

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"DISEÑO PRELIMINAR DE UN ROMPEOLAS SUMERGIDO SEPARADO DE LA COSTA Y SU IMPACTO POTENCIAL FRENTE A LOS CANTILES MARINOS DE PUNTA MORRO, ENSENADA, B. C., MÉXICO"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA
GRISEL TÉLLEZ GARCÍA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JUNIO DEL 2003.

RESUMEN

Se realizó el diseño de un rompeolas sumergido separado de la costa frente a los cantiles de Punta Morro, Ensenada, B.C. con el fin de evitar el retroceso de la línea de costa a causa de la erosión de éstos y así proteger las instalaciones de la Facultad de Ciencias Marinas y del Instituto de Investigaciones Oceanológicas que forman parte de la Universidad Autónoma de Baja California campus Ensenada. En base a esto se evaluó como sería el comportamiento hidrodinámico del lugar y el impacto que tendrá sobre el hábitat marino al colocar el rompeolas sumergido paralelo a la costa frente a las instalaciones del Instituto de Investigaciones Oceanológicas considerando también la descarga de aguas residuales previamente tratadas que se vierten al mar. La presencia de esta estructura de protección reducirá la cantidad de energía de oleaje incidente disminuyendo la erosión de los cantiles y el retroceso de la línea de costa, hará que se forme una zona de calma provocando un repoblamiento en la zona intermareal y a la sombra del rompeolas el cual brindará refugio a peces e invertebrados, y no se formará ningún tómbolo o saliente de arena por lo que las pozas de marea donde habitan los invertebrados y algas no correrán peligro de ser cubiertas por sedimento.

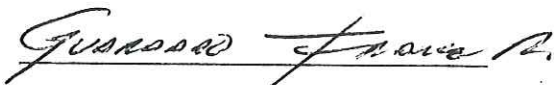
"DISEÑO PRELIMINAR DE UN ROMPEOLAS SUMERGIDO SEPARADO DE LA COSTA Y SU IMPACTO POTENCIAL FRENTE A LOS CANTILES MARINOS DE PUNTA MORRO, B.C., MÉXICO"

T E S I S
QUE PRESENTA:
GRISSEL TÉLLEZ GARCÍA

Aprobada por:



Presidente del Jurado
M.C. Luis Antonio Cupul Magaña



Sinodal Propietario,
M.C. Rigoberto Guardado France



Sinodal Propietario
M.C. José Antonio E. Almanza Heredia

Dedicatoria

*A mis papas, por quererme, creer en mi y
estar siempre a mi lado.....los quiero mucho*

*A mi hermana, por ser amiga,
compañera y confidente*

*A mi amor, por ser mi inspiración y
el motor para seguir adelante*

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis M.C. Luis A. Cupul Magaña por su paciencia y buenos consejos a lo largo de estos dos años.

A mis sinodales M.C. Rigoberto Guardado France y M.C. José Antonio E. Almanza Heredia por sus observaciones y correcciones para que quedara listo este trabajo.

A quienes me echaron la mano y que gracias a ellos pude realizar esta tesis: Ocean. Eduardo Gil y Roberto Calderón (por la batimetría), M.C. Ricardo Vidal (por la realización del video submarino), M.C. Guillermo Ávila y Ocean. Andrés Blanco (buzos del video submarino), M.C. Raúl Canino (por la información de la planta de tratamiento), M.C. Ramón Luna (por brindarme información sobre estructuras), Ocean. Geovanni Cordero (por la digitalización de mapas y sacarme de múltiples dudas) y al Ocean. Gabriel Camacho (por prestarme sus aparatos electrónicos).

A mi gorda linda y a Homero "el mejor" que con su apoyo y el saber que siempre estaban a mi lado me hicieron fuerte tan fuerte como el gran amor que se tienen.

A la súper diseñadora gráfica chibibon por su dedicación, tiempo y esfuerzo para lograr que quedara padrísimo el perfil, y a su amorcito rulis por ampliar mis conocimientos.

A Julio (mi abogado consentido) por pasar juntos experiencias inolvidables desde pequeños hasta la fecha...te quiero...y a tu familia por el gran cariño que nos tenemos.

A mis siempre amigos que fueron durante la carrera y que seguirán siendo como mi segunda familia (los quiero con toda mi alma): Geovanni, Alex, Gaby Athie, Gabo, Gaby Rubio, Goya, a los siempre desvelados Leonel y Steephen; y a tres personitas que en los últimos años fueron mucho más que compañeras: Melissa, Maira y Cris.

A Toño (M.V.Z) por ser como mi hermano mayor....gracias por tus buenos consejos, amistad, sinceridad y apoyo en mis momentos más difíciles.

A una niña que quiero mucho por ser mi mejor amiga del chilango, por escucharme y brindarme siempre su cariño...gracias Caro.

A mis tres angelitos Marifer, Miguelito y Andrea (y los que vienen) por dar luz y alegría a mi vida.

A mis abuelitas Chuy y Trini por cuidarme desde chiquita dándome todo su amor y bendiciones.

A toda la Fam. García Sanjuanico: a mi tía Lau por llenarme de besos y amor durante estos siete años, a mis tíos y padrinos Eli y Miguel por hacerme parte de sus locuras desde que eran novios y por ser los primeros en apoyarme para realizar este sueño, a los duranguenses (Sapo mayor, Yar yar, Gaby, Tito, Army y tío Roberto[□]) que a pesar de la lejanía vivimos y padecemos cosas similares pero hemos salido adelante gracias al amor de todos los que nos rodean.....mención especial a Yar yar por ser mi confidente y doctora corazón vía e-mail, a mis tíos y padrinos Enrique y Olga que siempre creyeron en mi y me dijeron bellas palabras de ánimo y aliento, y a la Fam. Peña García (tío Salvador, tía Lourdes, duende bubulín y Are) por el súper viaje a Huatulco, por su amor y cariño gracias.

A toda la Fam. Téllez Gutiérrez por su apoyo y cariño pero en especial a mi tía Bety, tía Mary, tío Lalo, Vero, Federico y Álvaro quienes siempre me demostraron su interés por mi desempeño profesional.

A todos los que formaron parte de la generación LI "Orcinus orca" por pasar juntos las mejores experiencias y aventuras durante toda la carrera.

A todas las personas que me brindaron su amistad y que en su momento fueron parte importante en mi vida.

INDICE

RESUMEN.....	I
LISTA DE TABLAS.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE GRÁFICAS.....	IV
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	V
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	4
1.1.1. Antecedentes generales.....	4
1.1.2. Antecedentes particulares.....	5
1.2. Objetivo.....	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Área de estudio.....	9
2.2. Metodología.....	11
2.2.1. Mareas.....	11
2.2.2. Oleaje.....	11
2.2.3. Batimetría.....	13
2.2.4. Refracción de oleaje.....	13
2.2.5. Diseño estructural.....	15
2.2.6. Diseño funcional.....	21
2.2.7. Aspectos biológicos.....	23
2.2.8. Tipos de sustrato.....	24
2.2.9. Aspectos químicos.....	24
3. RESULTADOS.....	26
3.1. Mareas.....	26
3.2. Oleaje.....	26
3.3. Batimetría.....	30
3.4. Refracción de oleaje.....	31

3.5. Diseño estructural.....	35
3.6. Diseño funcional.....	37
3.7. Aspectos biológicos.....	38
3.8. Tipos de sustrato.....	57
3.9. Aspectos químicos.....	59
4. DISCUSIONES.....	60
5. CONCLUSIONES.....	68
6. BIBLIOGRAFÍA.....	69

LISTA DE TABLAS

Tabla I.	Planos de mareas referidos al nivel medio del mar.....	26
Tabla II.	Comportamiento de oleaje en un periodo de 11 años.....	27
Tabla III.	Características de oleaje y de su comportamiento al llegar a aguas someras sin la presencia del rompeolas sumergido.....	35
Tabla IV.	Características estructurales del rompeolas sumergido.....	35
Tabla V.	Características de oleaje y de su comportamiento con la presencia del rompeolas sumergido donde también se incluye tanto el oleaje transmitido como el reflejado con sus respectivos coeficientes.....	36
Tabla VI.	Comparación de los resultados sin y con estructura de los factores considerados para el diseño funcional del rompeolas..	37
Tabla VII.	Datos que representan la calidad del agua de la planta de tratamiento de la UABC.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localización del área de estudio.....	10
Figura 2.	Diseño de un rompeolas sumergido.....	15
Figura 3.	Mapa batimétrico del área de Punta Morro.....	30
Figura 4.	Diagrama de refracción a partir de una profundidad de 159.5m para $H = 5$ m, $T = 14.3$ s y 290°	31
Figura 4.a.	Diagrama de refracción en condiciones de tormenta para el área de Punta Morro.....	32
Figura 5.	Diagrama de refracción a partir de una profundidad de 192 m para $H = 1.8$ m, $T = 11.1$ s y 300°	33
Figura 5.a.	Diagrama de refracción para condiciones normales de oleaje en el área de Punta Morro.....	34
Figura 6.	Esquema con las dimensiones del rompeolas sumergido.....	37
Figura 7.	Transecto recorrido durante la toma del video submarino.....	39
Figura 8.	Perfil cualitativo del hábitat marino del área de Punta Morro.....	40
Figura 9.	Colocación del rompeolas sumergido separado de la costa a una profundidad de 5 m.....	62

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Histograma de alturas de ola para datos de 11 años.....	27
Gráfica 2.	Histograma de periodos para oleaje de tormenta.....	28
Gráfica 2.a.	Histograma de dirección de incidencia de oleaje para condiciones de tormenta.....	28
Gráfica 3.	Histograma de periodos para condiciones normales de oleaje.....	29
Gráfica 3.a.	Histograma de dirección predominante para oleaje en condiciones normales.....	29

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1. Roca basáltica que conforma el fondo marino de la costa de Punta Morro.....	57
Foto 2. Cantos rodados encontrados a lo largo de la costa en la base de los cantiles y sobre el fondo marino.....	57
Foto 3. Grava distribuida entre las pozas de mareas y a lo largo del fondo marino.....	58
Foto 4. Arena encontrada entre las pozas de mareas y en parches a lo largo del fondo marino.....	58
Foto 5. Formación de ondulitas encontradas a 5 y 6 metros de profundidad (fotografía ilustrativa tomada de Denis Holzbahcer).....	58

1. INTRODUCCIÓN

De todos los ambientes marinos existentes, los más dinámicos se encuentran localizados en la intersección entre el mar y la tierra, es decir, a lo largo de la zona costera. Las playas y muchos otros ambientes marinos están cambiando, ya que se encuentran dominados por mareas, corrientes y principalmente por la acción de las olas sobre la costa. Las tormentas costeras, la erosión de la costa, los cambios relativos de la elevación en el nivel del mar, etc., representan una constante amenaza para las propiedades costeras, playas y calidad del agua entre otros.

El aumento de las poblaciones humanas y su porcentaje de migración hacia los litorales ha afectado de manera importante la zona costera. Esta última es una de las zonas que presenta mayores cambios a lo largo del tiempo, por ejemplo en invierno en donde se incrementa la velocidad con que sopla el viento y con esto la altura de las olas las cuales pueden traer consecuencias graves como remover el material de una playa o bien erosionar cantiles marinos. Debido a lo anterior el hombre se ha visto en la necesidad de dar protección a estas zonas en particular, diseñando diversas estructuras para combatir este problema, como lo son revestimientos, muros, escolleras, espigones, rompeolas y rompeolas separados de la costa.

En varios países como Estados Unidos, Holanda, Japón y España se han implementado estructuras como los rompeolas separados de la costa para la estabilización y protección en contra de la erosión dando buenos resultados (Chasten, *et.al.*, 1993 en Bermúdez-Zavala, 2000).

Existen varios tipos de rompeolas separados de la costa como los sumergidos, flotantes, neumáticos e hidráulicos. Los rompeolas sumergidos producen una disminución en la altura de ola incidente debido al choque de oleaje contra la estructura provocando que la energía de ola se refleje, disipe o

transmita dependiendo de las características del oleaje, del tipo de rompeolas y de la geometría de la estructura.

Las ventajas que presentan este tipo de obras de protección son: a) disminuyen la erosión y la pérdida de sedimento a lo largo de la línea de costa, b) estabilizan la línea de costa, c) pueden construirse de tal manera que permitan el paso de la arena y el paso por oleaje lo que mejora la calidad del agua tras la obra, d) reducen significativamente la altura de ola que arriba a la costa, e) no obstruyen la vista, f) proporcionan áreas protegidas para recreación, g) el espacio que forman las rocas utilizadas crea un área de refugio a una gran diversidad de peces además, de que pueden ser utilizados en conjunto con otras estructuras en la creación de playas y marinas.

La mayoría de los desarrollos turísticos, industriales y urbanos de la costa Noroccidental de Baja California se encuentran ubicados sobre cantiles marinos, los cuales son susceptibles de ser erosionados por la acción del oleaje en sus bases y por agentes subaéreos en sus crestas. Una erosión no prevista de un cantil puede ocasionar resultados dramáticos que se traducen en pérdidas económicas. Los cantiles de la Bahía de Todos Santos son una fuente importante en el aporte de sedimentos al sistema litoral, cuyo balance puede ser gravemente afectado en la medida en que estos cantiles sean modificados en función de un desarrollo costero mal planificado (Cruz-Colín, M.E. y Cupul-Magaña, L.A., 1997).

En la parte Sur de Punta Morro se encuentran ubicadas las instalaciones de la Facultad de Ciencias Marinas y del Instituto de Investigaciones Oceanológicas en donde se han seguido construyendo edificios sin tomar en cuenta que los cantiles de esta zona se han seguido erosionando presentando una razón de retroceso promedio de 0.74 m/año (Cruz-Colín, 1994) por lo que corren grandes riesgos.

Hasta la fecha no se ha hecho nada por proteger esta área. Es por esto que el problema central de este trabajo será el analizar los factores oceanográficos

que afectan la zona para realizar el diseño óptimo de una obra de protección costera proponiendo como alternativa de protección un rompeolas sumergido separado de la costa.

1.1. Antecedentes

En distintos países se han llevado a cabo la construcción de rompeolas sumergidos separados de la costa pero a pesar de esto hasta la fecha se tiene experiencia limitada con respecto al diseño, construcción y funcionamiento de los mismos, principalmente en México. Debido a lo anterior la existencia de documentación es limitada.

1.1.1. Antecedentes generales

Seabrook y Hall (1996), analizan el efecto del ancho de la cresta y la geometría en el funcionamiento de un rompeolas sumergido, presentando pruebas numéricas en 2-D definiendo el efecto de la profundidad donde se colocará el rompeolas, el ancho de la cresta y la pendiente del rompeolas en base a características de la transmisión de olas. Los resultados indican que la profundidad de colocación del rompeolas, la altura de ola incidente y el ancho de cresta son los factores más importantes que afectan la transmisión irregular de las olas y que las ecuaciones existentes para predecir el coeficiente de transmisión no son adecuadas para estructuras con cresta ancha.

Barker y Kamphuis (1996), realizaron un estudio acerca del mejoramiento del hábitat acuático para peces proponiendo como nuevo hábitat las marinas y los rompeolas. Sus resultados muestran que un gran número de peces se encuentran a lo largo de los rompeolas y que las marinas proveen condiciones de protección para los peces.

Fisher y Hall (1998), realizan un estudio sobre el funcionamiento de rompeolas sumergidos, los cuales consisten en un cilindro flotante que se coloca por debajo de la superficie del agua absorbiendo una fracción considerable de energía de ola incidente. Este tipo de rompeolas presenta beneficios como: 1) conserva el hábitat marino, 2) se reduce el costo para su

construcción y 3) protege adecuadamente un área costera permitiendo la circulación de agua.

McCormick (1998), realiza un estudio para la protección y renovación de humedales por medio de rompeolas separados de la costa como parte del Programa de Investigación de Humedales. Menciona que los rompeolas separados de la costa proveen la protección necesaria para estabilizar la nueva vegetación y prevenir que la vegetación existente se debilite. Los rompeolas de enrocamiento proveen adicionalmente beneficios permitiendo que no se interrumpa el aporte de nutrientes y sedimentos mejorando así el hábitat de la fauna marina.

Pilarczyk *et al.* (2003), realizan un resumen de la literatura y herramientas de diseño relacionadas para el uso en el diseño de estructuras sumergidas y de corona baja basándose principalmente en literatura japonesa. Muestran información acerca de la transmisión de ola para este tipo de estructuras así como la propuesta de diferentes modelos y diseños usados también como rompeolas sumergidos separados de la costa.

1.1.2. Antecedentes particulares

González-Villagran (1992), realiza un estudio en donde recolecta, analiza y describe la información disponible de los procesos dinámicos que caracterizan a la Bahía de Todos Santos; que son considerados como criterios de diseño. Proporciona las variables que se tienen que considerar para la planeación, diseño, construcción o modificación de una estructura costera.

Cruz-Colín (1994), realiza un estudio del balance sedimentario desde 1970 a 1990, dentro de la Bahía de Todos Santos, encontrando cuatro celdas litorales. El área de Punta Morro esta incluida en la celda litoral II que abarca desde Punta Morro hasta el Puerto de Ensenada. Esta celda presenta dos elementos de ganancia de material que son: a) La erosión de los cantiles del norte de

Playitas y el sur de Papagayo; b) El arroyo Ensenada y el material de relleno colocado en la playa del Vigía.

Soria-Velásquez (1995), realiza un audiovisual acerca de los tipos de estructuras de protección costera que se encuentran en la Bahía de Todos Santos haciendo énfasis en las estructuras encontradas en la franja costera del poblado de El Sauzal, Punta Morro, Puerto de Ensenada y la playa El Faro. Propone que se de un mantenimiento continuo a estas estructuras para evitar su deterioro y una posible destrucción de la misma.

Guardado-France (1997), realiza un estudio de la funcionalidad de las obras de protección costera construidas en la Bahía de Todos Santos encontrando un total de 45 estructuras de las cuales 19 son funcionales, 21 tienen funcionalidad intermedia y 5 no son funcionales. Los rompeolas construidos en esta localidad tienen problemas de rebase por oleaje en época de tormentas, fracturamiento, erosión en la base y salida de elementos.

Cruz-Colín y Cupul-Magaña (1997) reportan un proceso erosivo durante el periodo comprendido entre 1970 y 1991 en cuatro sectores de cantiles identificados en la Bahía de Todos Santos: San Miguel, El Sauzal, Punta Morro/El Vigía y Punta Banda, con tasas de retroceso de 0.93, 0.97, 0.70 y 0.89 m/año y con un aporte de sedimentos de 14,097.71, 13,996.16, 3,919.14 y 16,194.43 m³/año, respectivamente. El volumen total aportado por los cantiles de Punta Morro/Vigía es el menor de todos los sectores, tan solo de 9,014.34 m³/año. Existe un aporte de sedimentos de fracción fina de un 83% para Punta Morro/Vigía.

Bermúdez-Zavala (1999), realizó el estudio para el diseño de un rompeolas separado de la costa como una alternativa de protección a los cantiles que se encuentran en la zona del Sauzal de Rodríguez proponiendo una metodología para la realización de este tipo de estructuras basándose en las técnicas de Bruun et al (1978), Shore Protection Manual (1984), Dally et al (1986) y Chesten et al (1993), y proporcionando las variables involucradas para la planeación,

diseño y construcción de un rompeolas separado de la costa, concluyendo que la estructura se construya con roca de tipo andesita con una densidad de 2.65 ton/m^3 , la altura de la ola de diseño óptima es 5.0 m , una pendiente de estructura de $2:1$ y que se encuentre a una profundidad de 3.11 m ; y que debido a los factores oceanográficos de la zona se formará un tómbolo a una distancia de la costa de 277 m teniendo la posibilidad de conectarse con la estructura.

1.2. OBJETIVO.

Diseñar un rompeolas sumergido separado de la costa como alternativa de protección para evitar el retroceso de la línea de costa en donde se encuentra la Facultad de Ciencias Marinas.

Determinar las ventajas y desventajas que tendrá este tipo de estructura de protección en la hidrodinámica y el impacto sobre el ambiente biótico en la zona de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La Bahía de Todos Santos es un cuerpo de agua semiprotectido con un litoral de casi 50 Km. que se encuentra localizada en la costa occidental de la Península de Baja California, entre los 31°41' y 31°56' de latitud Norte y los 116° y 116°51' de longitud Oeste, a 100 Km. al Sur de la frontera México – Estados Unidos. Dentro de la Bahía a 5 Km. aproximadamente al Norte de la ciudad de Ensenada se localiza Punta Morro que se ubica en los 116°40' latitud Norte y 31°51' longitud Oeste. Esta franja costera tiene una longitud de aproximadamente 345 m; constituida de cantiles de roca ígnea extrusiva, principalmente basalto y andesita en su base y aluvión en la cresta.

La zona de Punta Morro esta considerada como costa protegida con zonas de entremareas rocosas debido al sustrato que la componen así como el grado de exposición de oleaje, la cual presenta problemas de erosión muy fuertes debido principalmente a los rasgos batimétricos y a la forma en la que incide el oleaje predominante en dirección Noreste y a consecuencia de que es una punta se concentra la energía del oleaje provocando una erosión.

Los cantiles que forman parte de la línea de costa en donde se encuentra la Facultad de Ciencias Marinas que van desde Punta Morro hasta el rompeolas del Hotel Coral y Marina se pueden clasificar como activos ya que presentan una base rocosa expuesta por el continuo retroceso bajo la influencia de los agentes y procesos marinos y subaéreos (Ramos-Olvera, 1993).

Dentro de la franja costera de Punta Morro se encuentra una planta de tratamiento perteneciente a la UABC que descarga aguas residuales directamente al mar y otra cantidad se reusa para riego.

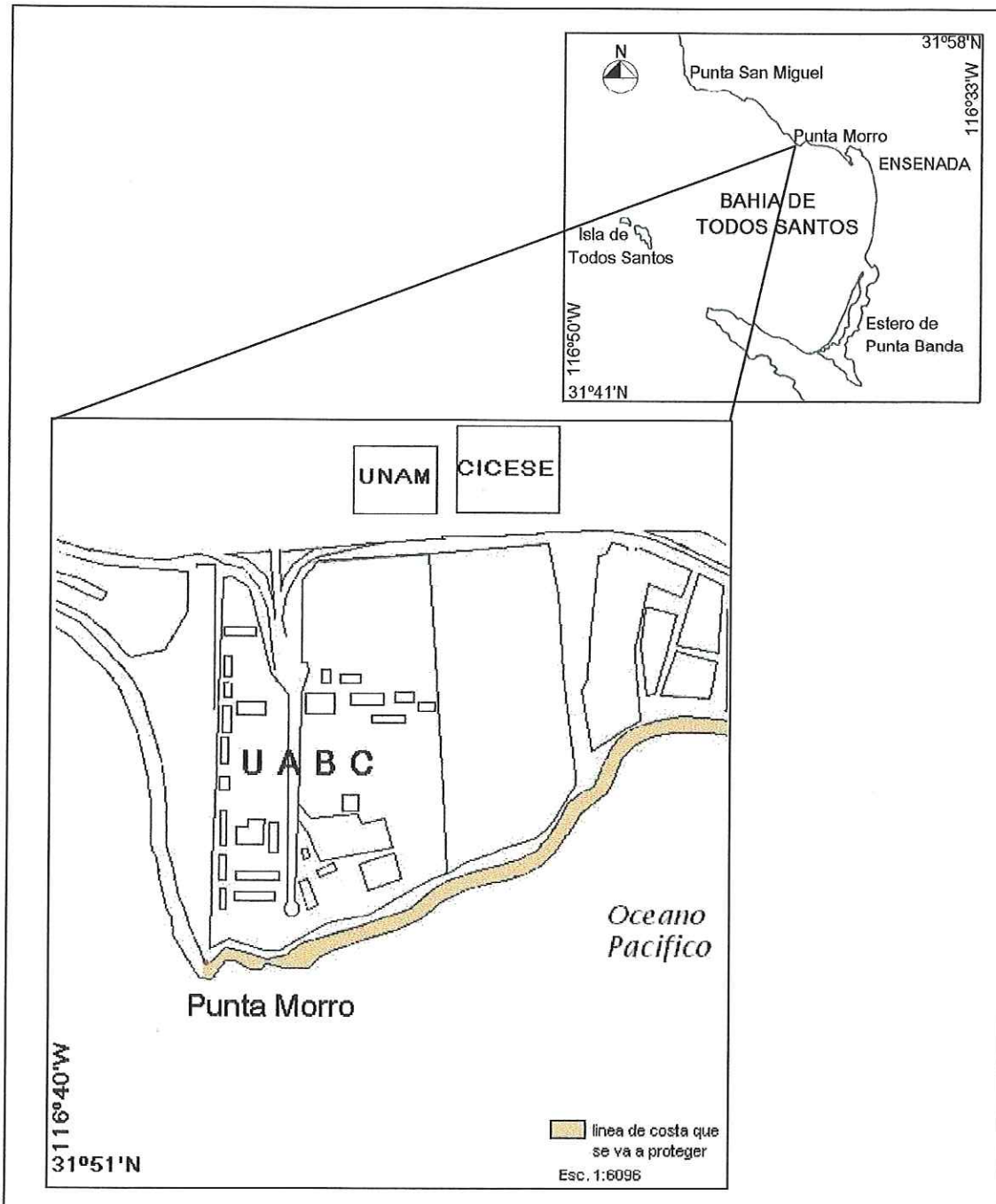


Figura 1. Localización del área de estudio.

2.2. METODOLOGÍA

Los estudios que se realizaron son tanto para el diseño funcional como para el diseño estructural de la obra de protección así como para el efecto que tendrá sobre el área de estudio, ya que cuando el oleaje incide sobre un rompeolas, la energía de ola se refleja, disipa o transmite dependiendo de las características de oleaje (periodo, altura y profundidad), tipo de rompeolas (rocoso, permeable o impermeable), y la geometría de la estructura (pendiente, elevación de corona y ancho de corona).

2.2.1. Mareas

El conocimiento de las variaciones del nivel del mar es necesario para el diseño tanto funcional como estructural de cualquier tipo de estructura de protección. Los niveles altos del mar se utilizan para estimar la máxima altura de ola rompiente limitada por la profundidad y para determinar la elevación de la corona del rompeolas. Los niveles mínimos se usan para el diseño de protección de la base del rompeolas. Estos datos fueron obtenidos de la sección mareográfica del CICESE.

2.2.2. Oleaje

Las fuerzas ejercidas debido a la acción del oleaje en estructuras costeras como un rompeolas son los más relevantes a considerar en su diseño. De manera que, al diseñar estas estructuras es vital considerar los diferentes aspectos que permiten caracterizar el patrón del oleaje que incide sobre ellas. Un paso importante hacia esta caracterización, es definir la ola de diseño, para lo cual se requiere analizar los registros de oleaje tomados durante al menos un año en el sitio de interés (Martínez-Díaz de León, A. y Coria-Méndez, P., 1993).

En el invierno es cuando existen los mayores porcentajes de ocurrencia de alturas de oleaje y eventos enérgicos que pueden afectar y dañar a las construcciones costeras, es por esto que se realizó un análisis para oleaje de invierno con datos desde 1992 hasta el 2002 obtenidos del Coastal Data Information Program (CDIP) y complementados con los datos de oleaje publicados por Bermúdez (1999).

El CDIP mide, analiza y archiva datos de ambientes costeros para uso en ingeniería costera, para planeación y manejo de zonas costeras. Los datos se tomaron de una boya ubicada a 8.5 millas al Oeste de Point Loma San Diego, Calif. a 3237.890 latitud N y 11726.610 longitud W y anclada a una profundidad de 180 m. Esta boya mide parámetros de dirección, periodo, altura y energía de ola así como temperatura superficial con un centímetro de precisión independiente de la altura de ola y también mide frecuencias bajas de ola de 1.6 – 100 s (<http://cdip.ucsd.edu>).

Con esta base de datos se obtuvo la altura de ola significativa en metros (H_s), el periodo promedio en segundos (T_p), la dirección promedio en grados (D_p), la altura máxima (H_{max}) y la altura mínima (H_{min}) con los cuales se realizaron los cálculos tanto para el diseño funcional como estructural del rompeolas.

Con los parámetros anteriormente mencionados se realizaron histogramas representando:

- a) El comportamiento general de alturas de ola para los 11 años.
- b) La dirección y periodo correspondiente a oleaje de invierno.
- c) La dirección y periodo correspondiente a oleaje en condiciones normales.

2.2.3. Batimetría

Se realizó una batimetría en el área de estudio desde el rompeolas del Hotel Coral y Marina hasta Punta Morro. Esta se llevó a cabo el día 7 de Septiembre del 2001 utilizando una ecosonda Furuno modelo FE-680 y un GPS Garmin 2.

En gabinete los datos fueron tratados y corregidos con respecto al Nivel Medio del Mar, los cuales se digitalizaron en el programa computacional Surfer 7.0 graficando las isóbatas cada metro.

La línea de costa se digitalizó en el programa computacional Surfer 7.0, los datos que se utilizaron fueron tomados por medio de un GPS Garmin 2, con esto se obtuvo la longitud de la línea de costa que se desea proteger.

Con el mapa batimétrico del área y con un portulano de la Bahía de Todos Santos se realizaron las transformaciones de oleaje de aguas profundas a aguas someras para llevar a cabo los estudios de refracción, se obtuvo la pendiente de la playa, la profundidad y la distancia de la costa en la cual se colocará el rompeolas.

2.2.4. Refracción de oleaje

La refracción de oleaje se realizó en base a la metodología propuesta por el Shore Protection Manual (1984) utilizando los mapas batimétricos de la Bahía de Todos Santos y del área de estudio, trazando sobre estos las ortogonales de aguas profundas a someras con los datos obtenidos del análisis de oleaje (periodo y dirección). Con los resultados obtenidos se puede saber como es la altura del oleaje incidente, si hay concentración o disipación de energía sobre la línea de costa, y además definir los ángulos de incidencia de los frentes de ola, lo que permite conocer también el sentido del transporte litoral.

Para conocer la profundidad a la cual la ola empieza a sentir fondo se utilizó la siguiente relación:

$$d = \frac{L_o}{2}$$

donde: d = profundidad

L_o = longitud de onda en aguas profundas

La longitud de onda se calculó con la siguiente ecuación:

$$L_o = 1.56 T^2$$

donde: T = periodo

El coeficiente de refracción se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$K_R = \sqrt{b_o/b}$$

donde: b_o = distancia entre ortogonales seleccionadas en agua profunda

b = distancia entre ortogonales seleccionadas en agua somera

Para calcular el ángulo de incidencia de ola hacia la costa se usó la Ley de Snell:

$$\text{sen } \alpha = (C/C_o) \text{ sen } \alpha_o$$

$$\alpha = \text{sen}^{-1} (C/C_o) \text{ sen } \alpha_o$$

donde: α = ángulo de incidencia de oleaje

α_o = ángulo entre la cresta de la ola en agua profunda y la línea de costa

C = velocidad de la ola a la profundidad del segundo contorno

C_o = velocidad de la ola a la profundidad del primer contorno

2.2.5. Diseño estructural

Los parámetros de mayor importancia que se deben usar para describir la geometría de los rompeolas sumergidos se muestran en la Figura 2. Estos incluyen la altura de la estructura (h), la profundidad del agua al pie de la estructura (d), y el tirante de agua de la estructura (F), donde el tirante de agua es la diferencia entre la altura del rompeolas y la profundidad del agua al pie de la estructura.

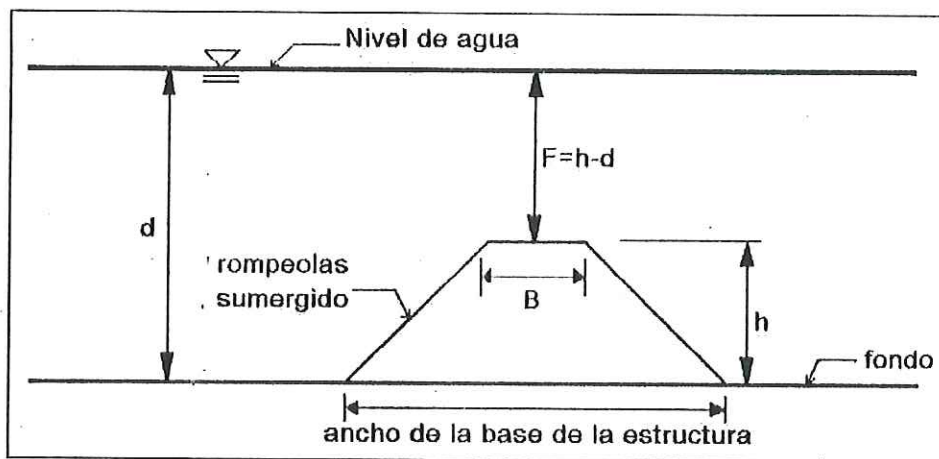


Figura 2. Diseño de un rompeolas sumergido

Para realizar el diseño estructural del rompeolas se utilizaron los parámetros (H_s , T_p y D_p) de oleaje en condiciones de tormenta, longitud de onda (L), pendiente de playa (m) y coeficiente de refracción (K_R) con el fin de conocer la profundidad a la cual se espera que rompa la ola (db), la altura de la ola rompiente (H_b), la distancia viajada por la ola durante el rompimiento (x_p), la distancia que hay desde donde rompe la ola hasta la línea de costa (db/m) y el tipo de rompiente que se presenta en la zona. Se aplicaron los mismos cálculos para el diseño funcional de la estructura usando los parámetros

correspondientes al oleaje en condiciones normales. Estos cálculos se hicieron siguiendo la metodología propuesta por el Shore Protection Manual (1984).

Para la construcción del rompeolas se usaron los parámetros para oleaje en condiciones de tormenta y se calculó el peso de los elementos que conformaran a la estructura por medio de la fórmula de Hudson (1952) suponiendo que el material que se utilizará para su construcción será cantera de andesita tomada del cerro del Vigía:

$$W_a = \frac{\delta_a * H^3}{K_d(S_a - 1)^3 \cot \alpha}$$

donde: W_a = peso de los elementos

δ_a = densidad de los elementos

H = altura de la ola incidente

K_d = coeficiente de estabilidad

S_a = gravedad específica de la unidad del armazón

α = ángulo de reposo

El ancho de la cresta o corona de la estructura se calculó con la siguiente ecuación tomada del Shore Protection Manual (1984):

$$B = 3 K_{\Delta} \left(\frac{W_a}{\delta_a} \right)^{1/3}$$

donde: B = ancho de la corona

K_{Δ} = coeficiente de capa

W_a = peso de los elementos

δ = densidad de la roca

Para conocer el número de elementos o rocas que conformaran al rompeolas se utilizó la siguiente ecuación (Shore Protection Manual, 1984) considerando el área que se desea proteger:

$$N_a = A \cdot 3 K_{\Delta} \left(\frac{1 - P}{100} \right) \left(\frac{\delta a}{W_a} \right)$$

donde: N_a = número de rocas

A = área a cubrir

K_{Δ} = coeficiente de capa

P = porosidad (%)

δa = densidad de la roca

W_a = peso de los elementos

El ángulo del talud de la estructura se calculó usando un valor $C = 2$ que esta dentro del rango $1.5 \leq C \leq 3$ para evitar deslizamientos:

$$\alpha_t = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{1}{C} \right)$$

donde: α_t = ángulo del talud de la estructura

C = pendiente

Se calculó cual sería el área transversal de la estructura usando la relación propuesta por (Chasten et al, 1993 en Appendini, 1995):

$$A_t = B hc' + C' hc'^2$$

donde: A_t = área transversal de la estructura

B = ancho de la corona

hc' = altura de la corona

C' = pendiente promedio de la estructura (1.5 a 3.0)

Uno de los parámetros más importante para el diseño y efectividad del rompeolas es la profundidad a la cual se sumergirá la estructura. Esto se determinó por tres diferentes términos dimensionales:

- Grado de sumergido ($d/h > 1.0$);
- Altura relativa de la estructura ($h/d < 1.0$);
- Tirante de agua relativo a la razón de profundidad ($F/d < 1.0$)

Estas tres cantidades dimensionales d/h , h/d y F/d , indican la altura relativa del rompeolas comparada con la profundidad del agua, y son usadas para determinar la magnitud de la ola y fuerzas de corrientes sobre el rompeolas, y la efectividad de la estructura en la atenuación de la energía de ola.

El primer propósito de un rompeolas es el de reducir la energía del oleaje. La efectividad del rompeolas para atenuar la energía del oleaje se midió por la cantidad de energía de ola que es transmitida al pasar por la estructura. Esta transmisión de ola se cuantificó usando el coeficiente de transmisión propuesto por Seabrook (1997) que es solo para rompeolas sumergidos:

$$K_t = 1 - e^{\left[0.65 (F/H) - 1.09 (H/B) - 0.047 \left(\frac{B F}{L D_{n50}} \right) + 0.067 \left(\frac{F H}{B D_{n50}} \right) \right]}$$

donde: K_t = coeficiente de transmisión

F = tirante de agua

H = altura de ola incidente

B = ancho de la corona

L = longitud de onda

D_{n50} = diámetro nominal de la roca $\left(\frac{W_a}{\delta a} \right)^{1/3}$

Con el coeficiente de transmisión se calculó cual sería la altura de ola transmitida al pasar por el rompeolas con la siguiente relación:

$$H_t = K_t * H_i$$

donde: H_t = altura de ola transmitida

K_t = coeficiente de transmisión

H_i = altura de ola incidente

Cuando el oleaje encuentra un obstáculo o barrera ya sea natural o artificial, en este caso un rompeolas sumergido, éste es reflejado ya sea parcial o totalmente oponiéndose a la disipación de energía. Es por esto que se calculó el coeficiente de reflexión (Ahrens, 1987 en Appendini, 1995) para así conocer la altura de ola reflejada:

$$K_r = e [-6.774 (d/L) + (-0.293/(h/d)) + (-0.086 (A_t/h^2) + 0.0833 (F/H))]]$$

donde: K_r = coeficiente de reflexión

d = profundidad del agua al pie de la estructura

L = longitud de onda

h = altura de la estructura

A_t = área transversal de la estructura

F = tirante de agua

H = altura de ola incidente

$$H_r = K_r * H_i$$

donde: H_r = altura de ola reflejada

K_r = coeficiente de reflexión

H_i = altura de ola incidente

La disipación de energía no puede ser medida directamente, por lo que es inferida a partir de la transmisión y la reflexión de ola, así la conservación de energía para este tipo de estructuras es calculada por la siguiente expresión propuesta por (Chasten et al, 1993 en Appendini, 1995):

$$K_t^2 + K_r^2 + \text{disipación} = 1.0$$

Para determinar la longitud del rompeolas se utilizó la relación propuesta por Shore Protection Manual (1984) y Suh & Dalrymple (1987) donde se previene la formación de tómbolos en sistemas de un rompeolas y para dar protección uniforme a la costa:

$$\frac{L_s}{X} < 1.0$$

donde: L_s = longitud del rompeolas

X = distancia de la costa al rompeolas

Con la relación anterior aplicada en la siguiente ecuación se determinó el tipo de respuesta que tendrá la línea de costa a la estructura (Ahrens y Cox, 1990 en Appendini, 1995):

$$I_s = e^{(1.72 - 0.41 (L_s/X))}$$

donde: I_s = índice de respuesta de playa

$I_s = 1$ (formación permanente de tómbolo)

$I_s = 2$ (tómbolos periódicos)

$I_s = 3$ (salientes bien desarrolladas)

$I_s = 4$ (saliente suavizada)

$I_s = 5$ (no hay sinuosidad)

2.2.6. Diseño funcional

La finalidad de realizar un estudio para el diseño funcional del rompeolas es para establecer el tipo de respuesta que va a presentar la costa al rompeolas, y como va a estar respondiendo según las características que se presenten periódicamente.

Para llevar a cabo los cálculos del transporte litoral es indispensable conocer la energía con la que llega la ola y con la que se disipa al pasar a través de la estructura, eso se calculó con la siguiente ecuación (Komar, 1998):

$$E = 1/8 \delta g H^2$$

donde: E = energía de ola por unidad de área

δ = densidad del agua de mar

g = gravedad

H = altura de ola

El transporte litoral es el factor más importante con el cual se va a predecir si se tendrá una condición de equilibrio o existirá erosión o depósito de material y también va a determinar el tipo de estructura que se formará en respuesta al rompeolas. Es por esto que se calculó la cantidad de volumen de sedimento transportado con las ecuaciones propuestas por Komar e Inman (1970) en (Komar, 1998):

$$I_l = 0.77 (ECn)_b \text{ sen } \alpha_b \text{ cos } \alpha_b$$

donde: I_l = razón del transporte litoral del peso inmerso del sedimento

$(ECn)_b$ = flujo de energía de ola o poder elevado en la zona de rompiente

α_b = ángulo de la ola rompiente

$$Q_l = \frac{I_l}{(\delta_d - \delta) g a'}$$

donde: Q_l = cantidad de transporte litoral

I_l = razón del transporte litoral del peso inmerso del sedimento

δ_s = densidad del sedimento

δ = densidad del agua de mar

g = gravedad

a' = factor de porosidad del sedimento

La velocidad de la corriente a lo largo de la costa generada por oleaje que arriba con cierto ángulo a la costa se evaluó con la ecuación propuesta por Komar e Inman (1970) en (Komar, 1998):

$$V_l = 2.7 U_m \sin \alpha b$$

donde: V_l = velocidad de corriente

U_m = máxima velocidad orbital horizontal de partículas evaluado en la zona de rompiente $\left(\frac{2 E_b}{\delta H_b} \right)^{1/2}$

αb = ángulo de aproximación de oleaje

Se calculó la velocidad de autosuspensión de las partículas para posteriormente usar este dato y así conocer cual es el diámetro en milímetros de las partículas que son movidas con esta velocidad, este valor se determinó empleando una gráfica (Rouse, 1937) que relaciona la velocidad con la que son movidas las partículas de cuarzo tanto en agua como en aire en función de la temperatura:

$$W_s < U_m S$$

donde: W_s = es la velocidad de autosuspensión

U_m = velocidad horizontal de las partículas

S = pendiente de la playa

Con el fin de evitar la formación de tómbolos, Hallermeier (1983) recomienda la siguiente ecuación para encontrar la profundidad a la cual se debe de posicionar el rompeolas separado de la costa:

$$d_{sa} = \frac{2.9 H_e}{\sqrt{(S - 1)}} - \frac{110 H_e^2}{(S - 1) g T_e^2}$$

donde: d_{sa} = límite anual hacia el mar de la zona litoral

H_e = altura de ola de aguas profundas que excede las 12 hrs. por año

S = razón de sedimento por densidad de fluido

T_e = periodo correspondiente a H_e

2.2.7. Aspectos biológicos

Con el fin de conocer las características del medio como sustrato, flora y fauna marina se llevó a cabo el 19 de Septiembre del 2001 un video submarino. La video grabación se realizó con una cámara submarina y con la colaboración de dos buzos y un auxiliar mediante buceo autónomo SCUBA.

El video se comenzó a tomar a partir de la isóbata de los 3 m en un transecto paralelo al rompeolas del Hotel Coral y Marina hasta llegar a la isóbata de los 6 m donde la dirección del transecto cambio volviéndose paralelo a la línea de costa. En gabinete la video grabación fue analizada tomando el tiempo real de grabación para posteriormente determinar a que profundidad se encontraba cada una de las especies.

Posteriormente se realizó un muestreo cualitativo de los organismos que habitan en las pozas de mareas y en la zona intermareal baja desde la base de los cantiles hasta la profundidad de los dos metros.

Las especies encontradas fueron identificadas en base a bibliografía y comparadas con la publicación realizada por García-Pamanes y Chee-Barragan en 1976 quienes realizaron un estudio de la distribución vertical de la flora y fauna macroscópicas en las zonas de entremareas en tres localidades de la Bahía de Todos Santos.

Los puntos del transecto recorrido se digitalizaron sobre el mapa batimétrico del área de estudio. Se realizó un listado de las especies encontradas en cada una de las isóbatas representando gráficamente estos resultados mediante un perfil de la distancia recorrida con respecto a la profundidad. Posteriormente se hizo una descripción general de cada una de estas especies mostrando una imagen de éstas y mencionando su nombre científico, nombre común, hábitat y rangos de oxígeno.

2.2.8. Tipos de sustrato

Los sustratos que conforman el fondo marino del área de Punta Morro fueron identificados por medio del análisis del video submarino. Los sustratos encontrados se muestran en el perfil junto con la flora y fauna del medio y también por medio de fotografías tomadas a lo largo de la costa de Punta Morro.

2.2.9. Aspectos químicos

El M.C. Raúl Canino Herrera es actualmente el encargado del control de calidad de las aguas residuales de la planta de tratamiento de la UABC. Con el fin de conocer cuales son las características del agua tratada que se vierte al

mar se tuvo comunicación personal con él, quien proporcionó los valores de todas las mediciones que se le hacen al agua tratada.

3. RESULTADOS

3.1. Mareas

La marea existente en Ensenada, B.C. es de tipo mixta semidiurna; teniendo así dos bajamares y dos pleamares observables en el transcurso del día distribuidos en periodos de aproximadamente 12 horas (Tabla I).

Tabla I. Planos de mareas referidos al nivel medio del mar.

Nivel de marea	Elevación
Pleamar máxima registrada	1.487
Nivel de pleamar media superior	0.781
Nivel de pleamar media	0.577
Nivel medio del mar	0.000
Nivel de media marea	0.003
Nivel de bajamar media	-0.572
Nivel de bajamar media inferior	-0.822
Bajamar mínima registrada	-1.409
Altura mínima registrada	-2.902

3.2. Oleaje

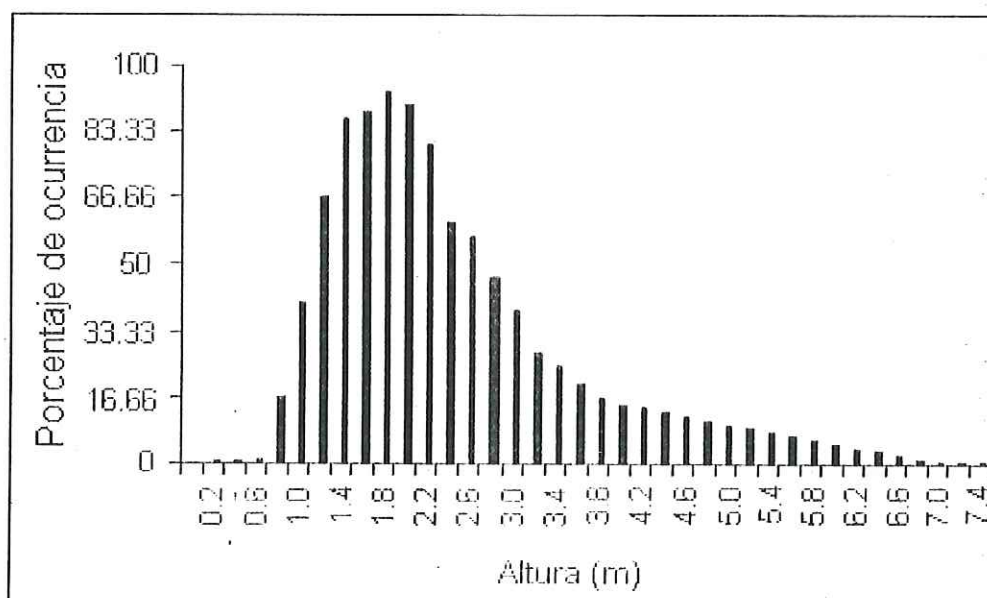
El análisis del comportamiento de oleaje desde 1992 hasta el año 2002 que llega a las costas de la Bahía de Todos Santos se muestra en la Tabla II, en donde se observa que la altura máxima corresponde al año 1995 con un valor de 7.4 m y una altura mínima de 0.4 m.

Los valores empleados para llevar a cabo el diseño estructural del rompeolas fueron de oleaje en condiciones de tormenta con una altura de ola de 5 m, periodo de 14.3 s y dirección de ola con un ángulo de 290°. En el caso del diseño funcional se tomaron en cuenta los valores de oleaje en condiciones normales con una altura de ola de 1.8 m, periodo de 11.1 s y dirección de ola con un ángulo de 300°.

Tabla II. Comportamiento de oleaje en un periodo de 11 años.

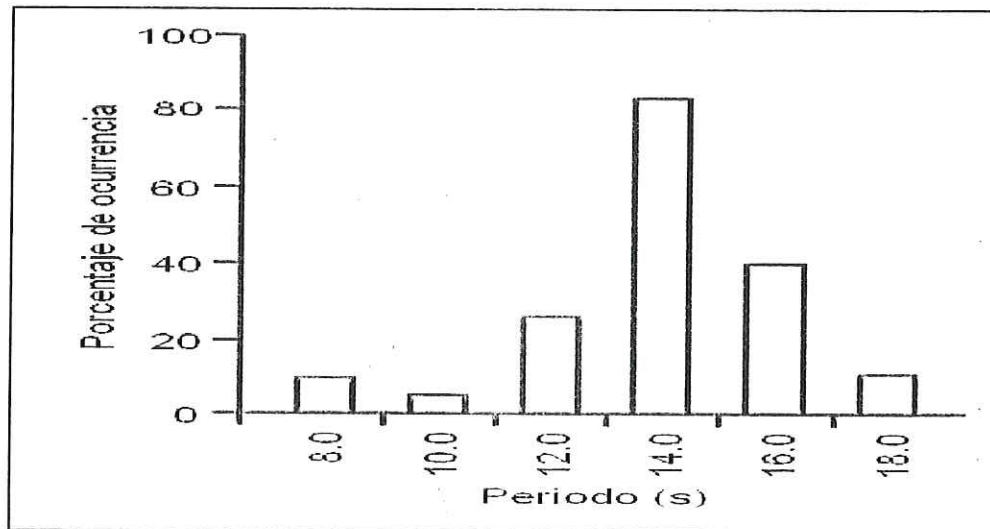
Año	Altura (m)	Periodo (s)	Dirección (°)	Altura max	Altura min
1992	2	12.5 – 14.3	285 – 290	5.4	0.6
1993	2	11.1	300	5.8	0.8
1994	1.6	12.5	300	6.6	0.6
1995	1.4	11.1	300	7.4	0.4
1996	1.8	11.1	290 – 300	6.4	0.6
1997	1.4	11.3	300	6.4	0.6
1998	1.3	13.1	290	4.3	0.6
1999	1.4	12.4	285	4.7	0.7
2000	1.3	12.4	285	4.5	0.7
2001	1.2	12.3	290	3.6	0.5
2002	1.1	11.1	285	2.8	0.7

La gráfica 1 se representa por medio de un histograma las alturas de mayor ocurrencia desde 1992 hasta el 2002, las cuales se encuentran en un rango entre 1.4 y 2 metros, siendo la altura predominante de 1.8 m.

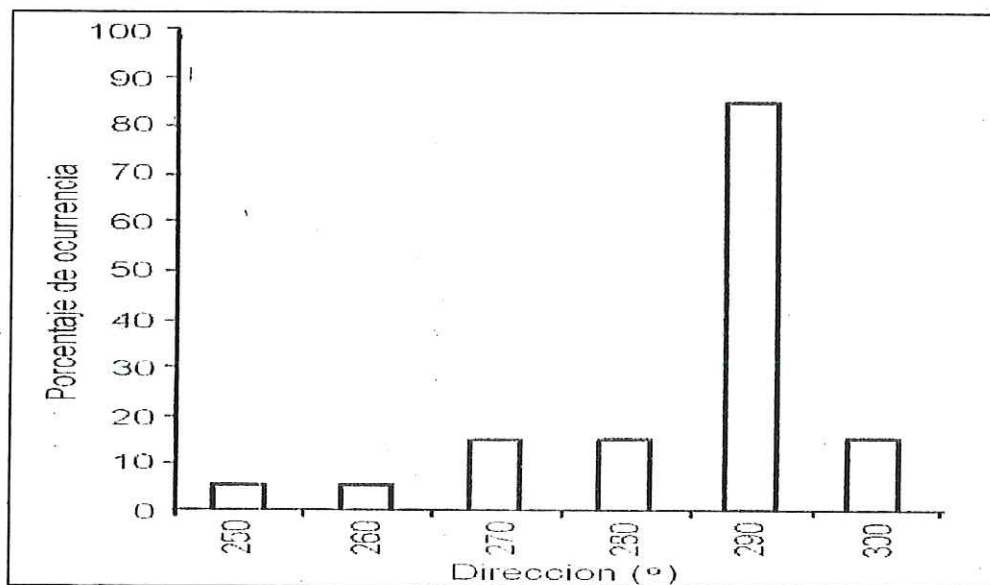
**Gráfica 1.** Histograma de alturas de ola para datos de 11 años.

Las gráficas 2 y 2.a. representan el periodo y la dirección de ola en condiciones de tormenta con una altura de ola de 5 m. En la gráfica 2 se

observa que el periodo de mayor ocurrencia es el que se encuentra en el rango de los 14 s. Para la gráfica 2.a. se registra una dirección con un ángulo de incidencia predominante con un valor de 290°.

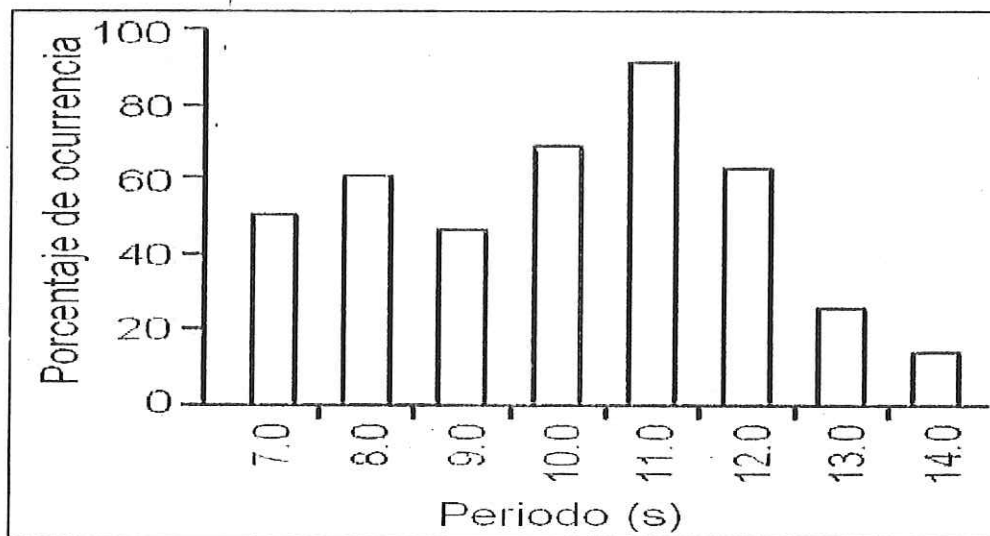


Gráfica 2. Histograma de periodos para oleaje de tormenta.

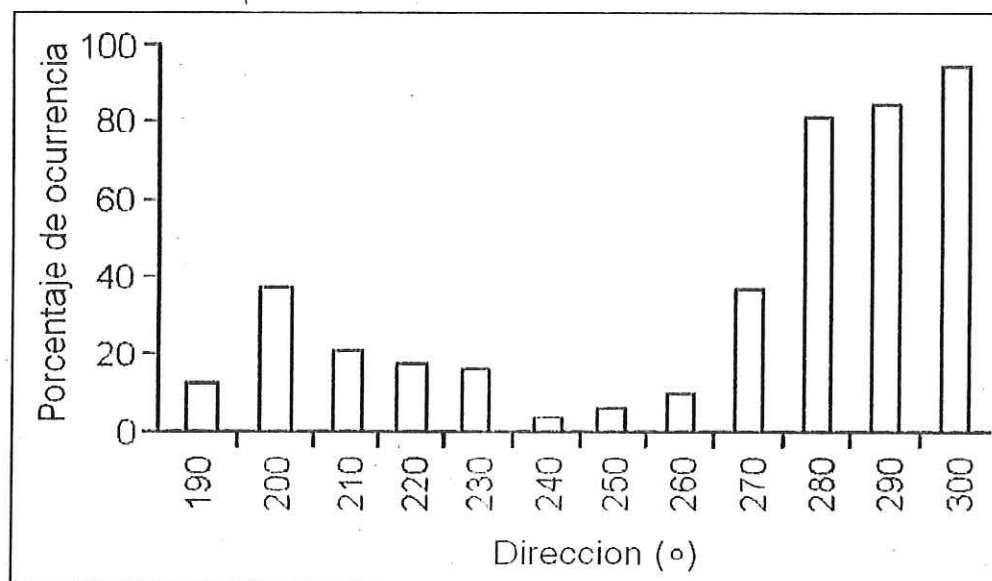


Gráfica 2.a. Histograma de dirección de incidencia de oleaje para condiciones de tormenta.

Para condiciones normales de oleaje con una altura de ola de 1.8 m se puede observar que el periodo de mayor ocurrencia es el que se encuentra en el rango de los 11 s (Gráfica 3) y que la dirección de ola predominante presenta un valor de 300° (Gráfica 3.a.).



Gráfica 3. Histograma de periodos para condiciones normales de oleaje.



Gráfica 3.a. Histograma de dirección predominante para oleaje en condiciones normales.

3.3. Batimetría

El mapa batimétrico muestra que el área presenta una pendiente uniforme sin cambios abruptos de profundidad, en éste se puede observar que las isóbatas van desde los 2 m hasta los 18 m de profundidad.

A partir de la isóbata de los 8 m se aprecia como los contornos de profundidad se ven afectados debido a la topografía de la zona a causa de la saliente de Punta Morro ocasionando esto una convergencia y un cambio en la dirección de la incidencia del tren de olas que llega a esta costa (Figura 3).

El área que se va a proteger tiene una longitud de aproximadamente 344 m.

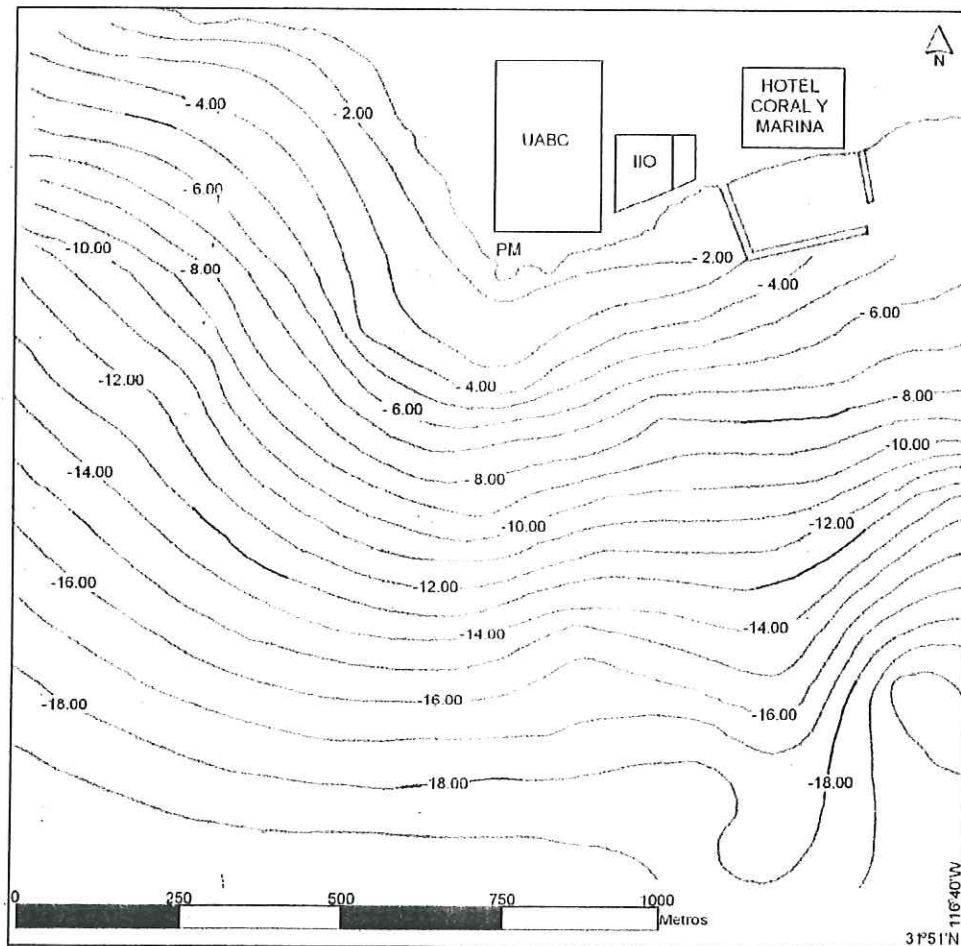


Figura 3. Mapa batimétrico del área de Punta Morro.

III.3. Refracción de oleaje

Los diagramas de refracción se llevaron a cabo usando los resultados de oleaje anteriormente descritos.

Para el oleaje en condiciones de tormenta con una altura de 5m, un periodo de 14.3 s y un ángulo de aproximación de 290° la ola comienza a tocar fondo a una profundidad de 159.5 m con una longitud de onda de 319 m; con estos resultados se obtuvo un coeficiente de refracción (K_R) igual a 0.31 (Figura 4).

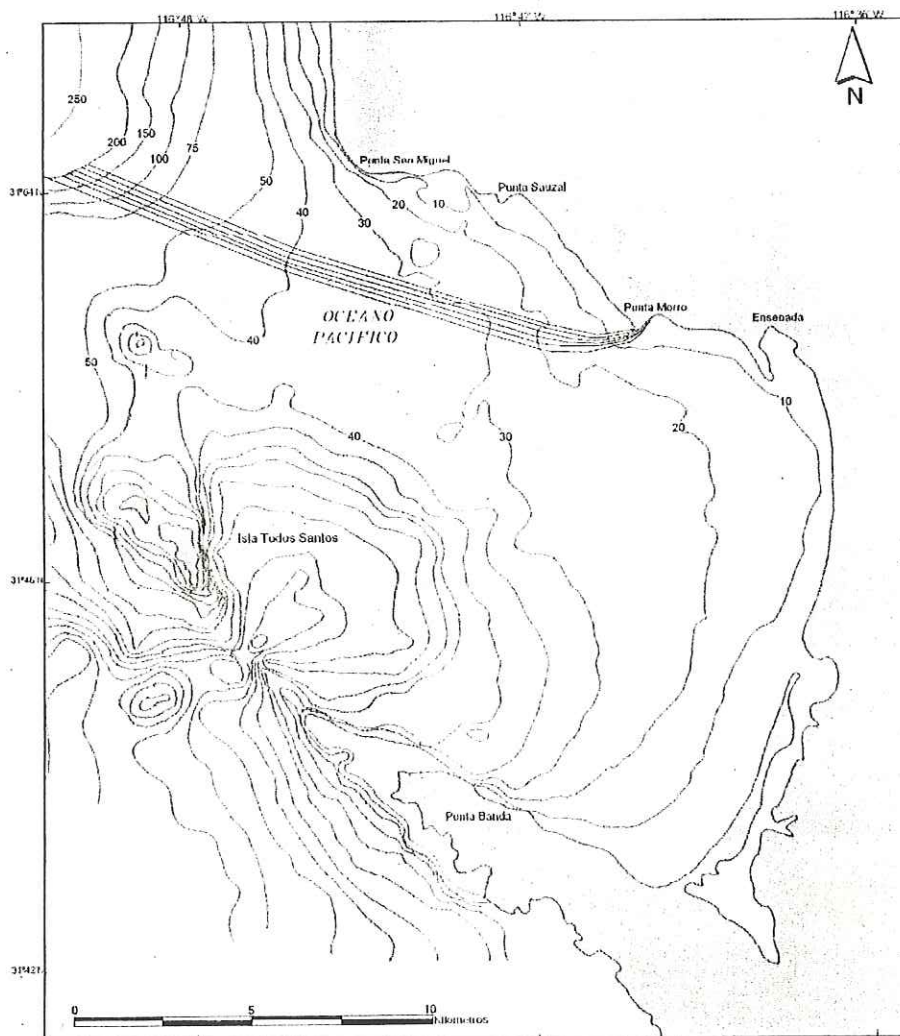


Figura 4. Diagrama de refracción a partir de una profundidad de 159.5 m para $H = 5$ m, $T = 14.3$ s y 290° .

Como se observa en la figura 4.a. las ortogonales que arriban a la costa se ven influenciadas por la batimetría y por la saliente de Punta Morro, las cuales llegan con ángulo de incidencia de 12.47° presentando una concentración de energía al Noreste del faro de Punta Morro frente a las instalaciones del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO).

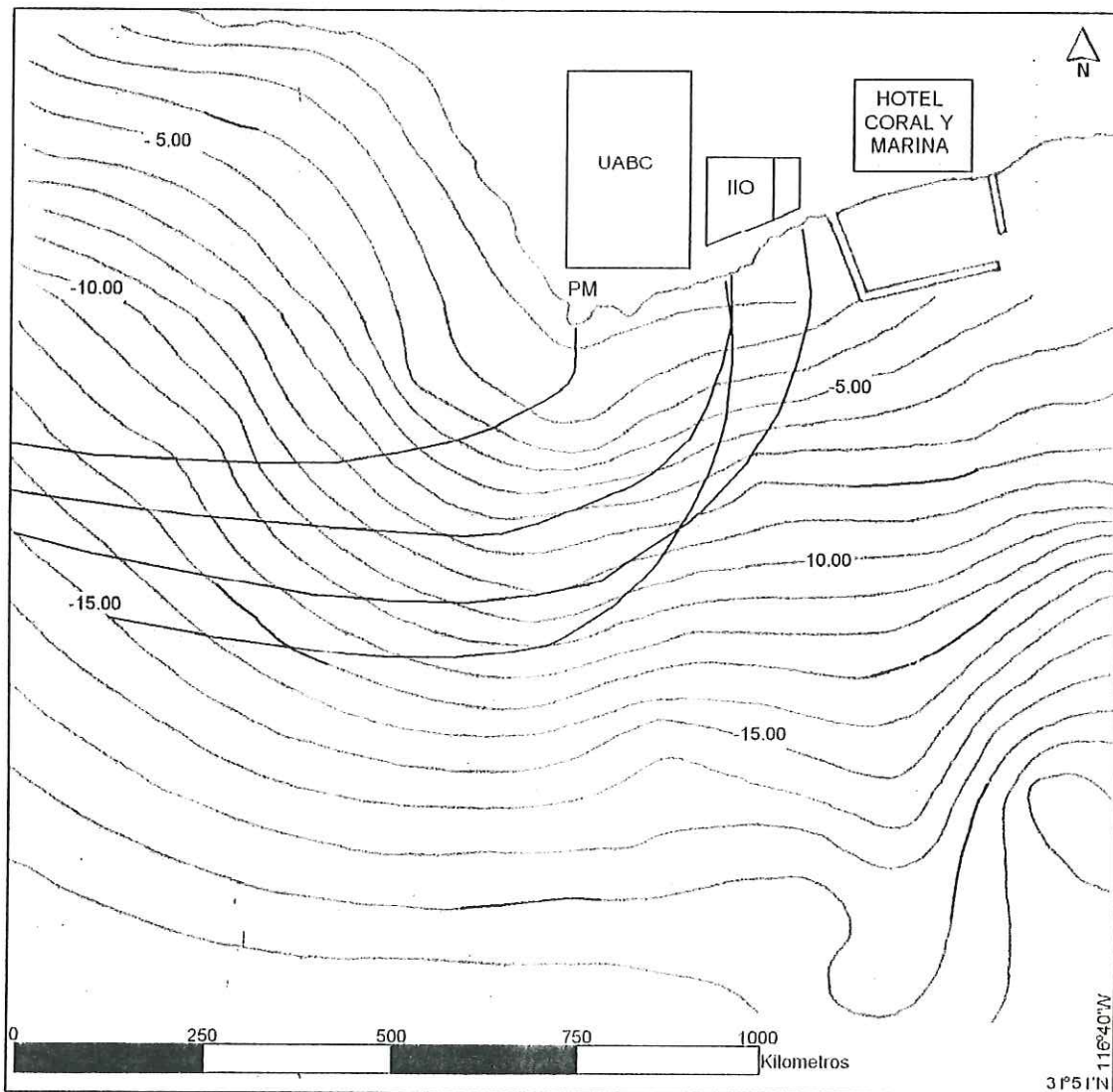


Figura 4.a. Diagrama de refracción con condiciones de tormenta para el área de Punta Morro.

En el caso de oleaje en condiciones normales con una altura de ola de 1.8 m, periodo de 11.1 s y ángulo de aproximación de 300° la ola comienza a tocar fondo a una profundidad de 192 m con una longitud de onda de 192.2 m, presentando un coeficiente de refracción (K_R) de 0.25 (Figura 5).

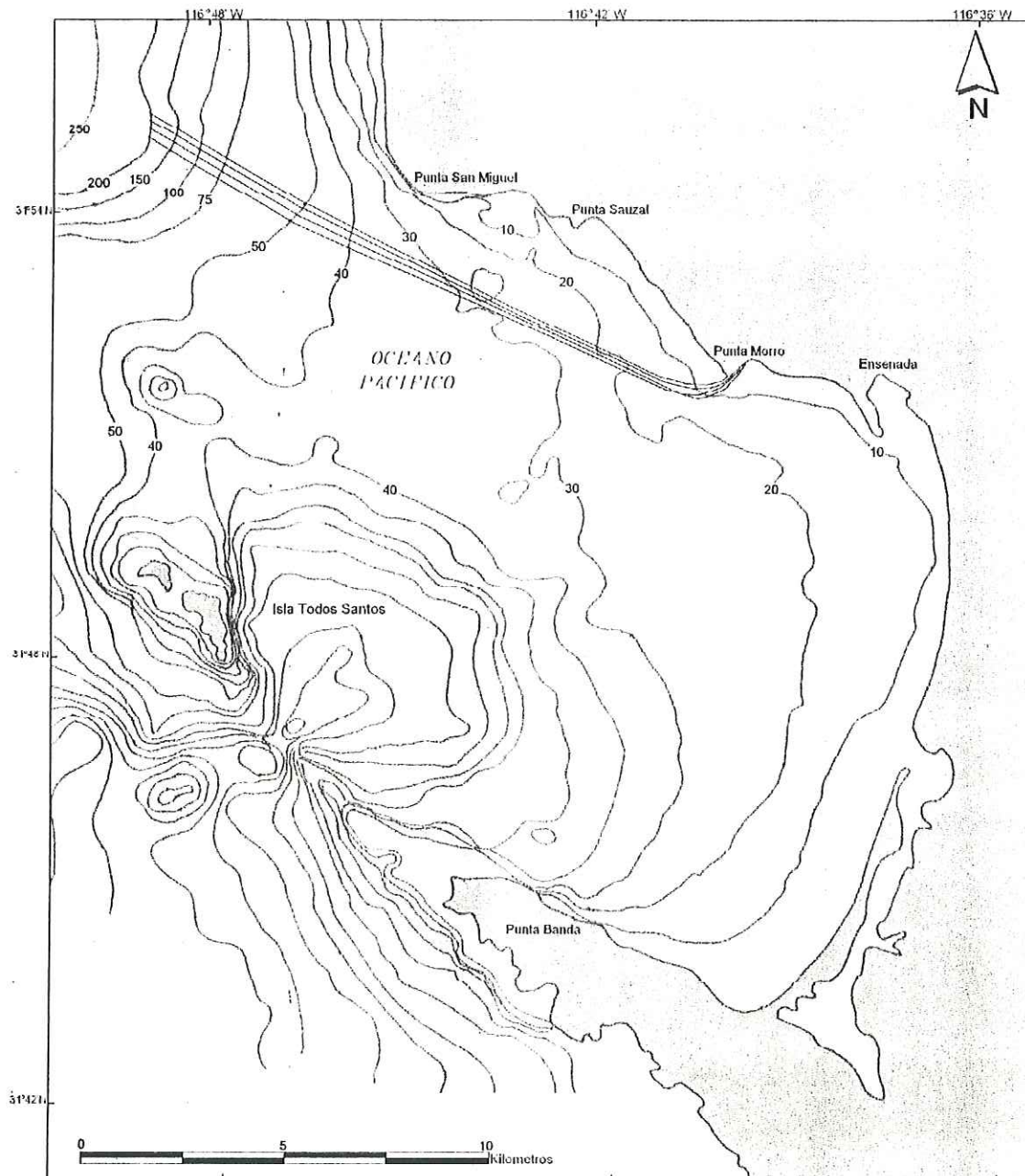


Figura 5. Diagrama de refracción a partir de una profundidad de 192 m para $H = 1.8$ m, $T = 11.1$ s y 300° .

La figura 5.a. muestra que las ortogonales se separan sin presentar concentración de energía sobre la línea de costa de Punta Morro llegando con un ángulo hacia ésta de 6.71° .

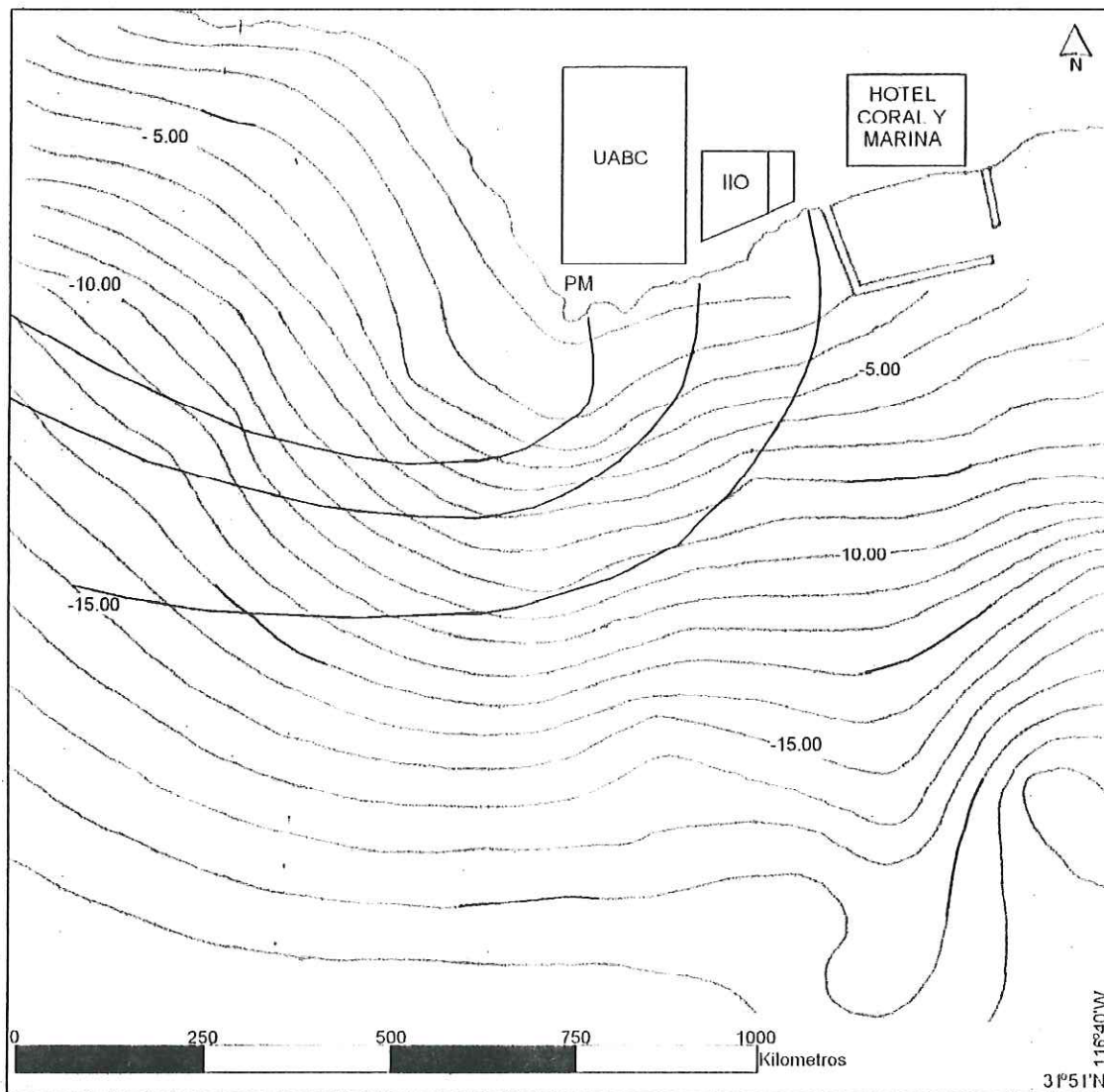


Figura 5.a. Diagrama de refracción para condiciones normales de oleaje en el área de Punta Morro.

3.5. Diseño estructural

Los resultados que se presentan en la Tabla III. son parámetros calculados sin la presencia del rompeolas sumergido siendo éstos: Altura de ola (H), periodo (T), pendiente de playa (m), altura de ola máxima antes de romper o mejor conocida como altura de diseño (Hb), profundidad a la cual se comienza a elevar la ola (db_{max}), profundidad a la cual se espera que rompa la ola (db_{min}), distancia que viaja la ola desde que comienza a romper hasta que rompa por completo (x_p), distancia que hay desde donde rompe la ola hasta la línea de costa (db/m) y el tipo de rompiente. Todos estos factores son de gran importancia pues la estructura se va a encontrar expuesta al oleaje siendo sus características las que determinen el tiempo de vida de la estructura.

Tabla III. Características de oleaje y de su comportamiento al llegar a aguas someras sin la presencia del rompeolas sumergido.

H (m)	T (s)	m	Hb (m)	db_{max} (m)	db_{min} (m)	x_p (m)	db/m (m)	Tipo de rompiente
5	14.3	0.02	2.79	4.15	3.06	10.64	153	Tubo
1.8	11.1	0.02	0.95	1.40	1.02	3.62	51	Tubo

La Tabla IV presenta las características estructurales que debe tener el rompeolas sumergido para que resista tanto el embate de oleaje de tormenta como el de condiciones normales.

Tabla IV. Características estructurales del rompeolas sumergido.

Características		Valores
Wa	Peso de los elementos	14.17 ton
B	Ancho de la corona	5.27 m
Na	Número de rocas	119 rocas
α_t	Angulo del talud	26.56°
A_t	Area transversal	64.215 m ²
h	Altura de la estructura	4.5 m

F	Tirante de agua	- 0.5 m
d	Profundidad en donde se colocará la estructura	5 m
L	Longitud de la estructura	100 m
X	Distancia de la costa al rompeolas	187.5 m
I _s	Índice de respuesta de playa	Saliente suavizada

El oleaje que incida sobre la estructura con estas características estructurales tendrá una disipación de energía del 68% en condiciones de tormenta y 90 % en condiciones normales.

Con la presencia del rompeolas sumergido las características físicas del oleaje cambian, es por esto que se presentan los mismos factores calculados en la Tabla III pero ahora con la presencia de una estructura de protección (Tabla V). El periodo se conserva al igual que el tipo de rompiente.

Tabla V. Características de oleaje y de su comportamiento con la presencia del rompeolas sumergido donde también se incluye tanto el oleaje transmitido como el reflejado con sus respectivos coeficientes.

H (m)	H _b (m)	db _{max} (m)	db _{min} (m)	x _p (m)	db/m (m)	K _t	H _t (m)	K _r	H _r (m)
5	2.04	3.03	2.22	7.78	111	0.68	3.1	0.39	1.95
1.8	0.42	0.63	0.45	1.60	22.5	0.43	0.77	0.34	0.62

El siguiente esquema muestra las características que tendrá el rompeolas sumergido en base a los resultados anteriormente descritos (Figura 6).

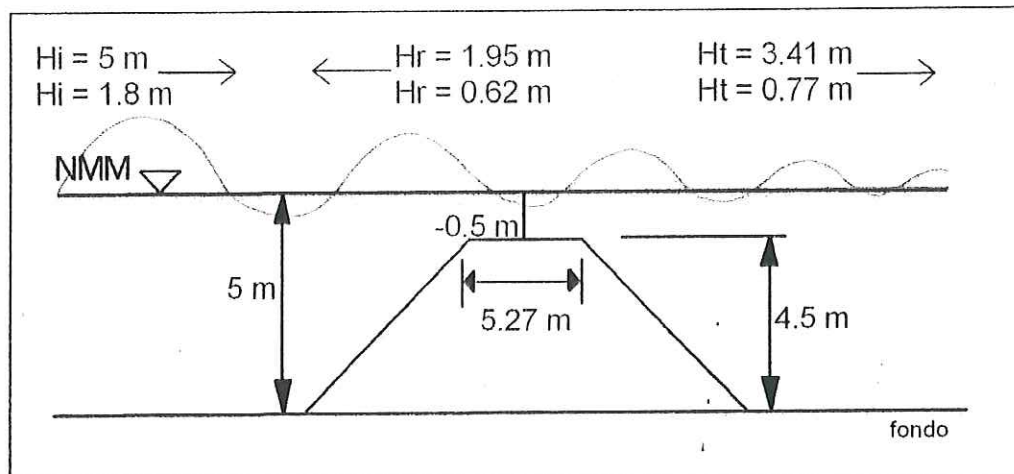


Figura 6. Esquema con las dimensiones del rompeolas sumergido donde H_i es la altura de ola incidente, H_r es la altura de ola reflejada y H_t es la altura de ola transmitida.

3.6. Diseño funcional

Los siguientes resultados se evaluaron en condiciones sin rompeolas y al pasar a través del rompeolas con el fin de conocer el comportamiento hidrodinámico del área y el porcentaje de funcionalidad que tendrá la estructura en la zona costera de Punta Morro. La tabla presenta la energía de ola (E), volumen de sedimento transportado (Q_i) y la velocidad de la corriente (V_i) (Tabla VI).

Tabla VI. Comparación de los resultados sin y con estructura de los factores considerados para el diseño funcional del rompeolas.

CONDICIONES DE TORMENTA		
Características	Sin rompeolas	Con rompeolas
E	31,390 J	14,634 J
Q_i	2,168.1 m ³ /año	635.1 m ³ /año
V_i	1.52 m/s	1.30 m/s

CONDICIONES NORMALES		
E	4,068.22 J	746.97 J
Q_l	120.19 m ³ /año	17.84 m ³ /año
V_l	0.47 m/s	0.31 m/s

La velocidad de autosuspensión (W_s) moverá partículas de sedimento con un diámetro de 0.35 mm o 1.6 phi con una velocidad < 0.0522 m/s con oleaje de invierno o tormenta. Para condiciones normales de oleaje la velocidad de autosuspensión (W_s) será < 0.0304 m/s poniendo en suspensión a partículas con un diámetro de 0.25 mm o 2 phi.

Para prevenir la formación de tómbolos (d_{sa}) se recomienda colocar la estructura a una profundidad de 10 m en el caso de oleaje de tormenta y a 4 m en condiciones normales de oleaje.

3.7. Aspectos biológicos

El transecto recorrido durante la video grabación tuvo una longitud de 375 m, siendo esta distancia la que se pudo recorrer debido a la duración del video cassette (Figura 8).

La figura 9 muestra el perfil que representa el hábitat marino de la zona de Punta Morro donde se observa para cada profundidad la distribución vertical de la flora y fauna marina así como el sustrato que conforma el fondo marino. La flora y fauna marina están identificados por medio de iconos con sus nombres comunes.

Posteriormente se hace la descripción detallada de los organismos encontrados a distintas profundidades.

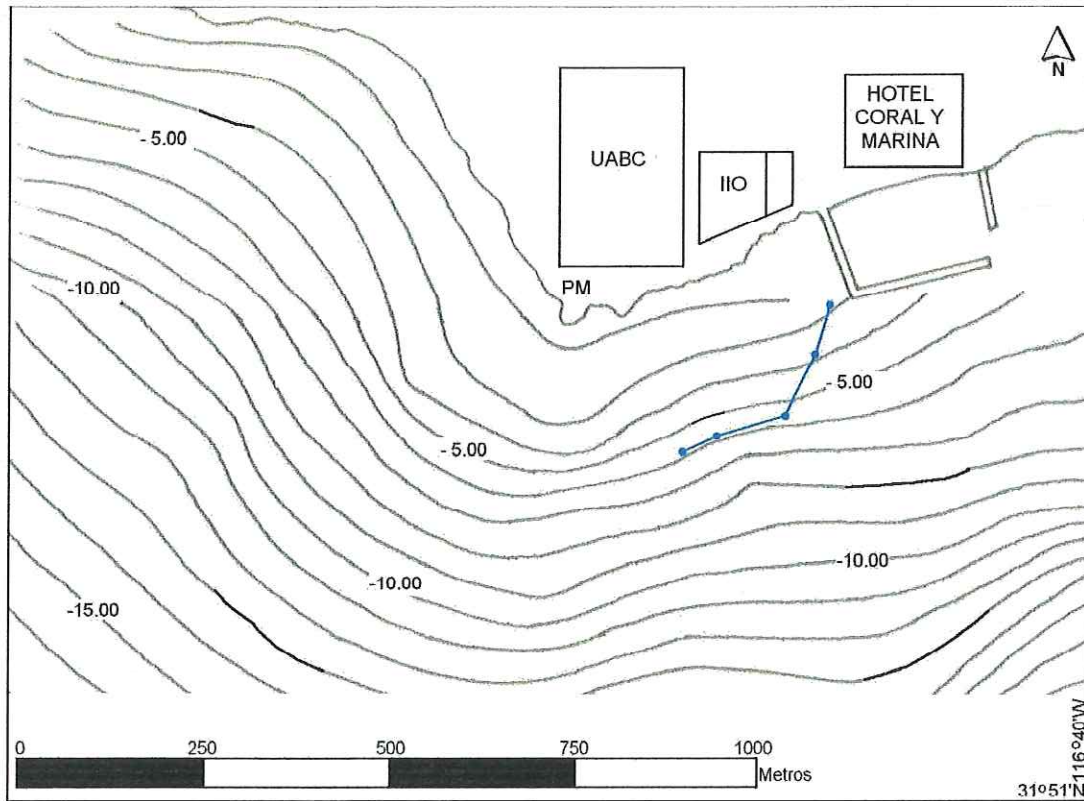


Figura 7. Transecto recorrido durante la toma del video submarino.

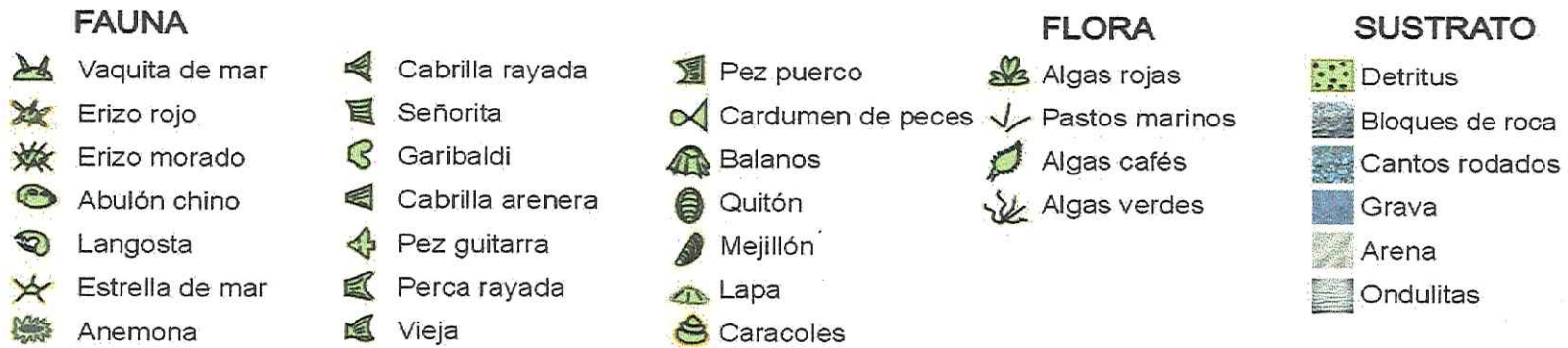
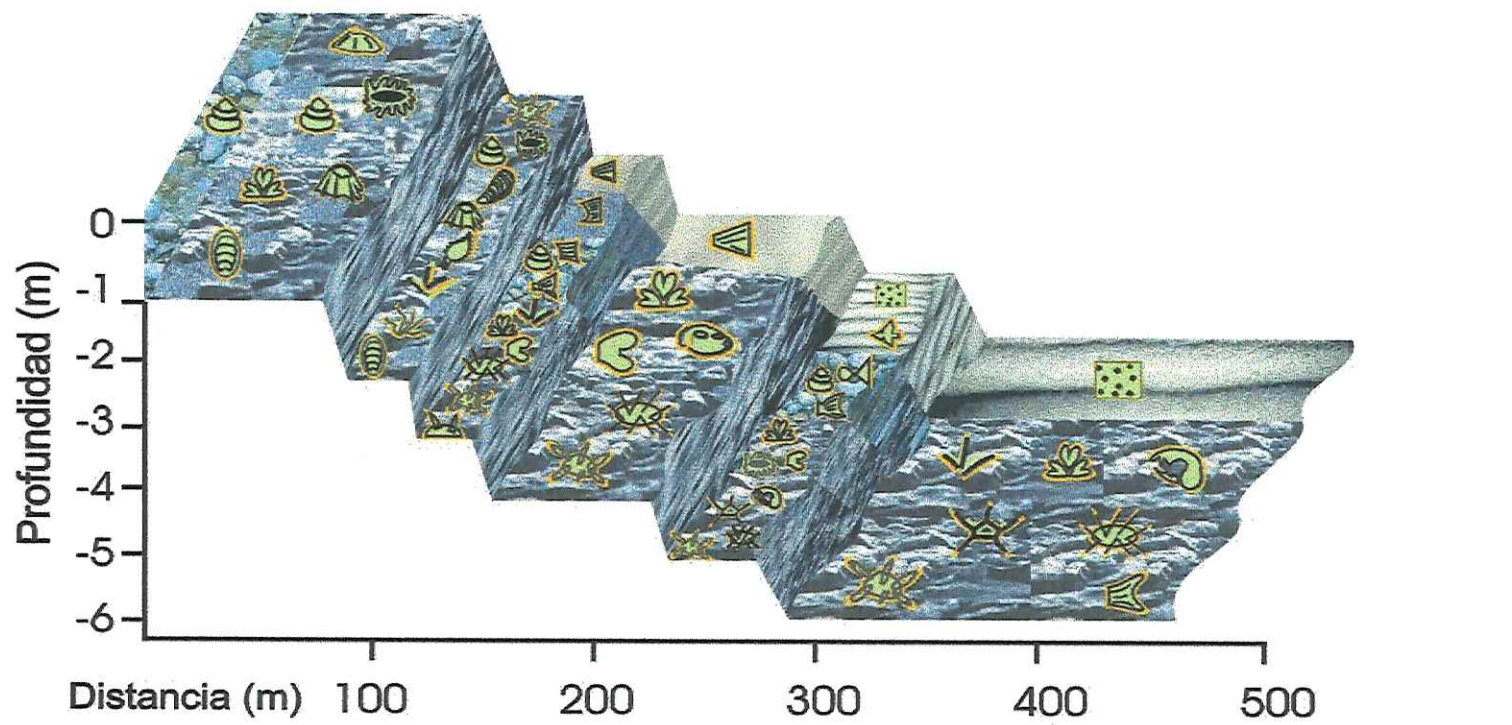


Figura 8. Perfil cualitativo del hábitat marino del área de Punta Morro.

Para la identificación e imágenes de los invertebrados se consultó al autor Morris et al (1980), para la identificación e imágenes de peces se consultó a Hunnan (1996) y por medio de comunicación personal con el M.C. Ricardo Vidal del IIO, y para la identificación de algas se consultó a Abbott y Hollenberg (1976).

Al límite superior del transecto a los 0 m se encontraron restos de moluscos como conchas de mejillón y caracoles.

En la zona intermareal baja a una profundidad de 1 m se encontraron los siguientes organismos:

Invertebrados

Littorina sp.
Collisella scabra
Acanthina spirata
Anthopleura xanthogrammica
Nutallina californica
Balanus glandula
Mytilus californianus

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.
Bossiella sp.

A una profundidad 2 m se encuentra la zona intermareal media donde habitan organismos como:

Invertebrados

Strongylocentrotus purpuratus
Acanthina spirata
Anthopleura xanthogrammica
Nutallina californica
Balanus glandula
Mytilus californianus

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.
Bossiella sp.
Phyllospadix sp.
Codium sp.
Colpomenia tuberculata
Egregia menziesii.

A partir de los 3 m de profundidad se encontraron restos de moluscos, invertebrados y peces los cuales forman parte de la zona intermareal alta y submareal:

Invertebrados

Aplysia californica
Ceratostoma foliatum
Strongylocentrotus franciscanus
Strongylocentrotus purpuratus
Astrea undosa

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.
Phyllospadix sp.

Peces

Paralabrax clathratus
Oxyjulis californica
Halichoeres semicinctus
Paralabrax nebulifer
Hypsypops rubicundus

A los 4 m de profundidad se encontraron:

Invertebrados

Strongylocentrotus franciscanus
Strongylocentrotus purpuratus

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.

Peces

Hypsypops rubicundus
Paralabrax nebulifer

Megathura crenulata

A los 5 m de profundidad donde será colocado el rompeolas sumergido se encontró la siguiente flora y fauna marina:

Invertebrados

Strongylocentrotus franciscanus
Strongylocentrotus purpuratus
Pisaster giganteus
Panulirus interruptus
Anthopleura xanthogrammica
Astrea undosa
Kelletia kelletti
Ceratostoma foliatum

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.

Peces

Halichoeres semicinctus
Semicossyphus pulcher
Zapteryx exasperata
Hypsypops rubicundus.

Por último en la profundidad de los 6 m se encontraron:

Invertebrados

Amphistichus argenteus
Strongylocentrotus franciscanus
Strongylocentrotus purpuratus
Pitaria miniata
Panulirus interruptus

Algas

Corallina sp.
Lithopyllum sp.
Phyllospadix sp.

A continuación se hace una descripción más detallada de las características de cada uno de los organismos identificados, indicando su nombre científico, nombre común, hábitat y rangos de oxígeno que los organismos pueden consumir.

PHYLUM CNIDARIOS



Nombre científico: *Anthopleura xanthogrammica* (Brandt, 1835)

Nombre común: Anémona verde gigante

Hábitat: Se encuentra sobre rocas en pozas de marea, canales profundos y en costas rocosas expuestas. Zona intermareal baja y zona submareal. Habita desde Alaska hasta Panamá.

Rangos de oxígeno: Experimentalmente están expuestas a altas tensiones de oxígeno.

PHYLUM MOLUSCOS



Nombre científico: *Ceratostoma foliatum* (Gmelin, 1791)

Nombre común: Caracol común (Leafy Hornmouth)

Hábitat: Se encuentra en superficies rocosas especialmente cerca de balanos y bivalvos. Zona intermareal baja y submareal hasta los 65 m. Habita desde Alaska hasta Baja California.

Rangos de oxígeno: Resiste periodos de cortos a medios de exposición sin O₂.



- Nombre científico:** *Kelletia keletii* (Forbes, 1852)
- Nombre común:** Caracol común
- Hábitat:** Se encuentra debajo de bordes rocosos.
Zona intermareal baja y comúnmente a 70 m de la zona submareal.
Sobre arrecifes rocosos y grava
Habita desde Punta Concepción (Santa Bárbara Co) hasta Isla Asunción, B.C.
- Rangos de oxígeno:** Puede ocupar ambientes donde las condiciones de O₂ sean limitadas.



- Nombre científico:** *Astrea undosa* (Wood, 1828)
- Nombre común:** Caracol panocha
- Hábitat:** Se encuentra entre las rocas de intermarea baja.
Habita desde Punta Concepción (Santa Bárbara Co) hasta Isla Asunción, B.C.
- Rangos de oxígeno:** La tasa de consumo de O₂ esta en función del peso.
Estos organismos tienen un coeficiente "b-1" (coeficiente de peso) pequeño que les puede permitir ocupar ambientes en donde las condiciones de disponibilidad de O₂ sean limitadas, aunque sea por periodos cortos.
Presentan un eficiente sistema de compensación para hacer frente a las variaciones del ambiente donde se desarrolla (Ramade, 1989).



Nombre científico: *Littorina sp.* (Philippi, 1847)

Nombre común: Litorina

Hábitat: Es abundante sobre rocas. Zonas de intermarea alta y zonas de rompiente. Habita desde Charleston (Oregon) hasta Bahía Magdalena, B.C.

Rangos de oxígeno: Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.

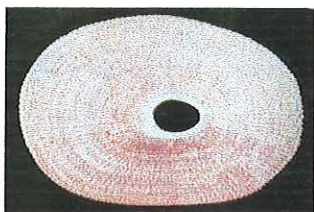


Nombre científico: *Acanthina spirata* (Blainville, 1832)

Nombre común: Caracol

Hábitat: Es común en zonas de intermarea alta y media sobre rocas protegidas y pilotes. Habita desde Tomales Bay (Marin Co.) hasta Camalú, B.C.

Rangos de oxígeno: Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.

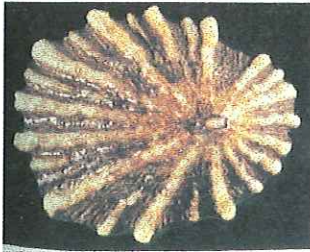


Nombre científico: *Megathura crenulata* (Sowerby, 1825)

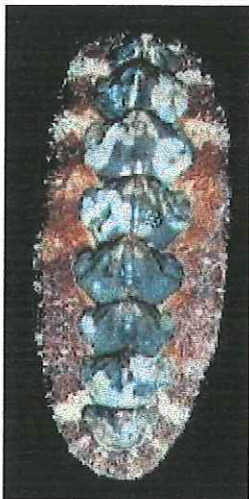
Nombre común: Abulón chino

Hábitat: Se encuentran adheridos sobre rocas o grietas de la zona de entremareas a la submareal. Habita desde Monterey Bay, Ca. hasta la Isla Asunción, B.C.

Rangos de oxígeno: Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.



- Nombre científico:** *Collisella scabra* (Gould, 1846)
- Nombre común:** Lapa rugosa
- Hábitat:** Es común sobre rocas en zonas de rompiente y de intermarea alta. Habita desde Cape Arago (Oregon) hasta B.C.S.
- Rangos de oxígeno:** Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.



- Nombre científico:** *Nuttallina californica* (Reeve, 1847)
- Nombre común:** Quitón
- Hábitat:** Es común sobre rocas expuestas a oleaje fuerte. Se encuentra oculto de bajo de algas coralinas o entre mejillones y balanos. Zonas de intermarea media a alta. Habitan desde Puget Sound (Washington) hasta Baja California.
- Rangos de oxígeno:** Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.



Nombre científico: *Balanus glandula* (Darwin, 1854)

Nombre común: Balano

Hábitat: Abundante sobre rocas y pilotes. Es el más común en la zona de intermarea media y alta en bahías y a lo largo de la costa.

Habita desde Aleutian Islands (Alaska) hasta Bahía de San Quintín, B.C.

Rangos de oxígeno: Es moderadamente resistente a la desecación comparado con otras especies de balanos.

Pierden menos del 50% del total de agua de su cuerpo en 24 hrs.



Nombre científico: *Pollicipes polymerus* (Sowerby, 1833)

Nombre común: Percebes

Hábitat: Es común en grupo junto con *Mytilus californianus*.

Zona de intermarea media sobre costas rocosas.

Habitan desde British Columbia hasta Punta Abrejos, B.C.

Rangos de oxígeno: Cuando están expuestos pierden del 35 al 40% de agua de su cuerpo tolerando periodos de exposición de más de 9 hrs.



Nombre científico: *Mytilus californianus* (Conrad, 1837)

Nombre común: Mejillón

Hábitat: Son abundantes en comunidades masivas sobre rocas expuestas a oleaje de rompiente. Se encuentran pocos en la zona intermareal media alta en costas abiertas, submareal y fuera de la costa hasta 24 m de profundidad. Habita desde Aleutian Islands (Alaska) hasta B.C.S.

Rangos de oxígeno: Resisten un rango de oxígeno muy alto fuera del agua.



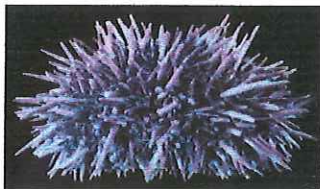
Nombre científico: *Aplysia californica* (Cooper, 1863)

Nombre común: Vaquita de mar

Hábitat: Se encuentra entre algas. Zonas de intermarea baja a profundidades por arriba de los 18 m en costas protegidas con oleaje ligero o moderado. Algunas veces se desplazan a áreas arenosas y puntos con oleaje fuerte. Habita desde Bahía Huboldt hasta el Golfo de California.

Rangos de oxígeno: Es moderadamente resistente a la desecación.

PHYLUM EQUINODERMOS

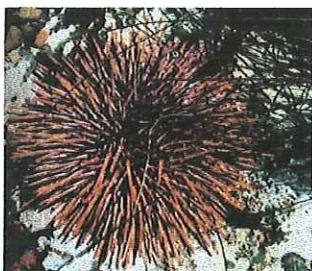


Nombre científico: *Strongylocentrotus purpuratus*
(Stimpson, 1857)

Nombre común: Erizo morado

Hábitat: Común en zonas rocosas de intermarea baja sobre costas rocosas y pilotes. Típicamente en áreas de oleaje moderado a fuerte. Comúnmente a 160 m de la zona submareal. Habita desde la Isla de Vancouver (Columbia Británica) hasta Isla de Cedros, B.C.

Rangos de oxígeno: No tolera aguas con bajas concentraciones de O₂. Vive naturalmente en mares bien oxigenados.



Nombre científico: *Strongylocentrotus franciscanus*
(A. Agassiz, 1863)

Nombre común: Erizo rojo

Hábitat: Se encuentra en zonas abiertas de intermarea baja en costas rocosas. Abundante en la zona submareal hasta una profundidad de 90 m. Habita desde Alaska hasta Isla de Cedros, B.C. y en el norte de Japón.

Rangos de oxígeno: No tolera aguas con bajas concentraciones de O₂. Vive naturalmente en mares bien oxigenados.



Nombre científico: *Pisaster giganteus* (Stimpson, 1857)

Nombre común: Estrella de puntos blancos

Hábitat: Comúnmente en rocas y en la base de pilotes.

Zona intermareal muy bajo a 88 m de profundidad en áreas de costa protegida.

Ocasionalmente se encuentra sobre sustrato arenoso en aguas submareales.

Habitan desde la Isla de Vancouver (Columbia Británica) hasta Baja California (México).

Rangos de oxígeno: No tolera aguas con bajas concentraciones de O₂.



Nombre científico: *Patiria miniata* (Brandt, 1835)

Nombre común: Estrella anaranjada

Hábitat: Se encuentra sobre rocas con pasto marino, grandes algas, esponjas y briozoarios.

Zona intermareal baja y submareal hasta los 290 m.

Habita desde Sitka (Alaska) hasta Baja California (México), Islas de Revillagigedo (México), comúnmente en el norte de California a Punta Concepción (Santa Bárbara Co).

Rangos de oxígeno: No tolera aguas con bajas concentraciones de O₂.

PHYLUM CRUSTÁCEOS



Nombre científico: *Panulirus interruptus*

Nombre común: Langosta espinosa

Hábitat: Zonas rocosas con oleaje moderado o fuerte.

Rangos de oxígeno: Su consumo de O_2 esta correlacionado con la temperatura, comida y tamaño del organismo, pero no con la concentración de O_2 del agua de mar. Los rangos de consumo de O_2 para temperaturas de 15° y 20° C son 40 mg/kg/hr y 75 mg/kg/hr respectivamente. Son capaces de regular el consumo de O_2 sobre un amplio rango de concentraciones de O_2 en el ambiente (Stanley et al, 1980)

PHYLUM CORDADOS



Nombre científico: *Hypsypops rubicundus*

Nombre común: Garibaldi adulto y juvenil

Hábitat: Costas rocosas alrededor de mantos de algas y arrecifes. Se encuentran desde la superficie hasta 29 m de profundidad. Se distribuyen desde Monterey Bay, Ca. hasta Bahía Magdalena, B.C.S.



Rangos de oxígeno: El consumo de O_2 esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Paralabrax clathratus*

Nombre común: Cabrilla rayada

Hábitat: Costas rocosas alrededor de mantos de algas y arrecifes. Se encuentran desde la superficie hasta 46 m de profundidad. Se distribuyen desde Columbia River Oregon hasta Bahía Magdalena, B.C.S.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.

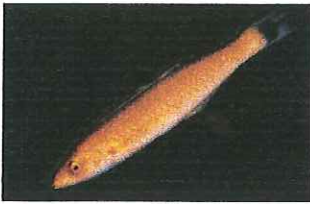


Nombre científico: *Paralabrax nebulifer*

Nombre común: Cabrilla arenera

Hábitat: Demersal-bentónico. Fondos arenosos, rocosos alrededor de arrecifes. Se encuentran desde la superficie hasta 183 m de profundidad. Se distribuyen desde Santa Cruz, Ca. hasta Bahía Magdalena, B.C.S.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Oxyjulis californica*

Nombre común: Señorita

Hábitat: Costas rocosas alrededor de mantos de algas y arrecifes. Se encuentran desde la superficie hasta 55 m de profundidad. Se distribuyen desde Salt Point, Ca. hasta Isla de Cedros, B.C.S.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Amphistichus argenteus*

Nombre común: Perca rayada

Hábitat: Demersal-pelágico. Fondos rocosos y arenosos. Generalmente permanecen en el lugar de nacimiento. Se encuentran desde la superficie hasta 73 m de profundidad. Se distribuyen desde Bodega Bay, Ca. hasta Playa María, B.C.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Halichoeres semicinctus*

Nombre común: Pez puerco

Hábitat: Costas rocosas alrededor de mantos de algas y arrecifes. Se encuentran desde la superficie hasta 24 m de profundidad. Se distribuyen desde Punta Concepción, Ca. hasta el Golfo de California.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Pimelometopon pulchrum*

Nombre común: Vieja

Hábitat: Costas rocosas y mantos de *Macrocystis*. Se distribuyen desde Monterey Bay, Ca. hasta Cabo San Lucas, B.C.S.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.



Nombre científico: *Zapteryx exasperata*

Nombre común: Pez guitarra

Hábitat: Áreas con grava y rocas. Se distribuyen desde B.C, Golfo de California hasta Panamá.

Rangos de oxígeno: El consumo de O₂ esta en función de la energía que gasten.

La flora marina que pertenece al hábitat de las costas de Punta Morro se describe a continuación:



- Tipo de alga:** Alga café (*Phaeophyta*)
- Nombre científico:** *Colpomenia tuberculata* (Saunders, 1898)
- Hábitat:** Se encuentra sobre rocas en costas semiprotegidas.
Se localiza desde San Pedro Ca. hasta la Paz, B.C.



- Tipo de alga:** Alga café (*Phaeophyta*)
- Nombre científico:** *Egregia menziesii* (Areschoug, 1876)
- Hábitat:** Se encuentra en áreas protegidas o moderadamente expuestas.
Zonas de intermarea media o submareal hasta los 20 m.
Frecuentemente forman cinturones en la zona intermareal, combinándose con *Macrocystis* en aguas profundas.
Se localiza desde Alaska hasta Punta Eugenia, B.C.



- Tipo de alga:** Alga verde (*Chlorophyta*)
- Nombre científico:** *Codium* sp. (Stackhouse, 1797)
- Hábitat:** Es común sobre o entre rocas de intermarea, ocasionalmente en zonas de submareal hasta 45 m.
Se localiza desde Sitka (Alaska) hasta Bahía Asunción, B.C,



Tipo de alga: Alga vascular (*Chlorophyta*)

Nombre científico: *Phyllospadix scouleri*

Hábitat: Es común sobre o entre rocas en zona de intermarea baja y en zonas de submarea.



Tipo de alga: Alga roja (*Rhodophyta*)

Nombre científico: *Bossiella sp.* (Silva, 1957)

Hábitat: Es común en zonas de intermarea baja. Se localiza desde Monterey Peninsula hasta Bahía Asunción, B.C.



Tipo de alga: Alga roja calcárea (*Rhodophyta*)

Nombre científico: *Lithopyllum sp.* (Philippi, 1837)

Hábitat: Localmente abundante especialmente sobre rocas expuestas en zonas de intermarea inclusive en submarea. Se localiza desde Oregon hasta Baja California.

3.8. Tipos de sustrato

A continuación se muestran imágenes representativas del sustrato identificado que conforma el fondo marino de Punta Morro. Este tipo de sustratos clasifican a esta playa como rugosa permeable.



Foto 1. Bloques de roca basáltica que conforma el fondo marino de la costa de Punta Morro.



Foto 2. Cantos rodados encontrados a lo largo de la costa en la base de los cantiles y sobre el fondo marino.



Foto 3. Grava distribuida entre las pozas de mareas y a lo largo del fondo marino.



Foto 4. Arena encontrada entre las pozas de mareas y en parches a lo largo del fondo marino.

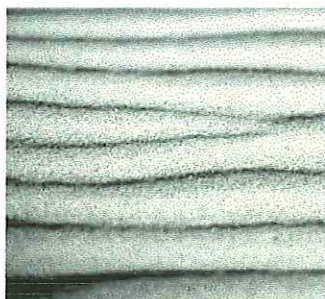


Foto 5. Formación de ondulitas encontradas a 5 y 6 metros de profundidad (fotografía ilustrativa tomada de Denis Holzbahcer).

3.9. Aspectos químicos

Las aguas residuales que se desecha al mar y que se reutilizan para riego han sido tratadas previamente mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, las cuales se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso o bien para desecharlas al mar para así evitar la contaminación del medio y que no se vea afectado el hábitat de los organismos anteriormente descritos.

Los datos que se presentan en la Tabla VII se encuentran dentro de los rangos permitidos por la NOM-003-ECOL-1997 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Tabla VII. Datos que representan la calidad del agua de la planta de tratamiento de la UABC.

Características	Cantidades
Se desecha al mar	10 m ³ /día aprox.
Se reusa para riego	50 m ³ /día aprox.
DBO	5 mg O ₂ /l
DQO	50 mg O ₂ /l
Sólidos suspendidos totales (SST)	15 mg/l
Sólidos suspendidos volátiles (SSV)	10 mg/l
Sólidos suspendidos fijos (SSF)	5 mg/l
Cloro (Cl ₂)	0
Grasas y aceites	< 0.5 mg/l
Bacterias	500 NMP/100ml
Metales totales (Cd, Cu, ZN, Fe)	2 mg/l
CN ⁻	0

4. DISCUSIONES

La erosión en esta zona se debe principalmente al oleaje y su tasa de erosión es de 0.74 m/año (Cruz-Colín y Cupul Magaña, 1997), además, existen otros factores que provocan la erosión como es el viento, las edificaciones sobre los cantiles y la presencia de algunos invertebrados marinos como *Littorina sp.* donde la actividad de ésta da como resultado una considerable erosión sobre las rocas. Su actividad realiza una erosión de 1 cm cada 16 años según Morris et al (1980).

Debido a las condiciones del área de estudio y basandose en los resultados obtenidos, la opción más recomendable para disminuir la erosión de los cantiles de Punta Morro es la de utilizar un rompeolas sumergido paralelo a la línea de costa, ya que su propósito es disminuir la energía del oleaje, controlar los patrones de refracción, disminuyendo la altura de la ola y en consecuencia la velocidad de la corriente litoral.

Para comenzar a realizar el diseño estructural del rompeolas es indispensable conocer la altura de ola de diseño, en la Bahía de Todos Santos los estudios de oleaje que se han reportado son en base a periodos de tiempo muy cortos por lo que se tuvo que hacer un análisis estadístico de oleaje extremo presentado por tormentas en un periodo de 11 años. Los resultados para condiciones tormenta fueron de una altura de ola de 5 m, periodo de 14.3 s y dirección de ola con un ángulo de 290° , y para condiciones normales fueron de una altura de 1.8 m, periodo de 11.1 s y dirección de ola con un ángulo de 300° . Estos resultados se compararon con los datos de oleaje reportados por autores como Torres-Navarrete (1986), Padilla-Hernández (1989), Martínez-Díaz et al (1989), Ulloa-Torres (1989), Martínez-Díaz y Coria-Méndez (1993), Ahumada-Sempoal (1993), Alvarado-Peña (1995), Marichal-González (2001) y De Dios- Sánchez (2002). Cabe mencionar que no siempre es conveniente la extrapolación de datos obtenidos en otras zonas, aunque parezcan cercanas al

área de estudio, ya que los efectos locales de la batimetría y la presencia de islas son muy importantes.

Con los datos de oleaje se decidió que la altura de la ola de diseño sería de 5 m ya que se ha reportado que dentro de la bahía la máxima altura en condiciones de tormenta ha sido de 4 m (De Dios-Sánchez, 2002). El realizar el diseño con esta altura permitirá alargar la vida funcional de la estructura y evitar el continuo retroceso de la línea de costa de Punta Morro.

Todos los resultados también fueron calculados con la altura significativa de ola $H_{1/3}$ con el fin de conocer cual será el comportamiento de la franja costera con la presencia del rompeolas en condiciones normales de oleaje.

Los estudios de refracción se realizaron porque estos determinan la altura, periodo y dirección de ola incidente sobre la costa. Es importante mencionar que la refracción tiene una gran influencia en la altura de ola y en la distribución de energía a lo largo de la costa. En los diagramas de refracción (Figura 4.a. y 5.a.) se observa que predomina la disipación de energía tanto en oleaje de tormenta como en oleaje en condiciones normales. Solo se observa que en condiciones de tormenta (Figura 5.a.) existe concentración de energía frente a las instalaciones del Instituto de Investigaciones Oceanológicas ocasionando una mayor erosión en esta zona.

Por lo anterior se decidió colocar el rompeolas sumergido paralelo a la costa a una profundidad de 5 m a una distancia de la línea de costa de 187.5 m con una orientación con respecto al norte de 95° , una longitud de 100 m con el fin de cubrir el área afectada que tiene una longitud de 343.75 m (Figura 9). Cabe mencionar que a los 5 m de profundidad ni la ola en condiciones de tormenta ni en condiciones normales se ha colapsado por lo que las olas romperán al pasar la estructura.

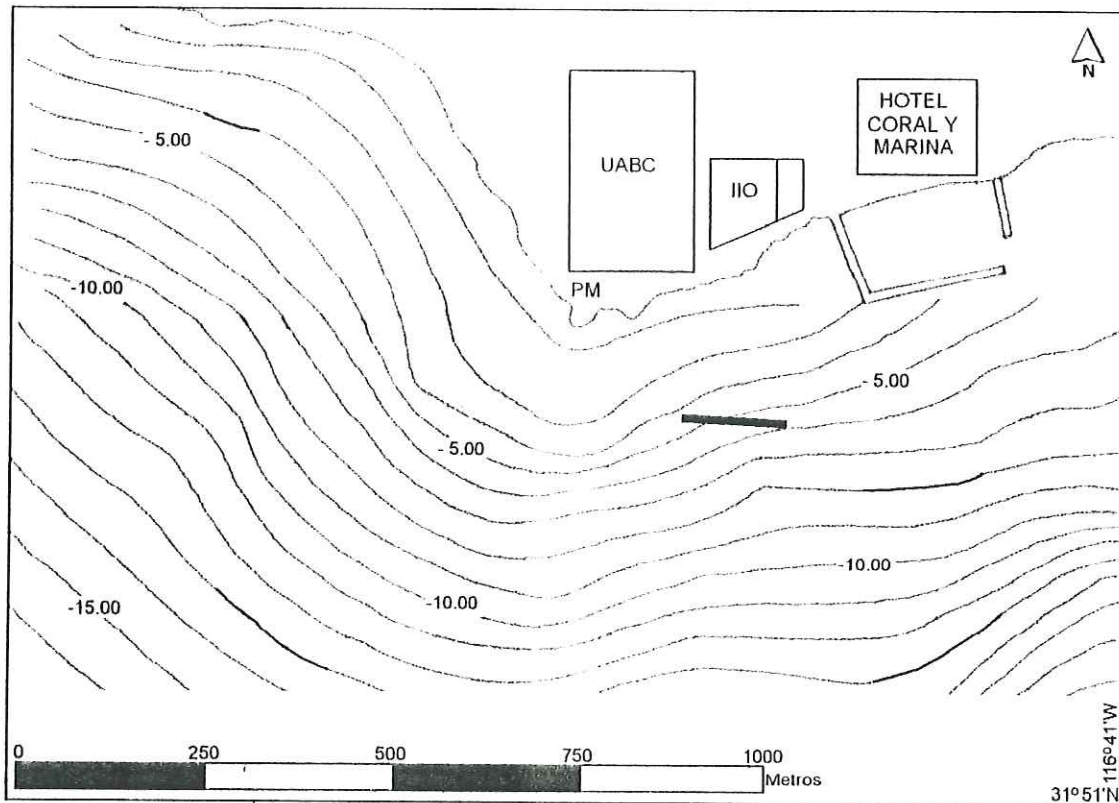


Figura 9. Colocación del rompeolas sumergido separado de la costa a una profundidad de 5 m.

Con el fin de que la energía de ola sea transmitida por arriba de la estructura y a través de ella, el rompeolas tendrá una altura de 4.5 m, un tirante de agua de 0.5 m y estará conformado por roca tipo andesita con un peso de 14.17 ton debido a que este material es resistente a fracturas y abrasiones.

La transmisión de ola en rompeolas sumergidos y separados de la costa es el principal parámetro entre muchas variables que controlan la respuesta de la línea de costa con la estructura. La transmisión de ola depende de la configuración y composición de la estructura, altura y periodo de ola, profundidad de agua y los parámetros de fuerza que son dependientes del tiempo. Es por esto que cuando se presenten condiciones de tormenta y la ola incidente llegue con una altura de 5 m al pasar sobre y a través de la estructura, la altura de ola transmitida disminuirá un 38% su altura, y en condiciones

normales se reducirá 57.3%. Esta ola transmitida viajará 7.78 m hasta que rompa por completo presentando una altura antes de romper de 2.04 m y romperá a una distancia de la costa de 111 m. Esto significa que la energía de ola incidente se disipará en primer lugar al impactar y pasar a través del rompeolas y posteriormente en los 185 m que restan costa arriba. Otros factores que ayudarán a una mayor pérdida de energía será la pendiente que es bastante rugosa compuesta por bloques de roca, grava y arena, y los cantos rodados que se encuentran a unos cuantos metros antes de llegar a la base de los cantiles (Foto 1, 2, 3 y 4).

La ola incidente al chocar con la estructura presentará reflexión presentando una altura de ola reflejada de 1.95 m para condiciones de tormenta y 0.62 m para condiciones normales.

Cualquier estructura de protección colocada frente a la línea de costa formará un obstáculo a las corrientes normales y disminuirá el transporte litoral de sedimentos. Las fuentes de abastecimiento de sedimento más comunes son, el material de las playas adyacentes, el material producido por la erosión del oleaje a la costa expuesta y los materiales sólidos depositados por el acarreo fluvial.

El ángulo entre la cresta de la ola rompiente y la línea de costa, determina la dirección a lo largo de la costa del movimiento de la ola en la zona de rompiente y la dirección del transporte litoral; en el caso de Punta Morro la ola rompiente se presenta con un ángulo de aproximación de 12.47° (Figura 4.a.) y un transporte litoral en dirección Norte-Sur.

Las olas y las corrientes a lo largo de la costa son los factores mas importantes en la transportación y depositación de los sedimentos de la zona costera. En el área de Punta Morro existe un aporte de $3,919.4 \text{ m}^3/\text{año}$ de sedimentos menores a 3.5ϕ provenientes de la erosión de los cantiles los cuales permanecen suspendidos y son transportados mar afuera (Cruz-Colín, 1994). Con base a los resultados de altura de ola, velocidad de la corriente

litoral y ángulo de aproximación del oleaje se obtuvo un transporte litoral potencial de 2,168.1 m³/año movidos a una velocidad de corriente de 1.52 m/s.

Los sedimentos están sujetos al movimiento y reacomodamiento por tormentas y oleaje de invierno y en tiempo a gran escala, por erosión y actividad tectónica (Horn et al, 1999). En una playa, las diferencias de tamaños del material establecen contornos diferentes y el material está sujeto a diferentes fuerzas hidráulicas, por lo tanto es movido a lo largo de la costa a diferentes velocidades. En el área de Punta Morro los sedimentos que se encuentran suspendidos son partículas de 1.6 phi los cuales son movidos por una velocidad de autosuspensión menor a 0.0522 m/s; esta velocidad es relativamente lenta debido a que a través del video submarino se observaron estructuras sedimentarias primarias como las ondulitas (Foto 5) las cuales se forman bajo estas condiciones y se dan solo en sedimentos de tamaño de grano más fino menores de 0.6 mm, es poco probable que las ondulitas se desarrollen a altas velocidades de corrientes o cuando existe un tamaño de sedimento grueso (Marrón-Cabrera, 2003).

Con la presencia del rompeolas los patrones de oleaje disminuirán por lo que el aporte de sedimentos por la erosión se vera reducido en un 38% al igual que el transporte litoral en un 71% para condiciones de tormenta y un 85% para condiciones normales. La velocidad de la corriente disminuirá 14.48% para condiciones de tormenta y 28% para condiciones normales, por lo tanto a pesar de que la energía del oleaje disminuya 53% para condiciones de tormenta y 81% para condiciones normales no habrá gran cantidad de acumulación de sedimento en el área ni sobre las pozas de mareas.

Debido a lo anterior y a la profundidad a la cual se colocará el rompeolas no se formará un tómbolo, en un caso muy extremo se podría formar una saliente muy suavizada. Es muy importante evitar la formación de estas salientes ya que podrían ocasionar una posible eutroficación no controlada afectando así a toda la flora y fauna de la zona.

Con la disminución de los factores descritos anteriormente se modificarán las características del ambiente costero formando una zona de calma pero no 100% estática debido a que el rompeolas sumergido dejará pasar 46% de energía a través de éste en condiciones de tormenta y 18.3% en condiciones normales. Esto podría llegar a ocasionar cambios indeseables en el hábitat para las especies quienes se han adaptado a zonas de rompiente y de alta energía como las dieciocho especies de invertebrados, las ocho especies de peces y las seis especies de algas marinas identificadas en esta zona, ya que el turbulento hábitat intermareal es altamente productivo, variable en espacio y tiempo y rico en plantas e invertebrados. La poca profundidad del ambiente costero aumenta estas variaciones y esta inclusive influenciada por procesos naturales cercanos a la costa, así como por contaminación fuera de la costa y otros usos humanos.

Cuando sube la marea, la zona intermareal es inundada con aguas oceánicas y tienen las características fisicoquímicas de aguas cercanas a la costa, como temperatura, salinidad, saturación de oxígeno, pH y relativamente bajas disoluciones de dióxido de carbono.

Muchos de los organismos se distribuyen en función de los procesos físicos y químicos involucrados como el comportamiento de las temperaturas oceánicas, salinidad, etc., cuya distribución depende y se modifica por la acción de las corrientes y el oleaje intenso que actúa sobre las capas superficiales del océano.

Los organismos que se distribuyen en la zona de entremareas como los invertebrados están sujetos a variaciones de temperatura, salinidad, cantidad de alimento y desecación en la bajamar; estos organismos tienen gran capacidad de compensación y aclimatación a las variaciones de las condiciones del medio ambiente en que se desarrollan.

Los factores que determinan la distribución de las especies de peces son determinadas por interacciones entre el pez y varios factores físico-químicos. Los peces se asocian con playas en costas expuestas viviendo en condiciones

turbulentas debido al oleaje. Muchas de las especies se encuentran en la zona de rompiente que están generalmente distribuidos en hábitats costeros, pero pocos son encontrados en ésta zona (Moyle y Cech, 1976). Las ocho especies de peces encontradas fueron observadas detrás de la zona de rompiente.

El tamaño y la vitalidad de la población de los peces costeros dependen de la cantidad y cualidad del hábitat. Hay propiedades ambientales que pertenecen al hábitat de los peces costeros como son Luz (c), Oxígeno (l), Salinidad (l), Temperatura (l), Sustancias tóxicas (l) y Nutrientes (c); l es el límite y c el control. Si los factores limitantes no están dentro de un rango aceptable (zona de tolerancia), los peces podrían sobrevivir, pero algunas muertes de peces son causadas por sustancias tóxicas o por deficiencia de oxígeno (Symposium on conservation of coastal fish habitat, 1991).

El consumo de oxígeno en peces esta en función de la energía que gasten. Cabe mencionar que las aguas cálidas o calientes contienen menos oxígeno que las aguas frías.

Otro factor que ya forma parte del hábitat costero de Punta Morro es la descarga de aguas tratadas por parte de la planta de tratamiento de la UABC. Aunque el rompeolas sumergido reducirá la circulación de la corriente, la cual es la que remueve esta agua tratada, el hábitat marino no se vería afectado, ya que el agua que se vierte al mar tiene una excelente calidad cumpliendo con la NOM-003-ECOL-1997, estando dentro de los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas, que se reusen en servicios públicos. Uno de los valores considerado como máximo permisible dentro de la Norma Oficial Mexicana es la cantidad de un promedio mensual de DBO de 30 mgO₂/l; comparando este valor con el de las aguas de la planta de tratamiento la cantidad de DBO es de 5 mgO₂/l.

El único factor que afectará momentáneamente al ambiente marino será cuando se realice la construcción del rompeolas, en ese momento tanto los peces como invertebrados marinos migrarán a zonas aledañas debido al ruido

generado por la maquinaria y por la colocación de las rocas ocasionando también turbidez y levantamiento de sedimento.

5. CONCLUSIONES

El rompeolas tendrá una altura de 4.5 m, un tirante de agua de 0.5 m, una longitud de 100 m y un ángulo con respecto al Norte de 95° colocado a una profundidad de 5 m .

Con la presencia de esta estructura las condiciones hidrodinámicas serán afectadas reduciendo la altura de ola un 38% para oleaje de tormenta y 57.3% para condiciones normales con esto la erosión de los cantiles se reducirá un 38%, el transporte litoral aportará sedimentos en un 29% para condiciones de tormenta y un 15% para condiciones normales.

La velocidad de la corriente en condiciones de tormenta se reducirá 14.4% y en condiciones normales 28%, la energía transmitida a través de la estructura será de 46% para condiciones de tormenta y 18% para condiciones normales.

No se formará un tómbolo ni habrá acumulación de sedimento por lo que no afectará el hábitat marino, el cual esta representado por invertebrados como anémonas, erizos (morado y rojo), gasterópodos, lapas, quitones, balanos, percebes, mejillones, vaquitas de mar, estrellas de mar, langostas, peces y algas marinas que se adaptarán a una zona de baja energía colonizando el área del lado de sombra del rompeolas.

Una de las ventajas es que el sustrato duro como las rocas que conforman al rompeolas proveerán refugio para los organismos, para peces e invertebrados marinos y servirán para la fijación de algas marinas.

El aporte de aguas tratadas al mar no afectarán al hábitat marino aunque se reduzcan las condiciones hidrográficas debido a su excelente calidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Abbott, I.A. y G.J. Hollenberg, (1976). *Marine Algae of California*. Stanford University Press. USA. 827 pp.
2. Ahumada-Sempoal, M.A. (1993). *Corrientes litorales inducidas por oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C.* Tesis licenciatura. FCM-UABC. 38 pp.
3. Alvarado-Peña, C.E. (1995). *Erosión costera frente a Quintas Papagayo*. Unidad Audiovisual. FCM-UABC.
4. Appendini-Albrechtsen, C. (1995). *Manual para el diseño de rompeolas separados de la costa como obras de protección costera*. No publicado. 36 pp.
5. Barker, C.A. y J.W. Kamphuis, (1996). *Improvement of aquatic habitat for fish: marinas and breakwaters as habitat*. Coastal Zone Canada, Rimouski, Quebec.
6. Bermúdez-Zavala, R.D. (1999). *Diseño de un rompeolas separado de la costa como alternativa de protección en la zona de el Sauzal de Rodríguez, B.C.* Tesis de Licenciatura. FCM-UABC 72 pp.
7. Cruz-Colín, M.E. (1994). *Balance sedimentario de la Bahía de Todos Santos, B.C., México*. Tesis Licenciatura. FCM-UABC. 77 pp.
8. Cruz-Colín, M.E. y Cupul-Magaña, L.A. (1997). *Erosión y aporte sedimentario de los cantiles marinos de la Bahía de Todos Santos, Baja California, en el periodo de 1970 a 1991*. *Ciencias Marinas*. 23(3): 303-315.
9. De Dios-Sánchez, D.R. (2002). *Climatología de la altura significativa del oleaje frente a la costa Pacífico de Baja California a partir de datos del altímetro a bordo del satélite ERS-2*. Tesis Licenciatura. FCM-UABC. 66 pp.

10. Fischer, M.P. y K.R. Hall, (1998). The function of submerged active breakwaters. Int. Conf. on Coastal Engineering, June 1998, sponsored by ASCE, Copenhagen, Denmark.
11. García-Pamanes, L y Chee-Barragán, G. (1976). Ecología de la zona de entremareas de la Bahía de Todos Santos. *Ciencias Marinas*. 3(1): 10-29
12. González-Villagrán, A. (1992). Reevaluación de los estudios utilizados para el diseño del Puerto de Ensenada, B.C. Tesis Licenciatura. FCM-UABC. 126 pp.
13. Guardado-France, R. (1997). Funcionalidad de las obras de protección costera construidas en la Bahía de Todos Santos, B.C. México. Tesis de Maestría. FCM-UABC. 145 pp.
14. Horn, M.H. (1999). *Intertidal Fishes Life in Two Worlds*. Academic press. USA. 399 pp.
15. Hunnan, P. (1996). *Coastal Fish Identification: California to Alaska*. Paramount Miller Graphics, Inc. USA. 208 pp.
16. Komar, P.D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall. USA. 544 pp.
17. Marichal-González, A.E. (2001). Análisis estadístico del oleaje medido frente a las costas de Rosarito B.C. de 1994 a 1998. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. 70 pp.
18. Marrón-Cabrera, M. (2003). Determinación de patrones de corriente por medio de estructuras primarias (Ondulitas) en las planicies de marea al noroeste del Golfo de California. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. 53 pp.
19. Martínez-Díaz de León, A. y Coria-Méndez, P. (1993). Distribución de probabilidad de la altura de oleaje dentro de la Bahía de Todos Santos, B.C., México. *Ciencias Marinas*. 19(2):203-218.
20. Martínez-Díaz de León, A, Cuauhtémoc Nava y Francisco Ocampo. (1989). Estadística del oleaje en la Bahía de Todos Santos, B.C. de

- Septiembre de 1986 a Agosto de 1987. *Ciencias Marinas*, Vol. 15(3): 1-20.
21. McCormick, J.W. (1998). Breakwaters for wetlands restoration and protection. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, MS.
 22. Morris, R.H. *et.al* (1980). *Intertidal Invertebrates of California*. Standford University Press. USA. 690 pp.
 23. Padilla-Hernández, R. (1989). Potencia y dirección de oleaje en la costa noroeste de la Península de Baja California y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC. 55 pp.
 24. Pilarczyk, K.W. (2003). Design of low-crested (submerged) structures -an overview- . 6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Colombo, Sri Lanka, 2003.
 25. Ramade-Villanueva, M.R. (1989). Efecto del tamaño corporal, temperatura y sexo sobre la tasa metabólica del caracol *Astrea undosa* (Mollusca: Gasteropoda) en condiciones de invierno. Tesis Licenciatura. FCM-UABC. 47 pp.
 26. Ramos-Olvera, R. (1993). Cantiles de Sauzal de Rodríguez: perfiles, procesos y problemas. Tesis de Licenciatura. FCM-UABC 82 pp.
 27. Seabrook, S.R. y K.R. Hall, (1996). Effect of crest width and geometry on submerged breakwater performance. Coastal Zone Canada, Rimouski, Quebec.
 28. Shore Protection Manual. 1984. Volúmen 1 y Volúmen 2. Coastal Engineering Research Center. U.S.
 29. Soria-Velásquez, I. (1995). Obras de protección costera en la Bahía de Todos Santos. Unidad audiovisual. FCM-UABC.
 30. Stanley-Cobb, J. y B.F. Philippis, (1980). *The Biology and Management of Lobsters*. Vol. 1. Physiology and Behavior. Academic Press. USA. 463 pp.

31. Symposium on Coastal of Coastal Fish Habitat (1991: Baltimore, Md).
Stemming the tide of coastal fish habitat loss. USA.
32. Torres-Navarrete, C.R. (1986). Comparación y análisis de registros de oleaje obtenidos en una localidad al sur de la bahía de Todos Santos Baja California. Tesis Licenciatura. ESCM-UABC. 73 pp.
33. Ulloa-Torres, M.J. (1989). Refracción lineal del oleaje en el Puerto de Ensenada. Tesis Licenciatura. FCM-UABC. 66 pp.
34. www.advancedcoastaltechnology.com/science/DrHarrisWave
35. <http://cdip.ucsd.edu>