ángulos de aproximación son mayores mientras que para la zona sur el oleaje llega más paralelo a la línea de costa y con alturas menores, lo que genera corrientes con velocidades más pequeñas.

La morfología de Playitas permite la utilización de la fórmula semiempírica de Komar e Inman (1970), debido a que la generación de corrientes litorales a lo largo de la costa, tanto en verano como en invierno, se encuentra en función de la altura y el ángulo de incidencia del oleaje en la zona de rompiente. Esta fórmula predice velocidades de la corriente litoral con una buena aproximación, cuando los ángulos con respecto a la línea de costa no exceden los  $45^\circ$ . Como se observa en la Tabla 2, los ángulos obtenidos en este estudio cumplen con este criterio, por lo que los resultados obtenidos son confiables.

Los resultados de Ahumada-Sempoal (1993) para diferentes ángulos de aproximación de oleaje de mar profundo, muestran una corriente litoral que fluye de sur a norte para ángulos de  $230^\circ$  y  $280^\circ$  (azimut); estos resultados coinciden únicamente con los que se obtuvieron en la zona sur. Estas diferencias se deben a que la refracción que realizó Ahumada-Sempoal (1993) fue para toda la bahía y por lo tanto, sólo presentó una ortogonal para Playitas, de manera que la descripción de sus resultados fue muy general.

#### 4.2. Condiciones posteriores a 1993

El rompeolas funciona como un obstáculo que disipa la energía del oleaje a lo largo de la línea de costa para crear una zona de protección. El oleaje al entrar a Playitas incide con el rompeolas modificando su altura y ángulo de aproximación; alrededor de la punta del rompeolas se produce el fenómeno de difracción, que tiene como resultado disminuir la energía del oleaje que arriba a la costa. Para estudios preliminares de difracción, la metodología propuesta por el Shore Protection Manual (1984) se ha utilizado frecuentemente (Sobery *et al.*, 1986), donde el campo de las olas difractadas en la zona de calma, se propaga en forma de arco alrededor de la punta del rompeolas (Wang, 1993).

Entre mayor sea el ángulo entre la cresta de la ola y el rompeolas, el porcentaje en la reducción del oleaje ( $k$ ) será mayor. Es decir, el rompeolas ocasiona que la amplitud difractada en la zona protegida se reduzca un 10 % para un  $\theta_0 = -15^\circ$  (Figuras 6, 7, 8 y 9), mientras que para un  $\theta_0 = -30^\circ$  (Figuras 9 y 10) la reducción del oleaje fue de un 40 %. Las diferencias en los porcentajes de reducción se deben a que entre mayor sea el ángulo de la cresta del oleaje y el rompeolas, las olas llegaran más perpendicular a la costa y el efecto de la difracción será menor (Briggs, 1995).

A lo largo del enrocamiento de Quintas Papagayo la disminución del oleaje varió entre un 80 y un 91 %, es decir, que la altura de las olas fue de entre 5.5 a 13.5 cm. Según el criterio de rompiente ( $H_b/h_b = 0.78$ ), la zona de rompiente de estas olas se encontró sobre el enrocamiento a una profundidad máxima de 28.2 cm (Tabla 6); sin embargo, la profundidad en la base del enrocamiento es mayor a 1.5 m y las olas no rompen, por lo tanto, se considera que la generación de corrientes litorales en esta zona es despreciable.

**Tabla 6.** Verificación de la profundidad de rompiente para las alturas de ola difractadas.

$H_0$ (cm)	$H_b$ (cm)	$h_b$ (cm)
75	2.6 a 6	3.3 a 7.6
120	4.8 a 16	6.1 a 20.5
170	8.8 a 22	11.3 a 28.2

## 5. CONCLUSIONES

### **Previo a 1993**

1. Las corrientes litorales fluían de los extremos de Playitas hacia el centro, para las 12 condiciones de oleaje consideradas.
2. Las velocidades de las corrientes litorales para la zona sur de Playitas variaron entre 27 y 78 cm/s, mientras que en la zona norte, entre -176 y -24 cm/s; en el centro se obtuvieron velocidades desde 0 hasta 73 cm/s.

### **Posterior a la construcción de la Marina Coral**

1. A lo largo del enrocamiento de Quintas Papagayo, la reducción en el tamaño de la ola producida por el rompeolas fue de un 80 a un 91 %.
2. La disipación del oleaje debida a la difracción, ocasionó que la zona de rompiente se modificara y que las corrientes litorales inducidas por el oleaje desaparecieran en su totalidad.
3. El movimiento de arena en la zona es únicamente en el fondo y se deben principalmente a corrientes inducidas por mareas y viento.
4. La calma producida por las estructuras de protección costera proporcionan una zona ideal para el atraque de embarcaciones.
5. En la zona de Quintas Papagayo se presentan condiciones adecuadas para la generación de una playa con fines recreativos.

## 6.- LITERATURA CITADA

- Ahumada-Sempoal, M.A. (1993). Corrientes litorales inducidas por el oleaje en la Bahía de Todos Santos, BC. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 38 pp.
- Aranda-Manteca, F. (1983). Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos Santos, BC. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 78 pp.
- Benet-Camarena, M. (1994). Proyecto de regeneración artificial de "Playitas" utilizando el método de transferencia de arena. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 36 pp.
- Cruz-Colín, M.E. (1994). Balance sedimentario de la Bahía de Todos Santos, BC, México. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 77 pp.
- Dean, R.G. (1978). Diffraction calculation of shoreline planforms. *Coastal Engineering Proceedings*, Vol. II. 1903-1917.
- Domurat, W.G. y Shack, T.A. (1989). The storm of 1988 - Damage to coastal structures. *Shore and Beach*, october, 24-27.
- Dooren-Osio, K.V. (1991). Cuantificación del volumen de sedimento depositado frente al rompeolas (lado no protegido) del puerto de Ensenada, BC. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC.
- Ebersole, A.E., Cialone, A.M. y Prater, M.D. (1986). Regional Coastal Processes Numerical Modeling System. Report 1 of a series, US Army Corps of Engineers.
- Galvin, C.J. y Nelson, R.A. (1967). Compilation of longshore current data, MP 2-67, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C.

- Guardado-France, R. (1997). Funcionalidad de las obras de protección costera construida en la Bahía de Todos Santos, BC, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 145 pp.
- Guza, R.T. y Thornton, E.B. (1986). Surfzone longshore currents and random waves: field data and models. *Journal of Physical Oceanography* 6: 1165-1178.
- Komar, P.D. (1975). Nearshore Currents: Generation by obliquely incident waves and longshore variations in breaker height. En *Nearshore Sediment Dynamics*. John Wiley and Sons, Ltd. pp. 17-45.
- Komar, P.D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, 429 pp.
- Krumbein, W.C. y Sloss, L.L. (1963). Estratigrafía y sedimentación. UTEA, México. 107-122 pp.
- Lanfredi, W.N. y Framiñan, M.B. (1986). Field study and prediction of longshore currents, Argentine coast. *Journal of Coastal Research*, 2 (4): 409-417.
- Lanfredi, W.N. y Schmidt, S.A. (1983). Currents generated by waves. *Shore and Beach*, october, 6 (4): 40-42.
- Levin, L.A. (1983). Drift tube studies of bay-ocean water exchange and implications for larval dispersal. *Estuaries*, 6 (4): 354-371.
- Mendez-Arriaga, M. (1982). Determinación del transporte litoral predominante en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC, 30 pp.
- Reddy, B., Venkata, G. y Durga, P. (1979). Wave conditions and wave-induced longshore currents in the nearshore zone off Krishnapatman. *Indian Journal of Marine Science*, 8: 61-67.
- Rubio-Orosco, V. M. (1987). Determinación de las zonas de mayor erosión y depositación en una playa de la Bahía de Todos Santos. Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, BC.

- Samura, T. y Orikawa, K. (1971). Predominant direction of littoral transport along Kujuyukuri Beac, Japan. *Coastal Engineering in Japan*, 14: 107-117.
- Seymour, R.J. y Higgins, A.L. (1978). Continuous estimat of longshore sand transport, "Symposium on Tech. Environmental, Socioeconomic and Regulatory Aspects of Coastal Zone management, SF, CA." March 14-16, ASCE, Coastal Zone, Vol III, 2308-2318 pp.
- Shore Protection Manual, (1984). US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, Vol I, 5-76 pp.
- Sobey, R. J. y Johnson, T.L. (1986). Diffraction patterns near narrow breakwater gaps. *Journal of Waterway, Port Coastal and Ocean Engineering*, 2 (4): 512-530.