



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“RESTAURACIÓN Y CONSERVACIÓN DE
PLAYAS CON APLICACIÓN EN EL PUERTO
DE MAZATLÁN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA
(CONSTRUCCIÓN)**

PRESENTA:

ING. PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERÓN.

TUTOR:

ING. HECTOR JUVENCIO LÓPEZ GUTIÉRREZ

2011





JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. I. DÍAZ DÍAZ SALVADOR

SECRETARIO: ING. MENDOZA SANCHEZ ERNESTO RENE

VOCAL: ING. LOPEZ GUTIERREZ HECTOR JUVENCIO

1ER SUPLENTE: DR. MEZA PUESTO JESUS HUGO

2DO SUPLENTE: M. I. MENDOZA ROSAS MARCO TULIO

LUGARES DONDE SE REALIZÓ LA TESIS:

**MAZATLÁN, SINALOA
MÉXICO, D. F.**

TUTOR DE TESIS:

ING. HECTOR JUVENCIO LÓPEZ GUTIÉRREZ



AGRADECIMIENTOS

A mis padres porque sin ellos yo no hubiera logrado este escalón mas en mi preparación ya que ellos son mi máximo ejemplo y mi guía y gracias a ellos soy lo que soy en mi vida.

A mis hermanos por ser mis compañeros de toda la vida y convivencia.

A Dios por permitirme lograr este sueño ya que sin su ayuda espiritual me hubiera sido imposible esta culminación de tantos sacrificios.

A mi asesor de tesis el Ing. Héctor López Gutiérrez ya que sin sus conocimientos su experiencia y su ayuda jamás hubiera logrado el término de este trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que gracias a su programa de becas nos ayuda a dedicarle el 100% de nuestro esfuerzo y tiempo a nuestros trabajos de investigación.

A nuestra casa máxima de estudios a la Universidad Nacional Autónoma de México ya que gracias a que me abrió las puertas logre adquirir la preparación suficiente para culminar este ciclo de mi preparación, muchas gracias.



DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedico a mis padres ya que sin ellos yo no hubiera logrado estar terminando mi tesis por qué primeramente ellos me brindaron la vida y después su constante apoyo durante toda mi vida estudiantil, sus consejos, sus regaños, me levantaron cuando yo tropezaba y eso se los voy a agradecer toda mi vida muchas gracias Apa muchas gracias Ama los quiero, los adoro siempre, sin ustedes yo no hubiera sido nada y este trabajo es para ustedes...



RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

Sinaloa es un Estado muy rico en recursos marinos y con una amplia extensión costera se localiza en el noroeste de la República Mexicana, colindando con Sonora y Chihuahua al norte, Durango y Chihuahua al este, Nayarit al sur y el Golfo de California y el Océano Pacífico al oeste. Geográficamente se localiza entre los paralelos 22° 28' 00" y 27° 02' 00", latitud norte y los meridianos 105° 24'00" y 109° 27'00" longitud oeste.

El municipio de Mazatlán perteneciente al Estado de Sinaloa se localiza en la parte sur del mismo, entre los meridianos 105°46'23" y 106°30'51" al oeste del meridiano de Greenwich, y entre los paralelos 23°04'25" y 23°50'22" de latitud norte. Limita al norte con el municipio de San Ignacio y el estado de Durango; al este con el municipio de Concordia; al sur con el municipio de Rosario y el Océano Pacífico y al oeste con el Océano Pacífico.

El municipio cuenta con una gran extensión de playas lo que constituye uno de los grandes atractivos para el turismo que es una de las actividades económicas que generan más recursos. No obstante, en los últimos años, se ha venido dando una gran problemática de erosión en algunas partes de nuestras playas, derivado, en general del crecimiento de la actividad turística, primero por la ampliación que se dio en el malecón, en un tramo que comprende de la Disco Valentinós hasta el monumento al Pescador; otra en ciertos sectores de la llamada zona Dorada que comprende desde el Hotel Emporio hasta la playa Cerritos. Igualmente, en la zona dorada a la altura del Hotel Faro Mazatlán hay una zona que prácticamente desapareció la playa.

La trascendencia del fenómeno obliga a prestar particular atención, ya que en gran medida ello deriva de una planeación inadecuada en el uso y aprovechamiento de las playas con fines recreativos. El objeto de este trabajo es, examinar de manera general los procesos litorales que rigen el comportamiento de las playas, aplicado al caso Mazatlán y, en particular al caso específico de la playa del Hotel Faro Mazatlán.

La parte final del trabajo trata sobre una propuesta de solución al caso específico señalado y las recomendaciones que son necesarias observar en el uso general de las playas del municipio para asegurar su desarrollo sustentable.

Se analizó el caso partiendo de la problemática existente de la erosión de las playas. El por qué se está dando, a raíz de que, se ha hecho con anterioridad para combatirlo, además se hacen los cálculos correspondientes después de haber hecho las pruebas de campo del lugar, para que finalmente, se dé una o más opciones para dar solución a este problema sirviendo como ejemplo para otros lugares del municipio.



INTRODUCCIÓN

El municipio de Mazatlán por su riqueza marítima, su gran actividad pesquera y su desarrollo turístico es uno de los puertos más importantes del pacifico mexicano. La gran extensión de playas con la que cuenta es de gran atracción turística y fuente generadora de empleo. Sin embargo en algunas zonas de estas playas el problema de erosión esta afectándoles, ya sea por acción humana (construcciones de hoteles, ampliación del malecón etc.), o por embates meteorológicos. Tal es el caso de la playa que esta a espaldas del Hotel Faro Mazatlán ubicado en la zona Dorada del mencionado puerto.

El objetivo general de este trabajo de investigación es precisamente proponer una solución para el problema de erosión de playas que tiene el municipio y puerto de Mazatlán tomando como ejemplo la playa del Hotel Faro Mazatlán en donde es urgente resolverse, y que pueda utilizarse como ejemplo para el resto de los casos.

Los objetivos particulares son: desarrollar una metodología homogénea para aplicarse en cualquier playa con problemas de erosión del estado de Sinaloa, además de presentar los principios sobre planeación y desarrollo de las zonas costeras, considerando el papel preponderante del ingeniero civil como coordinador y generador de tales acciones; y por ultimo exponer las razones por la cual es de vital importancia cuidar nuestras playas para poder mantener el constante desarrollo turístico del puerto que forma parte del desarrollo costero y propiciar así el desarrollo sustentable.

La investigación parte de las siguientes hipótesis de trabajo:

- Muchos de los problemas por alteración en las zonas costeras derivan de la inexistencia de una planeación del desarrollo sustentable de ellas.
- La erosión de playas es debido a la alteración del equilibrio que debe haber entre el material arenoso disponible para ser transportado por el oleaje y la capacidad que tenga el propio oleaje derivado de sus características que se definen en el régimen anual, incluidos los eventos extraordinarios que podrían ocurrir en ciertas épocas del año.
- La erosión del tramo en estudio es ocasionada por las modificaciones producidas al régimen litoral por las obras para construir los diversos hoteles e instalaciones turísticas que han provocado un desequilibrio entre la capacidad de transporte y el material disponible en la zona de playas del puerto de Mazatlán.
- La falta de conciencia de los dueños de hoteles de construir lo más cercano a las playas y no respetar por ley la distancia que debe de existir entre playa y construcciones aledañas han provocado la destrucción parcial o total de la duna con la consecuente pérdida de material arenoso.



- Mazatlán tiene el riesgo de la desaparición, si no es en su totalidad, de un gran número de recursos costeros por la falta de una planeación de sus sistemas costeros.

El área de investigación ingenieril que se trabajó es el de obras marítimas, siendo este un aporte totalmente propositivo.

Este trabajo consta de cinco capítulos, el capítulo uno trata sobre lo que es una zona costera mas que nada que es la interfase donde la tierra y el océano se encuentran. Se habla de lo que es morfología costera, también sobre las teorías del oleaje y métodos de predicción. Otro de los puntos que se tocan aquí es sobre refracción, difracción y reflexión del oleaje que son de vital importancia conocerlos para cualquier diseño de una obra marítima. En el capítulo segundo se da una breve introducción de lo que es una playa su importancia, conservación y restauración. También se definen lo que son los perfiles de equilibrio de las playas, se mencionan las medidas que se deben de tomar para el control de la erosión. En el tercer capítulo describe lo que es planeación y desarrollo de zonas costeras, se habla sobre la vital importancia de lo que representa el ingeniero civil en la participación en materia de obras marítimas. En el cuarto capítulo de la tesis en cuestión se habla sobre obras de protección de playas, su clasificación, como se diseñan rompeolas y escolleras, los estudios previos que hay que hacer especificaciones etc. Se describe lo que son arrecifes artificiales y rellenos. Otro de los puntos que se mencionan es sobre las consideraciones para la rehabilitación de playas, la cultura y la conciencia que debemos tener por que en un futuro próximo puede ser la sustentabilidad de la humanidad. En el capítulo quinto se analiza el caso de la playa del Hotel Faro Mazatlán ubicada en el puerto con el mismo nombre. Además se ofrece un proyecto para la solución de este caso el cual servirá como ejemplo para los demás playas del puerto de Mazatlán que en algunos sectores de sus playas sufren del mismo problema.

Finalmente se dedica un espacio a las conclusiones de la investigación en donde se muestran los resultados obtenidos, sugerencias y comentarios del mismo, contrastando las hipótesis de trabajo.

Para llevar a cabo este trabajo se hizo una investigación de tipo indirecta ya que se consultaron diferentes fuentes de información tanto libros especializados en la materia, información de diferentes investigaciones publicadas en Internet y tesis que se elaboraron con casos parecidos al que se resolvió en este trabajo de investigación, además de diferentes entrevistas con Ingenieros especializados en la materia y autoridades municipales; y directa por que se realizaron pruebas de campo en la zona de estudio (playa) tales como: un levantamiento topobatimétrico, un análisis del oleaje, estudio de refracción etc.

Las limitaciones que encontré para la elaboración de este trabajo fue la poca información que hay sobre las playas del puerto de Mazatlán y el desconocimiento total del tema de la erosión por parte de las autoridades municipales, y con ello la falta de planeación costera para el desarrollo del puerto. Espero que con esta propuesta de solución actúen y protejan las playas de este puerto ya que son generadoras de empleo para los habitantes de este municipio debido al



atractivo turístico que representan y realmente se dé una planeación adecuada pensando en el desarrollo sustentable que le urge a Mazatlán.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN... 6

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE COSTAS

- 1.1 Introducción capitular... 12
- 1.2 Zona costera...12
- 1.3 Morfología costera...15
- 1.4 Teorías del oleaje y métodos de predicción...15
 - 1.4.1 Teoría de olas...15
 - 1.4.2 Características de las Olas...17
 - 1.4.3 Predicción de olas generadas por el viento...18
 - 1.4.4 Análisis estadístico de olas...18
 - 1.4.5 Pronóstico por métodos empíricos...19
- 1.5 Refracción, difracción y reflexión del oleaje...19
- 1.6 Acarreo litoral...21
- 1.6 Conclusión capitular... 22

CAPÍTULO 2 LA PLAYA: IMPORTANCIA, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

- 2.1 Introducción capitular...23
- 2.2 La playa... 23
- 2.3 Conservación y restauración...24
- 2.4 Los perfiles del equilibrio de las playas...24
- 2.5 Importancia del análisis sedimentario del sistema costero en la identificación de las causas de la erosión de playas...26
 - 2.5.1 Los elementos del balance sedimentario...27
 - 2.5.2 Condiciones del Balance Sedimentario que se aplica en la Ingeniería de Costas...28
- 2.6 Medidas que se aplican para el control de la erosión...28
- 2.7 Conclusión capitular... 32

CAPÍTULO 3 PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE ZONAS COSTERAS

- 3.1 Introducción capitular...34
- 3.2 Ámbito de participación de ingeniero civil en materia de obras marítimas...34
- 3.3 Importancia de las zonas costeras...34
- 3.4 Planeación de desarrollos costeros sustentables...35
- 3.5 Administración de la zona costera...37
- 3.6 La playa como parte fundamental del desarrollo sustentable...38



- 3.7 Método de sensibilidad de los sistemas costeros...41
 - 3.7.1 Objetivos del método...41
 - 3.7.2 Caracterización y evaluación del sistema...44
 - 3.7.3 Definición de la visión, misión y objetivos... 44
 - 3.7.4 Análisis y evaluación de las opciones de desarrollo... 44
 - 3.7.5 Impacto sobre los elementos del sistema...46
 - 3.7.6 Selección y jerarquización de opciones...46
 - 3.7.7 Opciones de instrumentación...47
 - 3.7.8 Selección de opciones e información complementaria...47
- 3.8 Conclusión capitular... 47

CAPÍTULO 4. OBRAS DE PROTECCIÓN DE PLAYAS.

- 4.1 Introducción capitular... 49
- 4.2 Clasificación de las obras de protección de playas...49
 - 4.2.1 Rompeolas y escolleras...50
 - 4.2.1.1 Rompeolas...50
 - 4.2.1.2 Escolleras...61
- 4.3 Obras perpendiculares. Criterios de diseño...64
- 4.4 Obras paralelas. Criterios de diseño...67
- 4.5 Arrecifes artificiales y rellenos...72
 - 4.5.1 Parámetros de diseño...73
 - 4.5.2 Criterios de diseño...74
 - 4.5.3 Emplazamiento y disposición en planta...75
 - 4.5.4 Análisis y transmisibilidad del oleaje...76
 - 4.5.5 Diseño y estructuración de los arrecifes...78
- 4.6 Conclusión capitular... 78

CAPÍTULO 5. EJEMPLO DE APLICACIÓN: ANÁLISIS DEL CASO DE LA PLAYA DEL HOTEL FARO MAZATLÁN

- 5.1 Introducción capitular... 80
- 5.2 Proyecto conceptual... 81
 - 5.2.1 Estudios previos... 81
 - 5.2.1.1 Estudios topobatimétricos... 81
 - 5.2.1.2 Estudio de refracción del oleaje... 87
- 5.3 Selección de la obra y periodo de retorno... 89
 - 5.3.1 Selección de la obra...89
 - 5.3.2 Periodo de retorno... 89
- 5.4 Diseño estructural y funcional... 90



CONCLUSIONES

Conclusiones y futuras líneas de investigación...100

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía utilizada...103



CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA DE COSTAS

1.1 Introducción Capitular

Las costas son la franja de nuestro planeta donde se ponen en contacto la tierra, la atmosfera y el agua dulce o salada. Los tres grandes sistemas tierra, mar y aire entran en contacto en esta delgada cinta que bordea los continentes desde las zonas árticas hasta las desérticas, pasando también por las más lluviosas. Los fundamentos de ingeniería de costas presentados en este capítulo dan una perspectiva general de las partes que componen la zona costera su importancia y equilibrio. Nos habla sobre las teorías del oleaje, su predicción y los diferentes métodos para su cálculo, tanto empíricos como estadísticos que nos sirven para calcular la ola de diseño, dato indispensable para el diseño de cualquier estructura marítima (rompeolas, espigones, muelles etc.).

1.2 Zona costera

Zona donde predominan las aguas costeras, marinas, estuarinas y cercanas a las orillas de los grandes lagos y mares interiores, así como, una porción de tierra cercana a la costa, en donde actividades humanas y procesos naturales afectan y son afectados por lo que se da en las aguas.¹

Son zonas frágiles donde la dinámica de cada uno de estos tres grandes sistemas interactúa y ejerce presión y efecto sobre los otros; son la zona de mezcla o ajuste. Durante algunas horas del día la playa y las rocas de la orilla del mar se convierten en parte del océano siendo la temperatura y la desecación menos drásticas; durante el resto del tiempo, al bajar la marea, se transforman en un medio terrestre con valores extremos de frío o calor, fluctuaciones de temperatura y humedad e impacto del viento. Los organismos que las habitan tienen que tolerar condiciones extremas, desde la inundación hasta la sequía. A mayor distancia de esta franja de transición el cambio es menos brusco y los ambientes más definidos, tanto hacia la tierra como mar adentro.

La extensión varía, ya que sus límites no sólo son determinados por características ambientales y geológicas, sino también por un concepto político y administrativo. De este modo, se puede incluir toda el área terrestre de las cuencas hidráulicas y toda el área acuática hasta la plataforma continental, aunque en la práctica la zona costera es una banda relativamente angosta de agua y tierra a lo largo de la orilla.²

La zona costera es la inter-fase donde la tierra y el océano se encuentran, abarcando los entornos costeros y las aguas costeras adyacentes. Sus componentes pueden incluir deltas de ríos, llanuras costeras, tierras húmedas, playas y dunas, arrecifes, manglares, lagunas y otras características costeras.

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_costera



Para propósitos prácticos de planeación, la zona costera es un *área especial*, dotada con características especiales, cuyos límites se determinan con frecuencia por los problemas específicos a resolver. Sus características son:

- Es un área dinámica con cambios frecuentes de sus atributos de tipo biológicos químicos y geológicos.
- Incluye ecosistemas altamente productivos y biológicamente diversos y, que ofrecen hábitats como viveros para muchas especies marinas.
- Los arrecifes coralinos, los manglares, los sistemas de playas y dunas, son característicos de las zonas costeras y sirven como defensas naturales contra las tormentas, inundaciones y la erosión.
- Los ecosistemas costeros pueden actuar para moderar los impactos de la contaminación generada en tierra (las tierras húmedas, por ejemplo, absorben el exceso de nutrientes, sedimentos y desechos humanos).
- Las costas atraen asentamientos humanos enormes debido a su proximidad a los recursos vivientes y no vivientes del mar, además de los de transportación y recreación.

Inicialmente se hará una conceptualización general sobre lo que en términos amplios se puede llamar zona costera. A partir de ello, se definirán posteriormente los conjuntos que se denominarán sistemas costeros, que constituyen estructuras específicas de dicha zona, y que serán el objeto de análisis para la planeación, explotación y administración que aseguren la sustentabilidad del sistema.

Las figura 1 ilustra los diferentes elementos integrantes de la zona costera. Sus características provienen de interacciones con fenómenos atmosféricos y oceanográficos, del funcionamiento de diversos ecosistemas y de los procesos costeros y depende de las actividades en la parte alta de la cuenca de los ríos que drenan por la planicie costera, así como de los diferentes grados de aprovechamiento existentes en ella. Los fenómenos de integración entre la zona litoral y alta mar ilustran igualmente el aspecto dinámico de este sistema, en particular, si se consideran los recursos biológicos del mar y los efectos de la contaminación.

La parte baja de tierra del conjunto comprende, desde la línea de costa hacia el interior. Incluye las playas, las flechas y barreras litorales, las dunas, los acantilados, la planicie costera y el grupo de elementos que se ven afectados por el movimiento de las mareas, como las marismas y en las partes estuarinas, áreas pantanosas. Se consideran también los arrecifes coralígenos y las islas. La porción marina comprende la que se denomina aguas territoriales y las nacionales, así como la zona económica exclusiva de 200 millas marinas.

Esta definición normalmente se ha hecho considerando la zona como un sistema bidimensional en el que sobre el eje de las "x" hay una frontera clara que es el límite entre la porción emergida de la costa y la sumergida. Sin embargo esta precisión es menor cuando se trata de determinar la extensión hacia tierra adentro o hacia mar afuera. En este sentido, los límites de la zona costera dependerán del objetivo considerado, pudiendo extenderse tan lejos hacia alta mar y hacia el

interior de las tierras como exija la relación de los objetivos de administración del desarrollo en cuestión. Sin embargo, tomando en cuenta que la zona costera está integrada por un conjunto de ecosistemas, se estima que los límites mencionados deberían establecerse tomando en cuenta dicha integración.

Así por ejemplo, en el caso de los estuarios, la integración y los límites podrían referirse en el interior, hasta donde las mareas tengan influencia sobre al conjunto de aguas de los estuarios y hacia el exterior, donde existan interacciones entre las diferentes actividades, del estuario hacia mar afuera y de alta mar hacia el estuario. Ocurre lo mismo para las lagunas litorales y las bahías cerradas, o los esteros y ríos. Este tipo de interacciones puede complicarse al involucrar consideraciones relacionadas con ciertas especies de peces migratorios, que usan el río en su parte no afectada por la marea, para cumplir parte de su ciclo vital, y que pueden verse influenciadas por las actividades terrestres que incidan sobre las aguas del río.

En el caso de la definición de la frontera hacia alta mar, su límite podría ser el punto en que los efectos entre las actividades llevadas a cabo en tierra y en mar desaparecen. Sin embargo, en la medida que el enfoque del proyecto es diferente, el problema de definición tiene que apoyarse en otros criterios, jurídicos por ejemplo. Tal sería el caso de actividades que se desarrollan en aguas nacionales o internacionales en las rijan acuerdos internacionales cuya aplicación y control hacen necesarias la intervención de las autoridades nacionales.³

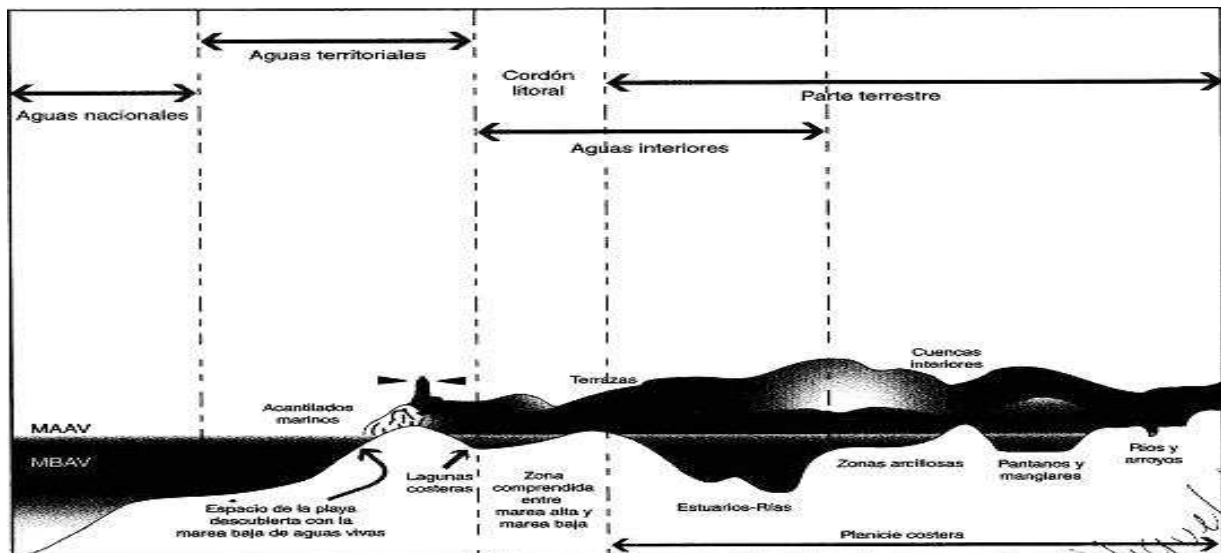


Figura 1. Componentes generales de la zona costera.

³ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez



1.3 Morfología costera

Resultado de una inter-relación compleja entre la dinámica costera y el balance sedimentario; estos dependen de los cambios relativos del nivel del mar y de la actividad humana.

1.4 Teorías del oleaje y métodos de predicción

Las tres cuartas partes de la superficie del planeta tierra están cubiertas por los océanos, los cuales almacenan el 97.26% del total de los recursos hídricos existentes.

Estas masas de agua almacenada están sometidas al sistema general de circulación generado por la acción de los rayos solares, la rotación de la tierra y las características físico-químicas del agua salada. La circulación general se manifiesta en forma de corrientes principalmente.

También influyen sobre el comportamiento de las masas de agua las acciones locales que están reguladas por el relieve del fondo, la cercanía a los continentes y las condiciones meteorológicas. Entre estas acciones sobresalen los sismos, las mareas y los oleajes debidos al viento.

Eventos naturales como los sismos inducen la formación de unas olas conocidas como tsunamis o maremotos, los cuales han producido efectos catastróficos en diversas zonas costeras del mundo.

Las magnitudes de los oleajes están asociados con las tormentas que se originan por la velocidad y la dirección de los vientos. En las zonas de latitud media las características de los vientos son influenciadas por las fuerzas Centrípeta y de Coriolis y ocasionan la formación de ciclones o huracanes durante algunos meses del año. Por su parte las mareas dependen de la relación sol-luna-tierra.

La Hidráulica Marítima tiene como objetivo el análisis y la cuantificación de los fenómenos que se producen en las aguas marítimas que tienen influencia sobre proyectos específicos de navegación, construcción de puertos, facilidades turísticas o protección de playas y zonas costeras.

1.4.1 Teoría de olas.

Las olas son producidas por diferentes causas. Existen olas que son generadas por el viento, por las mareas, por tormentas, por oscilaciones o por terremotos. Estas últimas se conocen como Tsunamis; son olas que alcanzan alturas considerables cuando rompen contra las costas.

Para que se genere una ola se requiere que exista una fuente de energía que, al transmitir al agua en reposo una cantidad determinada de energía, produce un movimiento oscilatorio de las partículas del líquido sin que haya un transporte importante de masa. Este movimiento oscilatorio es similar al que se induce por vibración a una cuerda que esté fija por sus dos

extremos. Como se verá más adelante, la propagación de la energía dentro de la masa de agua está relacionada estrechamente con la propagación de las olas que se generan con esa energía. El desarrollo de la teoría de las olas se basa en la aplicación de las ecuaciones de Navier-Stokes en el flujo de fluidos viscosos en régimen no permanente. La teoría que se trata se conoce como Teoría de Stokes. Algunos autores, como Iribarren por ejemplo, prefieren la Teoría Trocoidal la cual tiene un tratamiento matemático más complicado.

Para su estudio las olas se clasifican en olas de pequeña amplitud y olas de amplitud finita. Las primeras representan alteraciones pequeñas en la superficie del agua y no ocasionan problemas notables a las estructuras que están localizadas en alta mar o en la costa. Las olas de amplitud finita son las olas que interesan en los diseños de puertos, estructuras marinas y obras de protección de playas.

El estudio de las olas de pequeña amplitud se basa en la Teoría Lineal en la forma como fue desarrollada por Stokes. Es una aplicación simplificada de la ecuación general del flujo no permanente. Supone que el flujo es irrotacional y utiliza solamente el primer término de la ecuación de Navier-Stokes. El resultado es una ola sinusoidal que tiene las siguientes características que se muestran en la figura 2

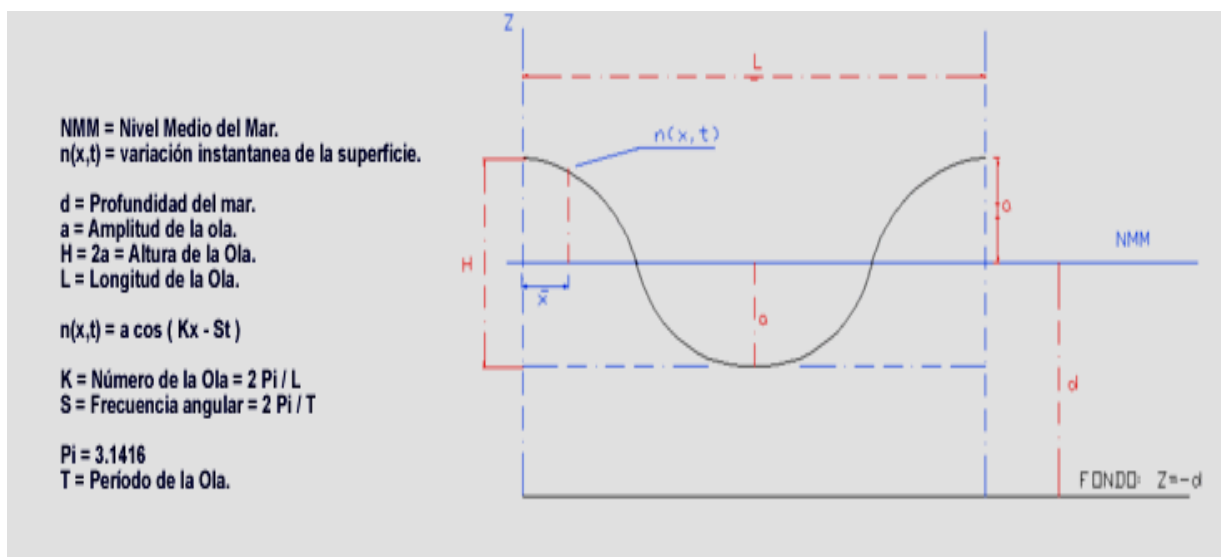


Figura 2. Características de una ola sinusoidal

Para el análisis de las olas de amplitud finita, Stokes añade a las ecuaciones de la teoría lineal los términos de orden superior de la ecuación de Navier Stokes. A continuación en la figura 3 se observan las características de la ola de Stokes de segundo grado:

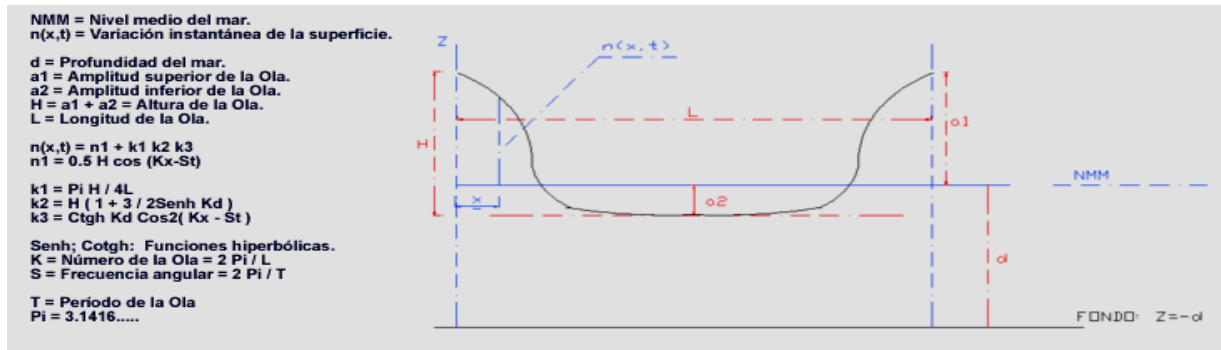


Figura 3. Características de la ola de Stokes de segundo grado

1.4.2 Características de las Olas:

Los tres valores que caracterizan una ola son:

H=Altura

L=Longitud

T = Período.

El período T es una característica constante de la Ola durante su existencia. La longitud L y la altura H se modifican a medida que la Ola se desplaza desde el mar hacia la costa.

Se define como Mar Profundo aquel en el cual la relación entre la Longitud de la Ola y la Profundidad del agua es mayor que 2. Cuando la Ola está en mar profundo la rugosidad del fondo no afecta su comportamiento, pero a medida que entra al mar poco profundo la Longitud de la Ola tiende a disminuir y la Altura a aumentar por efecto de la fricción de la masa de agua con el fondo.

Las siguientes son las características de una Ola individual en mar profundo:

d =Profundidad del agua.

$d / L_o > 1/2$

H_o = Altura de la Ola.

L_o = Longitud de la Ola.

T = período.

C_o = Celeridad o Velocidad de Fase = L_o / T

$C_o = 1.56 T$ m/s (sistema métrico)

El mar es Medianamente profundo cuando la relación d/L está comprendida entre $1/2$ y $1/10$. En este caso se tienen las siguientes relaciones:

$L = L_o \text{ tgh} Kd$

$C = C_o \text{ tgh} Kd$



$\tanh Kd$ = tangente hiperbólica de Kd , donde K es el Número de la Ola ($K = 2\pi / L$)

Cuando d/L es menor que $1/10$ la profundidad del agua es muy pequeña y se aceptan las siguientes aproximaciones:

$$L = T (gd)^{1/2}$$

$$C = (gd)^{1/2}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

1.4.3 Predicción de olas generadas por el viento.

Cuando el viento sopla sobre una superficie de agua se generan dentro de la masa de agua unos movimientos oscilatorios cuya magnitud depende de la velocidad, dirección y tiempo durante el cual sopla, del área sobre la cual sopla el viento y de la profundidad del agua en dicha zona. Estos movimientos oscilatorios se visualizan en la superficie produciendo cambios en el nivel del agua y constituyen las olas generadas por el viento.

Estas olas se propagan a lo largo de líneas cuyas direcciones dependen de la geometría del área sobre la cual sopla el viento, de la dirección del viento y de la conformación del fondo. La propagación de las olas no se produce en forma individual sino que ellas forman trenes de olas de diferentes amplitudes y períodos.

En los estudios de ingeniería que se realizan en el mar y en la costa es necesario predecir cual será el comportamiento del oleaje durante las etapas de construcción y de operación de las obras. La predicción de las olas consiste en el pronóstico de los valores medios y extremos de amplitud.

Para realizar los pronósticos existen dos metodologías, en la primera se realizan los análisis estadísticos de las olas históricas que llegan al sitio del proyecto; la segunda utiliza métodos empíricos que tienen como referencia los estudios de investigadores de diferentes partes del mundo.

1.4.4 Análisis estadístico de olas

Para que se pueda realizar el análisis estadístico de las olas es necesario tener un registro de olas en el sector de interés. Desafortunadamente estos registros existen en muy pocos lugares del mundo debido a los altos costos de los equipos de registro y procesamiento de datos.

Cuando se tienen los datos históricos se seleccionan los trenes de olas que han ocurrido a lo largo de varios años, se determinan amplitudes y períodos de las olas y se aplican los métodos estadísticos que se describen en la literatura especializada (Longuett-Higgins, Ippen, Wiegel) para determinar la magnitud y el período de la Ola Significativa y de las Olas Máximas esperadas. En una serie de olas, ordenadas de mayor a menor según su amplitud, la Ola



significativa se define como el promedio de las amplitudes de las olas que están en el tercio superior de la serie.

1.4.5 Pronóstico por métodos empíricos

Existen varios métodos que permiten tener un estimativo sobre las características de las olas que se generan en aguas profundas o en aguas poco profundas. Los métodos se encuentran explicados en los textos de Ippen, Wiegel y en el Manual del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

Para que estos métodos puedan utilizarse se necesita haber procesado previamente la siguiente información:

1. Determinación del FETCH. Es el área sobre la cual sopla el viento.
2. Profundidad del agua en el Fetch.
3. Magnitudes, direcciones y duraciones de los vientos que soplan sobre el Fetch.
4. Distancia del Fetch a la costa.
5. Batimetría en la zona de mar poco profundo y en la costa.
7. Magnitudes de ciclones.

Los métodos empíricos producen como resultado Amplitud, Período y dirección de la Ola Significativa en el sitio de salida del fetch.⁴

1.5 Refracción, difracción y reflexión del oleaje

El oleaje al propagarse sobre la superficie del mar, va sufriendo deformaciones por efecto del fondo o por el encuentro con obstáculos, los que originan en el primer caso el fenómeno de refracción y en el segundo el de difracción y reflexión. Las olas se desplazan más lentamente a medida que es menor la profundidad del agua y en aguas de profundidad variable, las olas situadas en aguas menos profundas disminuyen de velocidad, mientras que las que se hallan en aguas más profundas la aumentan. Las olas se inclinan hacia las aguas menos profundas y este movimiento recibe el nombre de **refracción**. Debido a las distintas profundidades del fondo del océano, las trayectorias de la refracción de olas pueden ser muy complicadas. Además las olas que llegan a las islas pueden ser refractadas y después reflejadas en una dirección completamente distinta. El fenómeno de **reflexión** es análogo al que sufre la luz; el rayo luminoso es sustituido por la línea perpendicular al frente de la ola, y ésta se refleja al encontrar un obstáculo adecuado, cumpliendo con las leyes de reflexión, es decir, el ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales, quedando en un mismo plano el rayo incidente, el reflejado y la perpendicular a la superficie reflectora en el punto de incidencia. Los accidentes geográficos, naturales o artificiales tales como cabos, islas, entradas estrechas a bahías, pasos estrechos entre

⁴ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez.



dos islas, etc., o fenómenos marinos como las corrientes marinas son los obstáculos más comunes que pueden oponerse o interponerse al oleaje, produciendo los fenómenos de reflexión.

El fenómeno de la **difracción** es por comparación con la de la luz fácil de comprender, se trata del fenómeno merced al cual si en una habitación oscura hay un orificio en una pared, vemos desde dentro la luz exterior desde cualquier lugar en que podamos divisar el agujero aunque no estemos enfrente de él. En el caso del oleaje el fenómeno se origina con "agujeros" enormemente mayores que en el caso de las ondas luminosas, como pueden serlo la boca de un puerto o de una bahía suficientemente cerrada. Los bordes de entrada al recibir el oleaje exterior se convierten en centros emisores de oleaje por "difracción", mandando hacia el interior del puerto o bahía un oleaje distinto al que recibieron, y que se propaga como abriéndose en abanico, siendo más débil que el que le dio origen. Como esto lo hacen ambos extremos de la entrada, las dos ondulaciones que penetran al interior se interfieren entre sí pudiendo llegar a picarse algo la mar dentro si el oleaje es fuerte fuera.

Pero esas olas generadas por difracción también son emitidas hacia el exterior del puerto, interfiriéndose con el oleaje que llega; si este es suficientemente uniforme puede llegar a surgir el curioso fenómeno de "olas estacionarias" siendo esta una ondulación que no se propaga, por lo que sus crestas y senos aparecen siempre en los mismos lugares. Este oleaje estacionario no siempre tiene lugar siendo necesarias determinadas características en la longitud de onda.

Tratándose de una isla, el oleaje que llega se divide a barlovento (lugar desde donde viene el viento), en dos brazos o trenes de ondas distintos que rodean el obstáculo, volviéndose a reunir a sotavento (lugar hacia dónde va el viento), donde se interfieren, pudiendo dar lugar a un oleaje más alto que el de cada uno de esos trenes de onda por separado. Eso ocurre especialmente si la isla no presenta en su contorno salientes pronunciados.

Otro tipo de obstáculo importante suele ser cualquier paso relativamente estrecho como el Estrecho de Le Maire, que separa el continente de la Isla de los Estados, aunque en este caso el obstáculo no es sólido, sino una corriente marina creada por el pleamar y bajamar de las aguas.⁵ Cuando el oleaje se encuentra con una corriente marina de sentido contrario al de propagación de las olas; la velocidad de propagación de las mismas disminuye, al mismo tiempo que se hacen más cortas y más altas. La consecuencia es que aumenta la pendiente del oleaje, apareciendo la mar con crestas que rompen (borreguillos).

Para poderse dar una idea de la ganancia en altura que adquieren las olas, en estos casos, baste decir que sólo con que la corriente marina contraria sea de 2 a 5 nudos de velocidad, la altura de las olas aumenta entre un 50 y un 100 por ciento. Así por ejemplo que si la altura del oleaje es de alrededor de 3 m. una corriente contraria de 2 a 5 nudos le hace aumentar hasta alcanzar valores entre 4½ m. y 6 m. En consecuencia, basta que este bajando la marea, para que las olas que llegan a la costa aumenten notablemente de tamaño. Por el contrario, en el caso de que el

⁵ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.



oleaje alcance un área donde haya una corriente marina de su misma dirección y sentido, las olas adquieren una velocidad de propagación mayor, se hacen más rápidas, aumenta su longitud y disminuye su altura, haciéndose menos abrupta, más tendidas y por tanto más estables. De esta forma, el oleaje que se propaga hacia la costa se hace más tendido, más largo y menos veloz durante la pleamar.

1.6 Acarreo litoral

Es el fenómeno que se lleva a cabo en una playa, por medio del cual las partículas sólidas de que esta compuesta se transportan a lo largo de ella; se sabe que el arrastre de sólidos se produce principalmente entre la línea de playa y la zona de rompiente, aunque también fuera de esta existe transporte.

El estudio del acarreo de sedimentos es importante para diferentes aspectos:

- En ingeniería de costas el acarreo litoral, determina el diseño de protecciones de costas.
- En el dragado es importante por los problemas del volumen acarreado en función del tiempo, ocasionando azolves en zonas previamente dragadas.

Acarreo litoral es el movimiento del material sedimentario en la zona litoral, producido por olas y corrientes. Su estudio es importante cuando se trata de comprender el comportamiento físico de una playa o de resolver algún problema de ingeniería presentado en el área costera. Uno de los puntos más controvertidos en la Ingeniería de Costas es sin duda alguna el problema relativo a la cuantificación del transporte litoral producido por la acción del oleaje sobre una playa arenosa.

Diferentes investigadores han tratado de encontrar una expresión que permita calcular la cantidad de material que transporta el oleaje, basados en casos específicos que permitan una generalización del problema, sin embargo los resultados obtenidos dejan mucho que desear ya que los valores que se obtienen por la aplicación de las diferentes expresiones presentan variaciones de gran consideración que no permiten la aplicación de ninguno de ellos.⁶

Por otra parte la obtención de los datos necesarios para la evaluación del transporte en la mayoría de nuestros casos es muy difícil y costosa por la falta de equipo apropiado, teniéndose que recurrir ya sea a datos de tipo general o muy limitados que no permiten tener una idea completa del problema, por lo que ante la necesidad de realizar proyectos en los cuales el transporte litoral es preponderante se ha tenido que recurrir a la obtención de los elementos necesarios mediante formas indirectas tales como los perfiles de equilibrio de las playas.

⁶ Ingeniería Marítima y Portuaria. Guillermo Macdonel Martínez, Héctor López G. UNAM. 1999.



Los resultados que se han obtenido han podido ser verificados tanto en la naturaleza mediante la construcción de obras de retención de azolve tipo espigones, dragados o bien por mediciones directas.

1.7 Conclusión capitular

La costa es una zona donde predominan las aguas costeras marinas, estuarinas y cercanas a las orillas de los grandes lagos y mares interiores, así como una porción de la tierra cercana a la costa, en donde las actividades humanas y procesos naturales afectan constantemente su morfología.

Las olas son producidas por diferentes causas: viento, mareas, tormentas, oscilaciones y terremotos. Estas últimas se conocen como tsunamis que son olas que alcanzan alturas considerables cuando rompen con las costas.

Los tres valores que caracterizan a una ola son:

H = Altura
L = Longitud
T = Periodo

Hay diferentes métodos para calcular el oleaje como los análisis estadísticos y por métodos empíricos. El oleaje al propagarse sobre la superficie del mar va sufriendo deformaciones por efecto del fondo o por el encuentro con obstáculos, los que se originan en el primer caso es el fenómeno de refracción y en el segundo el de difracción y reflexión del oleaje.

La obtención de la ola significativa, los estudios de refracción, difracción y reflexión son circunstanciales para el diseño de una estructura marítima.



CAPÍTULO 2 LA PLAYA: IMPORTANCIA, CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN

2.1 Introducción capitular

Uno de los principales fenómenos que afectan a la mayoría de los países costeros es la pérdida de territorio como consecuencia de la erosión que producen ciertos eventos ya sean naturales, catastróficos o producidos por el hombre. Tal es el caso en México, específicamente en el puerto de Mazatlán del estado de Sinaloa en donde se tiene el problema de erosión en sus playas, producido por la mala planeación y falta de concientización tanto del sector público como el privado. En este capítulo se muestran los perfiles de equilibrio que deben de tener las playas, la importancia que se le debe de dar al balance sedimentario de un sistema costero, los elementos que lo constituyen y las medidas que se aplican para el control de la erosión.

2.2 La Playa

Las playas son agregaciones de fragmentos de rocas y otros materiales que se encuentran sujetos al movimiento del oleaje, las corrientes marinas y el viento. Las playas arenosas usualmente están constituidas por capas de arena sobre una plataforma rocosa. El tamaño del grano de arena puede variar desde uno grueso (2 mm) hasta uno más fino (0.1 mm). Podemos afirmar que los limos y arcillas no existen en las playas, ya que la acción del oleaje, por muy pequeño que sea, mueve y pone en suspensión a éstos, depositándose en lugares tranquilos como es el caso de lagunas o esteros.⁷

Las características de una playa quedan definidas en términos del tamaño promedio de las partículas que la constituyen, el rango y distribución de los tamaños, la composición mineralógica de la arena, la elevación y ancho de la berma, la pendiente de la playa, y la existencia o ausencia de una barra. En general podemos decir que entre más gruesa la arena, mayor será la pendiente, y viceversa. Cuando una playa compuesta de arena queda temporalmente lejos del oleaje y de las mareas entonces se seca por la acción del sol, y la arena se mueve hacia el continente formando dunas o de regreso a la costa por acción del viento.

El resultado de este cambio continuo representa una tendencia a largo plazo hacia la erosión o la sedimentación o el equilibrio dinámico dependiendo de las cantidades relativas de abastecimiento o pérdida de material en la playa.

Uno de los principales fenómenos que afectan a la mayoría de los países costeros es la pérdida de territorio como consecuencia de la erosión que producen ciertos eventos, catastróficos o no, naturales o inducidos por el hombre; se ha estimado que debido al efecto combinado de éstos, el 70% de las playas arenosas del mundo están en retroceso hacia el continente y menos del 10% en avance hacia el mar. En México, aunque hay interés por el gobierno federal para desarrollar una estrategia global para el manejo de la zona costera no se ha planificado el manejo de la erosión

⁷ <http://www.ceducapr.com/playas.htm>



costera y los problemas de erosión se han afrontado de manera individual, es decir, en respuesta a necesidades específicas de propietarios o concesionarios. El continuo crecimiento de asentamientos humanos en la zona costera, particularmente sobre el litoral, la falta de conocimiento del comportamiento de la línea de playa a corto y mediano plazo y el inadecuado control sobre la regulación de los asentamientos y construcción de obras de protección costera (espigones, rompeolas, amuramientos etc.) incrementan la susceptibilidad de riesgo por erosión costera con efectos potenciales de suma importancia para comunidades cuyo desarrollo socio-económico depende de las playas.

2.3 Conservación y restauración

La pregunta que se debe responder es la siguiente: ¿Hasta dónde necesita ser conservada una playa?

Una playa estable es en sí misma una forma de protección de la costa contra los embates del mar. El lecho que está compuesto de sedimento suelto ajusta su forma para producir una "defensa en profundidad" en época de tormentas y para proveer por su propia recuperación durante el período normal. Algunos aspectos que interesan al público en general tienen que ver con el uso de las playas para turismo, desarrollos deportivos o recreación.

La necesidad de proteger edificios, estructuras y propiedades contra la acción del mar se confunde a veces con la preservación de las playas. Debe reconocerse que un frente de playa debidamente conservado y utilizado asegura una protección máxima a las propiedades pero para que esta protección sea posible es necesario que dichas propiedades no estén localizadas en la zona móvil de la playa.

La construcción de obras civiles en la costa produce cambios que afectan las tasas de suministro o de pérdida del transporte litoral y generan modificaciones en la línea costera hasta cuando se alcanza una nueva configuración estable. Debido a que estos cambios no se observan de inmediato porque se ocultan entre las fluctuaciones a corto plazo, siempre tomará un tiempo largo el poder demostrar que los cambios hechos por el hombre son nocivos para la costa.

Muchas veces el resultado final es un efecto a largo plazo que se descubre cuando el daño irreparable ya está hecho. Por esta razón es recomendable que se analicen cuidadosamente los posibles daños que se pueden ocasionar a la playa antes de proceder a construir obras civiles.⁸

2.4 Los perfiles del equilibrio de las playas

Se define perfil de playa como la variación de la profundidad h , con la distancia a la línea de costa x , en la dirección normal a ésta: $h = f(x)$ figura 4. Todos los perfiles de playa presentan una forma cóncava hacia arriba. Esta regularidad ha permitido el desarrollo de diferentes

⁸ <http://www.geocities.com/gsilvam/playa.htm>

expresiones matemáticas que describen el perfil y la introducción del concepto de perfil de equilibrio.

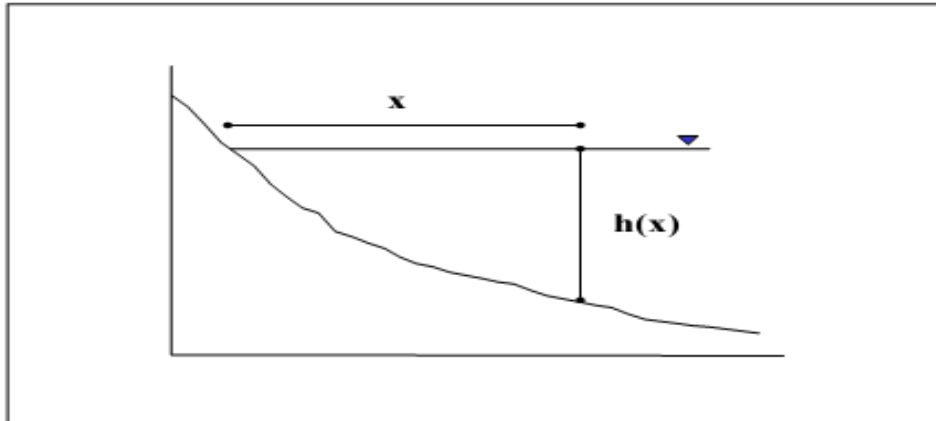


Figura 4. Esquema de un perfil de playa

Las playas no son elementos estáticos de la costa sino que cambian su forma en planta y perfil a lo largo del tiempo. Estos cambios de forma, conllevan un transporte de arena que origina, a su vez, variaciones en la distribución granulométrica del material que conforma la playa. Una característica de las playas, conocida por cualquier observador que se haya acercado a las mismas, es que éstas no se mantienen fijas en una posición sino que cambian su configuración, perfil y planta, a lo largo del tiempo. Este continuo cambio de forma, que denominaremos variabilidad, conlleva, además, modificaciones en la distribución granulométrica de los sedimentos que la componen.⁹

El origen de la variabilidad de una playa se encuentra en la propia génesis de la misma. En efecto, la configuración de una playa surge como resultado de la interacción de las dinámicas actuantes (oleaje, viento, marea...) con los contornos existentes (batimetría, costa...) y la arena disponible. Si una playa con un tamaño de grano concreto, es sometida a una sollicitación o dinámica actuante constante, desarrollará una configuración (planta y perfil) que no evolucionará en el tiempo.

En la naturaleza, la variación del nivel del mar y del oleaje es constante y, consecuentemente, una configuración de equilibrio en sentido estricto, no existe nunca. No obstante, dado que las variaciones de los diferentes agentes (oleaje, marea...) están acotadas y presentan cierta cadencia, también lo estará la variabilidad de las playas, pudiéndose admitir en la naturaleza la existencia de una situación modal o de equilibrio que sufre variaciones en función del clima marítimo existente.

El perfil de equilibrio de una playa es aquel que se mantendría constante en una determinada zona de la costa cuando sus características físicas permanezcan fijas y sea afectada por una serie

⁹ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez



de fuerzas (olas, corrientes y marea), es decir, el perfil no varía en el tiempo si las fuerzas actuantes permanecen constantes.

A pesar que el concepto de perfil de equilibrio ha sido duramente criticado, debido a que las fuerzas que afectan el equilibrio están siempre variando con las mareas, las olas, las corrientes y los vientos, el perfil de equilibrio constituye una herramienta eficaz para predecir el comportamiento de una playa y así diseñar y analizar proyectos de regeneración de playas.

Las particularidades que cumplirá el perfil son:

- Ser cóncavo hacia arriba.
- Presentar pendientes más suaves mientras más fina sea la arena que forma parte del perfil.
- Presentar un frente de playa que generalmente es lineal.
- La presencia de olas altas con una relación de esbeltez, es decir la altura entre la longitud de la ola (H/L), con valor de 0.10 o mayor, es indicativo de que la pendiente de la playa es fuerte.

La determinación del transporte litoral seguirá presentando serias dificultades por el hecho de que una evaluación correcta a lo largo de un cierto periodo significará la medición completa de los oleajes que actúan en ese tiempo tanto en su amplitud, periodo, como ángulo de incidencia, sin embargo lo anterior casi nunca será posible por lo costoso de tales mediciones y lo laborioso de su interpretación, lo que hace que tenga que recurrir a otros procedimientos para poder determinar los volúmenes de arena transportados por el oleaje.

Dado que la mayoría de las mediciones del oleaje se determinan mediante intervalos cortos, que posteriormente permiten obtener los llamados oleajes significantes a lo largo de un cierto tiempo o bien determinar los porcentajes de acción de oleajes comprendidos entre ciertos rangos, es posible obtener mediante una indicación adecuada de las incidencias de los oleajes, los volúmenes aproximados del movimiento de arenas.

Los perfiles de equilibrio de playa con un análisis adecuado, permite obtener las características del oleaje formador de acuerdo con el material playero de la misma.

2.5 Importancia del análisis sedimentario del sistema costero en la identificación de las causas de la erosión de playas

Una de las características más significativas de los medios costeros es su fuerte dinamismo. A veces los cambios se producen en lapsos temporales tan cortos que cualquier persona, aún sin tener conocimiento de los procesos que se producen puede percibirlos. De hecho, la visita a una



playa con varios días de diferencia puede ser suficiente para advertir algunos cambios en su perfil. Si en vez de unos días se dejan pasar algunas décadas las modificaciones quizá resulten sorprendente: playas que visitamos de niños puede que hoy sean completamente distintas o, incluso, haber desaparecido. Todas estas observaciones, fruto de la experiencia personal de cada uno, advierten sobre la realidad dinámica de los medios costeros.¹⁰

Las causas que provocan tales cambios, sin embargo, resultan bastante más complejas de caracterizar dado que no obedecen a un único factor, sino que son fruto de la confluencia en el espacio y en el tiempo de procesos muy variados.

Un análisis más pausado de la evolución costera permite comprobar que aunque el grueso de los movimientos sedimentarios producidos a escalas temporales cortas tienen un sentido cíclico, una pequeña proporción de sedimentos sigue una tendencia de cambio progresiva, lo que se manifiesta en avances o retrocesos de la orilla.

La concepción de la costa como un sistema morfosedimentario abierto permite relacionar las alteraciones observadas en la posición de la orilla con los cambios en el volumen de sedimentos que se producen tanto en el conjunto del sistema como en cada una de sus partes. Así, los cambios en la entrada y salida de sedimentos del sistema costero se asocian a modificaciones lentas pero que afectan al conjunto de la célula sedimentaria costera. Por el contrario, las retenciones puntuales de sedimentos dentro del propio sistema litoral generan alteraciones morfológicas rápidas pero muy delimitadas espacialmente. Conviene, por tanto, establecer una distinción clara entre los dos grupos de fenómenos: los que afectan a entradas y salidas de sedimentos del sistema y los que se producen como consecuencia de alteraciones puntuales dentro ya del propio sistema costero.

El balance sedimentario se define como el cómputo del volumen del transporte sedimentario en un determinado tramo de costa y se basa en la cuantificación del transporte, la erosión y el depósito de sedimentos en una determinada zona de estudio.¹¹

2.5.1 Los elementos del balance sedimentario son:

Entradas: Cualquier proceso que incrementa la cantidad de arena en el tramo de costa objeto de estudio

Salidas: Cualquier proceso que disminuya la cantidad de arena en el tramo de costa objeto de estudio

¹⁰ <http://www.astromia.com/tierraluna/costas.htm>

¹¹ <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/155/planifica.html>

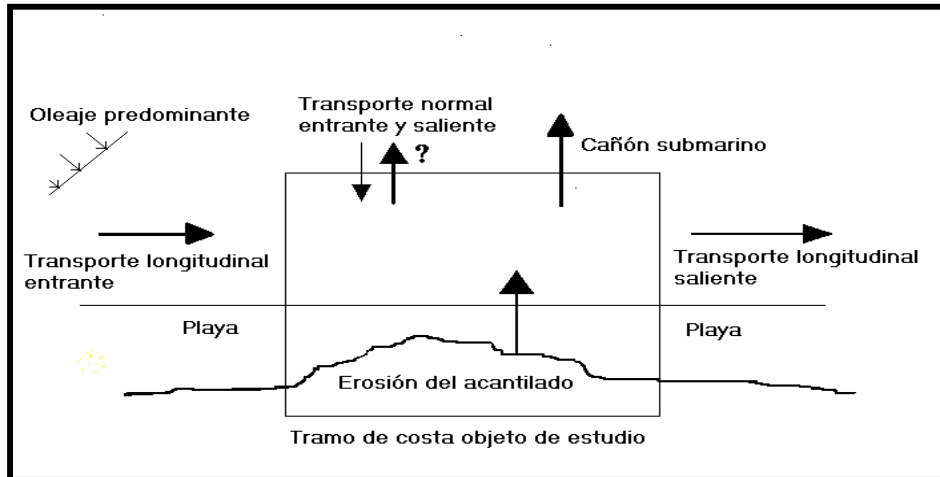


Figura 5. Esquema de un balance sedimentario de un tramo de costa

2.5.2 Condiciones del Balance Sedimentario que se aplica en la Ingeniería de Costas

- Se aplica sólo para el cálculo del balance de arena
- La zona de estudio se reduce al tramo de costa donde se proyecta una actuación ingeniera
- El período de tiempo que se considera regularmente es un año

Es un balance sedimentario condicionado en tiempo y espacio a los requerimientos de una obra y no a una evaluación ambiental integral. Es útil en el diseño de obras costeras a escala puntual

2.6 Medidas que se aplican para el control de la erosión

La mejor protección contra la erosión y los daños estructurales producidos por los cambios de las playas desde y hacia el mar consiste en la preservación de una franja amplia de playa que esté protegida por una duna frontal que reciba las olas de tormenta. En este caso hay suficiente arena disponible para alimentar la barra que se forma aguas adentro durante las tormentas. En Dinamarca, Inglaterra y partes de América esta protección se alcanza estableciendo "líneas de preservación" que comienzan en el mar y corren más o menos paralelas a la línea de costa. Dentro de la reserva así definida el desarrollo está controlado por normas locales. En ciertas áreas se prohíbe todo tipo de desarrollo, mientras que en otras se permiten ciertos pequeños desarrollos que no producen daños. Si se hubieran creado líneas de preservación en Australia muchas áreas de dunas se hubieran conservado y algunos de los problemas que existen hoy se



hubieran evitado. Todavía no es tarde para que en grandes extensiones de la costa australiana se sigan los ejemplos de otros países en los cuales se han promulgado leyes que prohíben la destrucción y nivelación de las áreas de dunas. Es paradójico que mientras en grandes tramos de costas japonesas y americanas se han gastado importantes sumas para intentar reconstruir dunas frontales, en Australia se tolera la remoción de las dunas hasta un nivel en que pierden su efectividad.

Las dunas de arena crean problemas porque los vientos se llevan parte de la arena hacia la playa, pero estos problemas pueden superarse mediante adecuados procesos de control y estabilización.

Existen dos casos generales, el primero es la playa con una duna frontal natural relativamente libre de ocupación humana, el segundo es un frente de playa como lo conocemos, en áreas metropolitanas.

No existe una solución general que pueda aplicarse a todos los casos. Lo primero que debe hacerse es tratar de entender qué es lo que está sucediendo, lo cual implica un conocimiento del clima del oleaje en la zona y de la fuente, dirección, cantidad y límites del transporte litoral. Cualquier estructura costera que se extienda dentro del mar se verá afectada por el proceso litoral; por eso es importante que el ingeniero destine un tiempo a establecer cuáles han sido los cambios históricos de la playa y sus causas. Cuando no existen datos disponibles el ingeniero necesariamente toma riesgos que llevan a menudo a diseños inadecuados. Las principales soluciones que se utilizan para proteger la playa de problemas de erosión en la línea de costa ocasionados por cambios significativos en el transporte litoral consisten en espolones, by-pass de arena y alimentación artificial de la playa.¹²

Los espolones se construyen perpendiculares o inclinados con respecto a la línea de costa; pueden ser permeables o impermeables. Son efectivos únicamente cuando existe un transporte litoral predominante porque su objetivo es atrapar el transporte litoral en su lado de aguas arriba; de esta manera se amplía el ancho de la playa en vecindades de su construcción.

Tienen la desventaja de que colocan una barrera total o parcial al transporte litoral y por tanto se produce erosión aguas abajo; en consecuencia, su efecto es limitado y muchas veces transfieren el problema a otra sección de la costa. Los efectos dañinos de los espolones pueden reducirse combinando espolones con alimentación artificial de arena.

CERC, 1966, presenta un análisis comprensivo sobre el uso de los espolones y define los siguientes factores que deben considerarse en su diseño:

1. Extensión de playa que será afectada por erosión si se usan espolones.
2. Justificación económica de los espolones en comparación con obras de estabilización con alimentación artificial de arena.

¹² <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/155/planifica.html>



3. Adecuación de alimentación natural de arena para asegurar que los espolones van a funcionar como se diseñan.
4. Anclaje de los espolones a la línea de costa para prever fallas por causa de la erosión que se presenta aguas abajo.
5. Peligro de corrientes rizadas que incrementan los riesgos para los bañistas.
6. Pérdida en la estética del paisaje por la colocación de los espolones.
7. Problemas de mantenimiento y reparaciones.

Siempre que se construye una barrera litoral es necesario considerar cuidadosamente el hecho de re-establecer el proceso litoral por medio de by-pass.

Cuando el efecto de la barrera es pequeño y el transporte litoral es bajo puede ser suficiente permitir que la naturaleza se encargue de restaurar la línea estable de la costa. En caso contrario el by-pass puede considerarse como alternativa de otros procedimientos de defensa tales como muros, espolones o alimentación artificial de arena. Las plantas para by-pass pueden ser fijas o móviles y operan de manera continua o intermitente.

Un método que está siendo considerado últimamente consiste en la utilización de la arena que se acumula detrás de los rompeolas. Por efecto de la disminución de la acción de las olas detrás de la pared se acumula arena durante un período; esta arena es removida posteriormente por medio de obras de dragado que trabajan durante los períodos de calma llevando la arena hacia la otra cara del espolón para recuperar el suministro litoral. La alimentación artificial de arena da en el corazón del problema y la opinión actual tiende a favorecer esta forma de protección de playas. El método remedia la causa básica de muchos problemas de erosión, como es la deficiencia en el suministro de arena, y beneficia la playa en una zona amplia que está más allá del área problema.

Se han utilizado varios métodos de alimentación artificial dependiendo de las condiciones del problema en consideración:

- En Long Beach, New Jersey y Santa Bárbara se descargó arena mar adentro hasta profundidades del orden de 6 metros con la esperanza de que fuera transportada hasta la playa por procesos naturales. Los resultados, sin embargo, no fueron buenos porque solo una pequeña parte de la arena tomó camino hacia la playa, probablemente porque la granulometría de la arena utilizada en el ensayo no fue la adecuada.
- Como su nombre lo indica el método de colocación directa consiste en colocar arena directamente en la playa para incrementar el suministro natural al área. No es necesario colocar la arena en capas; puede ser amontonada en áreas aisladas dejando que las olas naturales moldeen la arena a lo largo de la superficie de la playa. Tampoco es esencial remover la materia orgánica del material porque la acción natural de las olas remueve las partículas finas y deja las fracciones más gruesas en la playa.



El éxito de la alimentación artificial depende de la utilización de material apropiado. Si es demasiado fino entonces será removido de la playa por la acción natural de las olas y si es demasiado grueso puede formar una playa con demasiada pendiente, incrementando el peligro para la natación. El material ideal debe tener una granulometría ligeramente más gruesa que la de la playa que se va a proteger; con esto se asegura que se conserva la pendiente de la playa y que el material permanece en la playa.

Los errores del pasado pueden evitarse actualmente mediante el planeamiento del uso futuro. Técnicamente los códigos de protección de costas deben asegurar que:

- Las dunas o las bermas de la playa no deben ser niveladas hasta una elevación que les haga perder su efectividad en su función de proteger contra las olas de tormenta.
- No se construyan muros verticales porque causan erosión de la playa frente a ellos.
- No se construyan espolones, rompeolas o atracaderos si causan erosión aguas abajo que no pueda ser corregida fácilmente.
- La alimentación artificial se haga con material apropiado que pueda permanecer en la playa por mucho tiempo.
- Los desarrollos turísticos o industriales se construyan lejos de la playa, hacia el continente, para prevenir la erosión ocasionada por los cambios cíclicos de la playa que ocurren de década en década.

La necesidad de coordinación en el diseño, planeamiento y control de obras costeras ha obligado a varios países a establecer autoridades de ingeniería de costas a nivel de Estados o Departamentos. En los Estados Unidos esas autoridades se tipifican en el Coastal Engineering Research Center, cuyos objetivos están fijados por una ley y son los siguientes:

- Proveer asistencia técnica en la conducción de estudios de control de erosión en playas.
- Revisar los Informes de estos estudios.
- Inspeccionar y examinar las localidades bajo estudio.
- Conducir investigación general.
- Publicar de vez en cuando datos útiles e información sobre erosión y control de erosión en playas.

Durante la revisión de los informes sobre control de erosión en playas la autoridad respectiva debe dar su opinión sobre los siguientes aspectos:



- Necesidad de establecer el proyecto de control.
- Interés público, si lo hay, en el mejoramiento de la playa.
- Qué parte del costo del proyecto corresponde al gobierno departamental.

En Australia el tratamiento que se da a los problemas de erosión de playas no es satisfactorio. En NSW por ejemplo, las numerosas autoridades que atienden los estuarios costeros y los aspectos de conservación actúan más o menos independientemente dentro de los poderes que les confiere la legislación. La Autoridad de Planeamiento del Estado resuelve generalmente acerca del uso de la tierra. Una vez que un área de terreno es liberada o su uso es reglamentado la responsabilidad para su control y mantenimiento pasa a las autoridades locales y a los propietarios privados. Los proyectos de desarrollo deben ser aprobados por el gobierno local y por las autoridades estatales; se entiende que tales aprobaciones están reguladas por el interés público.

2.7 Conclusión capitular

Las playas son agregaciones de fragmentos de rocas y otros materiales que se encuentran sujetos al movimiento del oleaje, las corrientes marinas y el viento. Las características de una playa quedan definidas en términos del tamaño promedio de las partículas que lo constituyen. La erosión de estas deja desprotegidas a las costas de fenómenos meteorológicos. La acción del hombre sobre la playa (construcciones de obras civiles) perjudica cada vez más debido a la falta de estudios de impacto ambiental a largo plazo.

El perfil de equilibrio de una playa es aquel que se mantendría constante en una determinada zona de costa cuando sus características (olas, corrientes y mareas), es decir, el perfil no varía en el tiempo si las fuerzas actuantes permanecen constantes.

Un análisis sedimentario de la evolución costera permite comprobar que aunque el movimiento de los sedimentos es cíclico una pequeña proporción de sedimento presenta una tendencia de cambio progresiva que se manifiesta en los avances o retrocesos de la orilla, por lo cual es de vital importancia la construcción de obras marítimas que aseguren la regeneración de la playa, “ganarle terreno al mar”.

La mejor protección contra la erosión y los daños estructurales producidos por los cambios de las playas desde y hacia el mar consiste en la preservación de una franja amplia de playa que esté protegida por una duna frontal que reciba las olas de tormenta.

No existe una solución general se debe de hacer un análisis para cada zona de acuerdo a las características que presente. Debido a la naturaleza complicada de los procesos costeros es esencial la realización de un programa adecuado de investigación y recolección de datos para asegurar que cuando se tengan las aprobaciones necesarias para desarrollar un proyecto haya



suficiente información para prever los efectos futuros de las obras que se realicen tanto de protección como regeneración.



CAPÍTULO 3 PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE ZONAS COSTERAS

3.1 Introducción capitular

El rápido incremento de la población mundial, la explotación a gran escala de los recursos costeros y el rápido desarrollo de la infraestructura ha resultado o puede resultar una degradación severa y declinación de la calidad del medio ambiente costero. Este fenómeno mundial presenta una faceta diferente en nuestro país donde la excesiva centralización de la vida económica ha generado esquemas de desarrollo que presentan signos claros de agotamiento y generan serios problemas físicos, ambientales y de calidad de vida que comprometen seriamente el futuro de México. Es por eso que es de vital importancia tener una planeación adecuada para lograr un desarrollo óptimo de nuestras zonas costeras y asegurar la calidad de vida de futuras generaciones aspectos que se abordan en este capítulo. Se evidencia la participación del ingeniero civil como parte importante en la solución a esta problemática, además se expone la importancia de dichas zonas costeras, la planeación de desarrollos costeros sustentables y la playa como parte fundamental de este desarrollo. También se muestra un método de sensibilidad apto para aplicarlo en las zonas costeras de nuestro país.

3.2 Ámbito de participación de ingeniero civil en materia de obras marítimas

El ámbito de participación del ingeniero civil en relación con la planeación, proyecto, construcción, operación y mantenimiento de obras marítimas, cubre un universo muy amplio en el que se combinan de diversas formas de actuar los factores físicos de carácter oceanográfico, meteorológico y fluvial sobre la denominada zona costera. Así es que nosotros como ingenieros que somos debemos atrevernos a inmiscuirnos más en ese tipo de proyectos para no descuidar más a ese sector de producción y que un futuro muy próximo pueda ser el sustento de vida de toda la humanidad.¹³

Obviamente la participación del ingeniero civil en el aprovechamiento del medio marítimo, se da a través de varias disciplinas como pueden ser la topografía, las estructuras, la mecánica de suelos y como parte preponderante, la hidráulica marítima y la ingeniería portuaria.

3.3 Importancia de las zonas costeras

Las zonas costeras juegan un papel preponderante en la economía y el medio ambiente de los países más desarrollados del mundo, donde se utilizan en forma destacada para los asentamientos humanos. Según datos de la OCDE¹⁴, la densidad de población en las zonas costeras de los Estados Unidos es cinco veces mayor que en el resto del país. En Noruega, dos terceras partes de la población viven a no más de 15 kilómetros del mar y en Finlandia e Italia habitan en la costa, el 25% y cerca del 30% de sus habitantes, respectivamente. En Nueva

¹³ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.

¹⁴ OCDE. Gestión de Zonas Costeras. Políticas integradas. OCDE, De. Mundiprensa, Madrid 1995.



Zelanda, Japón y el Reino Unido nadie reside a más de dos horas por carretera del mar. Las actividades industriales, por razones de disponibilidad de terrenos aprovechables y de energéticos, facilidad de comunicaciones, oportunidad de acceso a los mercados internacionales, continúan implantándose en las costas. En España, la explotación del turismo costero le aporta 14 mil millones de dólares de ingresos anuales. Igualmente, en Australia los ingresos por este concepto son de alrededor de 5 mil millones de dólares al año. Desde el punto de vista pesquero, Canadá recibe de la pesca costera y de altamar 2,400 millones de dólares por año y se generan 140,000 empleos directos. En los Estados Unidos, la importancia de las áreas costeras se manifiesta en el hecho de que los hábitats acuáticos en esas áreas, representan alrededor del 87% del producto de la pesca en valor y el 82% en peso.¹⁵

México posee, a nivel mundial, una de las más amplias variedades de sistemas costeros y la biodiversidad asociada con ellos. Esto, sin duda, es una fortaleza, pero, al propio tiempo constituye una responsabilidad en lo relativo al uso, aprovechamiento y administración de tales recursos observando principios de sustentabilidad. En este sentido, es posible afirmar que ello es la principal debilidad de nuestra organización como país.

La cultura marítima de México está en sus etapas tempranas. Su integración no ha guardado un principio de orden lógico. El aprovechamiento de nuestros litorales, como base de un desarrollo organizado e integrado al de los transportes, el comercio, la industria y la producción de alimentos del país, no ha tenido un proceso histórico de participación planeada.

Alimentación, empleo, corrección del desequilibrio en el desarrollo regional, modernización industrial, adecuada inserción en el comercio mundial, sistemas de distribución interna eficientes, condiciones seguras de vida para las poblaciones costeras y preservación del medio ambiente, son condicionantes fundamentales para el fortalecimiento de una cultura marítima que apoye de manera relevante el desarrollo sustentable del México del siglo XXI.

El aprovechamiento de nuestros litorales, como base de un desarrollo organizado e integrado al de los transportes, el comercio y la producción de alimentos del país, no ha tenido un proceso histórico de participación planeada. Cabe agregar que en México más del 80% de la población reside arriba de 500 metros sobre el nivel del mar, o sea contrario del resto del mundo.

3.4 Planeación de desarrollos costeros sustentables

Las zonas costeras en todo el mundo han sido, históricamente, de las más explotadas debido a la riqueza de sus recursos. Se estima que hoy en día la mitad de la población total de la mayoría de los países costeros desarrollados vive en las zonas costeras, fenómeno creciente por la migración de las partes tierra adentro, lo cual genera un agudo conflicto entre la necesidad de

¹⁵ OCDE. Gestión de Zonas Costeras. Políticas integradas. OCDE, De. Mundiprensa, Madrid 1995.



consumos inmediatos usando los recursos costeros y la necesidad de asegurar un suministro de largo plazo de esos recursos. Lo anterior significa una doble responsabilidad para los gobiernos, como responsables de la planeación del uso sustentable de dichas zonas y de su administración.

La protección de los ecosistemas y su biodiversidad se ha convertido en un asunto de Estado. México es el cuarto país del mundo con mayor riqueza biológica. Sin embargo, es también uno de los países donde la biodiversidad se ve más amenazada por la destrucción de ecosistemas, lo que implica una responsabilidad a nivel internacional. Este proceso destructivo es, en buena medida resultado de la falta de recursos y actividades económicas alternativas de las comunidades que los explotan. En este sentido, la falta de oportunidades para el uso sustentable de la vida silvestre ha sido un factor muy importante.

Los ambientes costeros y oceánicos poseen una elevada riqueza biológica que contribuye a la mega diversidad y a la actividad económica de las zonas costeras y marinas del país. La riqueza natural de estas regiones atrae diversas actividades económicas como la agropecuaria, la extracción de hidrocarburos, el turismo, la industria, la acuicultura y la pesca; desafortunadamente, el desarrollo desordenado de éstas y otras actividades, así como el crecimiento poblacional han provocado graves problemas en ecosistemas altamente vulnerables. En México, 14.9% de la población se asienta en áreas costeras y las políticas públicas en torno a estas zonas han sido mayoritariamente sectorizadas y han carecido además de una visión sustentable e integral de desarrollo económico y social. Esto ha provocado que los esfuerzos realizados no tengan el impacto deseado.¹⁶

En la planeación de las zonas costeras debe considerarse que éstos son sistemas dinámicos en los que pueden identificarse dos opciones esenciales de decisión:

1. Cuando el plan de desarrollo responde a un análisis integral del sistema, y como resultado de ese análisis se identifican y jerarquizan los desarrollos potenciales compatibles y los que no lo son.
2. Cuando el plan forma parte o es resultado de una estrategia general de desarrollo regional.

Conviene puntualizar que en ambas opciones se presenta la posibilidad de que exista compatibilidad entre dos o más formas de desarrollo, por ejemplo, la pesca con el turismo o los puertos comerciales con la industria costera, lo cual es deseable, ya que probablemente con las mismas acciones de instrumentación o con adiciones menores se incrementen los beneficios del aprovechamiento sustentable de la zona. Es indiscutible que la segunda opción puede ofrecer mayores problemas en cuanto al impacto sobre el sistema original, en virtud de que no por fuerza las demandas de uso que impone el plan serán coincidentes con la vocación del sistema;

¹⁶ OCDE. Gestión de Zonas Costeras. Políticas integradas. OCDE, De. Mundiprensa, Madrid 1995.



por tanto, debe otorgarse particular relevancia al hecho de plantear el manejo de los sistemas costeros bajo un principio de equilibrio general, incluido el del ecosistema.

El manejo del ritmo de explotación y preservación según un principio de sustentabilidad puede basarse en una planeación estratégica cuyas partes componentes pueden comprender:

- Definir las normas de crecimiento demográfico, acordes con la capacidad potencial de la zona costera.
- Orientar el progreso tecnológico hacia un crecimiento limpio y ecológico.
- Fijar políticas en materia de precio de los recursos, teniendo en cuenta su disponibilidad y ritmo de recuperación.
- Adecuar la organización institucional para asegurar la complementariedad de las políticas de medio ambiente y de desarrollo.
- Mejorar calidad y cantidad del conjunto de los factores que contribuyen al bienestar social (trabajo calificado y educación, por ejemplo).
- Modificar las estructuras de producción y de consumo para mantener las reservas de recursos escasos con criterios que combinen la sustentabilidad en la explotación del recurso con su comercialización, sin afectar con ello la economía de los grupos dedicados a dicha explotación.

Racionalizar el grado de capacidad de sustitución deseable entre los recursos naturales y los producidos por el hombre, mediante procesos como la acuicultura o la maricultura.

3.5 Administración de las zonas costeras

En cuanto a la administración integral de las zonas costeras, estamos frente a un proceso complejo de participación de actores públicos y privados que requiere integrar un marco institucional necesario para asegurar que los planes de desarrollo, su instrumentación, explotación y administración estén integrados con metas sociales, ambientales y de negocio, y elaborados con la participación de todos aquellos afectados. El propósito de la administración integral es maximizar los beneficios económicos y financieros provistos por la zona costera y minimizar los conflictos y daños de una actividad sobre otra, sobre los recursos y sobre la zona en lo general.¹⁷

Aun en los países donde existe una cultura marítima y un amplio uso y aprovechamiento de las costas, resulta a menudo difícil saber cuáles son las dependencias o los organismos responsables

¹⁷ OCDE. Gestión de Zonas Costeras. Políticas integradas. OCDE, De. Mundiprensa, Madrid 1995.



principales de la puesta en práctica de las estrategias para el desarrollo de las zonas costeras y de los recursos costeros.

Hay dos razones para esta situación:

- Se consideraba hasta hace poco que las aguas costeras tenían una capacidad de asimilación ilimitada de factores de deterioro.
- No se reconocían ciertas características de los recursos costeros: reservas limitadas, evolución del sistema, usos múltiples de los recursos, complementariedades e incompatibilidades, conciliación de objetivos públicos y privados.

Estas cuestiones hacen que recaigan responsabilidades muy significativas sobre los organismos encargados de la administración de la zona costera, pues los sistemas económicos y de medio ambiente considerados son competencia de diversos niveles de la administración nacional y local, y ocasionalmente internacional.

Se propone fundamentar un manejo sustentable de los aspectos ecológicos en las zonas costeras con un análisis muy completo de los recursos costeros y con un dispositivo institucional apropiado para integrar las diferentes actividades. A lo anterior deberá sumarse la disponibilidad de recursos financieros suficientes y una participación activa y significativa de la iniciativa privativa en la comercialización de dichos recursos con criterios racionales.

3.6 La playa como parte fundamental del desarrollo sustentable

El Turismo, así como una actividad económica de creciente importancia en las sociedades actuales, es también un instrumento generador de bienestar individual y colectivo en tanto herramienta de relevancia para la integración de los pueblos y, en el marco de un modelo de desarrollo sustentable, elemento respetuoso del medio ambiente y los recursos naturales. Y como parte elemental del turismo encontramos a las playas que son una fuente de recursos tanto naturales como económicos ya que son fuente de empleos por su gran atracción turística.

Las playas son un recurso natural muy valioso porque:

- Sirven de escenario para el desarrollo de actividades recreativas y deportivas.
- Representan un atractivo único para el desarrollo de una vigorosa industria de turismo.
- Son de gran interés para la educación y la investigación científica de los procesos de erosión de los materiales de la corteza terrestre y el estudio del ambiente marino.



- Poseen dunas que nos sirven como defensas naturales (contra el oleaje, las corrientes del mar y las tormentas) y reservas de arena.
- Sirven de hábitculo a una gran variedad de aves y otros organismos marinos.
- Algunas playas sirven para el anidaje de especies en peligro de extinción (ejemplo: tortugas marinas y pelícanos pardos).

Ahora bien las playas como parte de un desarrollo sustentable deben de estar siempre orientadas hacia un programa adecuado que pueda asegurar su protección y además aprovechar su repercusión económica en el sector turístico.

El Programa Centros de Playa atiende prácticamente a todas las entidades federativas que cuentan con áreas costeras. La extensión de más de 11 mil kilómetros de litoral ha sido uno de los principales espacios del territorio nacional determinante en el desarrollo turístico de México, cuya diversidad en su composición natural, tipo de arena, oleaje, fauna marina y clima crean las condiciones necesarias para garantizar el cumplimiento de las expectativas de los segmentos de mercado que encuentran en el producto turístico de sol y playa, el satisfactor fundamental de su interés de recreación y esparcimiento.

Tanto en el Pacífico, el Mar de Cortés, el Golfo de México y el Mar Caribe, México cuenta con importantes destinos, cada uno con atractivos diferentes que son detonadores de la actividad económica. Las entidades federativas que están integradas directamente en este programa son: Baja California Sur, Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Sinaloa. De manera indirecta también se atiende, ya sea a través de este programa regional o bien de otros como Mundo Maya, Fronteras y Ruta de los Dioses, a los siguientes estados: Baja California, Sonora, Quintana Roo, Veracruz y Tamaulipas.

La diversidad en los modelos de desarrollo de los destinos mencionados conlleva problemáticas diferentes, que hacen necesaria la intervención interinstitucional e intersectorial con el fin de mantenerlos vigentes y, sobre todo, de proponer líneas de acción efectivas orientadas al desarrollo sustentable de los mismos.

Con base en lo anterior se buscará mantener un vínculo permanente y sistematizado con las autoridades estatales y municipales correspondientes, con el propósito de identificar aspectos que inhiban el desarrollo armónico de este tipo de sitios, proponer alternativas, establecer mecanismos formales de colaboración para atenderlos y estimular su consolidación con base en criterios de sustentabilidad, a efecto de coadyuvar al impacto favorable del desarrollo regional y al crecimiento dinámico de las poblaciones con esta caracterización natural.

Segmentos. Los destinos de playa presentan como principal atracción el producto turístico de sol y playa, para el cual se ha buscado identificar alternativas de diversificación que respondan a diferentes grupos de demanda y a múltiples motivaciones de viaje, cuyo interés se ha enfatizado



en los mercados deportivo y náutico; salud; ecoturismo y aventura; negocios; y congresos y convenciones.

Líneas estratégicas. El análisis del comportamiento de los destinos de playa señala como principales aspectos a atender los siguientes:

- Mejoramiento de imagen urbana en destinos tradicionales..
- Mejoramiento de los niveles de calidad en la prestación de los servicios turísticos.
- Desarrollo de productos turísticos con base en estrategias de diferenciación y diversificación.
- Ordenamiento de actividades recreativas.
- Regulación de comercio informal.
- Conservación de playas.
- Acciones integrales de señalización.
- Accesibilidad aérea.
- Desarrollo de infraestructura.
- Programas de promoción y comercialización.
- Desarrollo equilibrado en vertientes sociales, económicas y ambientales, en un marco sustentable.

Acciones adicionales. De manera paralela se llevarán a cabo acciones permanentes de coordinación con los sectores público y privado que atenderán aspectos fundamentales de apoyo al desarrollo turístico integral de los destinos de playa como:

- Atender sistemáticamente la ejecución plena de los términos de los Convenios de Reasignación de Recursos, promoviendo, con base en el cumplimiento de los términos del mismo, el incremento en la participación presupuestal de la Secretaría de Turismo.
- Coadyuvar a la integración de un programa para el desarrollo de productos turísticos para cada entidad federativa con litoral (turismo náutico, cruceros, negocios, turismo de salud).
- Desarrollar estrategias de diversificación de la oferta de sol y playa, incorporando criterios que diferencien la oferta entre destinos.



- Impulsar acciones de fomento para participar en programas de mejoramiento de los niveles de calidad en la prestación de los servicios turísticos, de certificación de los mismos y de desarrollo empresarial.
- Gestionar ante las instancias correspondientes de los gobiernos federal, estatal y municipal la regulación de las actividades recreativas en la playa.
- Gestionar la regulación del comercio informal.
- Apoyar programas de recuperación de playas ante SEMARNAT.
- Impulsar un programa permanente de fomento de vuelos.
- Instrumentar programas de desarrollo sustentable.
- Incidir ante las dependencias federales correspondientes para atender requerimientos de infraestructura.
- Apoyar actividades de investigación que permitan un conocimiento objetivo de las debilidades y oportunidades del producto sol y playa.
- Colaborar en la elaboración de programas de promoción y comercialización que incluyan la participación del sector privado.

El compromiso institucional del Sector Turismo, a través de este programa, es el de consolidar al producto de sol y playa como el más importante de la oferta turística nacional, con base en el cual se puedan detonar otras líneas de producto.

El agotamiento y las consecuencias negativas de un modelo de turismo masivo de sol y playa, los cambios tecnológicos y de gestión de la actividad turística, la concientización ambiental de gran parte de los actores sociales unidas a las mayores exigencias y necesidades de la demanda turística, conducen a una valoración creciente de la calidad ambiental y turística de los recursos en general y del recurso playa en particular.

3.7 Método de sensibilidad de los sistemas costeros

3.7.1 Objetivos del método

Establecer un diagnóstico sobre las condiciones iniciales del sistema, con objeto de determinar el mayor o menor grado de equilibrio en que se encuentra. Es claro que si se trata de un sistema razonablemente virgen, se podría asociar el diagnóstico con lo que se considerarían sus condiciones de equilibrio natural. En cambio si se han realizado algunas acciones de uso o aprovechamiento de los recursos contenidos en él, el diagnóstico medirá el grado de alteración



que pudiera haber sufrido el sistema y, en algunos casos, su capacidad de recuperación natural o apoyada en algunas medidas correctivas.

Identificar y jerarquizar las posibilidades de aprovechamiento de un sistema dado.

Establecer la compatibilidad, desde el punto de vista del equilibrio natural y modificado del sistema, de más de una forma de uso y aprovechamiento.

Medir el impacto sobre el equilibrio del sistema, en lo general, y sobre los ecosistemas contenidos, en particular, que pueda tener la o las formas de su aprovechamiento, sea que se parta de una decisión externa a las posibilidades del sistema (de mercado), o se derive de la jerarquización sobre el potencial de utilización.

Evaluar, desde el punto de vista de su impacto sobre el sistema, las distintas opciones de instrumentación, mediante obras o acciones modificatorias, que permitan satisfacer las demandas impuestas por las formas de uso involucradas en el o los tipos de desarrollo considerados.

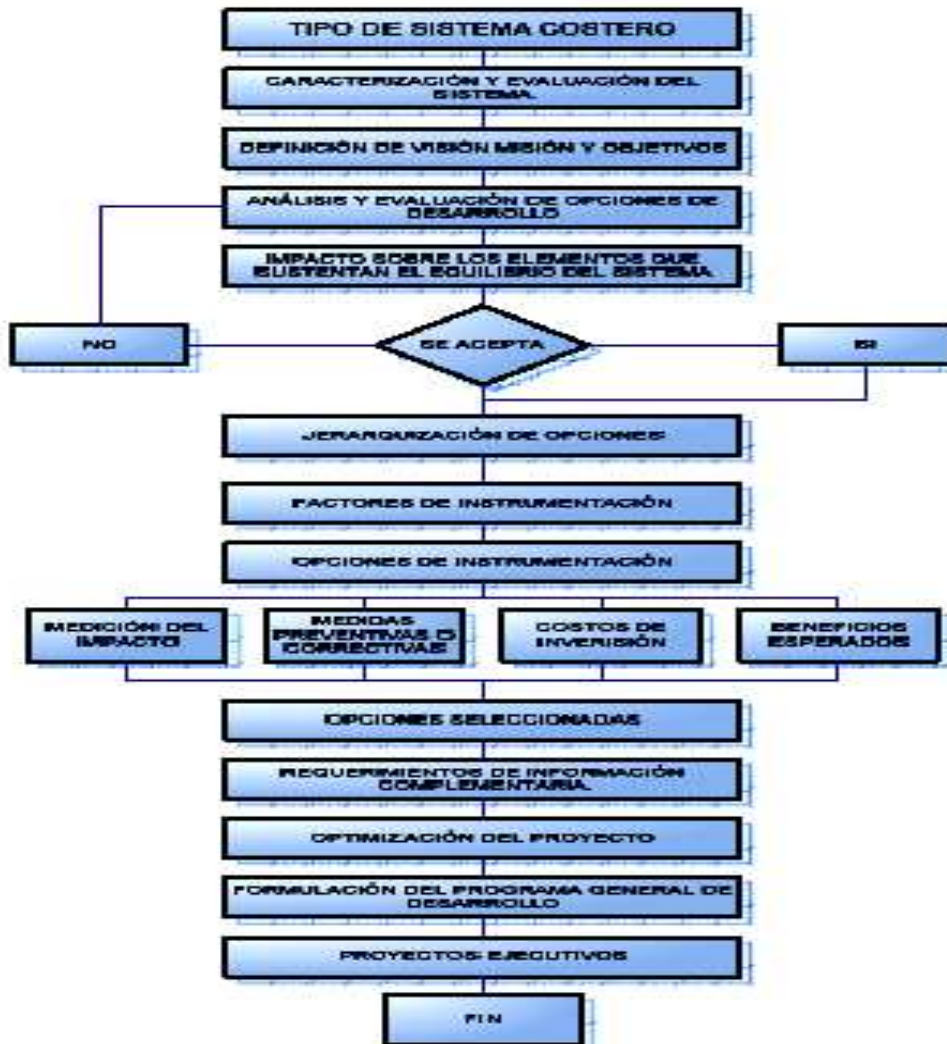
Aportar elementos para formular programas de estudio de campo, a fin de ampliar la información sobre el sistema en cuestión, lo cual, a su vez, permitirá su aplicación en los procesos de análisis teórico o experimental, requeridos en las fases finales de proyecto, previas a la ejecución del programa de desarrollo correspondiente.

Proporcionar las bases para establecer los umbrales críticos de calidad y existencia de los recursos del sistema.

Identificar las acciones preventivas o correctivas, que permitan compensar los efectos de cualquier índole, derivados de la modificación al equilibrio del sistema costero y aportar el sustento para obtener nuevas condiciones de funcionamiento con un nivel razonable de equilibrio.

Dar las bases para cuantificar costos y beneficios económicos y financieros del proyecto en cuestión, con el fin de aplicarlos en los procesos usuales de evaluación de proyectos de desarrollo.

DIAGRAMA DE FLUJO





3.7.2 Caracterización y evaluación del sistema

Los objetivos de esta fase son:

Jerarquizar los elementos en que se sustenta el equilibrio del sistema o las de mayor influencia en sus condiciones originales de estudio si existen otros aprovechamientos que lo hayan modificado. Esta jerarquización puede hacerse estableciendo valores de ponderación para dichos factores según el caso y aspecto que se analice.

Determinar el nivel de actividad del sistema, basado ello, a su vez, en la mayor o menor intensidad de acción de los distintos factores involucrados en el análisis del equilibrio y su efecto en el nivel de actividad.

La combinación de los resultados logrados con el cumplimiento de los objetivos, permitirá también tener una idea clara sobre el grado de sensibilidad que presenta el sistema a la modificación de sus distintos componentes. En el caso de sistemas alterados, proporcionará información para determinar hasta qué punto las alteraciones introducidas podrían haber afectado el equilibrio original y como se combinarían con las nuevas acciones.

3.7.3 Definición de la visión, misión y objetivos

Tomando en cuenta los elementos anteriores, es posible identificar la visión, la misión y los objetivos que se pretenden alcanzar. El principio de la sustentabilidad del sistema será denominador común. Es conveniente señalar que de acuerdo con la complejidad y diversidad de un sistema, la identificación anterior puede corresponder a todo el sistema como un solo conjunto, o para cada una de las divisiones que se hayan hecho de él. Sin embargo, independientemente de la forma de manejo que se haya determinado para el sistema, es fundamental considerar que los objetivos de los proyectos identificados, deben ser compatibles con la visión y la misión del conjunto al que pertenecen.

3.7.4 Análisis y evaluación de las opciones de desarrollo

A partir de lo anterior, es posible identificar los distintos usos potenciales del sistema, su importancia relativa, al nivel preliminar, y la mayor o menor compatibilidad que haya entre ellos. Estos resultados, en el caso de sistemas en los que se involucren otros desarrollos, los tomarán para medir dicha compatibilidad y evaluar la relevancia de los ya existentes.

En esta etapa del proceso, la estimación cuantitativa, tendrá un carácter más bien general, salvo que se dispusiera ya de estudios y observaciones específicas que aumentaran su grado de precisión. Deben hacerse las consideraciones referentes a la futura administración del sistema, para que de esta manera se incorporen desde un principio sus características estructurales o se consideren las rigideces que podrían representar decisiones que ya se hubieran adoptado en esta materia.



Por lo que se refiere al potencial de explotación, el criterio toma en cuenta, por una parte, las posibilidades de uso de los componentes del sistema en uno o varios tipos de desarrollo y de que tan relevante es cada componente en él y para el desarrollo en cuestión y, por otra, si el tipo de programa propuesto obedeciera más bien a demandas de un mercado hipotético, habría que hacer la consideración consecuente con el impacto derivado de las características del propio programa. Una consideración semejante habría que hacer al involucrar en el análisis otros aprovechamientos preexistentes.

En cuanto a los componentes de cada opción potencial, éstos corresponden a la forma como se obtienen las condiciones apropiadas para atender las demandas planteadas por los diversos tipos de proyectos. Consisten en los distintos tipos de obras de ingeniería de costas, hidráulica y civil en general; consecuentemente, su importancia y el impacto que produzcan serán función de las características y magnitud de ellas. En esta parte del proceso de análisis, el proyecto de las obras tendrá un carácter preliminar, pudiendo no ir más allá de su simple dimensionamiento físico y de una cuantificación geométrica que permita, con valores índice, establecer un orden de su costo.

Con el propósito de facilitar la identificación de los factores involucrados en los proyectos costeros más frecuentes, éstos se agruparán en la forma siguiente:

Desarrollos portuarios comerciales. Corresponden al tipo clásico de puertos destinados a servir de enlace entre el transporte marítimo y el terrestre con fines comerciales. Ello demanda condiciones adecuadas de protección y profundidad; requiere áreas de tierra para muelles, zonas de almacenamiento a cubierto y en patios, vialidades, accesos terrestres etc. y la existencia de una infraestructura básica como energía eléctrica, agua potable, drenaje, apoyo urbano, etc.

Desarrollos portuarios industriales. Esta forma de aprovechamiento contiene, en sí mismo varios usos. Contempla la necesidad de un puerto profundo y de grandes extensiones de tierra para el asentamiento de industrias. Demanda dotaciones generosas de agua dulce, energía eléctrica y amplios accesos terrestres. Requiere de zonas específicas para nuevos asentamientos humanos y la asignación de áreas forestadas para separar adecuadamente las actividades industriales de las urbanas.

Desarrollos portuarios pesqueros. Sus características y dimensiones varían según la abundancia y tipo de recursos por explotar. En primera instancia, los factores de uso se relacionarán con el movimiento de embarcaciones y las necesidades consecuentes en las zonas de agua y tierra y, en segunda instancia, se vincularán a los procesos de comercialización del producto.

Desarrollos para turismo náutico. En este caso se consideran aquellas formas de turismo náutico que van desde la simple posibilidad de una terminal para cruceros; un puerto de refugio o de escala para embarcaciones de pequeño porte, hasta los complejos donde, además de las instalaciones portuarias para botes pequeños, se involucran desarrollos inmobiliarios significativos.



Desarrollos asociados con la acuicultura. Para este tipo de proyectos, es difícil establecer una regla general ya que dependerá del tipo de especie por cultivar, si es única o se integra con otros cultivos afines, si tiene carácter intensivo o extensivo, etc.

Desarrollos múltiples. Se refieren a aquellos casos en que se combinan cualquiera de los tipos anteriores y, consecuentes con ello, sus componentes pueden ser complementarios. En la época actual, por la atracción e interés que tiene el aprovechamiento y uso de las regiones costeras, éstos desarrollos son los más frecuentes, estableciéndose, en todo caso, la predominancia de alguno de ellos.

3.7.5 Impacto sobre los elementos del sistema

Para analizar el impacto de los proyectos considerados, sobre el equilibrio del sistema, son fundamentalmente las características de la normatividad ambiental general y específica aplicables o establecidas para el sistema en cuestión, las que determinan los condicionantes de su instrumentación.

Para medir el impacto de los posibles proyectos identificados, en el anexo 1, se incluyen los cuadros del 1 al 5 para caracterizar un sistema costero de acuerdo con la tipificación que se señala en el propio anexo, considerando los distintos elementos de carácter físico y ecológico en que se sustenta su equilibrio en condiciones naturales, así como los valores de ponderación que se sugieren para cada tipo de factor.

Es conveniente señalar que para fijar el valor del factor de ponderación de algunos de los elementos físicos en que se sustenta el equilibrio del sistema o sus condiciones modificadas, puede recurrirse a un doble proceso. Uno, derivado exclusivamente de la observación de los rasgos físicos externos del sistema y de la investigación directa sobre el funcionamiento del mismo. El otro, de carácter cuantitativo, presupone la aplicación de fórmulas, métodos de cálculo y observaciones y mediciones de campo.

3.7.6 Selección y jerarquización de opciones

Con base en la evaluación realizada respecto del impacto de los proyectos identificados en forma preliminar, podrá hacerse una primera determinación sobre el grado de cumplimiento sobre los principios de sustentabilidad establecidos, aceptando los que los satisfagan y haciendo ajustes o desechando aquellos que no sea posible considerar.

El grado de cumplimiento y los niveles de impacto sobre el sistema, así como los beneficios iniciales identificados, permitirán formular la jerarquización de proyectos, misma que será la base del programa general correspondiente.



3.7.7 Opciones de instrumentación

En el paso siguiente, se proponen las distintas maneras de instrumentar un proyecto de aprovechamiento, asociando para ello cada uno de los proyectos identificados con algún tipo de factor de instrumentación compatible. Esto quiere decir que cada proyecto costero puede tener más de una forma de hacerse posible, pero también, al integrarse los factores de instrumentación, habrá ajustes y modificaciones que conduzcan a distintas opciones conjuntas de materialización, incluyendo los casos en que hubiera que modificar algún tipo de obra ya existente, correspondiente a otro proyecto en operación.

Lo anterior, conduce a un proceso de evaluación, que permitirá medir la sensibilidad al impacto que tendrá cada opción sobre el sistema costero y, en función de ello, definir las acciones preventivas y/o correctivas para propiciar condiciones de desarrollo sustentable.

Proporcionará, también, información sobre las órdenes de inversión requerida y, dará una buena idea sobre los beneficios esperados, lo que permitirá hacer una primera evaluación económica y financiera, en su caso de cada opción.

3.7.8 Selección de opciones e información complementaria

El conjunto de conclusiones obtenidas permitirá identificar las mejores opciones de desarrollo. Delineará las características generales del proyecto de desarrollo, así como el ámbito de responsabilidades de los agentes encargados de la administración del proyecto o proyectos identificados.

Es conveniente mencionar que en el caso de proyectos propuestos por terceros y que hubieran calificado para su integración, ello sólo conducirá a la definición de los mecanismos técnico-administrativos necesarios para su instrumentación

A partir de tales características, el proceso continúa con la determinación del tipo y alcances de los estudios de campo, gabinete y los experimentales requeridos para elaborar él o los proyecto(s) detallado(s), que será(n) sometido(s) de nueva cuenta a un proceso analítico.

3.8 Conclusión capitular

El ámbito de participación del ingeniero civil en relación con la planeación, proyecto, construcción, operación y mantenimiento de obras marítimas es de vital importancia para el desarrollo costero.

Las zonas costeras juegan un papel preponderante en la economía y el medio ambiente de los países más desarrollados del mundo, donde se utilizan en forma destacada para los asentamientos humanos.



México posee a nivel mundial una de las más amplias variedades de sistemas costeros, pero desgraciadamente no ha tenido una planeación adecuada. Aquí cabe señalar que en nuestro país más del 80% de la población reside arriba de 500 m. sobre el nivel del mar, o sea, contrario del resto del mundo.

En la planeación de las zonas costeras deben de considerarse que estos son sistemas dinámicos en los que pueden identificarse dos opciones esenciales de decisión:

1. Cuando el plan de desarrollo responde a un análisis integral del sistema, y como resultado de ese análisis se identifican y jerarquizan los desarrollos potenciales compatibles y los que no lo son.
2. Cuando el plan forma parte o es resultado de una estrategia general de desarrollo regional.

Conviene señalar que ambas opciones pueden tener compatibilidad como por ejemplo la pesca con el turismo, o los puertos comerciales con la industria costera por citar algunos.

El propósito de la administración costera es maximizar los beneficios económicos y financieros provistos por la zona costera y minimizar los conflictos y daños de una actividad sobre otra, sobre los recursos y sobre la zona en lo general.

Las playas son una fuente de recursos tanto naturales como económicos ya que son fuente de empleos por su gran atracción turística y parte fundamental en la zona costera para un desarrollo sustentable. Para aprovechar al máximo el desarrollo de los recursos costeros es necesario aplicar un método de sensibilidad el cual tiene como objetivo establecer un diagnóstico sobre las condiciones iniciales del sistema, con objeto de determinar el mayor o menor grado de equilibrio en que se encuentra, claro que partiendo de que si es virgen la zona o ha sido modificada.



CAPITULO 4. OBRAS DE PROTECCIÓN DE PLAYAS.

4.1 Introducción capitular

Como ya se ha mencionado en el capítulo 2 una playa es una forma de protección de la costa contra los embates del mar, siempre y cuando esta sea estable por si misma. Cuando no lo es, ya sea por causa de un fenómeno meteorológico (ciclón, huracán, tsunami etc.) o por la misma acción del hombre, es necesario protegerla; para eso existen obras cuya función es protegerla o regenerarla en su totalidad. Algunas de esas obras son los rompeolas, escolleras, espigones por mencionar algunos, que se abordarán en este capítulo, así también su cálculo y algunos criterios de diseño.

4.2 Clasificación de las obras de protección de playas.

Su función principal es la de disipar, parcial o totalmente, la energía del oleaje. Se clasifican en:

- *Rompeolas.* Su función es crear condiciones de calma para realizar operaciones portuarias. Para su diseño y posterior construcción, se requiere el conocimiento del régimen de oleaje y de oleajes extraordinarios, si los hubiera, y sus características. Es necesaria la información sobre mareas, corrientes, vientos dominantes y reinantes. Análisis del transporte litoral. Batimetría y características del fondo marino y estratigrafía. Dimensiones del área por proteger en función del tipo de puerto, embarcaciones e instalaciones previstas. Datos sobre disponibilidad de materiales, especialmente, bancos de roca. Normalmente, por la importancia que tiene en el costo, el proyecto ejecutivo requiere del uso de modelos matemáticos y físicos, para su disposición en planta, efectos sobre la costa, así como para definir las secciones transversales de sus componentes.
- *Escolleras.* Su función es servir para proteger la desembocadura de ríos y lagunas litorales en contra del transporte litoral, manteniendo condiciones de profundidad y funcionamiento hidráulico requeridos de acuerdo con el objetivo del proyecto. Son necesarios datos sobre el régimen de oleaje, sistemas de corrientes marinas y derivadas del cuerpo de agua cuya comunicación con el mar se pretende asegurar. Debe analizarse el transporte litoral y el efecto de las mareas. En el caso de asegurar la entrada y salida de embarcaciones, las características de estas y los efectos del viento y las corrientes sobre ellas. Habrá que tomar en cuenta las características del material del fondo y su estratigrafía superficial. De acuerdo con la importancia del proyecto se podría requerir de estudios de simulación matemática y física. Se incluye también datos sobre disponibilidad de materiales para construcción de la escollera.
- *Espigones.* Son obras perpendiculares a la playa. Su función es protegerla de procesos erosivos, permitiendo mantener un cierto ancho de playa, reteniendo la arena, sea en

forma natural o preservando rellenos para compensar pérdidas de material. La información consecuente es, fundamentalmente la relación del régimen de oleajes normales y extraordinarios, la marea de tormenta si la hubiera y sus efectos sobre el transporte litoral. Aunque la forma más común de construir estas estructuras es utilizar roca, podrían emplearse otros tipos de materiales como tabla-estacas de concreto, pilotes, gaviones, etc.¹⁸

- *Obras paralelas y perpendiculares.* Existen dos tipos: sobre la línea de playa (las más comunes) y separadas de ella. El primer tipo tiene como función proteger la línea de playa en contra de la acción directa del oleaje y preservar instalaciones detrás de la línea. Existen diversas formas de construir estas protecciones, desde la simple colocación de roca hasta muros con deflector. Con las segundas, además de la protección directa, se busca también acumular arena detrás de la zona protegida. En este caso el tipo de obra más común es a base de enrocamientos. En ambos casos es necesaria la información sobre las características del oleaje ya propagado hasta la costa. En el segundo se deberá examinar también el comportamiento del transporte litoral por el efecto del obstáculo.

4.2.1 Rompeolas y escolleras.

4.2.1.1 Rompeolas

De acuerdo con su trazo en planta se pueden agrupar en los siguientes tipos principales.

a). Rompeolas paralelo a la costa

Esta solución suele usarse en puertos exteriores ganados al mar, no muy alejados de la costa, o bien cuando no se disponga de terreno tierra adentro. Pueden estar aislados a la costa. (Figura 6)¹⁹

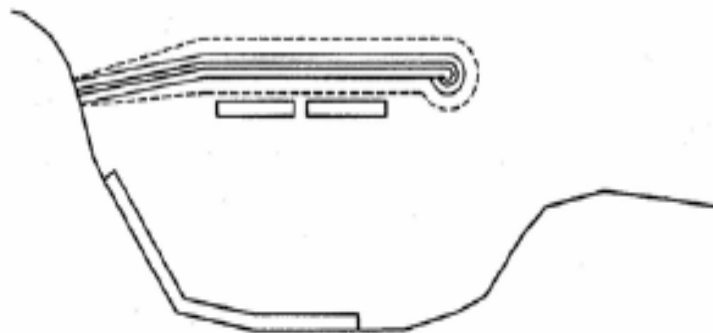


Figura 6. Rompeolas paralelo a la costa

¹⁸ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.

¹⁹ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez

b) Rompeolas convergentes

Este tipo es muy utilizado en busca de calado necesario para la boca de entrada. En este caso se debe tener cuidado con las áreas disponibles ya que el puerto quedará comprendido entre las obras. (Figura 7)

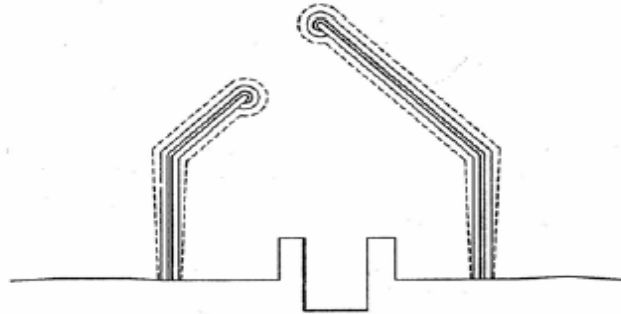


Figura 7. Rompeolas convergente

c) Rompeolas paralelos entre sí

Se usa esta disposición en los puertos creados avanzando sobre tierra o bien en las desembocaduras de ríos navegables. En este caso, los rompeolas cumplen más bien una función de escolleras para evitar el azolvamiento del canal de entrada al puerto (Figura 8)

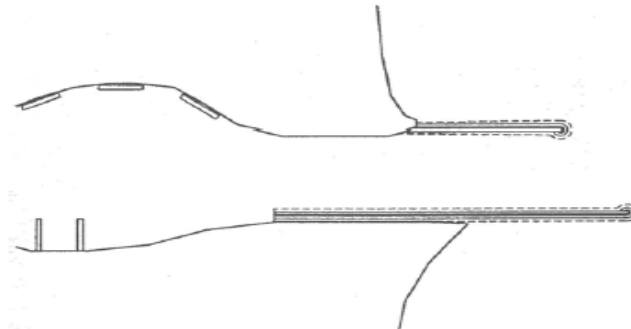


Figura 8. Rompeolas paralelos entre si

d) Dimensionamiento geométrico del rompeolas

El procedimiento sugerido comprende considerar la configuración de la costa, el o los oleajes más desfavorables, la topografía general y las condiciones de profundidad deseables de acuerdo con las dimensiones de la máxima embarcación que se esperaría recibir en el horizonte de proyecto, así como las que llegarían a las distintas terminales.



Dado que la función primordial de los rompeolas es la de proporcionar abrigo y protección a zonas interiores contra los efectos del oleaje, se requerirá de información al respecto, a saber:

- **Oleaje extremal:** Cuando la zona en la que se planea construir un puerto es propensa a la incidencia de huracanes, se deberá elaborar un análisis estadístico de las diferentes trayectorias que han seguido los huracanes en la zona, para posteriormente seleccionar la altura de la ola de diseño de acuerdo al período de retorno preestablecido: Además, se deberán definir también las direcciones de mayor riesgo para el oleaje extremal.
- **Oleaje normal:** Es necesario determinar las direcciones de incidencia del oleaje normal, así como la altura de la ola significativa para la dirección más desfavorable, independientemente de su frecuencia.

Debido a lo anterior, los rompeolas deberán proteger las instalaciones portuarias y las embarcaciones del oleaje que provenga de la dirección más adversa, tanto para el oleaje extremal como para el oleaje normal. Además, en el arreglo de planta de un rompeolas deberán contemplarse las condiciones de difracción y sus efectos en las áreas protegidas considerando los niveles de operatividad en dicha áreas. Será necesario proponer varias opciones de disposición en planta de los rompeolas y determinar de acuerdo con ellas las condiciones de agitación que se presentarían en el interior del puerto. El proceso de dimensionamiento comprende, por un lado, la disposición en planta que define la longitud tentativa de los rompeolas, y por otro lado, el diseño al nivel de ingeniería básica de la sección transversal de la estructura.²⁰

e). Disposición en planta

El proceso considera inicialmente definir la operatividad del puerto que consiste en establecer, de acuerdo con el tipo de puerto, el porcentaje de tiempo anual que el puerto podría operar, desde el punto de vista de las condiciones de agitación impuestas por el régimen de oleaje. Normalmente debe considerarse un porcentaje de operatividad general de cuando menos el 95% del tiempo.

Conforme con lo anterior, las condiciones permisibles de operación se definen según el tipo del barco, su tamaño y, para este nivel de análisis las alturas de la ola máximas permisibles de acuerdo con el tipo de terminal serían

- Contenedores y carga general entre 0.3 y 0.5 m
- Granelero entre 0.5 y 0.75 m

La verificación de las condiciones de agitación puede hacerse para las distintas opciones de arreglo en los rompeolas.

²⁰ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.



f) Diseño estructural

Oleaje de diseño

Generalmente la altura de la ola de diseño para una estructura de enrocamiento es menor que la máxima dentro de una distribución de alturas. En algunas otras ocasiones, la altura de la ola de diseño es la que puede presentarse en la profundidad a la que llega la obra, es decir, este es el criterio de la máxima ola que puede romper a esa profundidad.

También es frecuente recurrir al concepto de la ola significativa, aunque este criterio se aplica principalmente en obras de menor importancia. Por la importancia que tiene en el costo total de un puerto, generalmente el diseño final se hace usando modelos físicos y siguiendo criterios de diseño óptimo en el que se acepta un cierto porcentaje de destrucción en condiciones extremas, cuyo costo de mantenimiento es menor que la anualidad de la inversión para daño 0.

Rompeolas de enrocamiento

Los rompeolas de enrocamiento son generalmente de sección trapezoidal. Generalmente se integra por tres partes básicas:

- La parte exterior o coraza, cuya función principal es disipar la energía del oleaje al romper sobre la estructura, pero que deja grandes huecos entre los elementos de gran tamaño que la componen.
- La capa secundaria compuesta por rocas de menor peso que el de las de coraza, que tiene la doble función de soportar la coraza y de reducir los espacios entre los elementos de esta capa, impidiendo parte del paso del agua resultante de la rotura del oleaje, hacia la zona protegida.
- El núcleo, compuesto por elementos de menor peso y tamaño que a la vez que soportan las dos partes exteriores, evitan el paso completo de la agitación proveniente de la ola rompiendo, hacia las áreas protegidas.

La práctica de proyecto señala que a partir del cálculo del peso necesario para que los elementos de la coraza resistan la acción del oleaje de diseño, se determina el peso de los componentes de la capa secundaria y del núcleo, observando que la relación entre pesos cumpla con la condición de filtro que evite, por una parte el paso de la agitación y por otra que los elementos de menor tamaño se fuguen a través de los huecos dejados por los de mayor dimensión. Por práctica se recomienda el uso de la fórmula de Hudson para determinar el peso de los elementos de coraza:

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Donde:

W = Peso de un elemento de coraza, en toneladas.

H = Altura de la ola de diseño, en metros

W_r = Peso específico de la unidad de coraza, en toneladas por metros cúbico.

S_r = Densidad relativa específica de la coraza = $S_r = W_r/W_a$

W_a = Peso volumétrico del agua de mar en toneladas por metro cúbico.

KD = Coeficiente de trabazón que depende de las características físicas de la roca o del material, generalmente concreto simple de que se hagan los elementos de coraza cuando no haya roca del peso requerido.

Θ = Ángulo de talud con la horizontal

El peso de los elementos correspondientes a las capas subsecuentes: capa secundaria, núcleo y talón antisocavación, se definirá en función del peso W de los elementos de la coraza como se indica en la figura 9 para condiciones de oleaje rompiente y en la figura 10 para condiciones de oleaje no rompiente.

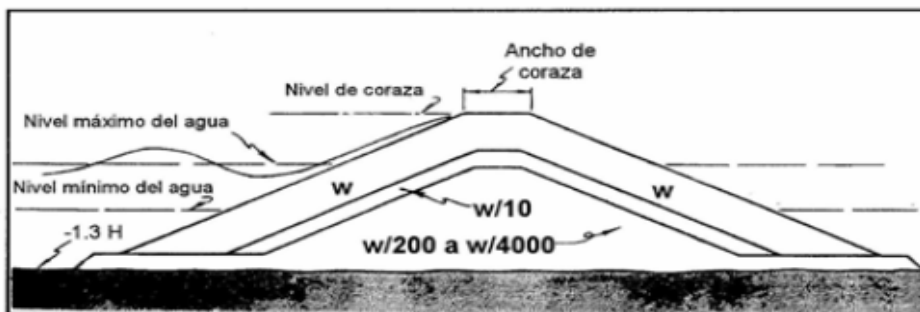


Figura 9. Rompeolas tipo para oleaje rompiendo (Profundidad < 1.3 diseño)

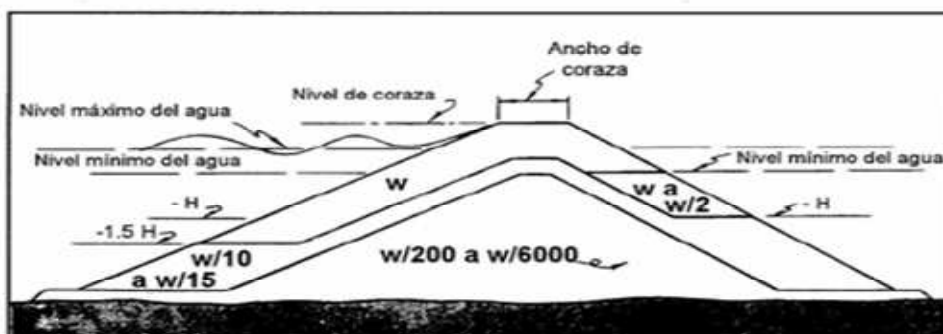


Figura 10. Rompeolas tipo para oleaje que no rompe (Profundidad > 1.3 diseño)



Coraza con elementos ratificales de concreto simple

Los valores que adopta el coeficiente de trabazón K_D están en función del tipo de elemento seleccionado para la construcción de la coraza, el cual puede ser roca o un elemento prefabricado, generalmente de concreto, como son; cubos, dolos, tetrápodos, tribarra o core-loc. Esta elección dependerá de la ubicación y características de los bancos de roca en cuanto al tamaño y peso máximo de piedra que es posible extraer, al costo de explotación del banco, así como a la lejanía y costo de traslado del material, comparado con el costo de fabricación de elementos artificiales cerca del sitio de construcción y su posterior colocación.

En la tabla 1 presenta los valores de K_D sugeridos para el diseño de rompeolas. En esta misma tabla se presentan los taludes recomendados para cada uno de los elementos, a partir de la cotangente del ángulo de inclinación.²¹

Tabla1. Valores de K_D sugeridos para el diseño de rompeolas

Elemento de coraza	K_D Cuerpo		K_{Δ} Morro		Talud
	Oleaje rompiente	Oleaje no rompiente	Oleaje rompiente	Oleaje no rompiente	cot θ
Roca poco angulosa (colocada en 2 capas)	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 a 3.0
Roca poco angulosa (colocada en ≥ 3 capas)	2.8	3.2	2.1	2.3	1.5 a 3.0
Roca angulosa (colocada en 2 capas)	3.5	4	2.9 2.5	3.2 2.8	1.5 2
Roca angulosa (colocada en ≥ 3 capas)	3.9	4.5	3.7	4.2	1.5 a 3.0
Cubos	6.8	7.8	4	5	1.5 a 3.0
Tetrápodos	7.2	8.3	5.9	6.6	1.5
			5.5	6.1	2
			4	4.4	3
Tribar (colocada en 2 capas)	9	10.4	8.3	9	1.5
			7.8	8.5	2
			7	7.7	3
Dolos	22	25	15	16.5	2
Core-loc	13.5	16	10.5	13	1.5 a 2.0

Altura de la corona

La altura de una estructura como la que se está analizando depende de que si se permite el que exista *overtopping* (rebase de la ola) sobre ella.

²¹ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.

La existencia o no del rebase (*overtopping*) depende del fenómeno de lamido de la ola (*run up*) y este a su vez depende de la pendiente, porosidad y rugosidad de la capa de la coraza. En la figura 11 se define este fenómeno

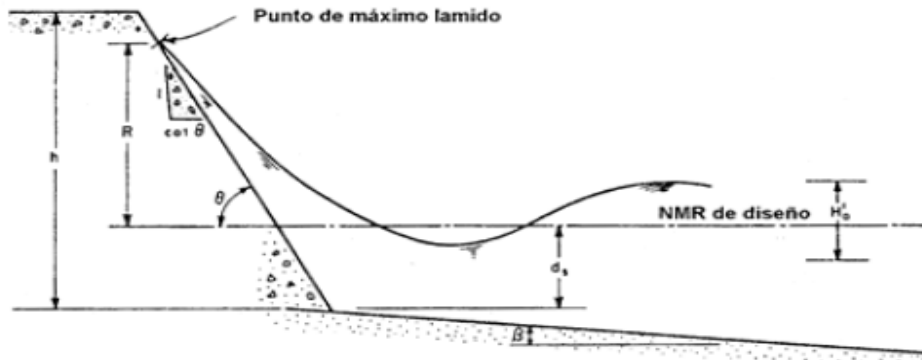


Figura 11. Esquema de definición de *run up* y de *overtopping*

Para calcular el *run up* se recurre, en primera instancia a fórmulas y gráficas empíricas; el diseño final se verifica en modelos físicos.

Ancho de la corona

El ancho de la corona depende principalmente de la cantidad de *overtopping* que se desee permitir, de las limitaciones constructivas; y en general se calculan con la siguiente expresión.

$$B = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

Donde:

B = Ancho de la cresta, en metros

n = Número de rocas (n=3 mínimo recomendado)

K_{Δ} = Coeficiente de capa. Ver tabla 2

W = Peso de las unidades de coraza, en kilogramos

W_r = Peso específico de la unidad de coraza, en kilogramos por metro cúbico



Colocación de los elementos y espesor de las capas.

Con objeto de que se cumpla con la condición de filtro, tomando en cuenta la porosidad de los elementos componentes de cada capa, de acuerdo con la forma de colocación, generalmente hecha al azar, se determina el número de ellas que es necesario para satisfacer dicho requisito.

Tabla 2. Número de capas (n), forma de colocación, valores del coeficiente de capa (K_{Δ}) y porosidad para los diferentes elementos utilizados en los rompeolas.

Elemento de coraza	n	Colocación capa	K_{Δ}	Porosidad %
Roca poco angulosa	2	Azar	1.02	38
Roca angulosa	2	Azar	1.15	37
Roca angulosa	3	Azar	1.1	40
Cubos	2	Azar	1.1	47
Tetrápodos	2	Azar	1.04	50
Cuadrípodo	2	Azar	0.95	49
Tribar	2	Azar	1.02	54
Dolos	2	Azar	1	63
Core-loc	1	Azar	1.05	60 a 64

Espesor de las capas

Una vez seleccionados los elementos que constituirán la sección transversal y su peso, se determina el espesor de cada capa, por medio de la siguiente expresión.

$$T = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

Donde:

T = Espesor promedio de la capa, en metros

n = Número de elementos que componen la capa de coraza

K_{Δ} = Coeficiente de capa. Ver tabla 2

W = Peso de los elementos de la capa, en kilogramos

W_r = Peso específico de los elementos, en kilogramos por metro cúbico



La densidad de colocación de los elementos está definida por:

$$\frac{N_r}{A} = nK_{\Delta} \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{W}{W_r}\right)^{2/3}$$

Donde:

N_r = Número de elementos requeridos para un área dada

A = Área dada en metros cuadrados

K_{Δ} = Coeficiente de capa. Ver tabla 2

P = Porosidad promedio, en % . Ver tabla 2

Es importante mencionar que como se indican en las figuras 4 y 5, los pesos de los elementos de las diferentes capas están dadas por especificaciones tales como que la capa secundaria sea $W/10$ y el núcleo de $W/200$ a $W/4000$. Sin embargo, se comprende que durante la construcción, es imposible lograr que los tamaños que se obtienen de la cantera sean uniformes, por lo que los valores estimados tienen tolerancias que fluctúan entre el 75 % y el 125%.

Lo que es importante es considerar que estos enrocamientos funcionen con las condiciones de un filtro de tal manera que las piedras pequeñas del núcleo no vayan a salir por los vacíos de la capa secundaria, y que los elementos de ésta a su vez, no vayan a salir por la de la coraza. Por lo anterior, se debe revisar que la condición de filtro cumpla con la siguiente especificación:

$$D_{15} (\text{filtro}) < D_{85} (\text{cimentación})$$

Finalmente es conveniente mencionar que siempre es recomendable colocar una plantilla entre el fondo natural y la estructura ya que esto la protegerá de erosiones que se presentan al pie provocadas por oleaje. Las condiciones en las cuales no sería necesario la utilización de esta plantilla son:

- Cuando la profundidad es mayor de 3 veces la altura de la ola
- Cuando el fondo es rocoso
- Cuando las corrientes producidas no sean lo suficientemente grandes para mover material del fondo.

g) Diseño geométrico

El diseño por niveles de un rompeolas se refiere al nivel sobre el fondo marino que debe tener la estructura para impedir el paso del oleaje, dependiendo de las restricciones necesarias en la zona del puerto. Para calcular la altura del rompeolas es necesario definir si se permitirá que la ola de diseño rebese la estructura por la parte superior, es decir, la existencia del rebase de la ola (*overtopping*) sobre ella. La ocurrencia o no de este rebase depende del fenómeno de lamido de



una ola (*run up*) y este a su vez depende de la pendiente, porosidad y rugosidad de la capa de coraza²². Por lo tanto, el nivel de la corona considera la suma de los diferentes niveles debido a la profundidad, mareas, oleaje, entre otros y se define como:

$$N_c = N_f + P + A_m + M_t + A_o + L_o + B_l$$

Donde:

N_c = Nivel de corona, en metros

N_f = Nivel de fondo, en metros

P = Profundidad, en metros

A_m = Amplitud de marea, en metros

M_t = Marea de tormenta, en metros

A_o = Amplitud de oleaje de diseño, en metros

L_o = Lamido de ola (*run-up*), en metros

B_l = Bordo libre, en metros

Por otra parte, el ancho de la corona dependerá principalmente de la cantidad de rebase que se desee permitir, de las limitaciones constructivas y del uso que se le pretenda dar a dicha superficie. Es común que los rompeolas se diseñen para permitir el tránsito de vehículos o de equipos de construcción sobre la corona, por lo que el ancho de ésta deberá adecuarse a las características de los equipos.

h) Proceso constructivo

Para llevar a cabo el proceso de construcción de este tipo de obras, se recomienda desarrollar los siguientes pasos.

- Trasladar el material pétreo adecuado desde los bancos de material al sitio de proyecto. El material deberá ser transportado en vehículos apropiados.
- Todo lo relativo a líneas y niveles se hará de acuerdo con lo señalado en el proyecto correspondiente.
- El núcleo se construirá con fragmentos de roca, de tamaño mínimo de veinte centímetros o como lo indique el proyecto.
- Cuando el nivel de la corona del núcleo coincida con el nivel cero (0.00) o esté debajo de éste será necesario el uso de chalanes, charolas de volteo manejadas con grúa u otro sistema similar, con el cual se pueda depositar el material pétreo. Cuando el nivel de la corona del núcleo se encuentre arriba del nivel cero (0.00), el núcleo se podrá construir en parte con camiones de

²² Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez

volteo, pero los taludes de proyecto se afinarán colocando la piedra especificada, en el proyecto por medio de grúa debidamente equipada.

- La capa que inmediatamente protege al núcleo, estará formada por fragmentos de roca de los pesos indicados en el proyecto. Para evitar una clasificación mecánica especial, se indicarán en el proyecto las variaciones que podrán tener dichos fragmentos.
- La colocación de la roca para formar la capa secundaria, deberá hacerse con la grúa adecuada y equipada con los aditamentos apropiados autorizados, como son: estrobos, almejas, redes, etc. La capa secundaria se irá protegiendo con piedra de coraza, a medida que se avance en el trabajo de acuerdo con las indicaciones del proyecto.
- Antes de continuar con la construcción de un nuevo tramo de núcleo y de la capa secundaria, se deberá proceder a colocar la siguiente capa que constituirá la coraza, también con el empleo de grúa adecuada, que permita acomodar la piedra de acuerdo con las líneas y niveles indicados en el proyecto, la corona deberá tener un ancho mínimo de 2.50 a 3.00 m.
- En el caso de tener que usar elementos artificiales de concreto, deberá establecerse un patio de colado y disponer el número de cimbras necesarias de acuerdo con el programa de construcción y el tiempo requerido para que los elementos alcancen el 75% de la del proyecto. Las cimbras son metálicas (Ver figura 12)
- Las piezas de concreto se deberán descargar de los vehículos que los transporten del patio de colado y colocarlos en la obra con el empleo de una grúa con capacidad suficiente y equipada con los aditamentos indicados para el manejo del elemento de que se trate. (Ver figura 13)



Preparación del patio de colado



Fabricación de cimbras metálicas



Almacenado en patio de colado

Figura 12. Proceso de construcción de elementos artificiales



Figura 13. Transporte y descarga en el sitio de la obra

4.2.1.2 Escolleras

Su función es servir para proteger la desembocadura de ríos y lagunas litorales en contra del transporte litoral, manteniendo condiciones de profundidad y funcionamiento hidráulico requeridos de acuerdo con el objetivo del proyecto. Son necesarios datos sobre el régimen de oleaje, sistemas de corrientes marinas y derivadas del cuerpo de agua cuya comunicación con el mar se pretende asegurar. Debe analizarse el transporte litoral y el efecto de las mareas. En el caso de asegurar la entrada y salida de embarcaciones, las características de estas y los efectos del viento y las corrientes sobre ellas. Habrá que tomar en cuenta las características del material del fondo y su estratigrafía superficial. De acuerdo con la importancia del proyecto se podría requerir de estudios de simulación matemática y física. Se incluye también datos sobre disponibilidad de materiales para construcción de la escollera.

a) Dimensionamiento en planta

En la siguiente figura se ilustra la disposición de planta típica de las escolleras, además de los efectos que estas obras originan en la configuración de la playa, debido a los cambios originados en el arrastre de sedimentos. Como se aprecia en la figura 14, la playa experimentara un crecimiento del lado de la escolera que obstaculiza el paso de las partículas, y en el lado contrario la playa sufrirá erosión. La magnitud del volumen de sedimentos retenidos por las escolleras dependerá de su longitud; a mayor longitud mayor retención de partículas y mayor inversión de construcción, pero menor costo de dragado. (Ver figura 15)²³

²³ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez

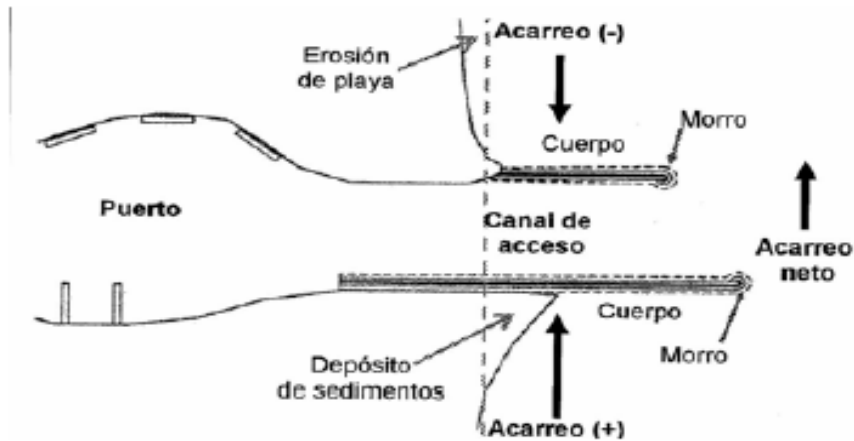


Figura 14. Disposición en planta de escollera

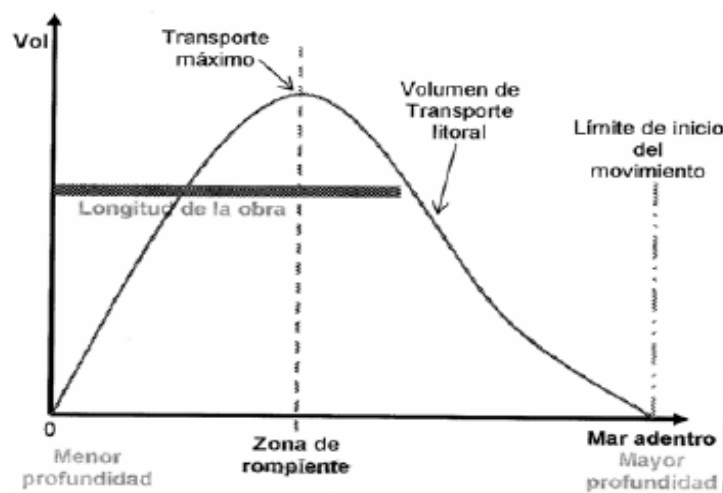


Figura 15. Distribución de transporte litoral con la profundidad

El proceso considera hacer el dimensionamiento de la sección transversal, de manera que la separación entre las escoleras sea compatible con el ancho máximo que podría alcanzar el canal de acceso, sin que ello afecte la estabilidad de las escoleras, sobre todo si se trata de estructuras de talud hechas a base de enrocamiento y coraza natural o artificial.

Establecida la separación mínima necesaria, que sería en los extremos si las escoleras fueran convergentes, y en promedio si fueran sensiblemente paralelas, se procederá a analizar una serie de opciones que permitan comparar el costo de inversión en las escoleras de acuerdo a la longitud considerada, con los costos de dragado de construcción y mantenimiento. A ese respecto, en el diseño de las escoleras se combinan dos factores de costo importantes, por una parte desde el punto de vista de evitar el azolvamiento del canal protegido y reducir a un

mínimo el dragado de mantenimiento, las escolleras tendrían que llevarse hasta el extremo en el mar del canal de acceso.

Por la otra lo anterior llevaría a un valor importante del costo inicial de construcción, por lo que si se hacen más cortas este costo se reduce, pero se incrementa el de dragado de mantenimiento. En la figura 16 se presenta una gráfica que ejemplifica la forma de encontrar la combinación óptima de longitud de escolleras vs costo de mantenimiento.

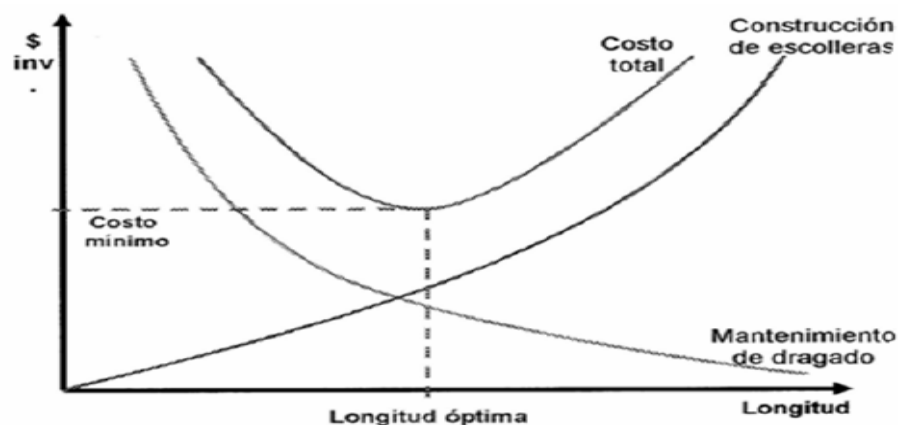


Figura 16. Longitud óptima de escolleras

b) Diseño estructural

El diseño estructural de las escolleras es similar al de los rompeolas, en lo que se refiere a la configuración de la sección transversal del cuerpo y del morro, así como al peso de los elementos y al establecimiento de los niveles de corona.

c) Proceso constructivo

El proceso constructivo para las escolleras mantiene los mismos pasos para el caso de los rompeolas.

Los tipos de obras que se usan para la protección costera son muy variadas y dependen de la importancia de los bienes a defender así como de los materiales disponibles en la zona; en términos generales, se dividen en estructuras de gravedad y estructuras con tablestacas para fines de inundación; y de espigones y rompeolas para mitigar la erosión y estabilizar la línea de costa.²⁴

²⁴ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez



4.3 Obras perpendiculares. Criterios de diseño

Espigones o diques perpendiculares.

Son obras perpendiculares a la costa cuyo objetivo es el de interrumpir el transporte longitudinal de sedimentos, propiciando que la propia dinámica litoral genere un tramo de costa adicional allí donde ha habido erosión ó bien donde nunca ha existido.

Se trata de una medida muy utilizada, aunque hay que prever que al igual que en el caso de un dique exento, y aunque ahora se produzca de distinta manera, el espigón generará una erosión costera en sus inmediaciones, centrándose en este caso aguas debajo de su ubicación con respecto al oleaje predominante. Es por ello que difícilmente se utiliza uno de estos elementos de forma aislada, siendo lo habitual encontrarlos en grupo.

Son obras perpendiculares a la playa. Su función es protegerla de procesos erosivos, permitiendo mantener un cierto ancho de playa, reteniendo la arena, sea en forma natural o preservando rellenos para compensar pérdidas de material. La información consecuente es, fundamentalmente la relación del régimen de oleajes normales y extraordinarios, la marea de tormenta si la hubiera y sus efectos sobre el transporte litoral. Aunque la forma más común de construir estas estructuras es utilizar roca, podrían emplearse otros tipos de materiales como tabla-estacas de concreto, pilotes, gaviones, etc. Los espigones pueden ser permeables o impermeables, altos o bajos y fijos o ajustables.

Cuando se trata de detener totalmente el paso de las arenas, se utilizan los espigones impermeables. En ocasiones es necesario permitir el paso parcial de las arenas, para lo cual se usan las estructuras permeables que tienen varias aberturas. Los espigones permeables para defensa de costas han resultado ineficientes, debido a que las zonas para el paso de las arenas se obturan. Este tipo de espigones es eficiente en la defensa de márgenes de ríos, por existir una corriente perfectamente definida.

Un procedimiento utilizado para que los espigones de defensa de costas permitan el paso de las arenas al otro lado de la obra, consiste en construirlos con su cota de coronamiento variable, de tal manera que en el extremo, las olas de temporal o las olas con marea alta pueden pasar sobre la estructura. Es frecuente tener que utilizar varios espigones seguidos para defender un trecho de playa amplio, constituyendo un “sistema de espigones”

a) Dimensiones De Los Espigones

La sección transversal de los espigones depende de la magnitud de las olas incidentes. El tipo de la obra se define por los materiales disponibles y por el procedimiento de construcción. La altura, longitud y espaciamiento entre espigones depende del diseño funcional de la protección. La longitud del espigón se define por las profundidades existentes en la zona y por la distancia hasta la cual se desea interceptar el transporte litoral, de manera que siempre se rebase la línea de rompiente. Los espigones deben arrancar desde la berma natural de la playa hacía el mar,



conservando la cota de la berma en su primera parte y prolongándose hacia tierra la longitud necesaria para evitar el blanqueamiento en el arranque de la obra. Una segunda parte del espigón se construye con pendiente paralela a la de la playa; la elevación del extremo en esta parte de obra dependerá del funcionamiento de la misma, es decir, si permite o no el paso parcial de las arenas. La última parte del espigón se construye con cota uniforme hasta tener la longitud deseada. Esta cota es baja con el objeto de ahorrar material, generalmente un poco arriba del promedio de mareas bajas

b) Espaciamiento entre espigones

Al construir una serie de espigones, la línea de la playa entre dos de ellos se orientará necesariamente en la dirección normal a la incidencia del oleaje presentándose en esa zona de azolve **a** y unas de erosión **b**, por lo que el volumen **a** será igual al volumen **b**. Con lo anterior se puede predecir la longitud del espigón que es necesario llevar tierra adentro, para evitar su flaqueo. Esta longitud dependerá de la incidencia del oleaje y de la separación entre espigones, ya que si la primera permanece constante, a mayor separación entre espigones, mayor retroceso de la playa.

Si el aporte litoral continúa y la arena rebasa el extremo de uno de los espigones, se acumula en la zona comprendida entre espigones, avanzando la playa en dirección normal a las crestas de las olas, hasta un punto tal en que la arena rebasa al siguiente espigón. Cuando se tienen variaciones en la dirección del oleaje, se pueden presentar condiciones límites. Durante el paso de una dirección de playa a la opuesta, se presenta una situación de máxima recesión de la playa a la mitad de la distancia entre espigones, de tal manera que se cumpla que el volumen de la zona **b** sea igual a la suma de los volúmenes **a** y **c**, siempre y cuando la línea de la playa quede orientada en todos sus puntos de dirección normal a los del oleaje. Con el empleo de planos de oleaje se determina la orientación de equilibrio de la playa para una condición dada.

Para provocar modificaciones locales, en ocasiones es necesario utilizar espigones en forma de **T** o de **L**, obteniéndose resultados muy satisfactorios, por la siguiente razón: Cuando se presentan olas de temporal, se pierde material que se mueve en sentido perpendicular a la línea de playa, de tal manera que al provocar el espigón en **T** o en **L** una expansión lateral de la ola, se disminuye notablemente ese efecto, reteniendo el material.

En un sistema de espigones puede esperarse que las playas intermediarias avancen con el sólo aporte del material litoral, o que se acelere su relleno utilizando material apropiado extraído de otros sitios. Si se utiliza el procedimiento de relleno natural, es necesario construir primero el último espigón del sistema y los subsecuentes en el sentido opuesto a los acarrees.

El segundo espigón deberá construirse una vez que el primero se ha rellenado completamente; este procedimiento tiene la ventaja de ubicar los espigones exactamente en el sitio que les corresponde. Sin embargo, como la construcción del sistema de espigones tiene que hacerse en

forma lenta, se elevan los costos de construcción. Es más conveniente construir todo el sistema, según se haya proyectado y proceder a hacer rellenos artificiales.(Ver figura 17)²⁵

c) Ubicación

La correcta ubicación y espaciado de los espigones para la mejora de una entrada de playa es muy importante. Para determinar la ubicación se deben de tener en cuenta factores de tipo: hidráulicos, de navegación, control estructural, sedimentación y mantenimiento.

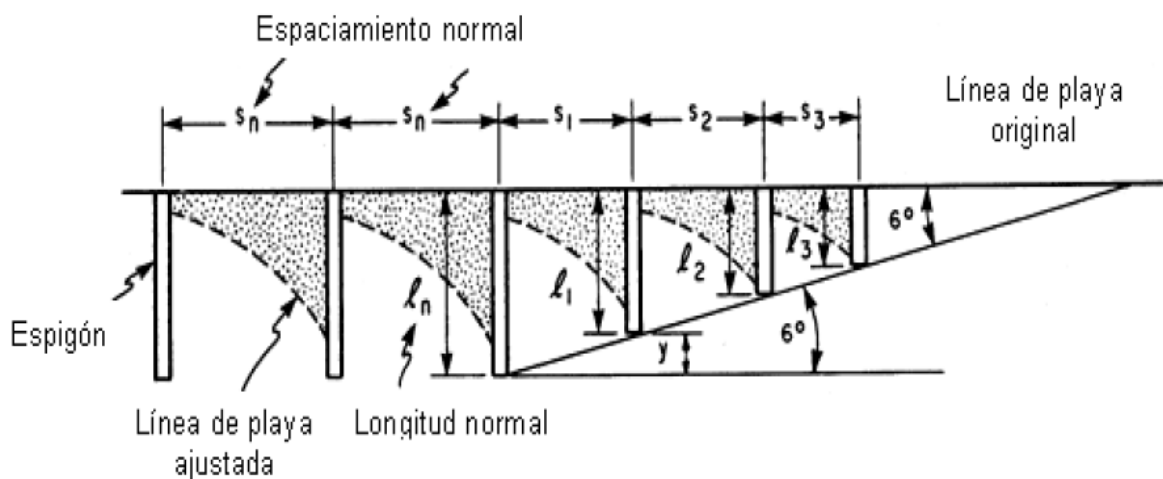


Figura 17. Grupo de espigones

d) Espigones en conjunto.

Cuando se diseña un campo de espigones, es común que el primer espigón en la dirección de acarreo litoral predominante sea el de mayor longitud y esta decrezca conforme termina la zona por proteger de manera que la afectación a la playa al final de dicha zona prácticamente no se vea alterada por los cambios introducidos en el área protegida (Figura 18)

²⁵ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez



Figura 18. Campo de espigones

4.4 Obras paralelas. Criterios de diseño

Existen dos tipos: sobre la línea de playa (las más comunes) y separadas de ella. El primer tipo tiene como función proteger la línea de playa en contra de la acción directa del oleaje y preservar instalaciones detrás de la línea. Existen diversas formas de construir estas protecciones, desde la simple colocación de roca hasta muros con deflector. Con las segundas, además de la protección directa, se busca también acumular arena detrás de la zona protegida. En este caso el tipo de obra más común es a base de enrocamientos. En ambos casos es necesaria la información sobre las características del oleaje ya propagado hasta la costa. En el segundo se deberá examinar también el comportamiento del transporte litoral por el efecto del obstáculo. El propósito de este tipo de protección es defender la línea de costa contra los daños ocasionados por la acción del oleaje. Estas obras pueden ser muros o simplemente revestimientos. El tipo y forma de la obra dependerá de las condiciones locales y de los materiales aprovechables en el lugar. Los muros pueden ser verticales o inclinados, hechos de mampostería, concreto, tablestacas o enrocamiento. En cada caso es necesario definir la ubicación, longitud y altura de las obras.

En general, cuando se trata de proteger una playa, se construye la obra en la parte seca; si hay necesidad de corregir el alineamiento de la costa ganando terrenos al mar, es necesario construir las obras de protección en la zona cubierta por el agua²⁶

²⁶ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez



Para desarrollar el estudio general y definir las obras necesarias para mejorar una playa es necesario conocer:

- La dirección predominante del transporte litoral
- El régimen de la costa en un ciclo anual, conociendo la energía de la ola incidente y de su componente tangencial en cada mes, para determinar y estimar las zonas de depósito y de erosión, cuantificando, en forma relativa respecto a diversos puntos de la playa en estudio.
- Observaciones comparativas de las playas para épocas diversas por medio de fotografías aéreas y si es posible, en las mismas épocas disponer de levantamientos hidrográficos de la zona.
- La granulometría y densidad del material playero; ya que si hay necesidad de nutrir la playa con material, éste deberá ser de características semejantes al existente. Si se coloca material más fino se va hacía el mar hasta la zona que le corresponde por su tamaño. Si es material más grueso la playa cambiará de pendiente, alterando su régimen general.
- Las mareas existentes en la zona; ya que la variación del nivel del agua afecta al régimen de la costa.

q) Longitud y altura de la obra:

Las obras de protección marginales defienden sólo la zona que cubren, por lo que su longitud será igual a la de la zona por defender. En los extremos de la obra es necesario proteger adicionalmente hacía el interior. La altura será necesaria para que la ola no rebase sobre la ola.

Altura de la ola sobre el agua = 1.5 Valor medio / Altura de la ola

Para determinar el valor conveniente para cada caso habrá que tomar en cuenta la forma de la estructura (vertical o de talud), la rugosidad, la profundidad en el pie de la obra y las características de las olas.

b) Diseño estructural de obras de protección

El diseño de las estructuras se hará considerando la ola máxima que se espera tener en el sitio. Ahora bien, para el proyecto interesará conocer el espectro de oleaje en aguas profundas, que corresponda al oleaje reinante para cada caso particular y en las direcciones por analizarse se trazarán los correspondientes planos de oleaje, para determinar los coeficientes de refracción. Debido a que es difícil tomar observaciones sistemáticas de las características de las olas (dirección, altura y período), en casos comunes es preferible consultar las cartas del “Estado de Agitación”, donde se tienen estadísticas de la frecuencia, dirección y alturas del oleaje correspondientes a un período de 10 años.

Al obtener la dirección resultante en la zona de aguas profundas se elabora el plano de oleaje para aguas bajas y redefine el ángulo de incidencia e las crestas de las olas con respecto a la

línea de playa para estudiar el régimen de la costa. Construidos los planos de oleaje en las direcciones en estudio, se determinan para cada dirección los coeficientes de refracción. Del estudio ciclónico se conocen las alturas de ola máximas en cada dirección estudiada; de la dirección en que se obtenga el valor máximo para el producto: altura ciclónica X coeficiente de refracción, se fijará la altura de ola máxima en el lugar de la obra, con la cual se efectuará el cálculo. Las estructuras tradicionales en México son las estructuras de enrocamiento para proteger los taludes, acantilados y zonas costeras; las estructuras de gravedad también son usadas sin embargo al igual que las estructuras a base de tablestaca se usan principalmente cuando se va a aprovechar el frente de agua. El costo de los diferentes tipos de obras se justifica cuando los efectos de oleaje o de inundaciones amenazan inversiones sustanciales realizadas.

c) Estructuras de gravedad

Las estructuras de gravedad son esenciales para prevenir inundaciones por tormenta que generan oleaje de gran magnitud; su diseño debe considerar la elevación del coronamiento para minimizar el overtopping de los tormentas y el run up del oleaje; al ser estructuras masivas su diseño debe considerar la estabilidad de su peso contra el deslizamiento y momento de volteo; además debe considerarse socavación al pie de la obra. (Ver figura 19)

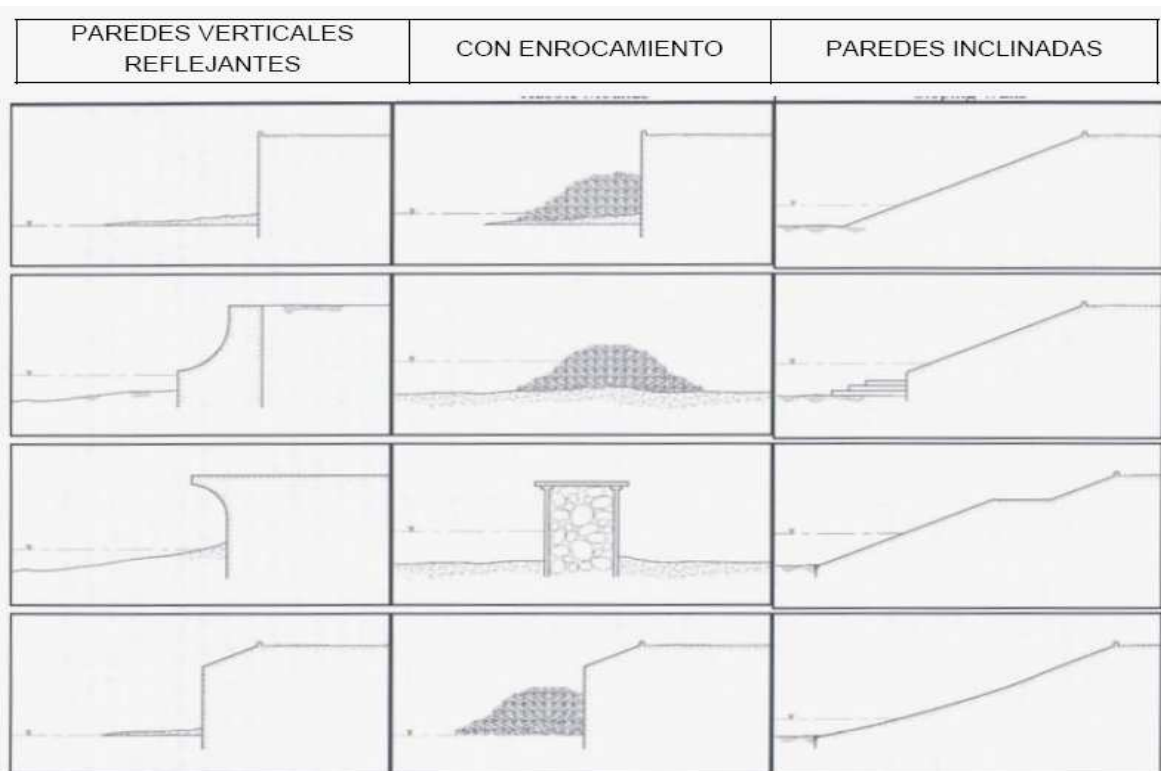


Figura 19. Estructuras de gravedad

c) Estructuras de tablestacado. (Figura 20)

Estas estructuras son de acero o madera y por lo general son de paredes verticales y sirven como muros de retención para fijar la posición del frente de agua y prevenir el deslizamiento de taludes hacia el mar, su propósito principal es reducir la pérdida de la tierra hacia el mar. Las tablestacas pueden ser en cantiliver o con anclajes: en el caso de cantiliver su resistencia depende del empotramiento en el suelo, por lo tanto el tipo de suelo es importante para determinar la longitud efectiva suficiente para prevenir el volteo. La socavación en la base produce pérdida en la longitud de empotramiento y puede poner en riesgo la estabilidad de la estructura, por lo que debe ser un factor analizar. En al caso de tablestacas ancladas obtienen un soporte adicional de las anclas enterradas del lado de tierra o de pilotes colocados del lado del mar. En virtud de que la resistencia a fuerzas producidas por el oleaje es dada por el relleno detrás de la pared es necesario conservar este material con filtros o canalizando el drenaje del agua para evitar el lavado del material de relleno por el rebase del oleaje, así como para disminuir la presión de poro en casos de lluvias²⁷

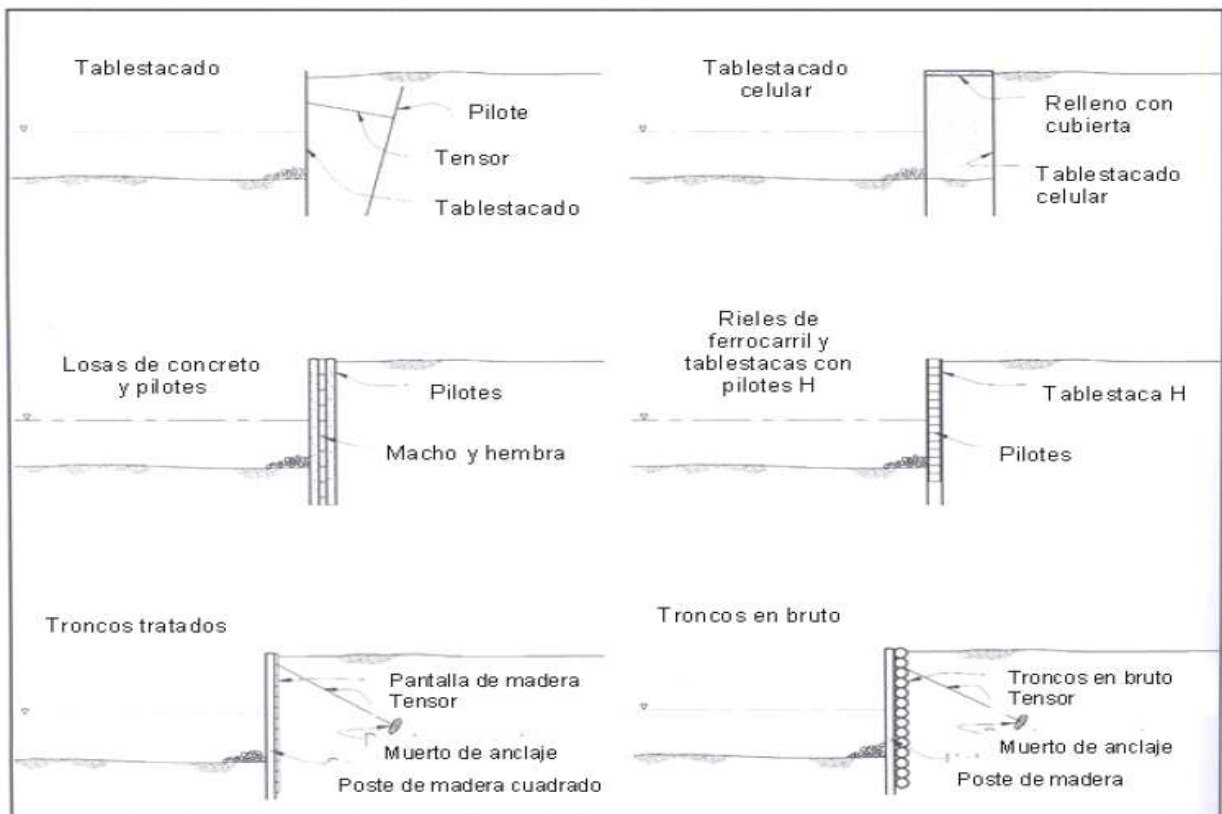


Figura 20. Tablaestacados

²⁷ Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez

e) *Revestimientos, enrocamientos y obras paralelas.*

Los revestimientos pueden hacerse a base de enrocamiento, cubiertas rígidas o flexibles de concreto o materiales artificiales. Los tres factores principales son: una capa de coraza estable, una subcapa o malla de filtro y la berma al pie del talud; subcapa o filtro soportan a la coraza, aunque permiten el paso del agua a través de la estructura. La berma previene de una falla de la obra sumergida y proporciona soporte para todos los materiales antes mencionados, si la berma falla todo el revestimiento puede degradarse. (Ver figura 21)

Otra forma de protección es colocar estructuras paralelas a la costa a una cierta distancia que favorezca la interrupción del oleaje sobre la playa generando zonas de calma que propicien el crecimiento de la costa formando tómbolos. Una variedad de lo anterior es la creación de rellenos con arena y protegiendo estos rellenos sea con los recubrimientos mencionados o creando arrecifes artificiales que reduzcan la capacidad de transporte del oleaje, favoreciendo el depósito natural y/o preserven el relleno (Ver figura 22)

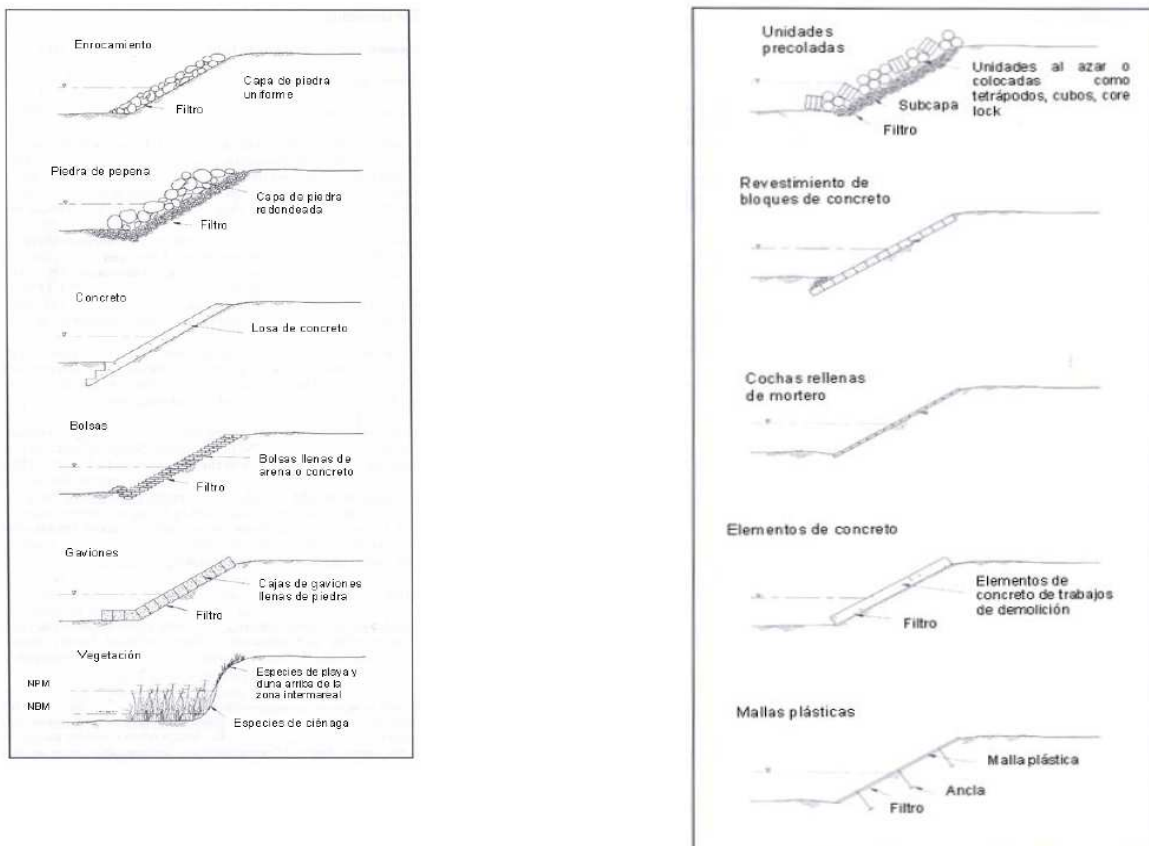


Figura 21. Enrocamientos y recubrimientos sobre la playa

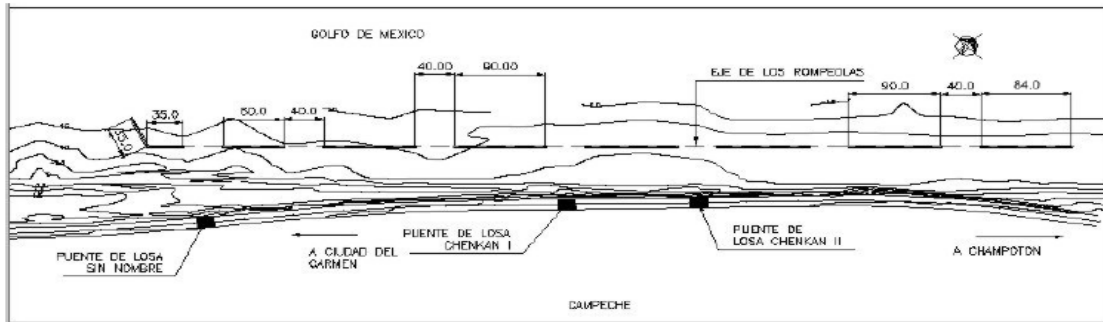


Figura 22. Obras paralelas separadas de la línea de costa

4.5 Arrecifes artificiales y rellenos

La creación de arrecifes artificiales se ha convertido en una de las estrategias más eficaces para la conservación de la biodiversidad marina en México y en el mundo. Día a día surgen nuevos proyectos y observamos como las estructuras artificiales creadas y desechadas por el hombre, son cubiertas de vida en el fondo marino. Un arrecife artificial, además de conservar la flora y la fauna marina, presenta una forma de desarrollar la economía en equilibrio con la naturaleza.

¿Por qué es importante conservar los ecosistemas marinos?

Nuestro planeta no debería ser llamado Tierra, sino Océano. El 70% del planeta está cubierto por mares y océanos. Es muy poco lo planeta y la supervivencia de la especie humana. Los ecosistemas costeros son sin duda los más valiosos recursos con los que cuentan los océanos. Su



riqueza depende en la generación de materia vegetal que, además de producir el oxígeno que respiramos, es la energía básica de todas las cadenas alimenticias. El fitoplancton y el alga marina son los productores primarios del océano y su abundancia varía de región en región. Los ecosistemas costeros que destacan en la producción de fitoplancton son los estuarios, las camas de alga, el mangle y los arrecifes. Estos producen de 16 a 20 veces más fitoplancton que los ecosistemas de mar abierto.

Un arrecife artificial es el posicionamiento estratégico de estructuras de diversos materiales, acondicionadas para proveer hábitat y refugio a diversas especies de flora y fauna marina. El hombre ha estado creando arrecifes artificiales desde hace muchos años. Estos arrecifes van desde cilindros de concreto, hasta grandes embarcaciones inservibles para su propósito original. Estas estructuras se colocan en sitios estratégicos, y se colonizan por flora y fauna de la zona de tal forma que se crean nuevos ecosistemas. El proceso de colonización comienza al poco tiempo del hundimiento, hasta estar completamente habitado y estable. El tiempo aproximado de completa colonización para una embarcación es de 10 años, pero se han observado escuelas de barracudas rodear una embarcación momentos después del hundimiento, en señal de territorialismo.²⁸

Beneficios de la Creación de Arrecifes Artificiales

1. *Disminución de presión sobre arrecifes naturales.*
2. *Generación de espacios para nueva vida submarina.*
3. *Beneficios económicos a la población local por medio del ecoturismo.*
4. *Disminución de pesca ilegal dificultando el uso de redes de arrastre.*
5. *Fuentes de ingreso para la Asociación Civil que permitan el apoyo de otros programas.*

4.5.1 Parámetros de Diseño

Dentro de este renglón, es muy importante tomar en cuenta, tanto el comportamiento esperado de los arrecifes artificiales, como la concepción global y los criterios que se emplean para este tipo de proyectos. Esto es, los parámetros básicos que deben considerarse son: por un lado, la distancia de emplazamiento de las obras respecto a la línea de playa; por el otro, el nivel de incidencia del oleaje que es admisible aceptar, una vez que éste ha pasado por encima de los arrecifes; y por último, la estabilidad de las obras ante el embate de fuertes oleajes.

En este sentido, los oleajes a considerar no son los mismos para cumplir con lo que establecen los criterios de diseño. Así, mientras en el primer criterio no interviene la altura del oleaje, en el segundo y el tercero, es muy importante comprender el tipo de oleaje a considerar. Es decir, el comportamiento general de la playa responderá conforme a las condiciones del oleaje normal,

²⁸ <http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/artificialreefbenefitsenespanol.pdf>



que es el predominante la mayor parte del año; sin embargo, la estabilidad de las obras más bien dependerá, de su capacidad para resistir los oleajes de mal tiempo.

Planteado lo anterior, es claro visualizar que para el proyecto de los arrecifes, se utilizarán dos diferentes oleajes de diseño: la altura del oleaje normal, que va directamente asociado con la respuesta del conjunto playa-arrecifes y la del oleaje significativo, que se relaciona con la estabilidad de las obras. A su vez, cada uno de estas alturas llevan implícito un período de oleaje diferente: en el primer caso, el período normal y en el segundo, el período significativo ó el período ciclónico, según el criterio que rija el diseño para estabilidad de los arrecifes.

4.5.2 Criterios de Diseño

El diseño de un arrecife artificial guarda gran similitud con el proyecto de un “rompeolas sumergido”, con la única diferencia de que estos últimos, no siempre se calculan con el fin de ayudar a la conformación ó protección de una playa, sino también con algunos otros propósitos.

La concepción de un proyecto de “Arrecifes Artificiales”, conlleva un cierto grado de complejidad, por la cantidad de conceptos y variables que intervienen en éste. Esto es, por un lado debe considerarse la respuesta de la zona comprendida entre la playa y los arrecifes, donde las variables relevantes, son: la distancia de los arrecifes a la playa, la profundidad de desplante de las obras y tanto la longitud de éstas, como la separación entre ellas.

En esas circunstancias, cuando se logra establecer una buena respuesta de la playa por la presencia de las obras, debido a un correcto emplazamiento en planta, procede determinar las dimensiones de la sección transversal del arrecife. Para ello, debe considerarse por un lado, su efectividad para reducir significativamente el oleaje incidente y permitir sólo el paso de un bajo porcentaje del mismo, a fin de propiciar las condiciones adecuadas de respuesta en lo relativo a reducción de energía y velocidad, para permitir la decantación de los sedimentos contenidos en el oleaje y/o la reducción de agitación y arrastre de material en la zona de sotavento del arrecife; y por el otro, la economía de las obras, proponiendo secciones lo más reducido posibles, para favorecer el monto de la inversión.

Una vez que se han logrado resolver estas dos condiciones, se debe proceder a determinar el peso y dimensiones de los materiales y/ó elementos artificiales, que constituirán la armadura de los arrecifes, de tal manera que puedan resistir los embates del oleaje, especialmente de tormenta.

Planteado lo anterior, el proyecto de los arrecifes se puede dividir en tres renglones básicos:

- Emplazamiento y Disposición en Planta
- Análisis de Transmisibilidad del Oleaje
- Estabilidad de las Obras



4.5.3 Emplazamiento y Disposición en Planta

Para determinar una adecuada ubicación de emplazamiento de obras sumergidas, se plantea de inicio, un arreglo de “n” número de rompeolas paralelos a la costa, con longitud y separación entre ellos, así como una cierta distancia entre el eje de cada estructura propuesta y la línea de playa (el número de estructuras depende de la zona a la que se pretende dar abrigo). En esas condiciones, es claro que pueden existir innumerables posibilidades de localización de las obras; sin embargo, existe un procedimiento empírico general (propuesto inicialmente por Pope y Dean en 1986 y ajustado por Ahrens y Cox en 1990), que permite efectuar una preevaluación de la respuesta de la playa (favorable cuando propicia acumulación de arena y desfavorable cuando ignora la presencia de la obra), ante una configuración arrecifal propuesta.

El método en cuestión, utiliza una expresión que calcula con los parámetros mencionados, el denominado “Índice de Playa”, cuyo valor, entre 1 y 5, determina el nivel de respuesta de la playa, siendo 1 la mejor respuesta y 5, la ausencia de respuesta). En ese sentido, si se verifica que la respuesta de la playa es acorde a lo esperado, procede continuar con un análisis de precisión, para corroborar y/o ajustar los resultados.

Este procedimiento de aproximación, para obtener las posibilidades de respuesta de la playa ante una configuración arrecifal con obras paralelas a la misma, se valúa con la siguiente expresión:

$$I_s = e^{\left(1.72 - 0.41 \left[\frac{L_s}{Y}\right]\right)}$$

Donde:

I_s = Índice de respuesta de la playa.

L_s = Longitud de la obra, en m.

Y = Distancia de la línea de playa al eje de la obra, en m.

En este sentido y como se mencionó, los valores de I_s pueden presentar cinco condiciones de respuesta conforme a los valores siguientes:

- $I_s = 1$; Formación permanente de tómbolos.
- $I_s = 2$; Formación periódica de tómbolos.
- $I_s = 3$; Formación de grandes salientes.
- $I_s = 4$; Formación de pequeñas salientes.
- $I_s = 5$; Sin respuesta por parte de la playa.



Siendo los “tómbolos”, aquellas formaciones donde los depósitos de arena, emergen del nivel del mar entre la playa y una porción de la obra paralela frente a ella, conformando una prolongación de la playa original; mientras que las “salientes”, corresponden a zonas donde se produce una reducción de la profundidad del fondo marino, entre la línea de playa y el área de sotavento del arrecife.

4.5.4 Análisis de Transmisibilidad del Oleaje

Como se ha mencionado, el propósito de un proyecto de arrecifes artificiales, es el de proteger, reducir y/o eliminar la erosión de la línea de costa, generada por los procesos dinámicos que se presentan, como el oleaje, las corrientes y el arrastre de sedimentos. En este caso, existe la necesidad de fomentar los depósitos de arena en la costa, en tal forma de propiciar una recuperación “suave” de la playa erosionada, mejorando el alineamiento de la costa entre el corto y mediano plazo. Estas estructuras sumergidas del tipo rompeolas, paralelos a la costa, cumplen con la finalidad de amortiguar y disipar la energía del oleaje incidente, estabilizando el movimiento de los sedimentos sin cortar el flujo de éstos a lo largo de la costa y con ello, permitir que se reviertan los procesos erosivos de la playa de manera natural, con bajo costo y sin causar impactos negativos en la zona protegida.

Los rompeolas sumergidos, son aquellos que debido a su baja cota de coronación, se diseñan para permitir el rebase de la ola sobre la estructura y permitir la transmisión de una parte conveniente de la energía del oleaje. Los parámetros principales que describen la geometría de un rompeolas sumergido (Figura 23), son: el francobordo (F), parámetro fundamental, definido por la altura de la estructura menos la profundidad del agua: $F = h - d$, el ancho de la corona (B) y la pendiente del rompeolas ($\tan \theta$).

Uno de los parámetros más importantes para el diseño y evaluación de la eficacia de un rompeolas sumergido, es el grado de sumersión, que puede ser expresado por tres diferentes términos adimensionales:

- El grado de sumersión = d/h .
- La altura relativa de la estructura = h/d .
- El francobordo respecto a la profundidad del agua = F/d .

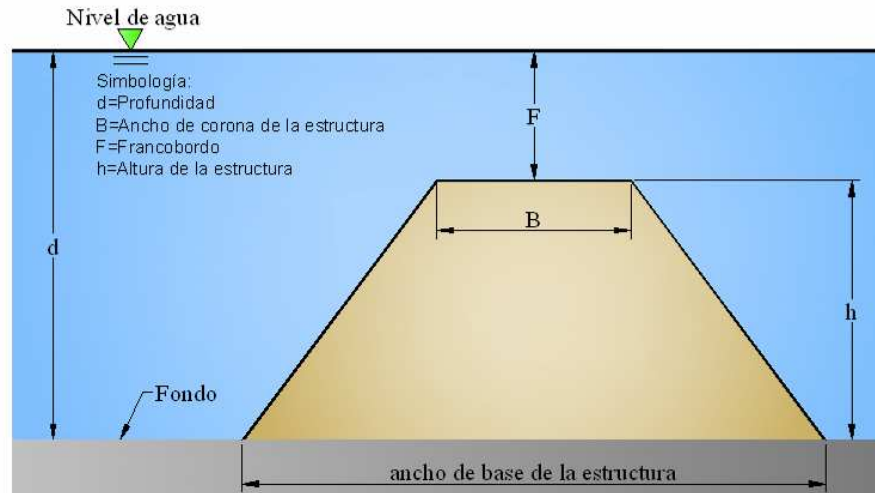


Figura 23. Esquema de un Rompeolas Sumergido

El grado de sumersión será: la distancia que hay entre la profundidad del agua y la altura de la estructura. En estructuras sumergidas, la altura de la estructura es menor a la profundidad del agua, de tal forma que: $d/h > 1.0$

Las cantidades adimensionales: d/h , h/d , y F/d , definen de una u otra forma, la altura relativa del rompeolas respecto a la profundidad del agua y se utilizan en la determinación de la magnitud de la ola y las fuerzas de corrientes que pasan sobre la estructura, así como para establecer la efectividad de ésta para atenuar la energía del oleaje.

Como se ha mencionado, el objetivo de este tipo rompeolas es el de reducir la energía del oleaje al paso por éste. De este concepto, surge el término “Transmisión de Oleaje”, usado en referencia a la energía de la ola al paso por la estructura, la cual es atenuada y disipada a causa de la fricción que se produce, por la rotura de la ola, etc.

En esas circunstancias, la información necesaria para el dimensionamiento adecuado de la sección transversal de la estructura, conforme a los objetivos del proyecto, abarca lo siguiente:

- Los valores a considerar dentro del análisis realizado de: mareas, alturas y periodos de oleaje, además de la configuración de la playa (topohidrografía)
- El francobordo (F), entre el nivel del mar y la corona del rompeolas; y el ancho (B) de la corona de la estructura
- El talud del rompeolas, que en términos generales debe fluctuar en el rango de 1.5:1 a 3:1 (Chasten, 1993 y García-Flores, 1988), ya que pendientes mayores propician deslizamientos y menores, incrementan los costos. De esta forma, si θ es el ángulo del talud, la $\tan \theta$ = pendiente del talud.
- Altura (h) de la estructura, desde el desplante hasta la corona.



4.5.5 Diseño y Estructuración de los Arrecifes

Una vez establecida la disposición en planta de las obras y determinada la geometría de la sección transversal de los arrecifes, se procede a definir los materiales a utilizar, así como a dimensionar el tamaño de los elementos que conformarán la estructura de los rompeolas sumergidos. Conviene mencionar, que este tipo de obras difiere un poco en su concepción de diseño, respecto a la de los rompeolas emergidos, escolleras y/o espigones. Así, los rompeolas sumergidos, normalmente se construyen con dos capas: un corazón ó núcleo de roca, protegido por una coraza de roca de mayor tamaño ó elementos artificiales de concreto simple; otra estructuración, consiste en solamente roca ó solamente elementos artificiales; o como en algunos otros casos se ha utilizado, con no buenos resultados, los ball-reefs, pipe reefs y otros tipos de arrecife artificial.

Considerando lo anterior, se ha encontrado que es ventajoso el empleo de elementos prefabricados del tipo Core-Loc, a base de concreto simple, donde sólo se requiere de un elemento para formar la coraza.

Ahora bien, la determinación del peso de los elementos que conformarán las capas de la estructura, es dependiente del parámetro principal: la altura del oleaje de diseño, ya que precisamente el porte de los elementos de la obra, deberá resistir los embates generales del oleaje que incidirá en ellas.

4.6 Conclusión capitular

La función principal de las obras de protección de playas es la de disipar, parcial o totalmente, la energía del oleaje. Para ello existen diferentes tipos de estructuras que dependiendo de la necesidad se construyen, las cuales son:

Los rompeolas cuya función es crear condiciones de calma para realizar operaciones portuarias y disipar en las playas la energía del oleaje. Para su diseño y construcción se requiere el conocimiento del régimen del oleaje, información de mareas, corrientes, batimetría del lugar y características del fondo marino. Las escolleras que sirven para proteger la desembocadura de ríos y lagunas litorales en contra del transporte litoral, manteniendo condiciones de profundidad y funcionamiento hidráulico requeridos de acuerdo con el objetivo del proyecto. Los espigones son obras perpendiculares a la playa, su función es protegerla de procesos erosivos, permitiendo mantener incierto ancho de playa reteniendo la arena ya sea en forma natural o preservando rellenos para compensar pérdidas de material.

Todas las obras de protección a la costa tienen similitud en su diseño, por que se requiere de la misma información para su cálculo, nada mas se adecuan al tipo de necesidad requerido en el lugar.



Un arrecife artificial es el posicionamiento estratégico de estructuras de diversos materiales, acondicionados para proveer hábitat y refugio a diversas especies de flora y fauna marina. El diseño de un arrecife artificial guarda gran similitud con el proyecto de un rompeolas sumergido, aunque estos no siempre se calculan con el afán de ayudar a la conformación de la flora y fauna marina.

En nuestro caso de aplicación si se va a emplear para restaurar la zona de playa y al mismo tiempo tendrá la función de arrecife artificial.



CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DEL CASO: PLAYA DEL HOTEL FARO MAZATLÁN

5.1 Introducción capitular

El hotel Faro Mazatlán está ubicado en la zona dorada el cual cuenta con una playa de longitud aproximada de 168 m. y de 17 a 20 m de ancho lo cual para su capacidad de huéspedes que disfrutan de la misma es insuficiente. Esta misma continúa en deterioro y erosionándose día con día a tal grado de que en un futuro muy próximo puede llegar a afectar la cimentación del Hotel.

Por eso se está buscando una solución para detener esto lo cual consistirá en diseñar una obra marítima con las características adecuadas para contrarrestar la energía de las olas que llegan muy fuerte a la zona de rompiente de la playa debido a modificaciones humanas que ha sufrido la playa a sus alrededores tales como la entrada de la marina del Cid, un espigón mal orientado y diversos factores de construcciones aledañas que no respetaron las normas de construcción sobre respetar ciertos límites entre obra y tramo de playa.



Playa del Hotel Faro Mazatlán



5.2 Proyecto conceptual

Como ya se ha mencionado sobre cómo darle solución al problema de erosión de la playa del hotel faro Mazatlán, a continuación se presenta el siguiente una alternativa que mitiga la desaparición de esta playa.

5.2.1 Estudios previos

5.2.1.1 Estudios topobatimétricos

Se llama así a la serie de trabajos que se realizan para conocer los accidentes, tanto terrestres como del fondo de vasos acuíferos, bahías, lagunas y el mar en general.

En el cuál se obtuvo lo siguiente

PERFIL 1

+	*	-	COTA	DIST. (m)	CAD
	2.080				
		2.080	0	0	0+000
		2.85	-0.77	10	
		3.125	-1.045	10	
		3.42	-1.34	10	
		3.60	-1.52	10	
		3.65	-1.57	10	
		3.74	-1.66	10	
		4.02	-1.94	10	
		4.123	-1.99	10	
		4.257	-2.055	10	
			-3.347	10	
			-3.3899	10	
			-4.152	10	



PERFIL 1

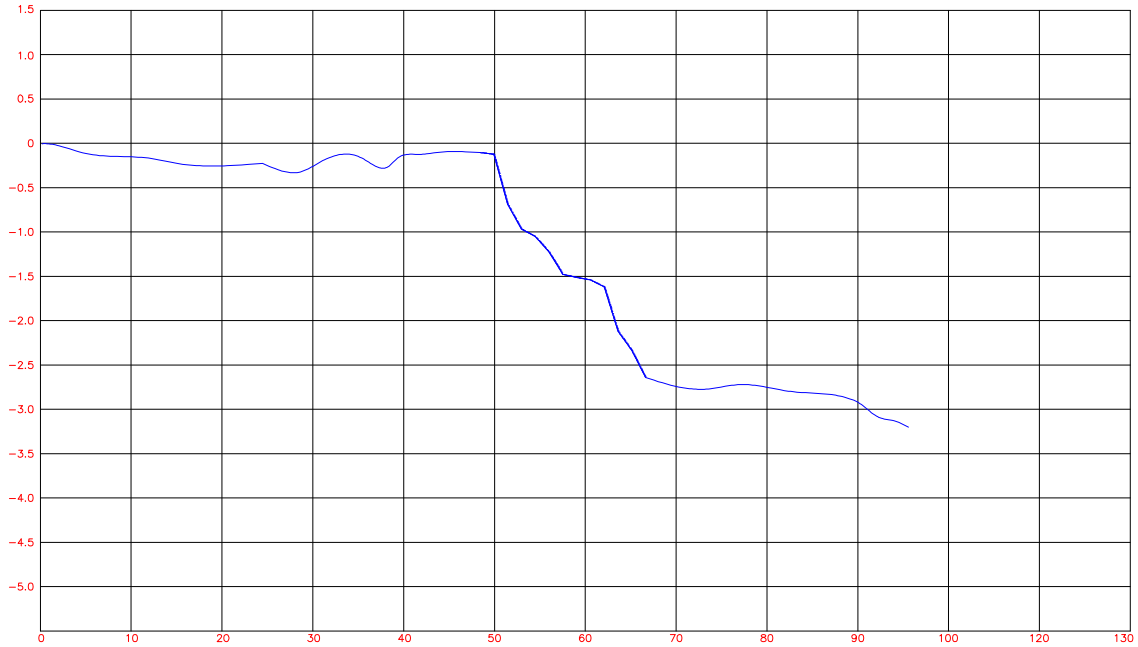


UNAM MAESTRIA EN INGENIERIA
ING. PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERON

PERFIL 2

+	*	-	COTA	DIST. (m)	CAD
	2.080				
		2.080	0	0	0+080
		2.105	-0.025	10	
		2.845	-0.765	10	
		3.215	-1.135	10	
		3.325	-1.245	10	
		3.555	-1.475	10	
		3.888	-1.808	10	
			-1.853	10	
			-1.891	10	
			-1.993	10	
			-2.651	10	
			-2.937	10	
			-3.340	10	

PERFIL 2



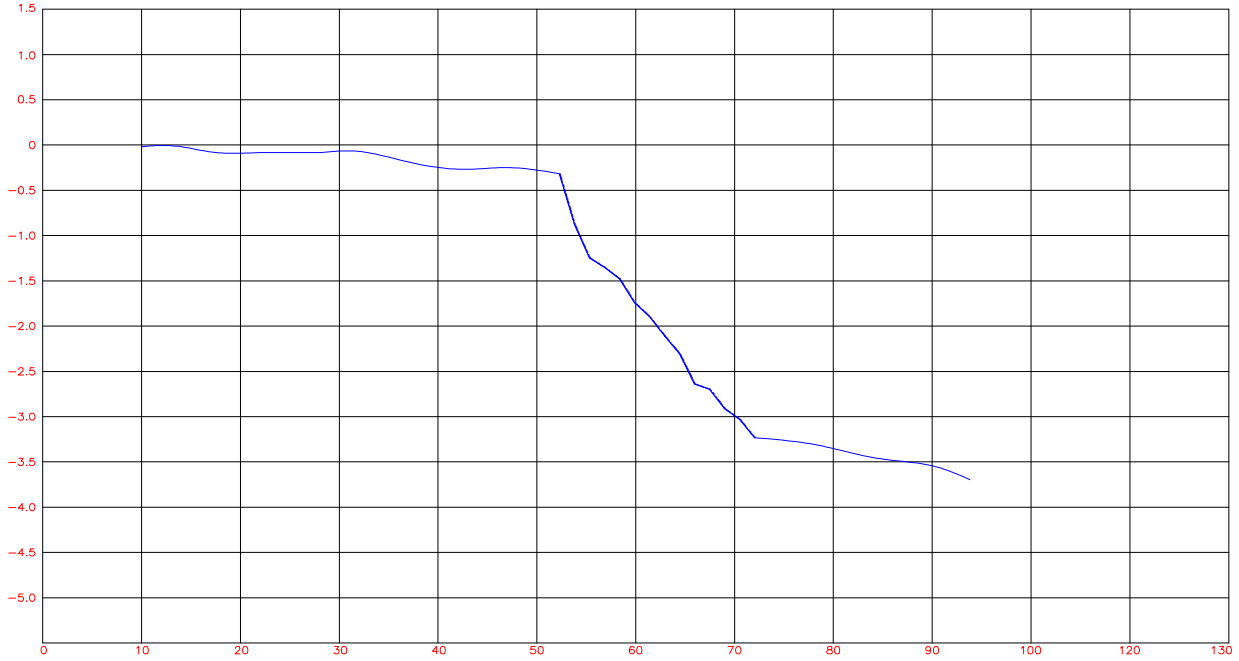
UNAM MAESTRIA EN INGENIERIA
ING. PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERON

PERFIL 3

+	*	-	COTA	DIST. (m)	CAD
	2.080				
		2.080	0	0	0+160
		1.921	-159	10	
		2.656	-0.576	10	
		3.145	-1.065	10	
		3.284	-1.204	10	
		3.449	-1.369	10	
		3.796	-1.716	10	
		3.999	-1.919	10	
		4.278	-2.198	10	
			-2.459	10	
			-2.899	10	
			-2.976	10	
			-3.257	10	
			-3.413	10	
			-3.679	10	



PERFIL 3



UNAM MAESTRIA EN INGENIERIA
ING. PEDRO ALFONSO AGUILAR CALDERON

PLANTA DE LA ZONA DE ESTUDIO

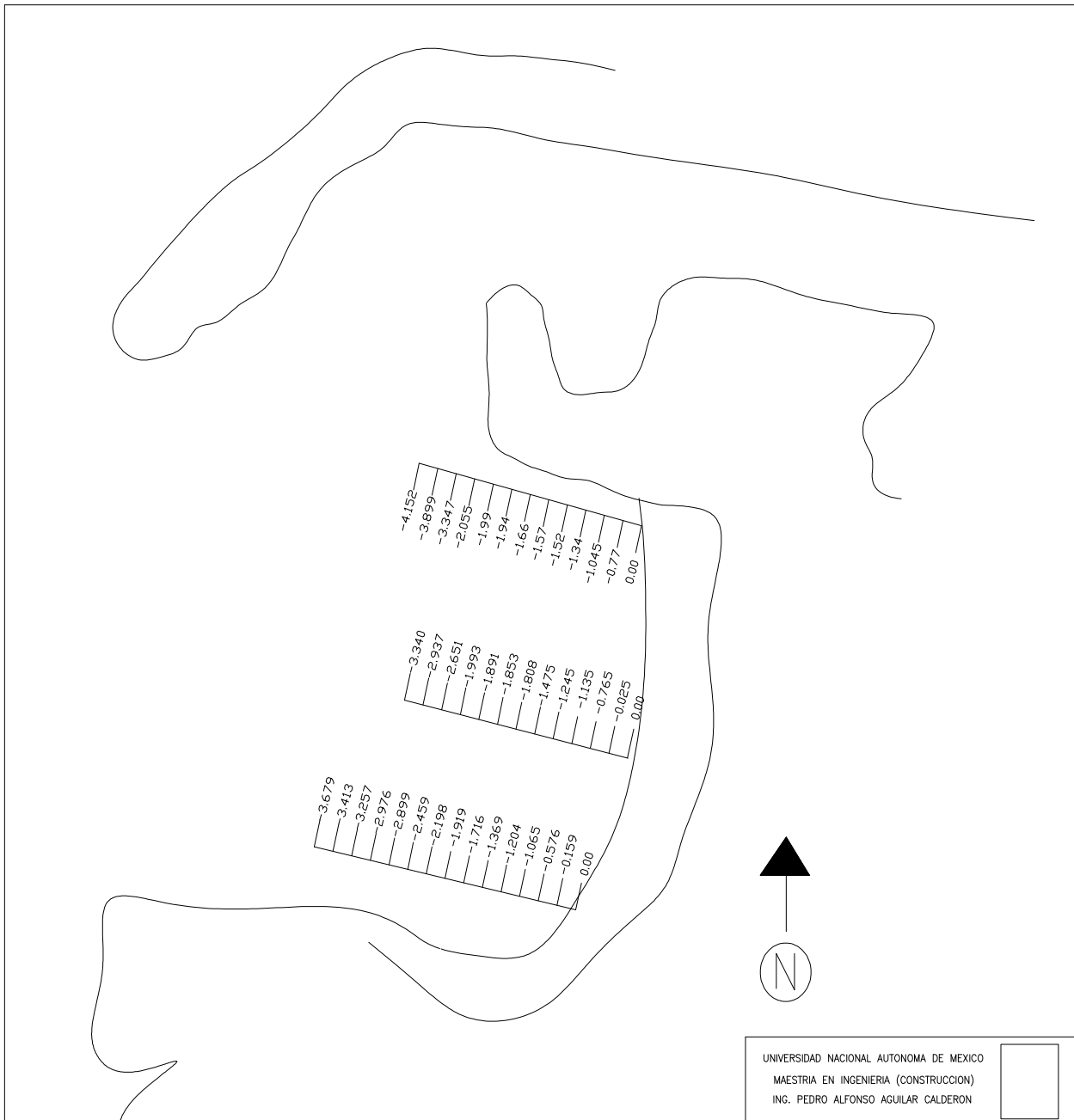
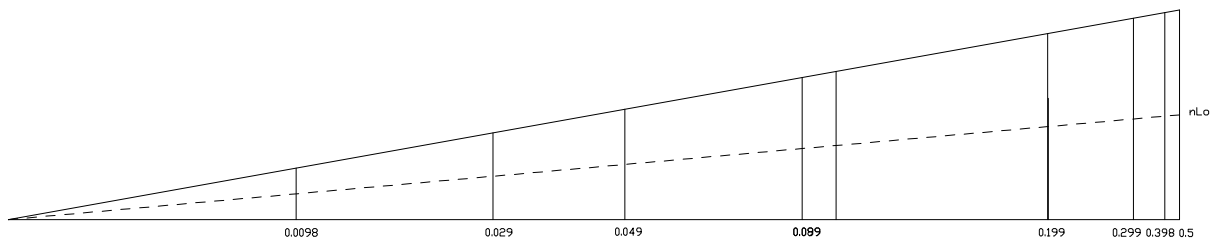


IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO (HOTEL FARO MAZATLAN)



5.2.1.2 Estudio de refracción del oleaje para el puerto de Mazatlán Sinaloa

En esta investigación se analizó el proceso de refracción del oleaje en el área de Mazatlán, Sinaloa, utilizando el método de los frentes de ola el cual se apoya en la construcción de un ábaco o regleta, la cual relaciona los avances de los frentes de ola a distintas profundidades, mediante la relación d/L_0 tal y como se ve en la siguiente imagen en la cual se muestra el ábaco hecho para el estudio siguiendo el cuadro de datos para la construcción del mismo.²⁹



Valores para la construcción del ábaco

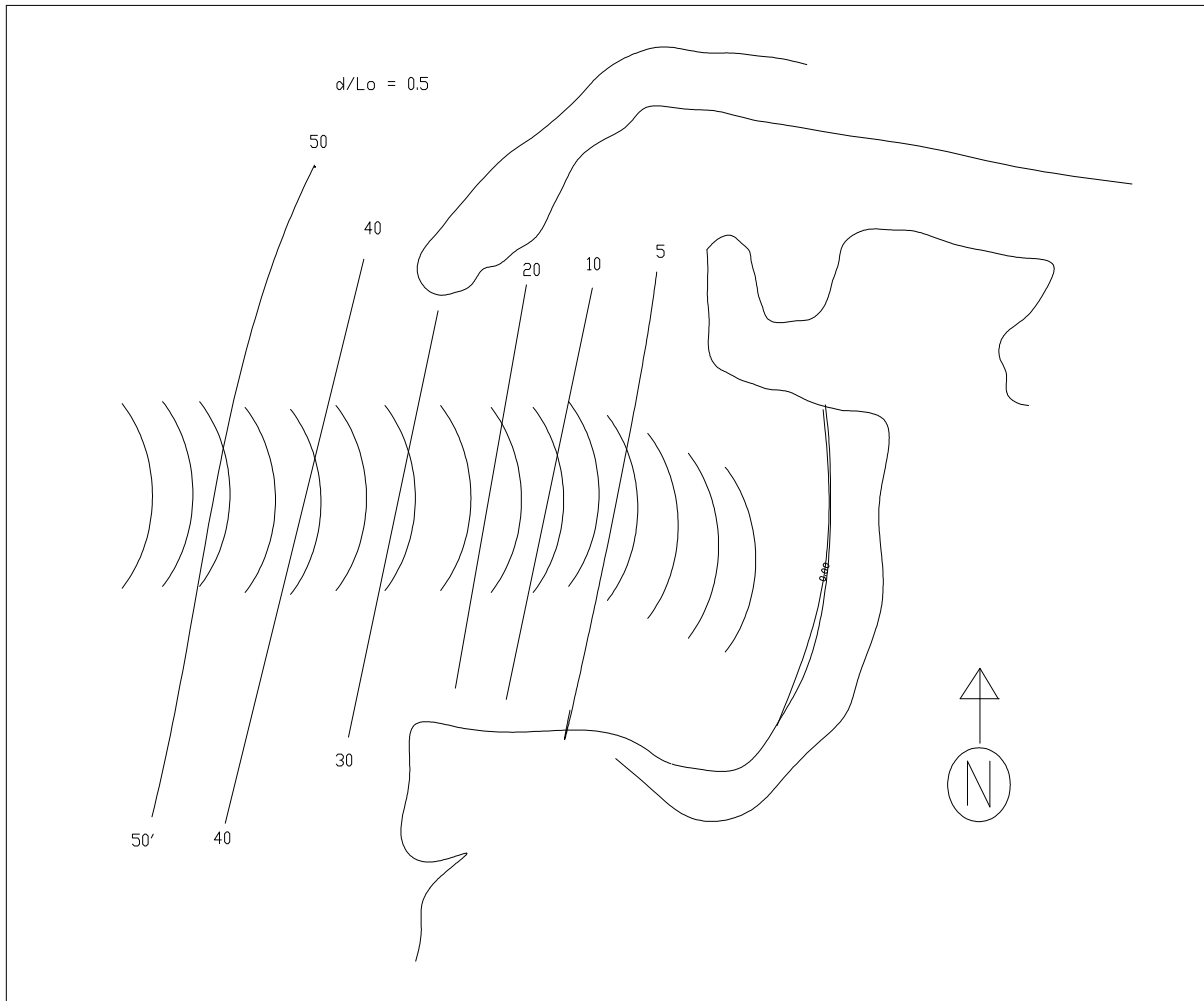
Lo	d	d/Lo	$Tgh2Hd/L$	X	Xi
88	43.87	0.498	0.9963	15	14.94
88	35.1	0.398	0.9874	15	14.81
88	26.32	0.299	0.9607	15	14.41
88	17.55	0.199	0.8873	15	13.31
88	8.77	0.099	0.7066	15	10.59
88	7.89	0.089	0.6778	15	10.17
88	4.38	0.049	0.5263	15	7.89
88	2.63	0.029	0.4138	15	6.21
88	0.87	0.0098	0.2456	15	3.68

Este método consiste en la construcción de un diagrama de refracción el cual se traza moviendo cada punto de la cresta hacia menores profundidades con el ábaco construido ex profeso, el cual se apoyará en un plano batimétrico a una escala adecuada.

Los datos que se tienen es un estudio topobatimétrico de la zona de estudio, la altura y periodo de ola significante obtenidos del Atlas de Clima Marítimo de la Vertiente Pacífica Mexicana

²⁹ Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988.

elaborado por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos y el Instituto de Ingeniería de la UNAM



DIRECCION W, H=6.7 Y T= 11.2 seg

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Altura y periodo de ola significativa en la zona: H = 4.5, T= 7.5 seg dirección: W
Ya refractada nos da como resultado de acuerdo a los diagramas de refracción: 1.18 .



5.3 Selección de la obra y periodo de retorno

5.3.1 Selección de la obra

Para determinar que tipo de obra marítima se empleará en la zona problemática se realizaron estudios previos los cuales nos permitieron decidir en base a los resultados obtenidos lo siguiente:

Se opto por construir un rompeolas sumergible (arrecife artificial) ya que este tipo de estructuras reduce significativamente el oleaje incidente y permite solo el paso de un bajo porcentaje del mismo, a fin de propiciar las condiciones adecuadas de respuesta en lo relativo a reducción de energía y velocidad, para permitir la decantación de los sedimentos contenidos en el oleaje y/o la reducción de agitación y arrastre de material en la zona de sotavento del rompeolas; evitando la erosión de la playa. Además de que este tipo de obras proveen hábitat y refugio a diversas especies de flora y fauna marina, al mismo tiempo se apoyará el desarrollo turístico de la zona de playa por que se cuidará la estética de la misma, ya que los rompeolas (arrecifes artificiales) no van a ser visibles en su totalidad.

5.3.2 Periodo de Retorno.

Para obtener un periodo de retorno para el diseño de una obra marítima, se recomienda, como primer paso, la aproximación propuesta en las recomendaciones ROM 0.2-90 que consiste en la determinación de dos parámetros que servirán para calcular el periodo de retorno, que son la vida útil mínima de la obra y el riesgo admisible. La vida útil es la duración de la obra desde su instalación hasta su inutilización y su valor mínimo viene especificado en la tabla 2.2.1.1. (ROM 0.2-90) en función del carácter general o específico y según su interés y el de sus instalaciones.³⁰

Por otro lado, la probabilidad de que la altura de ola significativa del oleaje supere la altura de ola significativa de diseño, correspondiente a un periodo de retorno T , durante la vida útil de la obra, es lo que las ROM definen como riesgo. Su máximo valor admisible viene fijado en función de las repercusiones económicas y la posibilidad de pérdidas humanas en caso de fallo tabla 3.2.3.1.2. (ROM 0.2-90).

Una vez clasificada la obra y determinados su vida útil mínima L y su riesgo admisible E , la distribución de Poisson permite deducir el periodo de retorno correspondiente T :

$$T = \frac{L}{\ln(1-E)}$$

$$L = 25$$

$$E = 0.25$$

$$T = 86.9$$

³⁰ Programa ROM (Recomendaciones para Obra Marítima) Puertos del Estado. España 1990.



Entonces el periodo de retorno para esta obra que será un rompeolas sumergible es de 86.9 años.

5.4 Diseño estructural y funcional

Ya con el levantamiento topobatimétrico, el estudio de refracción del oleaje, el análisis estadístico de fenómenos meteorológicos ocurridos, selección de la obra y periodo de retorno calculado se procede al cálculo del diseño estructural y funcional del arrecife artificial (rompeolas sumergible).

Determinación de la altura de la ola de diseño:

$$H = H_o K_r K_s$$

$H_o = 4.5$ (Dato de Atlas Marítimo)

$K_r = 1.18$ (Ola refractada)

$K_s = 1.08$ (Valor obtenido de las tablas de Wiegel)

Obteniendo: $H = 5.7$ m

Cálculo del peso de los elementos de la estructura.

Aquí aplicaremos la fórmula de Hudson que por experiencia en diferentes obras en la república mexicana ha rendido buenos frutos en el diseño de estructuras costeras la cual es:

$$W = \frac{W_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Donde:

W = Peso de un elemento de coraza, en toneladas.

H = Altura de la ola de diseño, 5.7 m

W_r = Peso específico de la unidad de coraza = 2200 kg/m³

S_r = Densidad relativa específica de la coraza = $S_r = W_r / W_a = 2.146$



KD = Coeficiente de trabazón que depende de las características físicas de la roca o del material, este coeficiente se obtiene de la tabla de coeficientes de trabazón para diferentes materiales y en este caso se optó por core-loc y su coeficiente es: 16

Θ = Ángulo de talud con la horizontal = 2

Aplicando la fórmula con los datos obtenidos se llega al siguiente resultado:

W = 8460 kg

Cálculo del espesor de la coraza.

$$T = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

Donde:

T = Espesor promedio de la capa, en metros

n = Número de elementos que componen la capa de coraza en este caso de = 1

K_{Δ} = Coeficiente de capa = 1.05 el cual se obtiene de la tabla de coeficientes para diferentes materiales

W = Peso de los elementos de la capa, en kilogramos = 8460 kg

W_r = Peso específico de los elementos, en kilogramos por metro cúbico = 2200 kg/m³ (core-loc)

Ya con los datos dados se obtiene el siguiente resultado = 1.64 m

Cálculo del peso de los elementos de la capa secundaria

$$W_s = W_c/10 = 846 \text{ kg} \quad \text{máximo}$$

$$W_s = W_c/15 = 564 \text{ kg} \quad \text{mínimo}$$



El peso de la capa secundaria debe de estar en:

$$\underline{564 \text{ kg} < W_s < 846 \text{ kg}}$$

Cálculo del espesor de la capa secundaria

$$T = nK_{\Delta} \left(\frac{W}{W_r} \right)^{1/3}$$

Donde:

T = Espesor promedio de la capa, en metros

n = Número de elementos que componen la capa de coraza en este caso de de = 1

K_{Δ} = Coeficiente de capa= 1.05 el cual se obtiene de la tabla de coeficientes para diferentes materiales

W = Peso de los elementos de la capa, en kilogramos = 564 kg

W_r = Peso específico de los elementos, en kilogramos por metro cúbico = 2200 kg/m³ (coreloc)

Ya con los datos dados se obtiene el siguiente resultado = 0.66 m

Cálculo del peso de los elementos del núcleo

$$W_n = W_c/200 = 42.3 \text{ kg máximo}$$

$$W_n = W_c/6000 = 1.41 \text{ kg mínimo}$$

El peso del núcleo debe de estar en:

$$\underline{1.41 < W_s < 42.3 \text{ kg}}$$



Cálculo del coeficiente de transmisión.

El oleaje que sobrepasa la estructura, viene definido por el coeficiente de transmisión K_t dado por la expresión

$$K_t = H_t/H_i$$

Donde:

K_t = coeficiente de transmisión de oleaje

H_i = Altura de ola incidente antes de la estructura

H_t = Altura de ola transmitida.

No existen de momento elementos para evaluar este coeficiente de forma precisa para el caso del tramo en cuestión. Sin embargo, se puede definir una transmisión de oleaje entre el 60 y 70% como adecuado, dada la experiencia en este tipo de estructuras. En la figura 7-37 del Shore Protection Manual, se presentan resultados del coeficiente K_t en función del parámetro H_i/gT^2 donde se obtiene valores del coeficiente de transmisión entre el 60 y 90% para una relación $d_s/h=1.07$. Es decir, para el caso de un rompeolas con las características similares al que estamos diseñando. Entonces adecuando las formulas y las tablas que se proporcionan obtenemos lo siguiente:

Para obtener el coeficiente de transmisibilidad ocupamos entrar con la formula de

$$H_i/gT^2$$

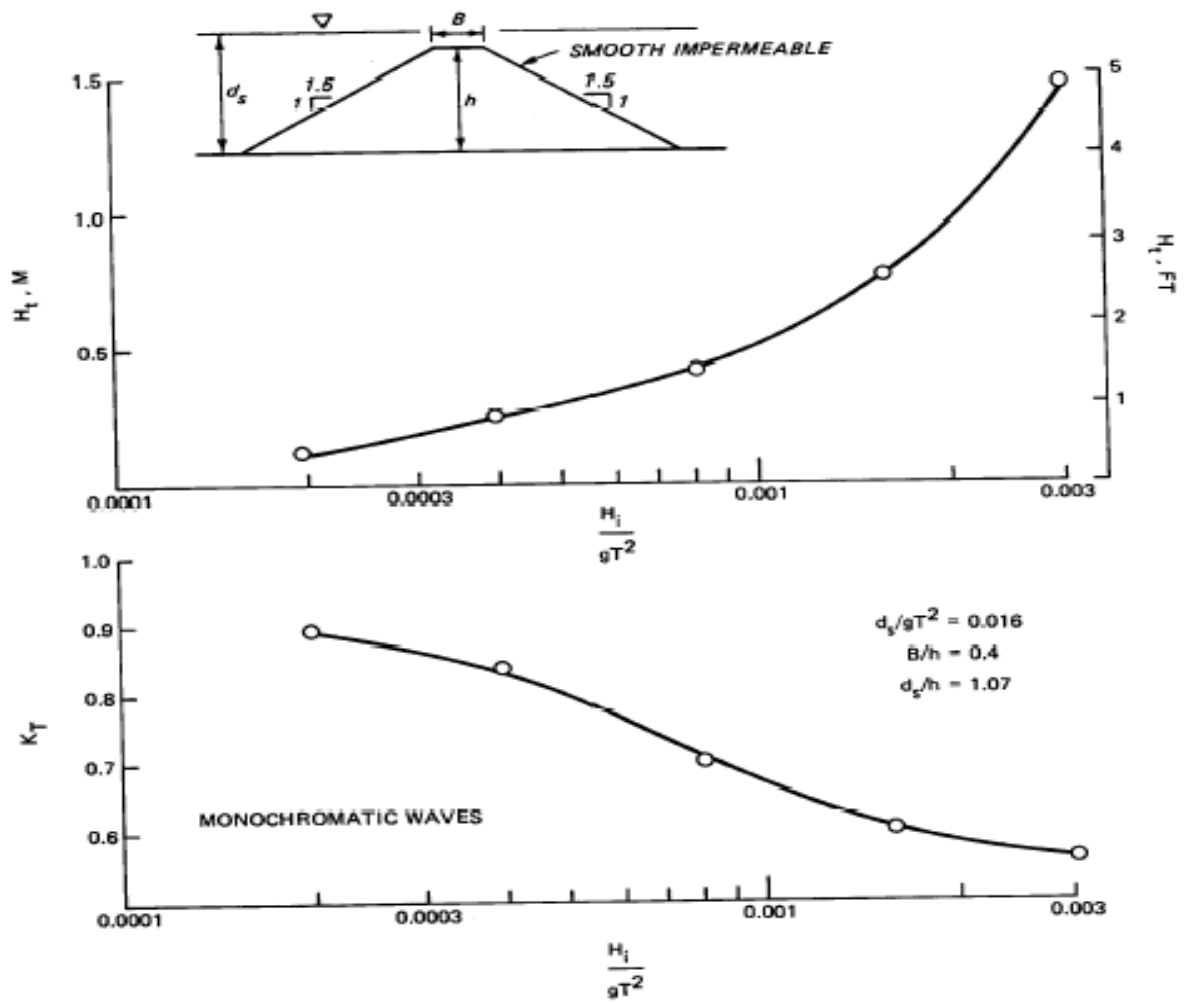
Donde:

H_i = Altura de ola incidente antes de la estructura = 1.18 m

g = 9.81

T = periodo de la ola incidente que es: 7.5 seg

Aplicando la fórmula obtenemos el siguiente resultado = 0.0021, que con este valor ingresamos a las gráficas siguientes:



(after Seelig, 1980a)

Figure 7-37. Selected wave transmission results for a submerged breakwater.

Graficas del Shore Protection Manual para la obtención de la transmisión de la ola .³¹

³¹ SPM (1977). "Shore Protection Manual". CERC, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.



Dando como resultado un valor aproximado de $= 0.62$, que aplicándolo a la fórmula de transmisibilidad junto con el valor de la ola incidente obtenemos la altura de la ola transmitida que nos da un resultado de:

$$H_t = 0.874 \text{ m}$$

Después siguiendo las relaciones que vienen en el SPM respecto a los rompeolas sumergibles con datos obtenidos por ensayo podemos obtener la altura de diseño con esta relación de profundidad y altura de estructura:

$$d_s/h = 1.07$$

Donde:

d_s = profundidad de desplante = 3.34 m

h = altura de estructura a diseñar

Aplicando la fórmula obtenemos que $h = 3.121 \text{ m}$

Cálculo de ancho de la corona

Ya obtenida la altura de la estructura podremos obtener el ancho de la corona con la siguiente relación entre el ancho de corona y la altura de diseño el cual no debe de ser mayor a 0.4

$$B/h = 0.40$$

Donde:

B = Ancho de corona

h = Altura de estructura

Sustituyendo datos en la fórmula obtenemos el ancho de corona que es igual a $= 1.25 \text{ m}$

En la práctica se recomienda en una primera fase mantener el borde libre entre +10 y -30 cm. Esto permitirá conseguir un coeficiente de transmisión de oleaje superior al 60% y a partir de ahí, los ajustes en campo se hacen de una manera práctica.



$$F = h \cdot ds$$

Donde:

F = Bordo libre

h = Altura de estructura

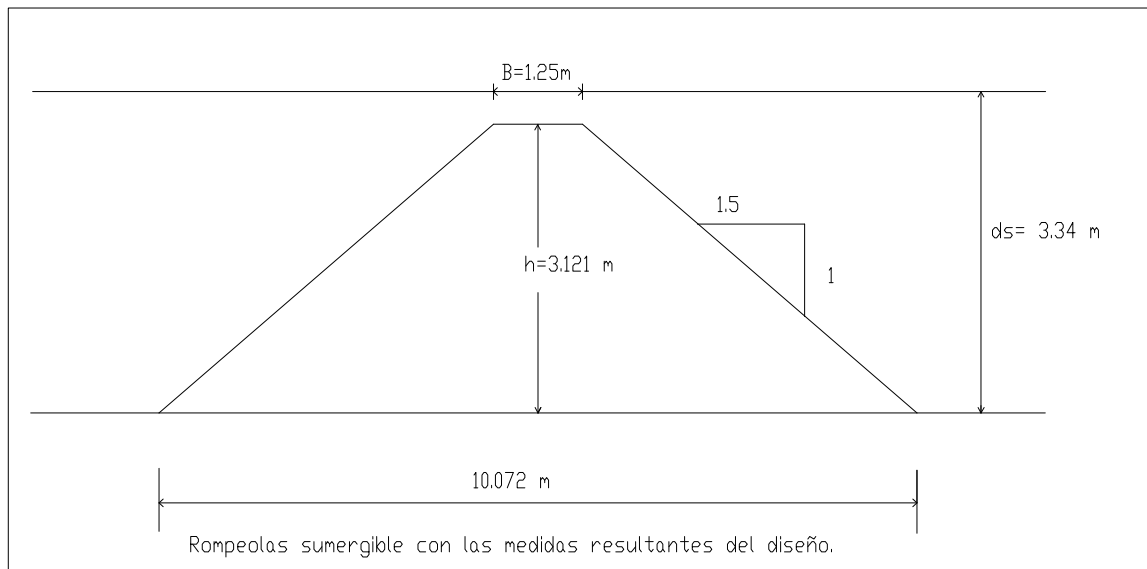
ds = Profundidad

Dádonos como resultado = - 0.22 m que esta dentro de nuestros parámetros establecidos.

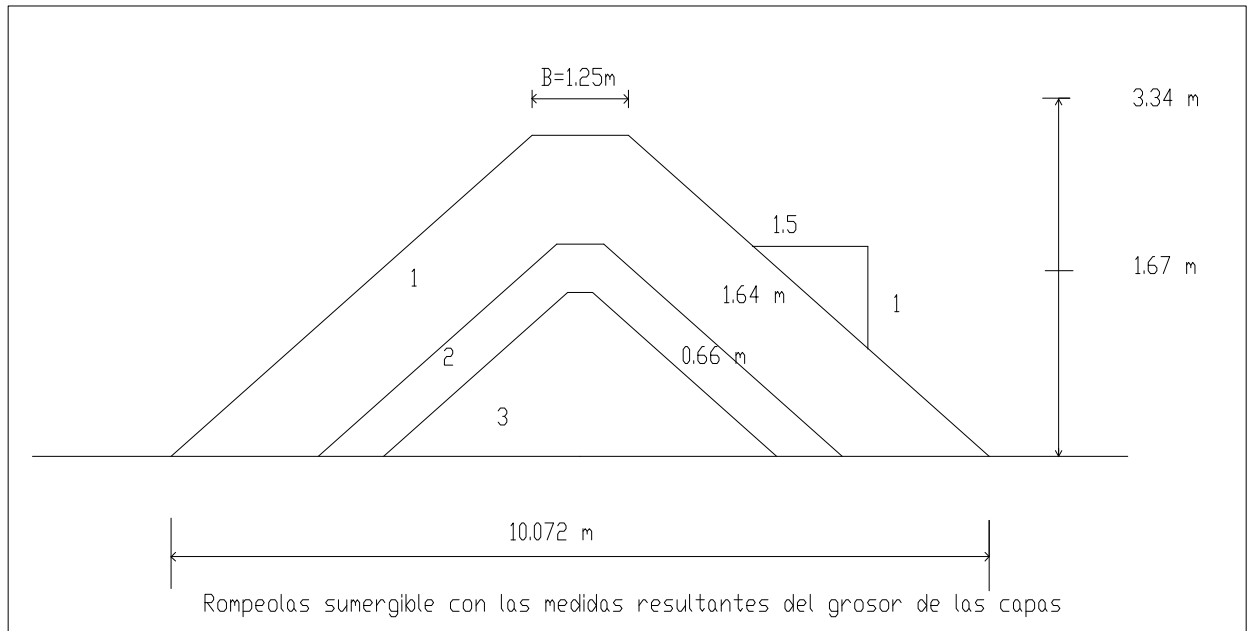
Longitud del Rompeolas sumergible

La longitud del rompeolas se determino en base al criterio de $1/5/L$ como la longitud total es de 185.785 m aplicando la fórmula obtenemos que se van a construir 3 rompeolas sumergibles de 37.157 m de longitud, perpendiculares al espigón que colinda con la entrada a la marina del Cid, los cuales van a ser construidos en la isóбата de 3.34 m.

Sección del Rompeolas diseñado.



Sección de rompeolas con el grosor de las capas.



CUADRO DE VOLUMEN DE MATERIAL

		VOLUMEN	30% ABUNDAMIENTO
1	CORAZA	531.345	690.75
2	CAPA SECUNDARIA	98.83	128.50
3	NUCLEO	26.085	33.909
	TOTAL	656.26	853.159

Nos da un total de volumen de material de: 853.159 m^3 que multiplicado por los 3 Rompeolas da un resultado de: **2559.48 m³**

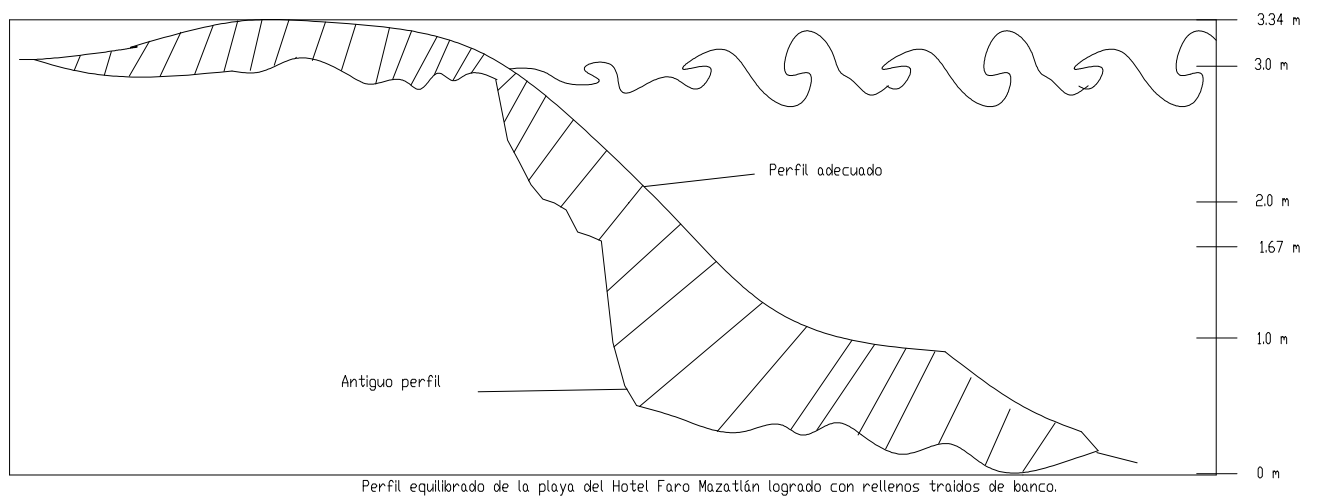
Planta de la ubicación de los Rompeolas.





Rellenos para equilibrar la playa del Hotel Faro Mazatlán

Para poder a ayudar más rápido al equilibrio de la playa se recurrió a los rellenos, esto conociendo con anterioridad la batimetría de la playa y sus defectos. Aquí se muestra un perfil equilibrado de cómo debe de quedar la playa.

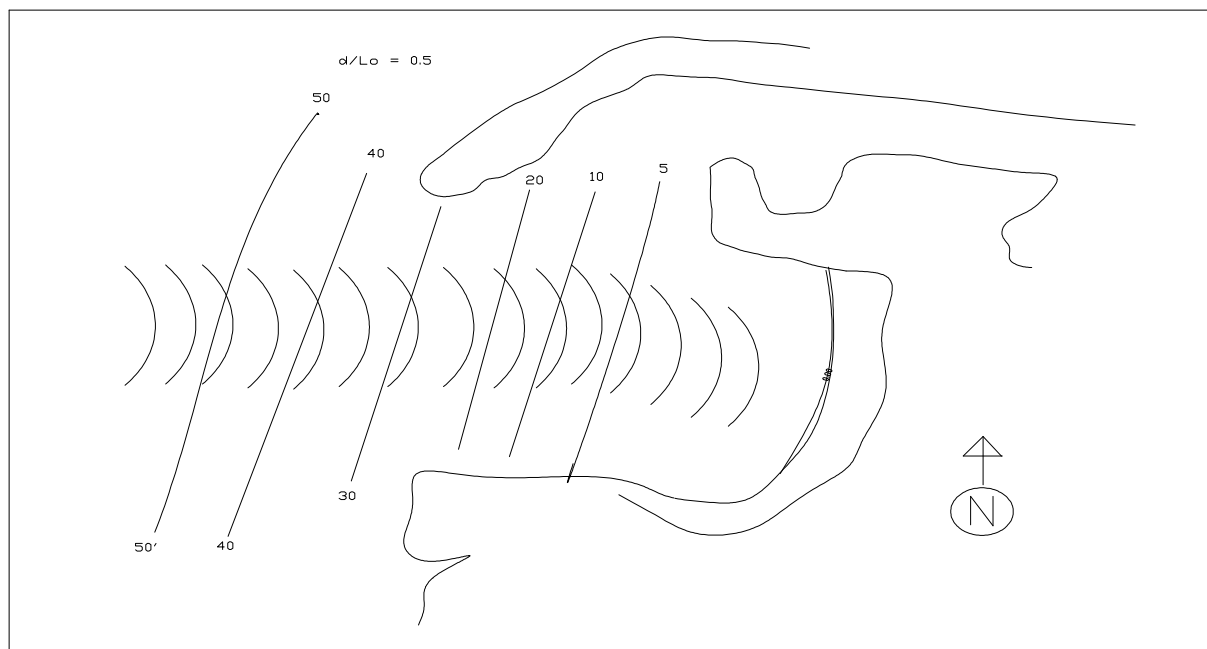


El total de relleno a utilizar es de **29,389.10 m³** de acuerdo a las secciones calculadas.

CONCLUSIONES.

Conclusiones y futuras líneas de investigación

Con base en las características oceanográficas y físicas de la zona de playa del Hotel Faro Mazatlán, el diseño del rompeolas sumergible (arrecifes artificiales) perpendicular al espigón colindante a la entrada de la marina el Cid, se calculó realizando un levantamiento topobatómico de la zona el resultado fué de un desnivel muy pronunciado, en él, se deben hacer rellenos para poder ganar terreno al mar, un estudio de refracción con el método de los frentes de ola apoyados en la construcción de un ábaco o regleta, relacionando los avances de los frentes de ola a distintas profundidades, a través de la relación d/L_o , y con la altura, dirección y periodo de la ola, información obtenida del Atlas de Clima Marítimo de la Vertiente Pacífica Mexicana elaborado por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos y el Instituto de Ingeniería de la UNAM se obtuvo la ola de diseño de 5.7 m. expresado en la siguiente figura:



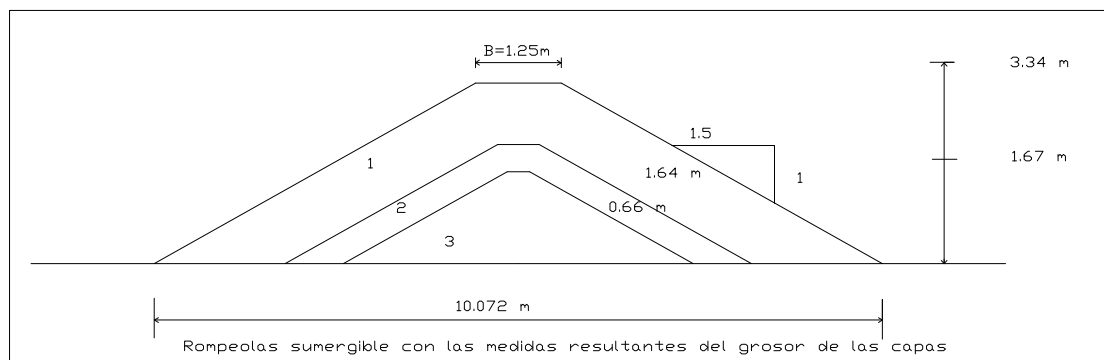
DIRECCION W, H=6.7 Y T= 11.2 seg

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Altura y periodo de ola significativa en la zona: H = 4.5, T= 7.5 seg dirección: W
 Ya refractada nos da como resultado de acuerdo a los diagramas de refracción: 1.18 .

Con la obtención de éste dato se recurrió a las formulas y tablas correspondientes utilizadas con anterioridad, se aplicaron para calcular el peso de los elementos de la estructura, el espesor de la coraza, el de la capa secundaria y el del núcleo, también el coeficiente de transmisión que nos ayudó a obtener el ancho de la corona y altura de estructura obteniéndose el siguiente diseño:

Sección de rompeolas con el grosor de las capas.



CUADRO DE VOLUMEN DE MATERIAL

		VOLUMEN	30% ABUNDAMIENTO
1	CORAZA	531.345	690.75
2	CAPA SECUNDARIA	98.83	128.50
3	NUCLEO	26.085	33.909
	TOTAL	656.26	853.159

Se obtiene un total de volumen de material de: 853.159 m³ que multiplicado por los 3 Rompeolas produce un resultado de: **2559.48 m³**

Los rompeolas sumergibles (arrecifes artificiales) diseñados cumplen en su totalidad con su función: reducir la energía del oleaje incidente y permitir el paso de un bajo porcentaje del mismo, evitando la erosión de la playa ocasionado por el arrastre de material contenido en el oleaje y al mismo tiempo proveen hábitat y refugio a diversas especies de flora y fauna marina.

Con la información obtenida del levantamiento topobatemétrico se calculo el volumen de relleno de la zona de acuerdo a las secciones obtenidas el cual nos arrojó que ocupamos **29,389.10 m³**



de relleno en la playa para lograr el perfil de equilibrio idóneo, óptimo para proteger la zona de playa para el confort de los huéspedes del Hotel El Faro Mazatlán.

Debido a la poca información para el diseño de una estructura de este tipo, la combinación de las metodologías empleadas resulto ser la más ideal, por lo que este trabajo es una aportación en el diseño de obras de este tipo en la zona costera del estado de Sinaloa y que se puede tomar como ejemplo para la protección de las playas del municipio.

Considero prudente y acertado señalar que el ámbito de participación del Ingeniero Civil en este campo de la Ingeniería Marítima es de vital importancia pues sin la aplicación de sus conocimientos sería imposible de resolver a estos problemas en las playas mexicana, se requieren investigaciones este tipo, para que las actividades que se realizan en nuestras costas forman parte del fortalecimiento económico de nuestro país, por eso es necesario protegerlas con este tipo de obras.

En la vinculación de las actividades productivas iniciativa privada –instituciones educativas, se informa que hay acercamiento e interés por parte de los dueños del Hotel Faro Mazatlán en el que se ejecutó este proyecto, esto se manifestó en reuniones por parte de ellos para seguir de cerca el estudio de la zona de playa, oportunidad para futuras líneas de investigación, si se llegara a ejecutar este proyecto y sea una experiencia y se utilice en otras zonas de las playas del puerto de Mazatlán.



BIBLIOGRAFIA

Apuntes de clase de Ingeniería Marítima del Ing. Héctor López Gutiérrez. 2007

Atlas de Clima Marítimo de la Vertiente Pacífica Mexicana elaborado por el Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos y el Instituto de Ingeniería de la UNAM. 2007

<http://www.artificialreefs.org/ScientificReports/artificialreefbenefitsenespanol.pdf>

<http://www.astromia.com/tierraluna/costas.htm>

<http://www.ceducapr.com/playas.htm>

http://www.es.wikipedia.org/wiki/Zona_costera

<http://www.geocities.com/gsilvam/playa.htm>

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/155/planifica.html>

<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/155/planifica.html>

Ingeniería de Costas. Armando Frías V. Asociación Mexicana de Ingeniería Portuaria. México 1988

Ingeniería Marítima y Portuaria. Guillermo Macdonel Martínez, Héctor López G. UNAM. 1999.

OCDE. Gestión de Zonas Costeras. Políticas integradas. OCDE, De. Mundiprensa, Madrid 1995

Programa ROM (Recomendaciones para Obra Marítima) Puertos del Estado. España 1990.

SPM (1977). "Shore Protection Manual". CERC, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.