



**UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A. C.**

**ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TÍTULO:**

**Propuesta de una estructura de protección costera de tipo blanda  
en el tramo de la “Casa de Cultura” del municipio de Coatzacoalcos,  
Veracruz.**

**TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**LUIS ALBERTO GÓMEZ SOSA**

**ASESOR DE TESIS:**

**ING. SUSANA ELVIRA GONZÁLEZ CARRASCO**

**COATZACOALCOS, VER.**

**Noviembre 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por haberme dado las fuerzas, la voluntad, paciencia y perseverancia necesaria para poder concluir este trabajo.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Le agradezco a mi asesor de tesis quien es parte importante para la culminación de mi carrera profesional, por brindarme su apoyo y compartir sus conocimientos conmigo, por guiarme para en este trabajo dándome las palabras idóneas.

Gracias a todos mis seres queridos que me han acompañado durante las diferentes etapas de mi vida, apoyándome, motivándome para alcanzar mis anhelos.

Gracias a la Ing. Virginia Arias Márquez por su apoyo a lo largo de la carrera hasta la culminación de esta etapa.

---

## **TITULO**

Propuesta de una estructura de protección costera de tipo blanda en el tramo de la “Casa de Cultura” del municipio de Coatzacoalcos, Veracruz.



## **PROBLEMA**

El oleaje originado por diversos fenómenos meteorológicos ha causado que la infraestructura del malecón costero en dicha zona se vaya erosionando con el paso del tiempo, y a su vez causando que esta colapse, lo que trae como consecuencia un gran impacto económico como social para el municipio, dado a que dicha zona es turística y existe un gran flujo turístico peatonal y automovilístico.

La infraestructura del malecón costero del municipio de Coatzacoalcos, Ver., ha sufrido grandes daños a causa de la mala calidad de los materiales que son utilizados para la construcción, la falta de mantenimiento, la mala planeación de proyectos de la infraestructura, todo esto aunado a las inclemencias meteorológica que hay en la zona trae como resultado graves daños, que generan entre otros una mala imagen del municipio.

---

## **JUSTIFICACIÓN**

Mediante esta investigación, se propone el estudio de una nueva tecnología que proteja la zona costera del tramo de la “Casa de Cultura” del municipio de Coatzacoalcos, Veracruz.

Con la propuesta de una estructura de protección costera de tipo blanda implementada en la zona costera se prevé mitigar el efecto que tiene el oleaje hacia la infraestructura en la zona afectada.

Se prevé buscar un sistema de protección que reciba el mayor impacto del oleaje y con esto se evitará que el oleaje siga impactando directamente a la infraestructura del malecón, y a su vez evitar un daño significativo con el paso del tiempo evitando causar daños mayores. Este proyecto busca beneficiar a la economía, a la población como al turismo del municipio de Coatzacoalcos Veracruz.

Es importante proteger la zona costera mediante planeaciones de infraestructuras de buena calidad y antecedentes de éxito.

---

## **OBJETIVO GENERAL**

Proponer una estructura de protección costera de tecnología tipo blanda en el municipio de Coatzacoalcos, Ver., en el tramo de la “Casa de Cultura” que reduzca los impactos meteorológicos sobre la infraestructura del malecón.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los sistemas de protección costera que existen para contrarrestar la erosión costera.
  - Proponer un sistema de protección costera blanda la para mitigar el daño que ejerce el oleaje en la infraestructura costera.
  - Analizar los costos de inversión del proyecto
-

## **HIPÓTESIS**

Una propuesta de tecnología tipo blanda como estructura de protección costera en el municipio de Coatzacoalcos, Veracruz, en el tramo de la “Casa de Cultura” mitigara el efecto del oleaje.

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I GENERALIDADES.....</b>	<b>10</b>
1.1    ZONA COSTERA.....	11
1.2    DINÁMICA LITORAL.....	11
1.3    TIPOS DE OBRAS DE DEFENSA COSTERA. ....	23
1.4    IMPACTOS DE LAS OBRAS DE DEFENSA DE COSTA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.....	35
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>41</b>
2.1    IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE COATZACOALCOS, VERACRUZ.....	42
2.2    ESTADO ACTUAL DE LA ZONA COSTERA.....	48
2.3    TECNOLOGÍA DE CONTENEDORES DE ARENA A BASE DE GEOTEXILES PARA LA PROTECCIÓN DE COSTERA.....	52
2.4    LEYES Y REGLAMENTOS FEDERALES.....	59
<b>CAPÍTULO III DISEÑO Y PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>65</b>
3.1    SISTEMA PROPUESTO.....	66
3.2    DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	68
3.3    PRESUPUESTO DEL PROYECTO PROPUESTO. ....	79
3.4    VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA LA PROTECCIÓN COSTERA.....	83
<b>CAPÍTULO IV COSTOS Y BENEFICIOS .....</b>	<b>87</b>
4.1    ANÁLISIS DE COSTOS. ....	88
4.2    BENEFICIOS:.....	90
<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>91</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>92</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>93</b>

## INTRODUCCIÓN

Las costas se ven afectas por un sin fin de fenómenos que tienden a modificarlas originando los procesos costeros, denominados también con el nombre de dinámica litoral. El estado final del litoral está determinado por una serie de agentes naturales o físicos, climáticos, geológicos y la acción del hombre; pero el clima marino (agente natural) es el que tiene efectos activos más directos sobre las estructuras costeras y dan lugar a los fenómenos y procesos físicos conocidos como dinámica litoral.

El desarrollo de este estudio nace del problema a consecuencia del oleaje originado por diversos fenómenos meteorológicos ha causado que la infraestructura del malecón costero en dicha zona se vaya erosionando con el paso del tiempo, y a su vez causando que esta colapse, lo que trae como consecuencia un gran impacto económico como social para el municipio, dado a que dicha zona es turística y existe un gran flujo turístico peatonal y automovilístico.

Este trabajo consta de cuatro capítulos que se desarrollaron para encontrar una solución para la protección costera de la infraestructura del malecón con la propuesta de una tecnología de protección costera tipo blanda para el municipio de Coatzacoalcos, que mitigara el efecto del oleaje.

Se analizan las “Generalidades” como los principios que conlleva la erosión costera y los sistemas de protección costera que existen para contrarrestar la erosión costera

El “Marco teórico” se describe la importancia del municipio de Coatzacoalcos, Veracruz; se analizó la tecnología de protección costera de tipo blanda; también se analizaron las leyes y reglamentos federales para el desarrollo de este tipo de proyectos.

Se propuso un sistema de protección costera de tipo blanda para mitigar el daño que ejerce el oleaje en la infraestructura costera y se desarrolló el procedimiento para la implementación de este proyecto, de acuerdo a las características de la zona de estudio.

Se finaliza con “Costos y beneficios” donde se de analizaron los costos de inversión y beneficios en los ámbitos ambientales, económicos y sociales de la propuesta seleccionada

# **CAPÍTULO I**

# **GENERALIDADES**

## 1.1 ZONA COSTERA.

Se define como el área o franja de interacción entre el océano y la tierra y sus límites se establecen de acuerdo con la influencia del mar sobre la tierra y su geomorfología es altamente dinámica. En la Figura 1 se muestra el perfil de una zona costera típica,

La zona costera es una franja que presenta una anchura variable de tierra firme y espacio marítimo en donde se presentan procesos interactivos entre el mar y la tierra; cuenta con ecosistemas ricos, diversos y productivos capaces de proveer bienes y servicios que sostienen actividades como el turismo, la pesca, la navegación, el desarrollo de puertos, etc.

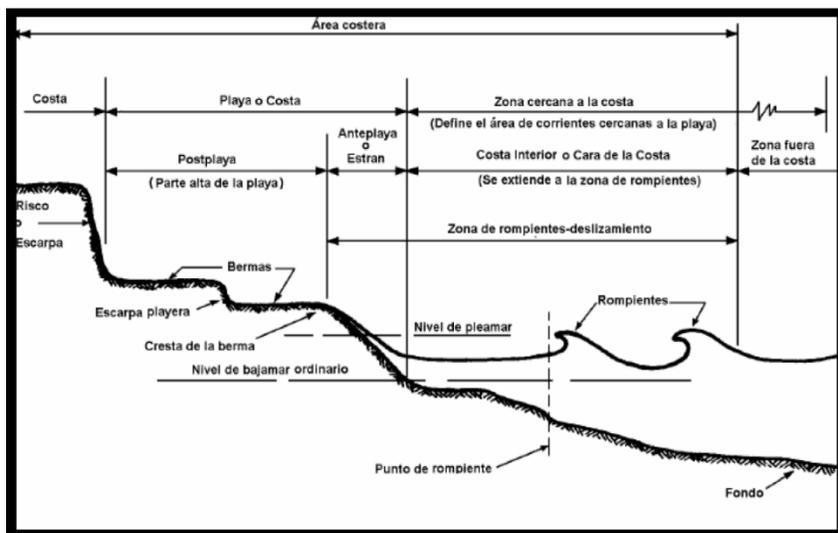


Figura 1. Perfil y términos empleados en zona costera.

## 1.2 DINÁMICA LITORAL.

Las costas se ven afectas por un sin fin de fenómenos que tienden a modificarlas originando los procesos costeros, denominados también con el nombre de dinámica litoral. El estado final del litoral está determinado por una serie de agentes naturales o físicos, climáticos, geológicos y la acción del hombre; pero el clima marino (agente natural) es el que tiene efectos activos más directos sobre las estructuras costeras y dan lugar a los fenómenos y procesos físicos conocidos como dinámica litoral. Los agentes climáticos marinos principales que más comúnmente influyen en las costas son: los vientos, el oleaje, las variaciones del nivel del mar y las corrientes.

Los agentes climáticos marinos al actuar sobre el medio lo transforman, haciendo variar su forma mediante los procesos costeros dando lugar a un medio dinámico. Los elementos más esenciales de la dinámica litoral son los siguientes:

### **El oleaje.**

Para abordar un estudio de dinámica litoral hay que trasladarlo a las proximidades de la costa, lo cual se puede hacer a través de dos alternativas:

- Utilizando datos de oleaje procedente de aparatos (boyas) instalados en el área de estudio cercano a la costa. Este método es el ideal, pero tiene grandes inconvenientes debido a largos periodos de tiempo que los equipos deben estar instalados para obtener información fiable y así poder reflejar el clima de oleaje en un tramo de costa. Adicionalmente es costoso y los problemas costeros no pueden esperar largos periodos de tiempo para obtener la información.
- Transformando los datos de oleaje obtenidos de diferentes fuentes de datos o valores de la costa. Esta alternativa es la que suele utilizarse y la transformación de los datos se realiza puesto que las características del oleaje en altamar son diferentes del oleaje que incide en la costa, pues al aproximarse a la tierra, a una profundidad determinada, comienza a influir el fondo del mar, produciéndose refracciones que dan lugar a variaciones tanto en la dirección de oleaje como en la altura y longitud de onda de la ola.
- El límite de oleaje incidente es el primer punto que debe conocerse de un lugar de la costa que se pretende estudiar, es identificar cuáles son las direcciones, altura y periodicidad de los posibles oleajes que pueden incidir en ella

### **Propagación del oleaje.**

El viento al soplar sobre la superficie del mar le va transmitiendo parte de su energía, generándose olas y corrientes (corrientes inducidas por el oleaje, corrientes originadas por la variación de las propiedades físicas o químicas del agua, etc.). Las olas se propagan en un abanico de direcciones en torno a una dirección principal. Si el viento continúa transmitiendo energía (zona de generación) propagándose hasta salir de esta

área o fetch, a partir de la cual las ondas se reagrupan. A la propagación se le conoce como la traslación de las olas por la superficie del mar y su importancia radica en conocer sus características cuando el oleaje se aproxima a las costas, las alcanza y rompe sobre ellas. Todo este proceso de acercamiento de las ondas marinas a tierra se ve alterado por el efecto de los fondos marinos y las formas costeras.

La interacción entre el oleaje y los fondos marinos y la validez e idoneidad de las diversas teorías matemáticas de simulación del oleaje, da lugar a una zonificación del mar dependiendo de la relación existente entre la profundidad  $d$  y la longitud de onda  $L$  (Tabla 1).

Zonificación marina	Relación $d/L$
Altamar	$d/L > 1/2$
Aguas medias o intermedias	$1/2 > d/L > 1/25$
Aguas someras o Reducidas	$1/25 > d/L$

Tabla 1. Zonificación marina.

En la Figura 2 se aprecian las variables utilizadas en la zonificación marina.

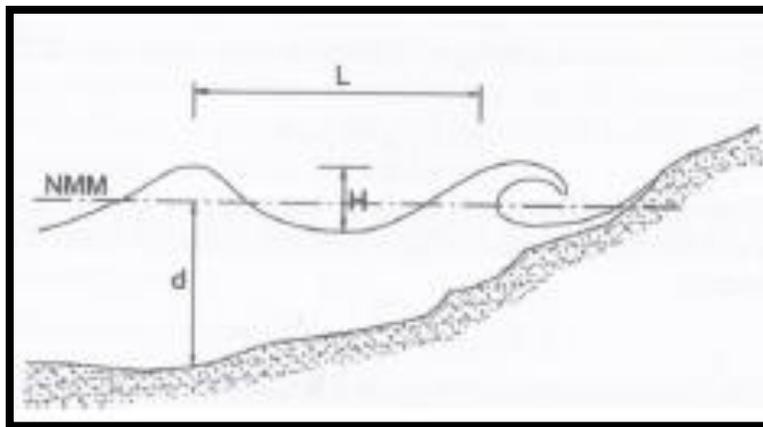


Figura 2. Zonificación marina.

En altamar se supone que el efecto de la onda no alcanza el fondo, amortiguándose antes. En aguas medias o intermedias el efecto del fondo se deja sentir y las orbitas de las partículas del agua se achatan, pasando de circunferencias a elipses. En aguas someras las partículas se ven sometidas a un movimiento de traslación casi horizontal.

Los efectos más importantes de interacción oleaje-costa son la refracción y difracción. Cuando una ola se aproxima a la costa, su dirección y altura no varía hasta que el efecto del fondo se deja sentir, entonces el frente de la ola sufre el fenómeno de *refracción*, produciendo un cambio en su dirección y su velocidad de propagación y por tanto de la altura de la ola (Figura 3).

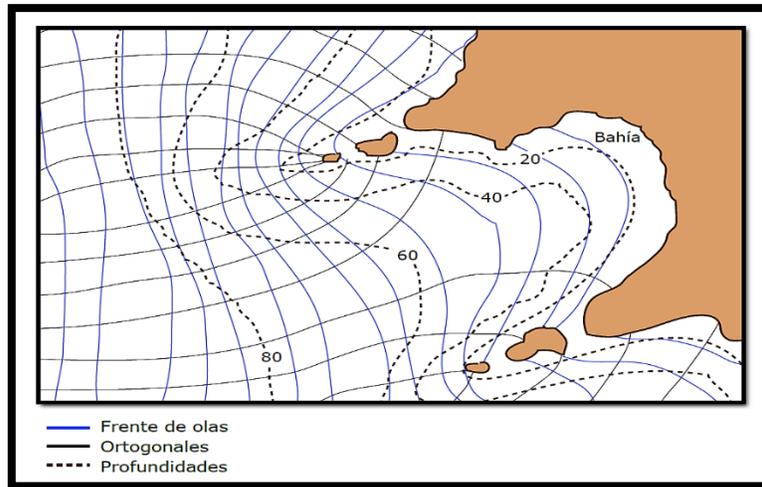


Figura 3. Diagrama de refracción de oleaje.

La difracción de oleaje es un fenómeno por el cual se transfiere energía lateralmente a lo largo del frente de onda (Figura 4). La difracción de oleaje es uno de los fenómenos

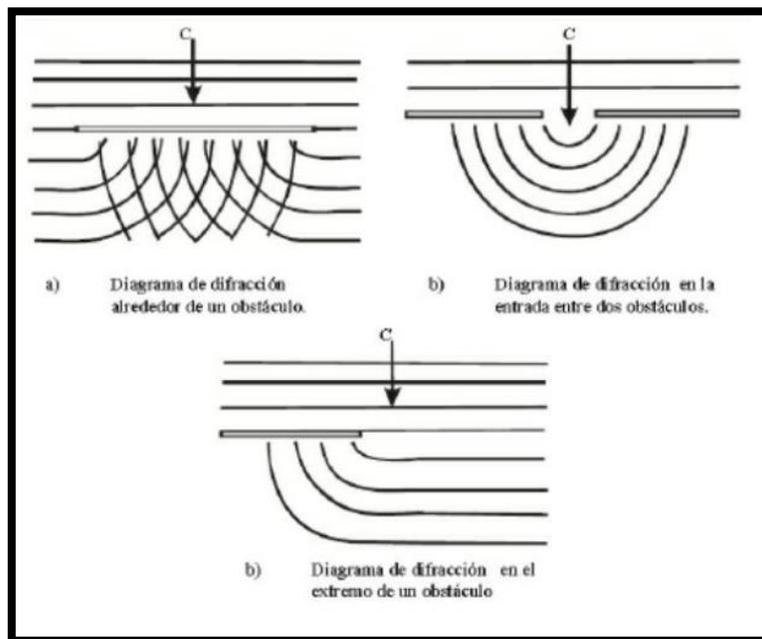


Figura 4. Diagrama de difracción.

físicos cuya solución es más complicada debido a que hay que unirle la refracción y estudiarse conjuntamente

Para estudiar el oleaje que incide sobre una zona de costa se tiene que recurrir a modelos que simulen su propagación desde profundidades de altamar, donde se posean datos de oleaje, hasta alcanzar la costa.

En los últimos años los avances informáticos han permitido desarrollar modelos matemáticos de simulación sobre la propagación que día a día son mejorados.

### **Material sedimentario.**

La dinámica litoral es aquella que se genera en la interacción de los agentes climáticos marinos con el borde costero, transformándolo continuamente. Pero este borde costero está formado por material que puede ser roca o material sedimentario procedente de la propia degradación de la roca o proveniente de otros lugares. Para estudiar la dinámica litoral es imprescindible saber de qué material sedimentario se trata; pero las propiedades o características pueden ser muchas. Existen diversas propiedades que son necesarias conocer de los sedimentos costeros según se trate de:

- a. Dragado: se distinguen cuatro tipos de material a dragar: fluido, suelto, firme y duro. Tres tipos para su bombeo: cohesivos, no cohesivos y mezcla. Para el paso por tuberías es necesario conocer el tamaño del sedimento. Para la eficacia en el dragado: el grado de cohesividad que permita al sedimento no desparramarse tras la formación de la zanja de dragado.
- b. Cuestiones medioambientales: la propiedad más importante es el tamaño; la turbidez del agua depende de la velocidad de caída del grano, por ello debe limitarse el sedimento fino, limos y arcillas, en los usos costeros.
- c. Alimentación de playas: la alimentación de playas tiene dos funciones fundamentales: crear áreas de ocio y defender la costa. Para la primera función hace falta material agradable al usuario, dependiendo principalmente del

tamaño, forma y color del grano. Para la segunda función el tamaño medio de la arena de préstamo no debe ser mayor que la arena natural.

- d. Protección contra socavamiento: para prevenir el socavamiento de estructuras de defensa debe ponerse un pie de material o banquetas menos erosionable que el material sobre el que asienta la estructura (banquetas de escollera).
- e. Estudio de transporte sedimentario: las propiedades del sedimento más usualmente utilizadas para conocer su transporte son: el tamaño, densidad de caída y ángulo de reposo.

### *Origen, fuentes y suministro*

El material sedimentario que forma la costa puede tener 4 orígenes distintos:

- Terrestre: proveniente de la erosión de la capa terrestre, que es arrastrado por ríos, arroyos, torrentes, etc. que desembocan en el mar distribuyéndolo la corriente litoral.
- Marino: su origen es la degradación y erosión del borde costero, especialmente de los acantilados.
- Biológicos: generado por la actividad biológica marina, tanto de estructuras coralinas, como de conchas de moluscos.
- Humano: la acción humana cuando se deposita material sobre la costa.

Las fuentes de sedimentos son los lugares de la costa donde se provee la corriente litoral para trasladar a lo largo de la costa el material. Por la forma de suministrar material la fuente de sedimentos puede ser continua o discontinua. Y por el punto donde se emana puede ser de dos tipos:

- Fluvial: ríos, arroyos que vierten su carga directamente al mar y se incorpora seguidamente al transporte sólido litoral. Su origen es terrestre.
- Formación costera: como deltas, playas, arrecifes, etc. que pueden tener un origen terrestre, marino, biológico o humano.

Los sumideros de sedimentos son el lugar de la costa donde éstos pueden quedar retenidos, no pudiéndose incorporar al transporte sólido litoral. Los sumideros se clasifican en 2 grupos:

- Sumideros naturales: Se pueden distinguir dos tipos dependiendo de si es una formación de la costa representado por los entrantes naturales de mar en tierra, tales como bahías, estuarios, rías, entre otros; y si es una formación exterior a la costa, que está formada por accidentes geográficos del fondo marino con fuertes caídas de profundidad como los cañones submarinos.
- Sumideros artificiales: debido a obras marítimas que frenan el material sedimentario, reteniéndolo, tales como los espigones, diques de abrigo, etc.

### Transporte sólido litoral.

El oleaje al incidir en la costa moviliza la materia que forma la franja litoral y es uno de los responsables de la transformación de la costa.

Cuando el oleaje incide oblicuamente sobre la costa genera dos tipos de corrientes: una longitudinal paralela a la línea de costa y otra transversal perpendicular a la línea de costa (Figura 5). Al igual que forman corrientes, el oleaje provoca el movimiento de sedimento que forma la costa en las mismas dos direcciones: paralela y perpendicular a la línea de costa. El movimiento del sedimento paralelo a la línea de costa se denomina transporte sólido litoral longitudinal y el movimiento del sedimento perpendicular a la línea de costa se le conoce con el nombre con de transporte sólido litoral transversal (Figura 6).

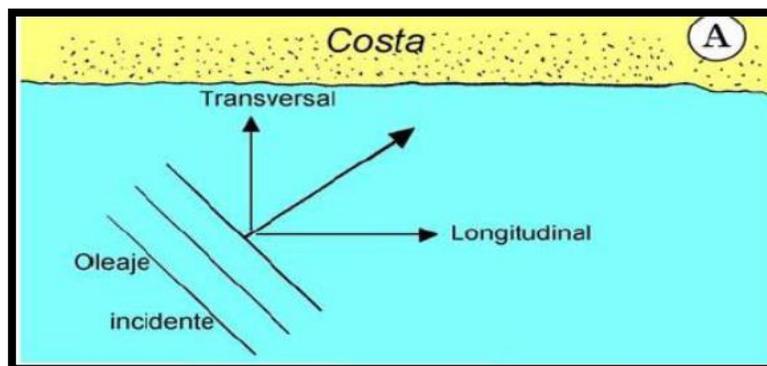


Figura 5. Tipo de transporte sólido litoral que genera la oblicuidad del oleaje incidente.

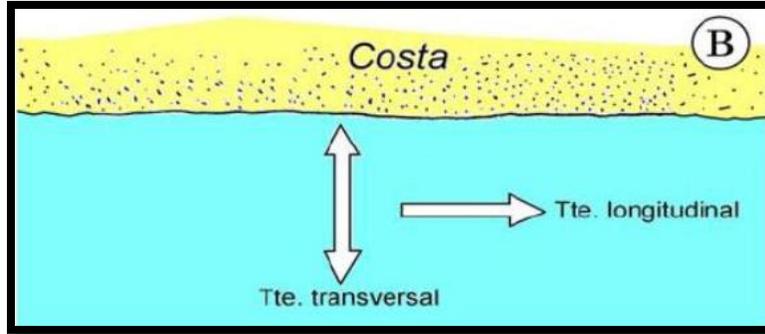


Figura 6. Descomposición del oleaje incidente.

El transporte longitudinal solamente cambia de sentido cuando varía la dirección del oleaje respecto a la perpendicular a la costa, mientras que el transporte transversal es oscilante con una misma dirección del oleaje: hacia la costa o hacia el mar.

A lo largo del tiempo la dirección de incidencia del oleaje va cambiando, variando el sentido del transporte; pudiendo ir en uno u otro sentido paralelo a la costa (Figura 7). Se conoce como transporte longitudinal bruto (QI, BRUTO) a la cantidad total de material transportado en ambas direcciones, esto es a la suma en valor absoluto del material transportado en uno y otro sentido. Y se denomina transporte longitudinal neto (QI, NETO) a la diferencia de material transportado en uno y otro sentido. El primero (QI, BRUTO) representa la cantidad total de material movido por el mar durante un determinado periodo de tiempo, independientemente de la dirección hacia donde lo haya llevado. Mientras que el segundo (QI, NETO) representa el balance del material transportado a lo largo de la costa.

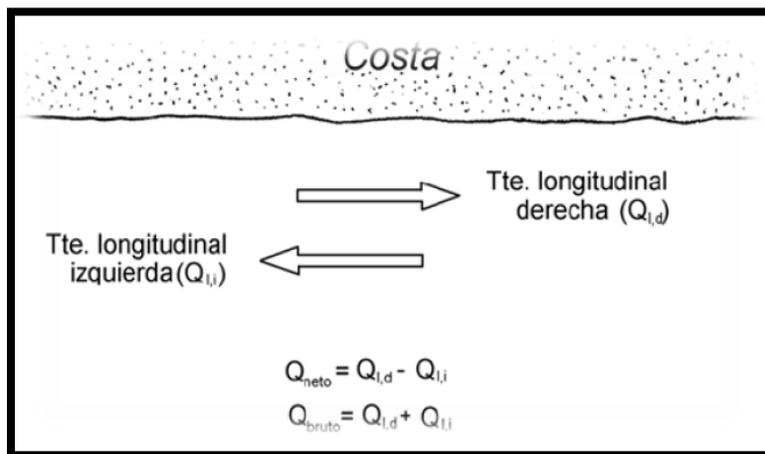
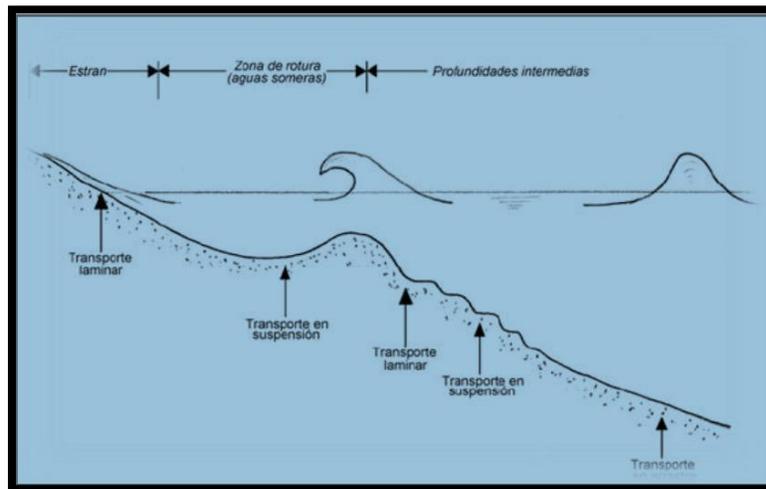


Figura 7. Transporte sólido longitudinal.

El oleaje puede transportar el material sedimentario que forma la costa de dos formas diferentes: arrastrándolo sobre el fondo, *transporte en arrastre*, o levantándolo del suelo y transportándolo suspendido en el agua, *transporte en suspensión*. Horikawa distingue una tercera forma de transporte que denomina “Asheet flow” o *transporte laminar*, que es una forma de transportar intermedia entre el transporte en suspensión y en arrastre: cuando el grano por la acción del oleaje se levanta del suelo moviéndose en suspensión en una lámina estrecha de agua con una alta densidad de material (Figura 8).



**Figura 8. Variación de las formas de transporte sólido a lo largo del perfil de la playa.**

### *Métodos de obtención del transporte*

Uno de los datos esenciales a determinar en la mayoría de los problemas que se presentan en ingeniería de costas es el transporte sólido litoral, especialmente el longitudinal. Dependiendo de los datos de que se disponga, existen 4 métodos para el cálculo del transporte:

- Campaña de toma de datos
- Evidencias morfológicas de la costa
- Calculo teórico
- Evolución de la línea de costa

## **Evidencias morfológicas del transporte sólido litoral**

El primer método para determinar el transporte longitudinal consiste en estudiar las acumulaciones de sedimento que configuran las diversas formas morfológicas de la costa.

Los depósitos de sedimentos pueden ser debidos a barreras naturales (ej. cabos) y artificiales (ej. espigones o diques). Cuando los depósitos se originan por la interrupción del transporte longitudinal debido a las barreras transversales a la costa, la formación que se obtiene permite obtener dos tipos de datos complementarios: el volumen de material acumulado (proporciona el transporte longitudinal medio) y la inclinación que se produce de la costa (la componente media del oleaje incidente en la costa(Figura 9a). Este tipo de barreras transversales a la costa pueden comportarse básicamente de 2 formas: cuando detrás de la barrera no existe acumulación alguna de material, sino que se produce una zona de erosión (Figura 9b); o cuando detrás de la barrera existe una pequeña zona de acumulación seguida de una zona de erosión (Figura 9c). Cuando la barrera que produce la forma es longitudinal a la costa (dique exento, arrecife, etc.) se pueden generar tómbolos o hemitómbolos, normalmente este tipo de formaciones viene acompañado de erosiones a ambos lados de la barrera (Figura 9d).

En cuanto al transporte transversal, en dirección a tierra o en dirección hacia el mar, está gobernado por 3 factores:

- La asimetría en el perfil de la ola debido al efecto shoaling o peraltamiento y la diferencia resultante de la velocidad del agua hacia tierra y hacia el mar.
- La forma asimétrica de los ripples (rizaduras) de arena.
- La pendiente local del fondo

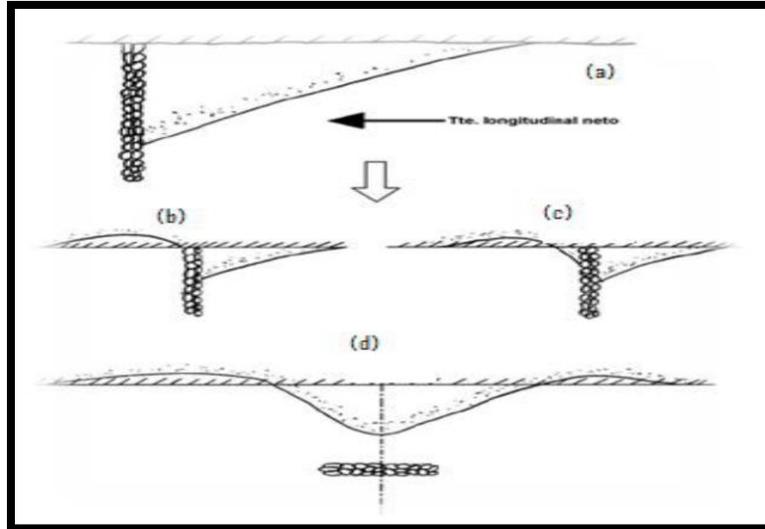


Figura 9. Formación costera de que evidencia la existencia de transporte longitudinal de sedimento.

### Unidades fisiográficas.

Se denomina unidad fisiográfica independiente a aquella porción o tramo de costa donde discurre continuamente el transporte sólido litoral longitudinal; esto es, el tramo de costa comprendido entre dos barreras totales al paso de sedimentos. Por el contrario, si el tramo de costa en cuestión no es totalmente independiente, pero existe una separación física o geográfica que la haga actuar diferenciadamente del tramo de costa aguas arriba (barlomar) o aguas abajo (sotamar), se le suele denominar unidad fisiográfica.

Los accidentes que pueden actuar como barreras totales se pueden clasificar en dos:

- Naturales: cabos, acantilados, cañones submarinos, etc.
- Artificiales: puertos, espigones, islas, etc.

### Transporte eólico.

Cuando el viento sopla sobre una superficie arenosa de la playa y alcanza una determinada velocidad, el grano de arena queda suspendido en el aire, sometido a la fuerza de gravedad y del viento. Entonces es arrastrado hasta que cae de nuevo al suelo, donde rebota, volviendo a elevarse o ayudando a que otro grano lo haga (saltación). Pero cuando el grano cae y no se levanta y por su propia inercia y por la

fuerza que le trasmite el viento, rueda o se arrastra; este movimiento es denominado arrastre.

Las formas eólicas más conocidas son las siguientes:

- Dunas: son acumulaciones de arena producidas por el viento de dirección constante. Los granos de arena son transportados por el viento desde la playa húmeda y la playa seca hasta acumularse en el suelo formando un pequeño montículo. Dos de sus características más acusadas respecto al resto de dunas es que son de desarrollo longitudinal a lo largo de la costa y su forma es casi simétrica.
- Riples o rizaduras: sirven para determinar la dirección media del viento.
- Acumulaciones de arena en apoyos: en ocasiones la acción del viento hace que la arena se traslade al trasdós de la playa, acumulándose al abrigo de una ladera o cualquier elemento que frene su movimiento. Se utilizan barreras para frenar el movimiento de la arena hacia tierra y formar de este modo dunas artificiales.

### **1.3 TIPOS DE OBRAS DE DEFENSA COSTERA.**

Para el diseño de una obra de defensa costera debe destacarse el factor práctico conjugado con el aspecto estético, permitiendo así la integración de dicha obra con el medio natural donde se pretende construir. De igual manera se deben analizar detalladamente los efectos que este tipo de obras generan sobre el medio ambiente. Debe tenerse en cuenta a la hora de señalar objetivos generales que se persiguen con el diseño de estructuras de defensa para la estabilización de una playa lo siguiente:

- La sola estabilización de una playa mediante estructuras de defensa no proporciona la arena suficiente para el mantenimiento de la anchura de la playa; simplemente redistribuyen y mantienen la arena existente no capturando más.
- Una playa y/o una duna regenerada es a menudo vulnerable en corto espacio de tiempo debido a la intensidad de los temporales. Las defensas costeras construidas en conjunción con la regeneración de una playa y/o duna puede aumentar a menudo la durabilidad de la playa. Si el ahorro que se produce por la disminución de pérdidas de arena, que deben reponerse realimentando cada cierto tiempo, es mayor que el coste de las estructuras su construcción podría estar plenamente justificada.

A continuación, se clasifican las diversas obras de defensa de costa: defensas duras y defensas blandas.

#### ***Defensas duras o estructurales.***

Las obras de defensa duras llevan aparejadas una estructura resistente, su clasificación depende de las características de la obra que se tome para ordenarlo. La clasificación más corriente suele ser en función de la situación relativa que se encuentra de la línea de costa, pudiendo ser: defensas longitudinales, espigones o diques y diques exentos.

### ***Defensas longitudinales.***

Este tipo de obras suelen construirse en la línea de costa o en la parte posterior de una playa, normalmente urbana o de urbanización. Suelen tener un doble objetivo, de resistencia al oleaje y como muro soporte de los terrenos situados en el trasdós. En ciertas ocasiones es un sustitutivo de urgencia a la pérdida de la defensa natural, playa, duna, etc.

Estas obras no proporcionan protección a las áreas adyacentes ni a las playas situadas frente a ellas. Pueden modificar los procesos costeros tales como la tasa de transporte longitudinal o la distribución y tasa de transporte transversal frente a ellas. El objetivo principal de estas obras es proteger las propiedades ubicadas en su trasdós.

Este tipo de obras se pueden clasificar en: muros, pantallas y revestimientos

- Muros: son estructuras robustas, estructuralmente pueden ser flexibles o rígidas. Y atendiendo a su forma en perfil pueden ser: verticales, en talud y con formas especiales (escalones, rompeolas, etc.). Aunque existen muchas formas, las mencionadas son las más utilizadas (Figura 10).
- Pantallas: son estructuras más ligeras clavadas o pilotadas que forman un tablestacado para la retención del material del trasdós. Las pantallas a su vez pueden clasificarse en: pantallas tabla estacadas (o pilotadas y ancladas) y de gravedad (Figura 11). Las pantallas tabla estacadas se anclan para soportar el empuje de las tierras del trasdós. En ambos casos se debe poner un pie de protección que evite socavamientos, pues estos tipos de estructuras favorecen las reflexiones del oleaje. Estas estructuras requieren cuando son elementos tablestacados, de una buena penetración y es adecuado su uso cuando son necesarias alturas importantes. Cuando se opta por pantallas de gravedad, estas requieren una buena cimentación unida a una penetración suficiente.

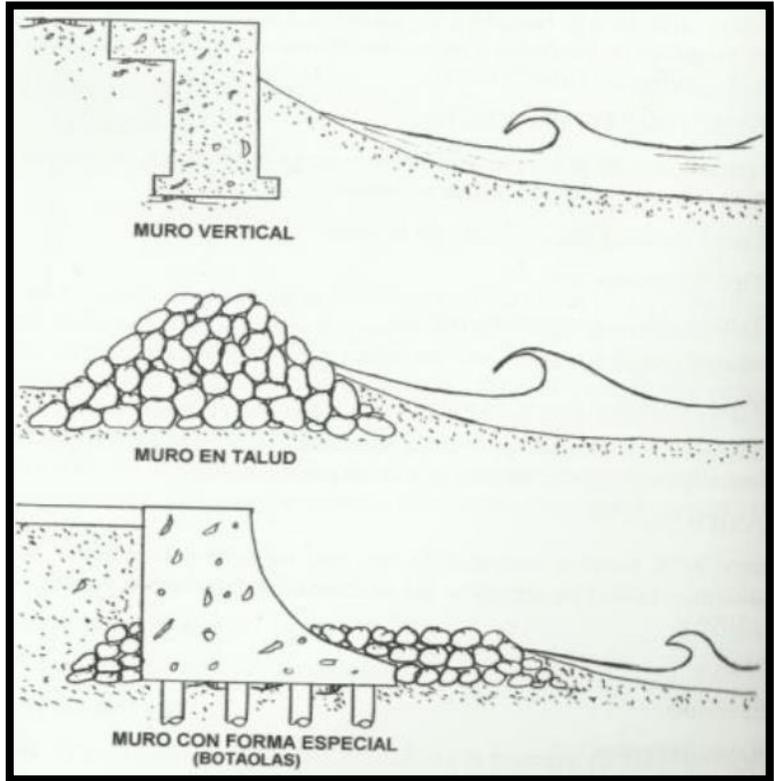


Figura 10. Tipo de muros de defensa.

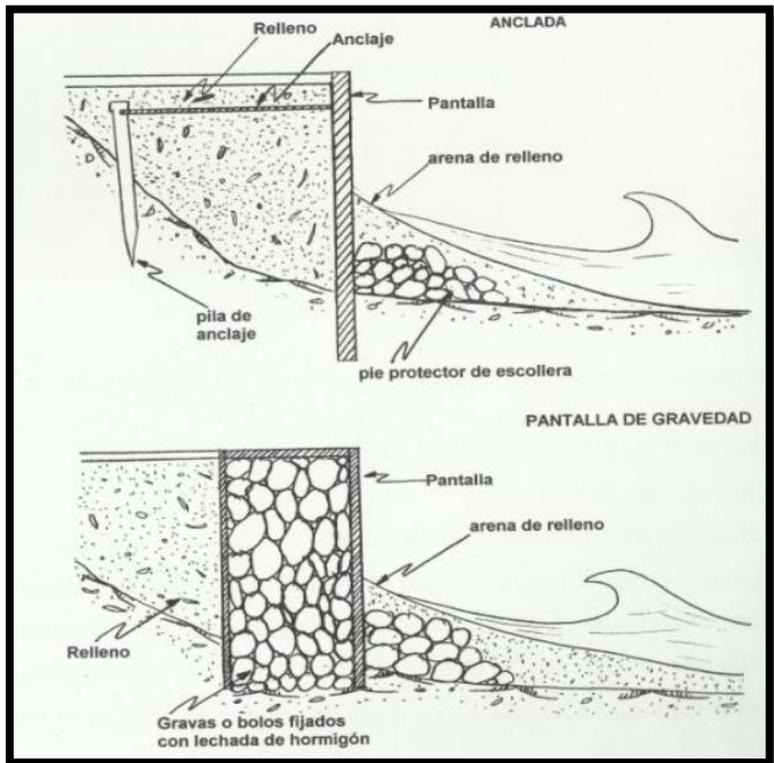


Figura 11. Tipo de pantallas de defensa.

- Revestimientos: son una capa protectora superficial que se asienta sobre un terreno original, dando a este una mayor capacidad de resistencia frente a la acción externa de los agentes climáticos. Suelen ir asentados sobre terrenos en talud, pudiendo tomar una gran variedad de formas. Pueden clasificarse en: rígidos, construidos generalmente por losa de hormigón; y flexibles, construidos en escollera, bloques de hormigón, elementos modulares, asfaltos, etc. (Figura 12).

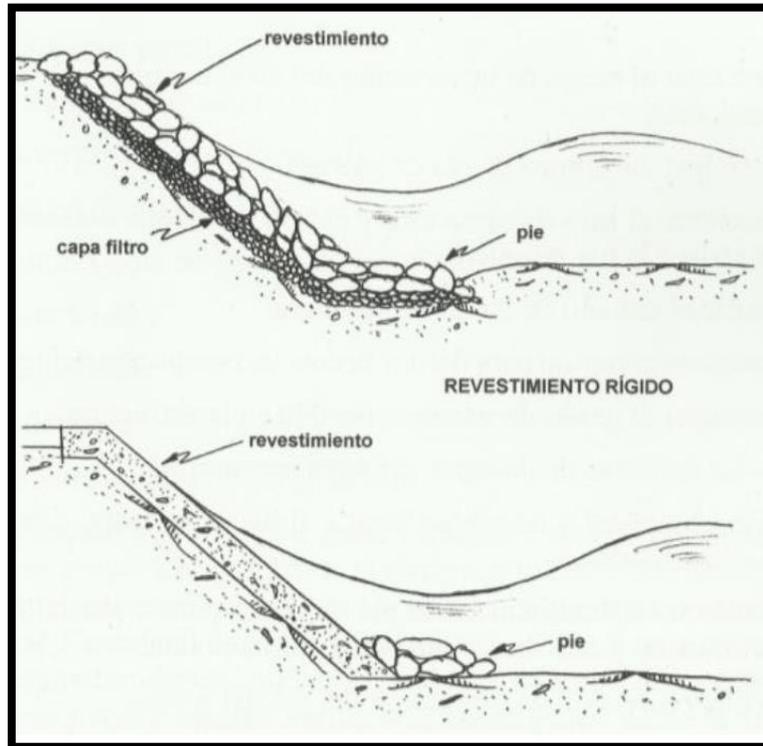


Figura 12. Tipo de revestimientos de defensa de costas.

### ***Diques y Espigones.***

Son estructuras marítimas lineales, aproximadamente transversales a la línea de playa que se utilizan para frenar o retener parcial o totalmente el movimiento de arenas a lo largo de la costa. Los diques suelen entenderse como elementos más compactos y resistentes estructuralmente y los espigones como estructuras más ligeras. Los espigones se pueden construir aislados o dentro de un sistema de espigones. Los espigones necesitan obligatoriamente de una alimentación de arena entre ellos y no

se utilizan como elementos de captación de arena natural. Los espigones se suelen clasificar en talud y verticales.

- Espigones en talud: pueden ser monocapa o multicapa. El monocapa está compuesto exclusivamente de un tipo y tamaño de material. Mientras que la multicapa es más compleja su diseño ya que el cálculo de cada una de sus capas se aborda se aborda como si fuera un dique independiente, generalmente se utilizan cuando se necesita una gran robustez (Figura 13a).
- Espigones verticales: suelen ser menos corrientes que en talud, pues pueden producirse reflexiones que favorecen la pérdida de arena. Su uso puede ser cuando no se necesitan grandes obras de defensa o existen dificultades para construir espigones en talud. Se distinguen dos tipos: aquellas que se aguantan por gravedad y los que se encuentran hincados en el suelo (Figura 13b).

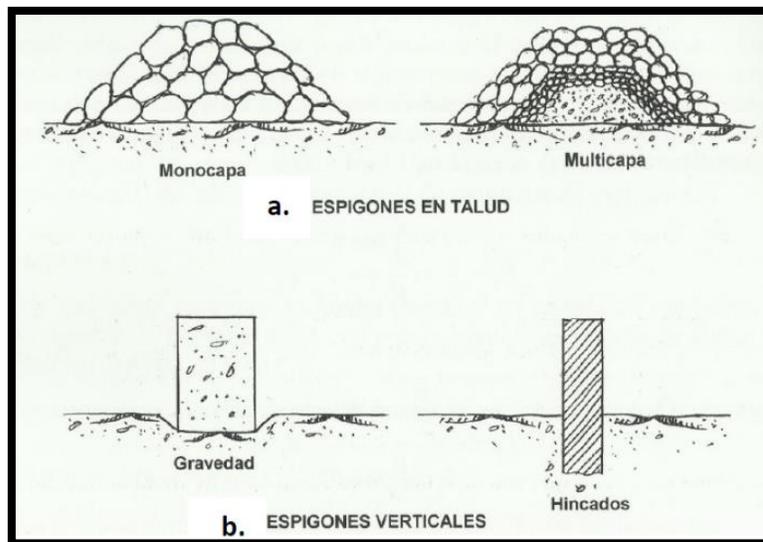


Figura 13. tipo de secciones transversales de espigones.

### Obras exentas o rompeolas.

Son estructuras marítimas lineales, aproximadamente paralelas a la playa y separadas de la línea de su línea de orilla a una distancia determinada. Su objetivo fundamental es crear una zona de remanso, disminuyendo la energía de oleaje en su trasdós, adicionalmente lo que se busca es aumentar la longevidad de una playa, proporcionando así una anchura suficiente de playa que sirva para generar una

superficie de recreo y esparcimiento y a su vez permitir la protección de la tierra y bienestar de su trasdós. Los efectos adversos en la dinámica litoral se traducen en dos puntos: erosión a ambos lados del litoral influenciado por la obra exenta; y reducción de la tasa de transporte longitudinal. Los tipos de obras exentas se pueden clasificar en dos grupos:

- Diques exentos (rompeolas): son diques que se encuentran mar adentro y se desarrollan paralelo o casi paralelo a la línea de costa y su cota de coronación puede fluctuar entre sobrepasar el nivel medio del mar, estar en el nivel medio o algo por debajo (Figura 14).



Figura 14. Dique exento.

- Diques arrecife o pies de playa (rompeolas semisumergido): son obras que se encuentran mar adentro frente a la costa y se desarrollan, continua o discontinuamente, paralelos a ella con una cota de coronación muy baja respecto a la profundidad donde se sitúan (Figura 15).
- Otro tipo de obras que también se pueden incluir dentro de este grupo son las islas-plataforma, los conos de difracción y las barreras de algas artificiales. Dichas obras se pueden decir que han caído en desuso.

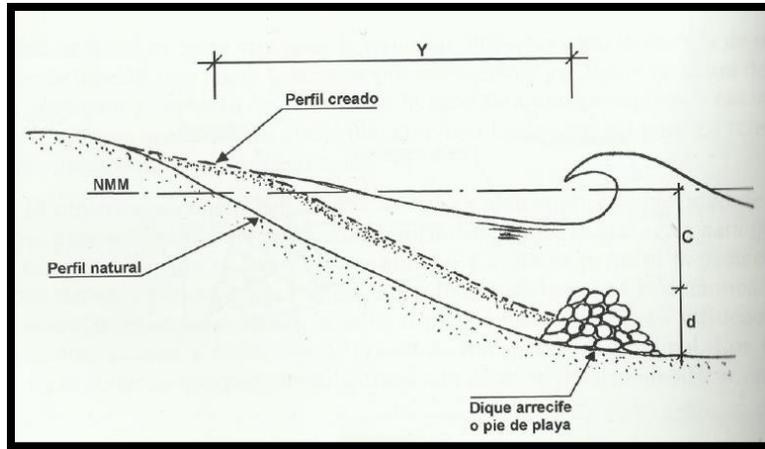


Figura 15. Dique arrecife.

### Obras de defensa blandas o no estructurales.

Dentro de las obras de defensa blandas suele ser englobarse la alimentación artificial, las defensas dunares y los trasvases de arena u otro material sedimentario.

#### **Alimentación artificial de playas.**

Este tipo de actuación costera está entre las más empleadas para mejorar el aspecto costero, y consiste en el vertido de arena u otro tipo de material sedimentario en el litoral. Para que este proceso sea efectivo debe ir acompañado de una serie de estudios previos. El objetivo perseguido es buscar la rehabilitación de la playa o la creación de una nueva. Generalmente la alimentación artificial debe ir precedida y acompañada de una serie de obras de defensa de playa para poder cumplir el objetivo de rehabilitación o creación de una playa.

Los condicionamientos más importantes que tiene la alimentación artificial de playas se desprenden de las tres fases para la realización de la propia obra, que son:

- a. *Zona de préstamo del material:* Esta zona puede estar situada en tierra o en mar; para ambos casos deberá tenerse en cuenta:

El volumen en explotación del yacimiento de áreas, el volumen requerido para la alimentación y el volumen esperado para realimentaciones posteriores.

- La granulometría de la arena y presencia de materiales finos, gruesos, orgánicos, etc.
- Distancia del yacimiento de la zona a alimentar y profundidad marina del yacimiento.
- Impacto ambiental de la explotación.
- Afectación del dragado a la dinámica litoral de las zonas próximas.

Cuando no existe yacimiento o arenal próximos naturales, puede plantearse el uso de arenas procedentes de machaqueo de rocas. Para ello debe hacerse adicionalmente un estudio previo de los costes ambientales y económicos de esta alternativa.

Antes de explorar la zona de préstamo, es necesario hacer una exploración e identificación de la fuente de material. Para ello deben realizarse los siguientes pasos:

- Exploración de campo: comprende los estudios preliminares de gabinete, la explotación general, campaña detallada del lugar, y una evaluación final.
- Equipo requerido: los equipos más importantes utilizados son: el equipo de reflexión sísmica, aparato vibrocore, sistema de posicionamiento y equipo de transporte (barco, todoterreno, etc.).

Estudio de gabinete: se realizan para analizar los datos recolectados. Primero se trabaja con mapas y cartas náuticas, fotografías aéreas verticales e informes y trabajos realizados en la zona. Después se analizan los datos y se determinan los lugares de toma de muestras. Finalmente se realiza la evaluación final.

- b. *Sistema de transporte y vías de tránsito:* cuando el yacimiento se encuentra en el mar el sistema más normal de extracción y transporte es la draga (Figura 16). En general, es problemático su transporte, estando condicionado únicamente por la profundidad y distancia de la extracción del material. Los yacimientos en tierra pueden proceder de playas con excedencia de material o arenales tierra adentro. En el primer caso el transporte puede realizarse mediante camiones, por transvase de tubería, cinta transportadora. En el caso de los yacimientos ubicados tierra adentro el transporte más común utilizado son los camiones. Así mismo debe

estudiarse el impacto ambiental que el movimiento de camiones puede provocar en el entorno.

- c. *Sistema de alimentación*: existe dos formas de llenado del material a lo largo de la playa



Figura 16. Sistema de extracción y dragado con una draga.

- Verter uniformemente a lo largo de la costa: la manera de verter puede hacerse de 5 maneras diferentes: forma duna, dura y berma, berma, a lo largo del perfil, formando una barra cerca de la costa.
- Verter en puntos apilando la arena: la construcción del caballón de arena de préstamo en la playa define la forma con que se irá estructurando el perfil de relleno a lo largo del tiempo.

### **Defensas dunares.**

En gran parte del litoral formado por playas, con el paso del tiempo se han ido creando unas reservas de arena de formas de dunas de tipo longitudinal. En época de grandes temporales la playa defiende a la trasplaya interponiendo entre ambos un montículo o duna que puede ser atacada por el mar, deshaciendo parte de su estructura, aportando la arena para formar la barra de temporal. La duna se convierte en un depósito natural de sedimento de la playa.

El ciclo de formación dunar está gobernado por la doble acción del mar y del viento. El transporte sólido litoral transversal en un perfil de playa deposita material que los temporales han movido, depositándose en la playa seca. Una vez allí el viento seca el grano transportándolo hasta tierra adentro formando la duna.

El método de creación y asentamiento de las defensas dunares de manera artificial puede hacerse genéricamente por dos métodos. El primero consiste en la alimentación y creación directa de dunas artificiales, es un método más rápido y especialmente apropiado frente a situaciones donde es necesaria la recreación dunar cuando han sido erosionadas por temporales o cuando las necesidades sociales obligan a una actuación rápida para la defensa del litoral.

El segundo consiste en la creación de trampas eólicas que frenen el transporte eólico y la propia naturaleza crea la duna litoral. Este método es mucho más lento que el anterior al ser la propia naturaleza que con la ayuda de trampas crea la duna, lo que solo es factible realizarse cuando se den determinadas condiciones, en especial que exista transporte eólico capaz de ser interrumpido, que se posea tiempo suficiente para que la naturaleza cree la duna y que exista suficiente arena para ello.

La tipología de trampas eólicas es muy amplia, a modo de ejemplo pueden agruparse según su modo de trabajar en:

- Las que forman pantallas permeables que permiten el paso de parte del viento, frenando y obligando a decantar las partículas de arena en suspensión. Las pantallas pueden ser de cualquier tipo de material, es normal que tengan 1 metro aproximado de altura con la mitad de su área. Cuando las pantallas se van cubriendo, se instalan nuevas pantallas encima, hasta que se considere la altura de duna suficiente.
- También se suelen utilizar arbustos resistentes que desempeñan una función equivalente a la de las pantallas.
- Finalmente, se han usado pantallas de baja altura, líneas de estacas de pequeña longitud, etc.

Una vez creada la duna debe estabilizarse, dicho proceso se puede realizar a través de la plantación de hierbas, arbustos y hasta árboles.

### ***Trasvase de arenas.***

También conocido con el nombre de by-passing. Su función básica es salvar artificialmente un obstáculo que interrumpe el normal movimiento de sedimento a lo largo de la costa. Un trasvase o by-passing está compuesto básicamente de: una captación de arenas, un transporte de sedimentos y un depósito aguas abajo reintegrando el sedimento a la dinámica costera.

- 1) Captación: está basada en dos componentes básicos interrelacionados entre sí:
  - Sistema de extracción e impulsión: en este sistema se toma la arena de la playa a barlomar que puede ser de manera fija, semifija y móvil.
  - Sistema de capturar la arena: se puede realizar a través de dos formas que consisten en la interceptación y el almacenamiento. El sistema de interceptación es aquel en el que la captación se hace en un determinado lugar en el que se supone que el sedimento se moverá hacia él, siendo común ubicar el sistema de extracción en los extremos de las obras marítimas (diques, espigones, etc.) que interrumpen el transporte sólido longitudinal. En lo que se refiere a las áreas de almacenamiento suelen ser los tramos de acreción (playas que han crecido debido a la barrera que impide el transporte sólido litoral), las barras, los cuencos de depósitos y los canales de entrada.
  
- 2) Transporte: los sistemas de transporte se clasifican transporte en dos:
  - Por mar: una vez dragado el material puede depositarse en una cántara y transportarse en ella, o en un sistema de impulsión enviarse a una tubería que transporte la arena hasta el lugar de depósito. Las tuberías de transporte que suelen utilizarse en el mar pueden ser flotantes o sumergidas.
  - Por tierra: puede realizarse en camiones o dumpers y por tubería, aunque ha aparecido algunas formas de transporte donde utilizan cinta transportadora. Los transportes por camiones o dumper suelen asociarse a extracción de arena

mediante equipos mecánicos en tierra (retroexcavadoras, etc.) y su uso más frecuente es para transvases de arena con periodicidad baja.

- 3) Depósito: la función final cuyo propósito es descargar y depositar el material en la playa para que el sedimento entre nuevamente en la dinámica litoral habiendo rebasado el obstáculo que lo impedía. El depósito depende parcialmente del sistema de transporte. El depósito de arenas transvasadas puede dividirse en dos:
- Descarga: el material se puede distribuir en distintos puntos del perfil, especialmente en el estrán creando una duna continua a lo largo de la playa; o en la playa sumergida es corriente formar barras de arena en la zona activa del perfil de playa.
  - Distribución: tanto en perfil como longitudinalmente puede hacerse de manera artificial o natural. Cuando se elige la primera opción puede ayudarse a la distribución del material mediante la extensión con equipos mecánicos que hacen una distribución previa hasta el estrán.
  - Dentro de la diversidad de sistemas de trasvase, existen unas características básicas que permiten clasificarlos dependiendo del modo de funcionamiento en el tiempo y de la movilidad de sus componentes de captación y descarga.

Según su funcionamiento pueden ser:

- Continuos: cuando funcionan regularmente.
- Periódicos: cuando su funcionamiento depende de la necesidad del transvase.

Según la movilidad de sus componentes: se refiere normalmente a los sistemas extractores o de captación de arena, los cuales pueden ser:

- Fijos: construidos y operados para una localización concreta.
- Semimóviles: cuando a la planta se le dota de una cierta movilidad.
- Móviles: cuando el sistema opera con elasticidad en su localización.

## **1.4 IMPACTOS DE LAS OBRAS DE DEFENSA DE COSTA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.**

Los impactos medioambientales que pueden producir las obras de defensa costeras se pueden analizar clasificándolos en tres grupos: obras longitudinales, diques y espigones (transversales y exentos) y alimentación artificial. En el análisis de cada uno de los grupos nombrados anteriormente, se deben considerar 4 tipos de impactos básicos que son:

- Estabilidad litoral
- Ecología
- Paisaje
- Usos del litoral

### **Estabilidad litoral:**

En la estabilidad litoral deben estudiarse todos los aspectos que hacen que un tramo de costa se encuentre estable, siendo el transporte sólido litoral el de mayor importancia. El estudio de la evolución del transporte sólido litoral debe extenderse a toda una unidad fisiográfica donde se localiza la actuación en la costa, tanto en la ejecución de la obra como tras su ejecución.

### ***Obras longitudinales.***

Las obras longitudinales ligadas a la orilla del mar interfieren moderadamente el transporte longitudinal; pero pueden interrumpir transversalmente el ciclo del perfil de bonanza y temporal, ya que no permite que el material de la playa se incorpore a la dinámica propia del perfil de la playa.

Al efecto transversal, hay que unir las reflexiones del oleaje que se generan y provocan un aumento en el nivel de agitación delante de la obra. Los dos efectos transversales indicados pueden construir para la propia estructura; al aumentar el riesgo de desplazamiento del pie de ésta, además de constituir un síntoma de erosión de la playa. En el supuesto en que la obra no se sitúe a una distancia suficiente de la línea

de orilla que no alcance el mar, los efectos transversales indicados desaparecerán en su mayoría, si bien, posiblemente en este supuesto también desaparecerá la razón que motivaría la construcción de dicha obra.

### ***Diques y espigones.***

Los diques y espigones transversales tienen comportamientos distintos respecto a la dinámica litoral dependiendo de la longitud de éstos, que hacen que sean o no barreras totales al paso de sedimentos. A su vez el impacto de análisis medioambiental en la estabilidad litoral de este tipo de obras debe estar condicionado a la existencia o no de transporte sólido litoral.

En el supuesto de existencia de transporte longitudinal de cierta importancia una obra transversal que interrumpa totalmente el paso de sedimentos hace que la unidad fisiográfica se compartimente, reduciendo la influencia sedimentaria a barloomar de la obra, ello suele provocar en la subunidad fisiográfica a sotamar una erosión importante que va creciendo con el tiempo y el espacio ya que debe sustituir la antigua fuente sedimentaria por una nueva que suele ser las playas más aguas arriba, erosionando más aguas abajo cuando más material se vaya necesitando y no encontrándose en las primeras playas erosionadas. Este efecto pernicioso para toda la costa situada a sotamar, se podría ver en el futuro subsanado si la acumulación de material sedimentario es tal que llegue a rebasar la obra.

Los espigones cortos trabajan de diferente forma, al permitir al paso de sedimento a su través, si bien la estabilidad de la playa donde se realiza la actuación se encuentra estable en menor medida, ya que los ciclos del perfil transversal de bonanza-temporal hacen que saque material de la celda protegida por el espigón y lo incorpore al transporte sólido litoral, reduciendo ostensiblemente la eficacia y los objetivos marcados para la propia obra.

Cuando el transporte longitudinal es prácticamente nulo el efecto de los espigones se reduce hasta ser prácticamente nula su influencia, si bien en el mismo grado se reduce

la eficacia de la misma obra que posiblemente no tenga demasiado sentido su construcción.

Los diques exentos y espigones tienen un comportamiento totalmente diferente según a la distancia que se sitúan de la costa. Aquellos que se sitúan a una distancia tal que exteriormente el transporte longitudinal sea prácticamente nulo, actúan como sumideros de materiales, absorbiendo tanto a sotamar como a barlomar la mayoría del material transportado, provocando la generación de un hemitómbolo o de un tómbolo dependiendo de la distancia relativa de la obra. Una vez formado el tómbolo o hemitómbolo, el comportamiento frente a la dinámica litoral es similar al indicado para los espigones largos. Si la obra se sitúa a una distancia que permita exteriormente el paso de sedimento, la obra actuará de sumidero de material, formando finalmente un tómbolo, la diferencia se enmarca en torno a su relleno que sería rebasable.

El poder de absorción de materiales de los diques exentos puede ser tan significativo que el efecto erosivo se nota a pocos metros de la obra, pudiendo ser tanto aguas arriba como aguas abajo de la misma.

### **Alimentación artificial.**

La alimentación artificial supone la existencia de una playa en el borde costero, que significa el mejor medio de protección de la trasplaya frente a la acción marina. Para el estudio de impacto ambiental en la estabilidad litoral deben estudiarse dos aspectos: la compatibilidad de la arena natural y la que se pretende aportar; y la evolución previsible de la propia actuación, vida previsible.

La compatibilidad entre la arena natural y la que se pretende aportar hay que tener presente para ambos materiales: la distribución granulométrica óptima y compactible; el grado y tiempo de reclasificación del grano, tras la aportación; y finalmente la estimación de pérdida de material. En cuanto a la evolución previsible de la propia actuación, una alimentación artificial no garantiza la solución al problema que ocasionó la pérdida de material.

## **Ecología:**

El estudio de impacto ambiental ecológico de una actuación costera debe dirigirse a la actividad biológica y a la calidad del medio, agua y materiales, de su entorno, sin necesidad de extenderlo a toda la unidad fisiográfica donde se encuentra inmerso.

### ***Obras longitudinales.***

Este tipo de obras generalmente tienen poco impacto sobre la actividad biológica de la zona. Se puede señalar que las estructuras flexibles tales como de escollera, bloques, entre otras; constituyen un nuevo hábitat para un gran número de especies. La segunda de las alteraciones que este tipo de obras produce viene derivada de la agitación que provocan frente a ellas, pudiendo alterar el hábitat de ciertas especies y modificar la calidad de las aguas por el aumento de la turbidez.

### ***Diques y espigones.***

El impacto negativo sobre el ecosistema de los espigones y diques se centra en la ocupación de parte del lecho marino por la estructura y el relleno del material de los fondos. Del otro lado estas obras actúan positivamente al actuar como arrecifes artificiales, alcanzando un grado de colonización grande.

### ***Alimentación artificial.***

Tras la alimentación artificial de una playa se producen 3 fenómenos que condicionan el ecosistema:

- La capa superficial del fondo marino queda cubierta por un manto de arena de espesor variable.
- El perfil transversal de la playa se modifica.
- La agitación sobre el nuevo medio aumenta la turbidez del agua.

Entre las alteraciones biológicas más importantes pueden resaltarse

Alteración en la puesta e incubación de los huevos.

- Obstrucción en las branquias por presencia de sedimentos finos en suspensión.

- Rotura de la red alimentaria.

En este tipo de actuación costera deben limitarse los materiales con excesivos finos, materiales pesados y materiales orgánicos.

### **Paisaje:**

En este impacto ambiental debe tenerse en cuenta los ángulos de visión, la integración con el entorno, la accesibilidad a la obra y la imagen que esta genera al espectador.

### ***Obras longitudinales.***

Este tipo de obras costeras tienen impactos negativos en este ámbito debido especialmente al cambio artificial que supone la defensa del plano natural, la monotonía de largas obras lineales, el efecto barrera, la aridez, la ausencia de vegetación, etc.

### ***Diques y Espigones.***

Los impactos estéticos ambientales negativos se centran generalmente en:

- Compartimentación de un tramo litoral con difícil acceso entre ellos.
- Alteración lateral o frontal del campo de visión marino.
- Aridez
- Suciedad de los laterales de las celdas que forman la obra.
- Aumento de zonas de difícil limpieza o auto limpieza con acumulación de basuras.
- Disminución de las corrientes marinas que facilitan la limpieza de las aguas, dando lugar a aguas de menor calidad y polucionadas.

### ***Alimentación artificial.***

La alimentación artificial con arena de un tramo determinado de costa suele suponer la aproximación mayor de una obra a la propia naturaleza costera, lo cual indica que el impacto estético ambiental suele ser mínimo pudiéndose resumir en:

- El cambio de la tonalidad de las arenas respecto al material primitivo
- Alteración de la textura y granulometría de la arena, pudiendo generar comodidad o incomodidad de los visitantes al transitar o sentarse sobre ella

- Modificación de la pendiente de la playa, que puede ser incómodo tanto en la playa seca como húmeda.
- Aumento de la turbidez del agua que puede ser percibida como de mala calidad.

### **Uso litoral:**

El último impacto ambiental a tener en cuenta es el relacionado con el uso que la franja litoral se le vaya a dar o a la actividad que sobre ella se pretenda desarrollar.

### ***Obras longitudinales.***

Las obras longitudinales en general, tienen el objetivo de defensa de bienes existentes en la tras playa por lo que puede proporcionar beneficios de uso en la franja litoral terrestre, si bien el efecto de barrera que estos suponen suele conllevar la imposibilidad de uso de la franja litoral más próxima al mar, pudiendo utilizarse como paseo.

### ***Diques y espigones.***

Los diques y espigones suelen tener como objetivo la creación de una playa a su resguardo, lo que facilita su uso de zona de esparcimiento, no entrando en los efectos secundarios que pudieran aparecer en playas de su misma unidad fisiográfica. Cuando los espigones inician en la playa seca, limitan la continuidad de ésta, reduciendo ciertas actividades como paseos, deportes náuticos, etc.

### ***Alimentación artificial.***

La alimentación artificial de tanto en cuando reproduce una playa natural, no parece que tenga problemas de uso relacionado intrínsecamente con ella, pudiendo afectar el tamaño del grano para la comodidad de los visitantes, deportistas, etc.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1 IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE COATZACOALCOS, VERACRUZ.**

Coatzacoalcos, anteriormente llamado Puerto México, es un puerto comercial e industrial que, aunado al recinto portuario de Pajaritos, conforma un conjunto de instalaciones portuarias de gran capacidad para el manejo de embarcaciones de gran tamaño y altos volúmenes de carga

Coatzacoalcos es considerado como el polo de desarrollo más importante en el sur de Veracruz, debido a su ubicación estratégica que le ha permitido ser un centro de distribución de distintas mercancías, así como por considerarse uno de los puertos más importantes en la producción petroquímica y petrolera del país. El corredor industrial formado entre Coatzacoalcos y Minatitlán comprende una zona de influencia que abarca las ciudades de Cosoleacaque, Nanchital, Agua Dulce y Las Choapas, extendiendo su área de influencia hasta la ciudad de Acayucan, Veracruz y La Venta, Tabasco

El Puerto de Coatzacoalcos, ubicado al norte del Istmo de Tehuantepec, limita con los municipios de: Chinameca, Moloacán, Oteapan, Minatitlán, Las Choapas, Agua Dulce, Nanchital, e Ixhuatlán del Sureste; y alberga a los Ejidos de: 5 de Mayo, Francisco Villa, La Esperanza, Lázaro Cárdenas, Manuel Almanza, Paso a Desnivel y Rincón Grande; la Villa de Allende, las congregaciones de: Colorado, Guillermo Prieto, Las Barrillas y Mundo Nuevo y a la Cabecera Municipal: La Ciudad de Coatzacoalcos.

El puerto está vinculado con el puerto de Salina Cruz, con el que tiene una distancia de 300 Km., Coatzacoalcos ofrece la oportunidad de operar un corredor de transporte intermodal para tráfico internacional de mercancías y constituye la base para el desarrollo de actividades industriales, agropecuarias, forestales y comerciales en la región del Istmo de Tehuantepec.

Se localiza en la vertiente del Golfo de México, en la porción sur del Estado de Veracruz, en la desembocadura del río Coatzacoalcos en situación geográfica (Figura 17):

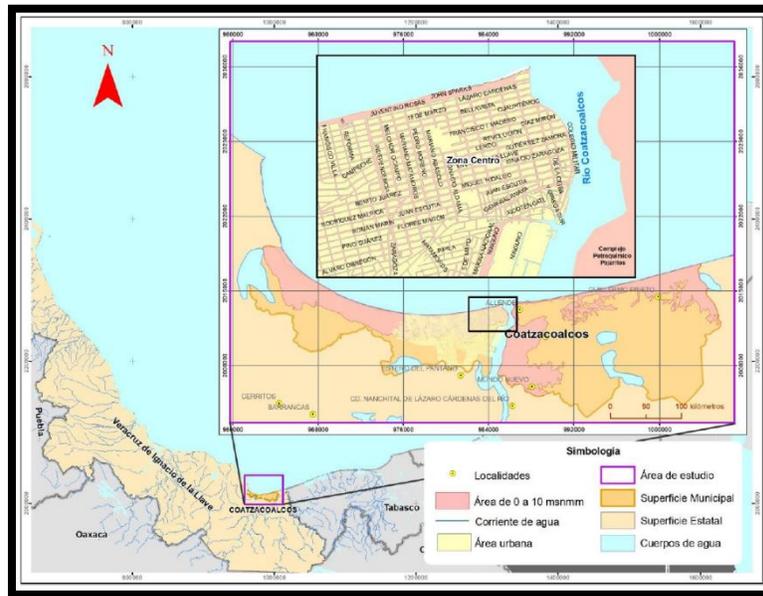


Figura 17. Localización de Coatzacoalcos.

## METEOROLOGÍA DE COATZACOALCOS.

### Condiciones Meteorológicas.

El Puerto de Coatzacoalcos, mantiene un clima tropical húmedo por la localización geográfica al sur del trópico de cáncer y por la falta de relieve topográfico de importancia. Por su poca altitud y exposición de los vientos, el efecto del mar en los factores del clima es el más relevante, los vientos dominantes son los del este y del sureste. Se mantiene un clima tropical húmedo con temporadas de lluvias de junio a septiembre, con mayor precipitación en los meses de agosto y septiembre, donde el porcentaje de lluvias anual oscila entre 6 y 10.5% con respecto a las lluvias del mes más seco. La temperatura media anual en las tierras bajas, se mantiene por encima de los 25° C y desciende muy ligeramente en las faldas de las colinas que limitan por el sur. Durante los meses de noviembre a febrero, la variación oscila de 4 a 10° C.

## Viento Dominante.

Los vientos dominantes son del noreste con variantes al noroeste de mayo a agosto; se trata de vientos alisios modificados ligeramente en su dirección por condiciones regionales que se imponen en la circulación general de la atmósfera. Sus velocidades promedio son: de 3.2. A 4.2 m/seg. (6 a 8 nudos) aumentando de mayo a septiembre entre 4.5 y 5.5 m/seg (9 a 11 nudos), y de octubre a febrero hasta de 6.3 m/seg. (12.6 nudos) durante el invierno, cuando sopla el norte aumenta considerablemente. Los vientos dominantes de octubre a marzo son del norte (acompañados de lluvias continuas), de abril a septiembre los vientos dominantes son del este y sureste (Figura 18).

Mes del año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Año
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	1-12
Dirección del viento dominante	↗	↗	↗	↖	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Probabilidad de viento >= 4 Beaufort (%)	31	28	29	24	17	13	12	9	6	14	23	27	19
Velocidad media del viento (kts)	11	10	10	9	8	7	8	7	7	8	9	10	8
Temperatura media del aire (°C)	22	24	26	28	29	29	29	28	28	27	25	24	26

Figura 18. Régimen anual de vientos dominantes

## Oleaje.

El oleaje que arriba a Coatzacoalcos es de poca energía y/o poca altura, salvo en la época de Nortes o frentes fríos, cuando la energía suele ser mayor. Así mismo, debido al oleaje, detrás de la zona de rompiente suelen formarse corrientes costeras que corren paralelas a la costa. Es de hacer notar que los huracanes en aguas profundas del Golfo de México generan olas de alturas mayores a los 10 m y periodos de ola mayores a los 13 s, y debido a la somera plataforma continental al Norte de Coatzacoalcos, este oleaje no llega a la costa. El proceso de rompimiento de olas por efecto de asomeramiento y su reconstitución en olas de menor tamaño y periodo más corto ha sido discutido por Kinsman (2012), por lo que, como se mencionó, las olas que llegan a la costa de Coatzacoalcos, son de baja altura y periodos medios (8 segundos). El oleaje con componente Norte suma una frecuencia de ocurrencia mayor del 39%.

El oleaje del Este en mar abierto tiene su origen en los Alisios y ondas del Este, mientras que los de componente Norte tienen tanto su origen en los Alisios que se orientan hacia el Sur del Golfo como por los vientos del Norte en las temporadas de otoño-invierno.

El porcentaje de calmas frente a de Coatzacoalcos es de 19%, que es una quinta parte del año. El oleaje que arriba a Coatzacoalcos es de poca energía y/o poca altura, salvo en la época de Nortes o frentes fríos, cuando la energía suele ser mayor. La conformación de la costa y la batimetría en la zona Sur del Golfo de México, con Coatzacoalcos en el extremo Sur, genera que los oleajes se orienten con componente Norte.

### **Corrientes marinas.**

Considerando la corriente marina cerca de la costa que se mueve en dirección SW, a una velocidad de 1 nudo y en épocas de Norte se mueve con componente Sur con velocidades hasta de 3 nudos, pero al acercarse a las escolleras del Río Coatzacoalcos se establece una corriente en dirección E, dentro del río la corriente varía con la marea, alcanzando su máxima velocidad aproximadamente 2 horas después de la pleamar. El sistema de corrientes en la localidad, es paralelo a la costa y está inmerso en el sistema de corrientes del Golfo de México, incluidas las corrientes de mareas. En la desembocadura del Río Coatzacoalcos existen corrientes locales ocasionadas por el deslizamiento de las corrientes fluviales, las cuales a su vez son influenciadas por el viento y la corriente costera al momento.

La muestra un estadístico de las direcciones de las corrientes marinas costa afuera y sus respectivas intensidades en nudos. Se observa que las corrientes son hacia los ocho sectores con baja intensidad y con pocas calmas.

Las corrientes marinas en estas zonas son de poca intensidad velocidad menor a los 0.90 nudos (aproximadamente 0.45 m/s). Las más intensas son hacia el Sur y Suroeste con valores de velocidad en el rango  $1.0 < \text{vel.} < 1.9$  nudos (entre 0.45 y 0.90 m/s); estas últimas corrientes generadas seguramente por los vientos del Norte. Cuando no hay una persistencia de una dirección de la corriente, las direcciones de las corrientes marinas son de todos los cuadrantes (Figura 19).

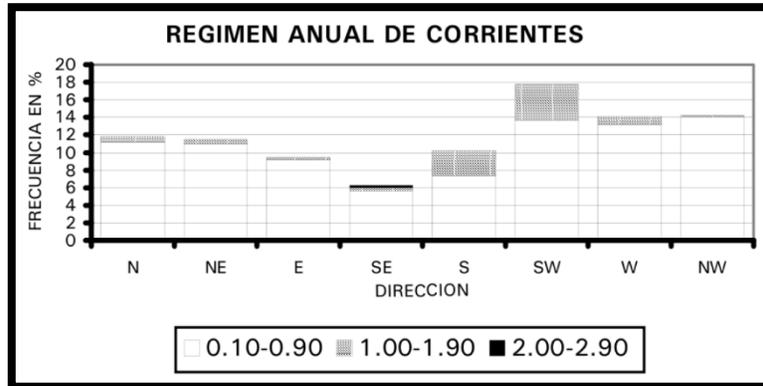


Figura 19. Régimen anual de corrientes marinas en la zona de Coatzacoalcos

## Lluvias.

En la zona del sureste del Estado de Veracruz, llueve casi durante todo el año, en cuanto se inicia el verano, las precipitaciones aumentan alcanzando su máxima precipitación en los meses de septiembre y octubre. El mes de octubre es el que ha registrado las lluvias más copiosas con un promedio de 522.74 mm. esto se debe a las influencias ciclónicas que perturban el golfo, cuya época da inicio desde el mes de junio. A partir de mediados de octubre, la precipitación fluvial decrece hasta alcanzar en el mes de marzo unos 53.37 mm. como promedio. Todavía en los meses de diciembre y enero las cifras se mantienen en los 150 mm. y esto se debe a los constantes frentes fríos comúnmente denominados "Nortes". La precipitación total anual en las costas es mayor de 1,500 milímetros, incrementándose gradualmente conforme se avanza hacia el sur donde se registra un volumen de 5,000 milímetros. En gran parte de la zona sur del estado la precipitación es estacional, el período de lluvias abarca de junio a octubre, dentro de este se presentan dos máximas, la primera en junio y la segunda en octubre, con un promedio de 380mm. La precipitación media

anual es de 2,832 mm, la precipitación media mensual mínima es de 50 mm, en abril y la máxima de 556 mm, en septiembre, según las estadísticas de los últimos cuarenta años.

### Fondos del puerto.

A continuación, se adjuntan un mapa (Figura 20) con las profundidades en la costa del puerto de Coatzacoalcos, Veracruz.

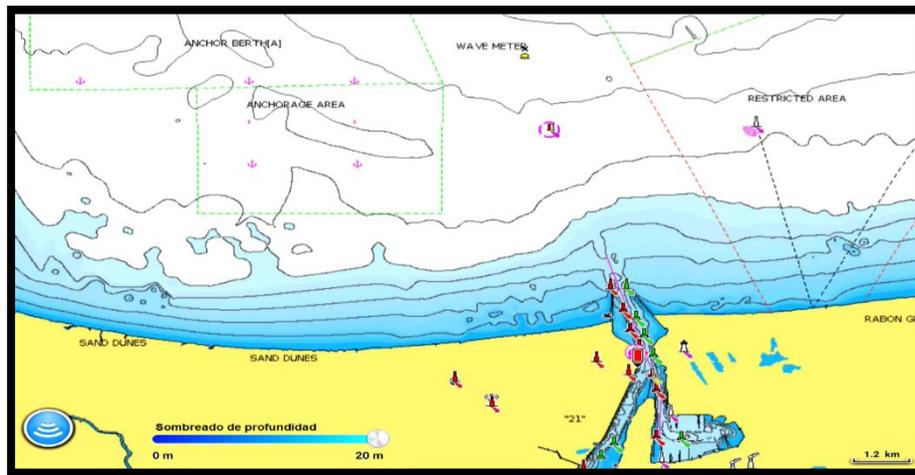


Figura 20. Costa de Coatzacoalcos, Veracruz.

Se puede observar que las profundidades de la zona costera de Coatzacoalcos varían entre los 0.5 m y los 20 metros. En cambio, las profundidades en la zona del río Coatzacoalcos varía entre los 1 y 15 metros (Figura 21).

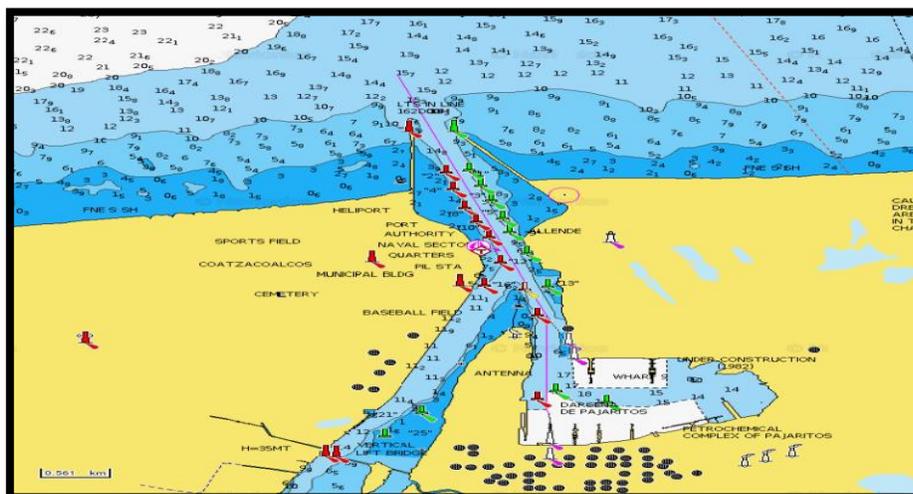


Figura 21. Profundidades de las inmediaciones del Puerto de Coatzacoalcos.

## **2.2 ESTADO ACTUAL DE LA ZONA COSTERA.**

En el año de 2014, la secretaria de turismo (SECTUR) y la comisión nacional de ciencia y tecnología (CONACYT) realizó un estudio con el título “Estudio de vulnerabilidad al cambio climático en diez destinos turísticos seleccionados”, en donde el municipio de Coatzacoalcos fue uno de los seleccionados para dicho estudio. En dicho estudio se elaboraron diagnósticos de la vulnerabilidad ante diversos impactos adversos de la variabilidad climática y el cambio climático.

De acorde al estudio se elaboraron modelos de inundación por la elevación del nivel del mar detectándose que los destinos costeros están amenazados por este fenómeno. Si el mar aumento en un metro, lo que es bastante probable para el fin de siglo, se producirían inundaciones de 48 a 129 km<sup>2</sup> de zona costera, los resultados de este estudio muestran que se inundaría el 15.7 % del municipio. En el estudio del proceso de erosión costera del municipio, se registró un valor de erosión costera promedio de 0.76 m/año. En el estudio realizado se evaluaron varios puntos a lo largo de la línea costera del Coatzacoalcos dando como resultado que la zona con mayor desplazamiento de la línea de costera es la del Monumento a Hidalgo con -67.1 metros en un lapso de 47 años.

El proyecto en la playa de Coatzacoalcos nace por el deterioro o falla de las funciones como defensa de la costa y para su uso recreativo. Además, la barrera protectora tiene la finalidad de crear hábitats marinos a poca profundidad para beneplácito del turismo amante de la observación de peces y otros organismos, traduciéndose en mejoramiento ecológico, además de la recuperación de la playa como un factor de alto valor promocional y económico.

Esta localidad, como muchas otras zonas costeras en el Golfo de México, presenta erosión de sus costas; que puede ser generada en forma natural por las corrientes y oleaje o por fenómenos meteorológicos y probablemente por el incremento del nivel del mar y océano debido al calentamiento global.

Coatzacoalcos es un lugar turístico con grandes zonas recreativas, unos de zonas con mayor visita turística es la zona de la Casa de la Cultura y también es una de las zonas con mayor deterioro en la infraestructura del malecón costero a causa del oleaje en esta zona dado a que ya no existe playa en dicho sitio (Figura 22).



Figura 22. Intenso oleaje en malecón costero.

En el diciembre de 2016 la infraestructura del malecón costero en la zona de la casa de culturas sufrió un gran daño a causa del oleaje generado por inclemencias meteorológicas generando un riesgo potencial por los transeúntes que visitan dicha zona dado a que es una zona turística recreativa (Figura 23 y Figura 24).



Figura 23. Infraestructura del malecón costero destruida.

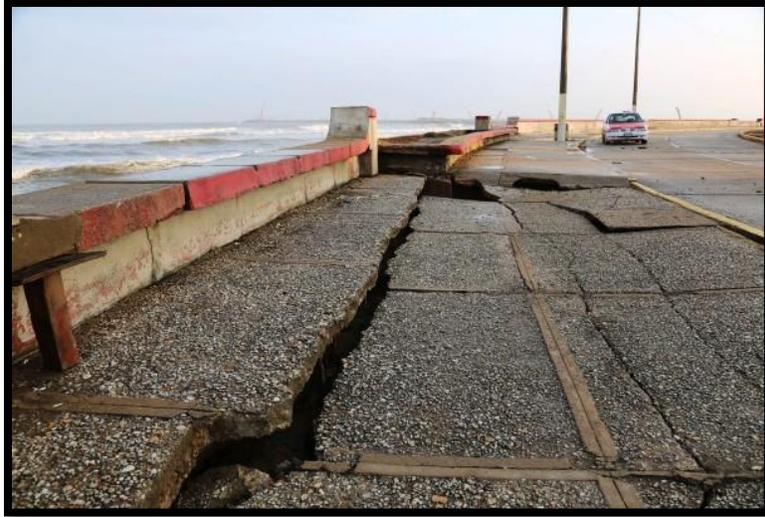


Figura 24. Banqueta del malecón costero dañada 2016.

Hoy en día dicha zona del malecón costero cuenta un sistema de protección costera que no logra mitigar el oleaje sobre la infraestructura del malecón costero y que a su vez se va deteriorando con el paso del tiempo (Figura 25 y Figura 26).

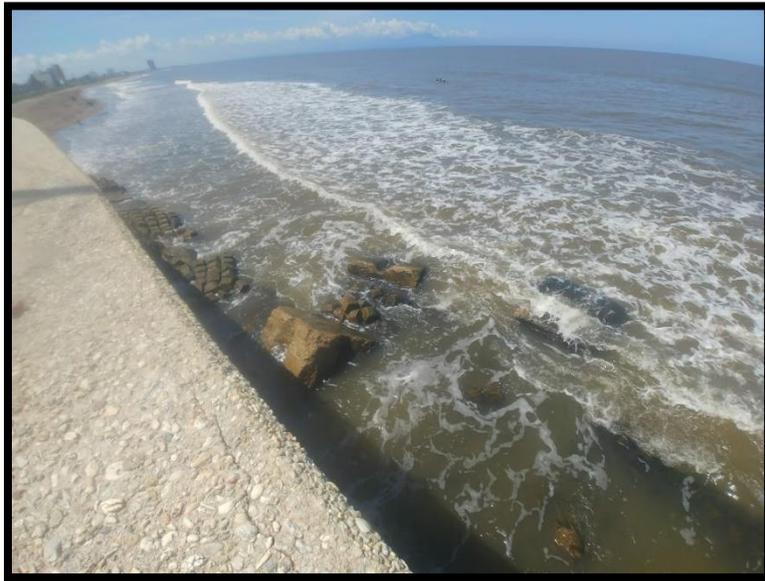


Figura 25. Sistema de protección costera deteriorado, oct. 2018.

En noviembre de 2018, el municipio de Coatzacoalcos resulto afectado tras el paso del frente frio no. 10 causando diversos daños en todo el municipio, notándose mayormente los daños a lo largo de la infraestructura del malecón costero a causa del fuerte oleaje originado por el frente frio no. 10 (Figura 27).



Figura 26. Malecón costero, oct. 2018.



Figura 27. Infraestructura del malecón costero colapsada, nov. 2018.

## **2.3 TECNOLOGÍA DE CONTENEDORES DE ARENA A BASE DE GEOTEXTILES PARA LA PROTECCIÓN DE COSTERA.**

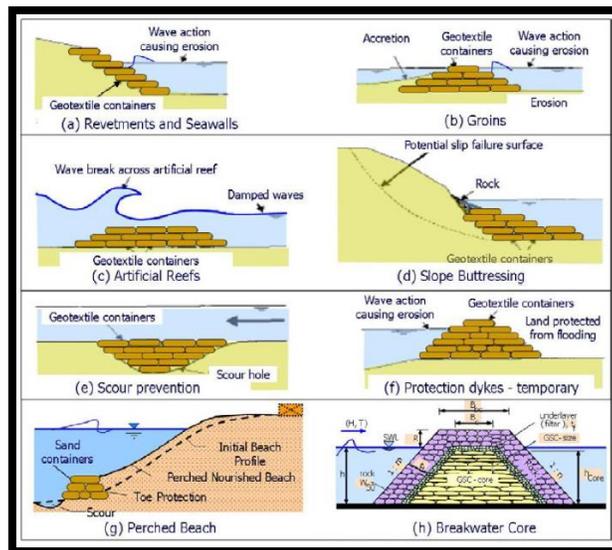
Ante el previsible aumento de tormentas asociadas al cambio climático y los efectos que provocaría el aumento del nivel del mar (inundaciones, erosión costera, etc.), se identificó la necesidad de diseñar nuevas estructuras para la protección costera, que adicionalmente fueran viables en cuanto al coste de construcción y que permitieran aplicarse para reforzar las estructuras existentes. En la búsqueda de soluciones a menor coste y que fueran tecnologías blandas, aparece el concepto de contenedores de arena a base de geotextiles (Geotextil Sand Containers, GSG) clasificado como “soft rock”, empleados como estructuras de defensa costera que fueron utilizados por primera vez en el año de 1950 cuando se construyó un dique en los Países Bajos (Pluimpot) utilizando bolsas de arena. Ese mismo año los alemanes realizaban pruebas en un dique construido con bolsas de arena en el mar del Norte. Inicialmente los geocontenedores fueron utilizados para obras de protección costera que fueran temporales debido a los inconvenientes que presentaron las primeras estructuras hechas para el largo plazo. Desde entonces se han estado desarrollando mejoras en los siguientes aspectos:

- Mejorar la resistencia a largo plazo de los geotextiles (desarrollando aditivos y estabilizantes contra la radiación ultravioleta y revestimientos contra la abrasión).
- Mejorar el tiempo de vida útil de los geotextiles.
- Analizar los mecanismos de degradación que pueden afectar a las estructuras realizadas con geotextiles.
- Identificar los problemas en cuanto a la estabilidad hidráulica que pueden presentar las obras con geotextiles frente a tormentas marinas.

Adicionalmente se desarrollaron mejoras en cuanto al diseño de los contenedores de arena a base de geotextiles (GSCs) utilizados como “soft rock”, permitiendo utilizarlos como obras de defensa costeras construidas con periodos de vida útil más largos.

Una de las aplicaciones en las que se han realizado estudios en los últimos años es en la técnica “geotextile wrap-around”. Dicha técnica puede aplicarse en la construcción de un revestimiento flexible con el fin de proteger el trasdós de la playa. La técnica consiste en envolver y encapsular la arena utilizando un tipo de geotextil como envoltorio, luego se coloca otro contenedor sobre este primero y así hasta alcanzar la altura del revestimiento diseñada.

Entre las aplicaciones están los diques, revestimientos, espigones, arrecifes artificiales, rompeolas, refuerzos dunares, núcleos, etc. (Figura 28).



**Figura 28. Aplicaciones de los geotextiles en ingeniería costera.**

### Propiedades requeridas del geotextil.

Los geotextiles y las geomembranas, incluyendo sus productos relacionados, son conocidos como geosintéticos. Este tipo de material son especialmente fabricados para la aplicación de obras de ingeniería ambiental e ingeniería civil. Mientras que las geomembranas son impermeables al agua, por el contrario, los geotextiles son permeables. La composición del geotextil es principalmente polipropileno (PP > 90%), seguido del poliéster (PET ≈ 5%) y el polietileno (≈ 2%). En función de los procesos de fabricación se distinguen principalmente 2 categorías: los no tejidos y los tejidos. Los geotextiles se clasifican en dos de acuerdo al método de fabricación:

- Geotextiles tejidos: son aquellos formados por hilos entrecruzados en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los tejidos de calada son los formados por hilos de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de los hilos empleados). Su estructura es plana. Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotosas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.
- Geotextiles no tejidos están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cuál sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. Los Geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en: geotextiles no tejidos ligados mecánicamente o agujados, geotextiles no tejidos ligados térmicamente o termo soldados y finalmente geotextiles no tejidos ligados químicamente o resinados.

Types of geosynthetics	Tensile strength (kN/m)	Extension at max. load (%)	Apparent opening size (mm)	Water flow rate (volume permeability) (liters/m <sup>2</sup> /s)	Mass per unit area (g/m <sup>2</sup> )
Nonwovens					
Heat-bonded	3-25	20-60	0.02-0.35	10-200	60-350
Needle-punched	7-90	30-80	0.03-0.20	30-300	100-3000
Resin-bonded	5-30	25-50	0.01-0.25	20-100	130-800
Wovens					
Mono-filament	20-80	20-35	0.07-4.0	80-2000	150-300
Multi-filament	40-1200	10-30	0.05-0.90	20-80	250-1500
Flat tape	8-90	15-25	0.10-0.30	5-25	90-250
Knitted					
Weft	2-5	300-600	0.20-2.0	60-2000	150-300
Warp	20-800	12-30	0.40-1.5	80-300	250-1000
Stitch-bonded	30-1000	10-30	0.07-0.50	50-100	250-1000

Tabla 2. Propiedades de los geotextiles no tejidos.

Como se puede apreciar en la tabla 2, las geotextiles tejidos y no tejidos cada una tienen propiedades significativamente propias que pueden ser aplicadas para atender situaciones específicas.

La menor fuerza de tracción de los geotextiles no-tejidos comparado con los tejidos, representa una desventaja, si el contenedor tiene que adaptarse a tensiones muy grandes durante la instalación con lo cual los errores deben evitarse al máximo en esta etapa. Generalmente esta fuerza de tracción es menor una vez se hayan instalado y estén en operación.

La capacidad de elongación de los geotextiles no-tejidos presenta mayor flexibilidad referente a las deformaciones sin presentar posibles fallos, con lo cual compensa la desventaja descrita en torno a la fuerza de tracción. Esta propiedad es muy importante cuando el contenedor requiere adecuar su forma durante la instalación y la puesta en servicio, generando mayor adaptabilidad frente al desarrollo de una posible erosión. La experiencia en proyectos realizados demuestra que las dimensiones finales de los contenedores de arena donde se utilizaron geotextiles no tejidos son comparables con las que se aplicaron geotextiles tejidos.

En cuanto a la permeabilidad hidráulica, es muy importante cuando se encuentran sujetos al régimen de mareas. El agua debe drenar del contenedor lo suficientemente rápido como para evitar un exceso de presión acumulada y asegurar de esta manera la estabilidad integral del contenedor. Por lo tanto, se requiere que el geotextil tenga una permeabilidad mucho mayor que el relleno. Alternativamente, los geotextiles pueden ser seleccionados bajo los criterios que normalmente se utilizan para un filtro.

Los geotextiles no-tejidos tienen mayor permeabilidad y mayor capacidad para retener finos si se compara con los tejidos, pero debe aclararse que la permeabilidad está en función del grosor del geotextil utilizado y por tanto depende de la compresibilidad bajo tensiones normales.

La resistencia a la abrasión es muy importante en la zona de la playa donde hay presencia de arenas gruesas, fragmentos de conchas, restos de coral, etc. En esta zona el geotextil no-tejido debe tener el mayor espesor de la estructura y ser más resistente.

La resistencia a la perforación es importante ante situaciones de vandalismo, presencia de hielo, presencias de madera o caídas de rocas durante la construcción. El ángulo de fricción entre las bolsas de arena debe ser mayor con el fin de mejorar la estabilidad hidráulica contra las olas y la acción de las corrientes. Los geotextiles no-tejidos proporcionan mayor fricción.

La resistencia a la radiación ultravioleta (UV) ha sido uno de los temas que más ha ocasionado críticas a los geotextiles debido a la forma como afectan la vida útil de

ellos. Las resinas, fibras e hilos usados en la fabricación de los geotextiles tejidos y no-tejidos, necesitan estabilizantes especiales con el fin de evitar el deterioro y garantizar su estabilidad por más de 50 años. En general al aumentar el grosor de las fibras, hilo y el peso del geotextil se aumenta la resistencia a la radiación UV. Con diseños apropiados e instalando correctamente los geotextiles (tejidos y no-tejidos) aplicados en obras de ingeniería de costas, se ha demostrado que pueden ser obras que pueden ser duraderas. A pesar de los avances significativos en torno al uso de estabilizadores UV, el recubrimiento de los contenedores que se encuentran expuestos continúa siendo la mejor alternativa de protección. Adicionalmente el recubrimiento garantiza mayor protección ante situaciones de vandalismo, presencia de madera, presencia de hielo, etc.

### **Vida útil.**

A pesar de que hace más de 50 años que se aplican los geocontenedores, para la ingeniería de costas sigue siendo un tipo de obra reciente. Por tanto, su degradación y rendimiento a largo plazo todavía no está definido.

Las obras rígidas se diseñan para que tengan una vida útil que esté entre los 20 y 100 años. Los geotextiles modernos están diseñados para resistir la radiación UV, los ataques químicos y biológicos, la abrasión y las cargas hidráulicas. Generalmente se diseñan para una vida útil comprendida entre los 20 y los 25 años sin contar con los daños que pueden ser ocasionados por vandalismo.

### **Aplicaciones de los contenedores a base de arena (GSCs) en la protección costera.**

Las aplicaciones de geotextiles en ingeniería de costas se han realizado tanto en obras permanentes como temporales. Las aplicaciones normalmente son conocidas con los nombres de geotubos, geocontenedores y geobolsas (Tabla 3).

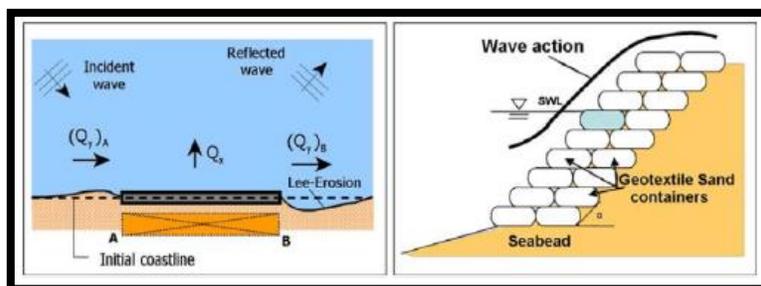
Type	Volume (m <sup>3</sup> )	Sand fill	Shape	Applications
1. Geotubes	Generally >700 m <sup>3</sup>	On site	Cylindrical (D = 1–55 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Groins</li> <li>• Containment dikes</li> <li>• Nonpermanent structures</li> </ul>
2. Geocontainers	Generally 100–700 m <sup>3</sup>	Split bottom barge	Cylindrical/pillow (D < 5 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reef structures (surf zone)</li> <li>• Defense structures against tsunami</li> </ul>
3. Geobags	0.05–5 m <sup>3</sup>	Offsite	Pillow, box, mattress	As soft rock units to build any type of coastal structures. Also for scour protection and dune reinforcement

**Tabla 3. Tipos de estructuras en la protección de costas utilizando geotextiles.**

Su versatilidad permite la aplicación en diferentes tipos de estructuras, inclusive los refuerzos dunares, diques, terraplenes, diques exentos, diques arrecife, espigones, etc.

***Defensa longitudinal: revestimientos, muros y reforzamiento dunar.***

La mayoría de las aplicaciones de geotextiles en ingeniería de costas pertenecen a este tipo de protección costera, es decir, el sistema de contención se construye directamente a lo largo de la costa para evitar la erosión y estabilizar el sistema playa-duna durante las tormentas (Figura 29). Por esta razón, se han aplicado diferentes tipos de contención, a menudo como línea de defensa en combinación con alimentación artificial de playa.



**Figura 29. Muro hecho a partir de GSCs (vista en planta y perfil).**

La estabilidad de este tipo de barreras escalonadas fue probada con éxito en el canal de oleaje de Hannover. En 1990 dicha barrera fue sometida a olas del orden de los 2,5 m y hasta de 5m, resistiendo la severidad de esta tormenta. El único inconveniente que se presentó fue la remoción de la arena que lo cubría, por ello lleva el nombre de chaleco de protección y así mismo se demuestra la importancia del recubrimiento.

La aplicación de geotextiles como mecanismo de protección para la línea de costa representa ventajas importantes frente a las barreras duras, pero así mismo presenta desventajas. La desventaja más significativa está relacionada con el recubrimiento de arena que este tipo de obras llevan, ya que después de una tormenta o marejada deben ser reconstruidas o rehabilitadas parcial o totalmente puesto que de manera natural no es posible.

### ***Diques y espigones.***

Los GSCs incluidos los geotubos, suelen ser usados como espigones sumergidos y superficiales. Generalmente los contenedores están expuestos directamente al impacto del oleaje, la abrasión y la radiación UV. Por lo tanto, el geotextil debe ser debidamente tratado con estabilizantes para protegerlo contra la radiación UV; en su interior debe llevar una capa de refuerzo y en la exterior debe llevar un geocompuesto que le permita resistir la abrasión, hacerlo más robusto y más duradero. En ocasiones los geotextiles se utilizan de un color que permite integrarse de manera natural con el entorno de la playa. De manera exitosa también se han utilizado geotextiles no-tejidos con alta resistencia a la radiación UV y que su composición se ha desarrollado a través de un proceso de fabricación denominado: “nonwoven needle-punched geotextiles”, utilizando fibras de poliéster de alta resistencia en todas las costuras con un mínimo del 80% en la base.

### **Aplicaciones de geotextiles como obras de defensa costera.**

La utilización de envoltorios con geosintéticos, los cuales son llenados con material sólido, ha sido de gran importancia en el desarrollo de proyectos hidráulicos y costeros, considerados como la aplicación de una filosofía blanda. Claramente se ha demostrado que la utilización de los geotextiles puede ser vista como un elemento importante en la aplicación costera. Los envoltorios con geotextiles son denominados como ya se había dicho anteriormente, como “soft rock structures”, debido a que son una solución blanda que se adapta con facilidad frente a los diferentes ciclos hidrodinámicos del mar.

## 2.4 LEYES Y REGLAMENTOS FEDERALES.

### ***Ley General de Bienes Nacionales.***

De acuerdo a lo establecido en el artículo 7 de esta Ley, la zona marina donde se desarrollará el proyecto forma parte de los “bienes nacionales de uso común”, por lo tanto, requiere contar con autorización según establece el artículo 8.

Los promoventes del proyecto deberán acatar las condiciones que se establezcan en el permiso o la autorización, ya que según el artículo 16: “*Las concesiones, permisos y autorizaciones sobre bienes sujetos al régimen de dominio público de la Federación no crean derechos reales; otorgan simplemente frente a la administración y sin perjuicio de terceros, el derecho a realizar los usos, aprovechamientos o explotaciones, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes y el título de la concesión, el permiso o la autorización correspondiente*”.

Según establece el artículo 61, el área del proyecto al ser zona federal marítima, es competencia de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) emitir los acuerdos administrativos del destino de este bien nacional de uso común.

Los promoventes se abstendrán de realizar el proyecto hasta no contar con el permiso correspondiente, pues conocen las sanciones que señalan los artículos 149, 150, 151.

### ***Reglamento para el uso y aprovechamiento del mar territorial, vías navegables, playas, zona federal marítimo terrestre y terrenos ganados al mar.***

Según se establece en el artículo 38 de este Reglamento los *terrenos ganados al mar o a cualquier otro depósito de aguas marítimas son bienes de dominio público de la Federación, inalienables e imprescriptibles y mientras no varíe su situación jurídica, no podrán ser objeto de acción reivindicatoria o de posesión definitiva o provisional por parte de particulares, salvo lo que dispongan la Ley y el presente Reglamento.*

Previo a la ejecución del proyecto, los promoventes deberán contar con la autorización de la Secretaría según lo establece el artículo 39, para lo cual se presentará según los requisitos establecidos en el artículo 41 de este Reglamento.

Los promoventes se abstendrán de realizar el proyecto hasta no contar con el permiso correspondiente, pues consistiría en una infracción que es sancionada, según lo señalan los artículos 74 y 75.

### ***Ley Federal del Mar.***

De acuerdo a la Ley Federal del Mar, el área donde se desarrollará el proyecto corresponde a la “zona marina mexicana”, pues se encuentra entre los supuestos del artículo 3 de esta Ley:

- a) *El Mar Territorial.*
- b) *Las Aguas Marinas Interiores*
- c) *La Zona Contigua*
- d) *La Zona Económica Exclusiva*
- e) *La Plataforma Continental y las Plataformas Insulares y*
- f) *Cualquier otra permitida por el derecho internacional.*

Por lo tanto, en cumplimiento de lo establecido en los artículos 16 y 17 de esta Ley, se solicitará el permiso correspondiente para la instalación de la estructura de protección en la “zona marina mexicana” y para la construcción de la misma, se observará el cumplimiento de las leyes vigentes en la materia.

### ***Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.***

Evaluación de Impacto Ambiental: La actividad del proyecto en cuestión, se encuentra dentro de las que requieren autorización en materia de impacto ambiental por parte de

la Federación, dado que la construcción de la infraestructura de protección, se realizará en zona marina (artículos 5 y 28).

En cumplimiento del artículo 28 se presenta a la SEMARNAT este documento, conteniendo lo especificado en el artículo 30: *descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.*

#### Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera

Las emisiones que se generen de la maquinaria durante las etapas de construcción y mantenimiento del proyecto, consideran ser en la medida de lo posible reducidas y controladas, para prevenir la contaminación a la atmósfera. (art. 110). Así mismo se contempla la observancia de lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas. (art. 113).

#### Prevención y Control de la Contaminación del Suelo

Los residuos que se vayan generando a lo largo de la ejecución del proyecto, serán controlados y manejados adecuadamente para evitar y prevenir la contaminación del suelo que pudiesen generar. (art. 134).

### ***Reglamento en materia de impacto ambiental a la Ley General del Equilibrio***

#### ***Ecológico y la Protección al Ambiente.***

El proyecto contempla el cumplimiento de lo establecido en el artículo 5, fracción A.III. que determina que es competencia de la Federación la evaluación de impacto ambiental de los *“Proyectos de construcción de muelles, canales, escolleras, espigones, bordos, dársenas, represas, rompeolas, malecones, diques, varaderos y muros de contención de aguas nacionales, con excepción de los bordos de represamiento del agua con fines de abrevadero para el ganado, autoconsumo y riego local que no rebase 100 hectáreas”*

En cumplimiento del artículo 9 se presenta a la SEMARNAT este documento, conteniendo lo especificado en el artículo 12, lo cual corresponde a una manifestación de impacto ambiental de modalidad particular, puesto que no se trata de ninguna de los casos listados en el artículo 11.

### **Leyes Estatales.**

Por las características del proyecto y lo mencionado anteriormente, la construcción, operación y mantenimiento del proyecto es de competencia federal en materia ambiental, por lo tanto, no aplica la Legislación Estatal

### **Instrumentos Normativos.**

#### **Normas oficiales mexicanas y normas mexicanas en materia de impacto ambiental.**

Existe una amplia gama de este tipo de ordenamientos que aplican para la construcción, operación y mantenimiento del proyecto, a continuación, en listan y se detalla su observancia durante la ejecución del proyecto:

En materia de calidad del agua residual

**NOM-001-SEMARNAT-1996**, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

(D.O.F. 6-enero-1997). (Aclaración 30-abril-1997).

El proyecto no contempla la generación de aguas residuales más que las derivadas de las necesidades fisiológicas del personal involucrado en la obra, quienes utilizarán los servicios sanitarios de predios que cuenten con tratamiento primario y deben de cumplir con los límites máximos establecidos en esta Norma.

En materia de atmósfera emisiones de fuentes móviles

**NOM-045-SEMARNAT-1995**, Niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan diésel o mezclas que incluyan diésel como combustible. (D.O.F. 22-abril -1997).

**NOM-049-SEMARNAT-1993**, Características del equipo y el procedimiento de medición, para la verificación de los niveles de emisión de gases contaminantes, provenientes de las motocicletas en circulación que usan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible. (D.O.F. 22-octubre -1993).

**NOM-050-SEMARNAT -1993**, Niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos como combustible. (D.O.F. 22-octubre-1997).

El promovente establecerá un reglamento de construcción y operación, en el que se hará obligatorio para que los vehículos del personal y/o empresa que intervengan en las actividades en la construcción, operación y mantenimiento cumplan con las disposiciones de estas normas.

En materia de contaminación por ruido

**NOM-080-SEMARNAT-1994**, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición. (D.O.F. 13-enero-1995).

De la misma manera que en las normas anteriores, el promovente establecerá un reglamento de construcción, en el que se hará obligatorio para que los vehículos del personal y/o empresa que intervenga en la construcción cumplan con las disposiciones de esta norma.

Las emisiones de los vehículos propiedad de los habitantes de la casa habitación, será responsabilidad del propietario y/o de sus habitantes.

En materia de protección de especies.

**Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001**,

Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. (D.O.F. 6-marzo-2002).

El área del estudio es zona potencial para el anidamiento de las tortugas marinas, especies que están incluidas en la lista de especies protegidas por esta norma oficial. Para prevenir los impactos negativos a las poblaciones de tortugas, las obras de construcción y mantenimiento que requieran el uso de maquinaria se realizarán fuera de la época de anidación de estas especies.

# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO Y**

### **PROCEDIMIENTO**

### **3.1 SISTEMA PROPUESTO.**

#### **Geosintéticos.**

Los geosintéticos son productos que poseen como componente básico polímeros sintéticos o naturales como polipropileno, poliéster, poliamida y polietileno siendo el segundo el de mayor uso, debido a que presenta una mayor competencia mecánica, estabilidad a largo plazo, resistencia a la intemperie y resistencia a altas temperaturas que los demás polímeros. Los geosintéticos se han convertido en un recurso importante para el desarrollo de obras ingenieriles que impliquen un menor costo y efectividad como es el caso de las obras de defensa costera.

#### **Geotubos.**

El uso de materiales geosintéticos en obras de protección ha tomado un gran impulso en los últimos años por la manejabilidad, resistencia y durabilidad de los mismos. Esta tecnología ha sido probada alrededor del mundo. El método de protección consiste en la colocación de los tubos geotextiles de forma paralela a la línea del mar, con la finalidad de contrarrestar la energía y la fuerza del oleaje sobre la costa, a la vez que se van acumulando sedimentos entre el tubo y la playa, de este modo, la playa se va recuperando paulatinamente.

A diferencia de otros proyectos de recuperación de playas, en este caso no se harán rellenos, ni será necesario movilizar grandes cantidades de arena mediante dragas o camiones, debido a que los Tubos geotextiles son elementos prefabricados y confeccionados en forma elíptica tubular mediante lienzos de geotextil tejido de polipropileno de alta resistencia.

Los tubos geotextiles son colocados a las orillas del mar, éstos forman un elemento flexible y resistente que protege la primera línea de infraestructura costera. Los tubos geotextiles resultan una alternativa de solución como elemento disipador de la energía del oleaje para reducir significativamente su fuerza dinámica. Al colocarse las estructuras en paralelo, separadas a cierta distancia de la línea de playa, se induce la generación de una tómbola o saliente de arena, cuya forma depende de la relación

entre la longitud de la estructura con la distancia de la playa dentro del mar. Esto se logra por la atenuación del oleaje, provocando con ello que los granos de arena que son transportados a lo largo de la línea de playa se depositen frente a las estructuras.

Además, es un sistema efectivo con tiempos cortos de instalación y bajo costo en la ejecución de la obra. Sus principales usos son la protección de la primera línea costera, ya que funciona como un rompeolas, también funciona como un sistema de recuperación de playas, ya que permite juntar los sedimentos que son llevados por arrastre a la orilla de mar y además permite la estabilidad en los perfiles playeros.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto consiste en la instalación de una estructura de protección en la zona costera en una extensión de 200 metros lineales en la zona marítima de casa de cultura del municipio de Coatzacoalcos, Veracruz, donde la playa presenta un grado de erosión, proporcionado por diversos fenómenos, poniendo en riesgo la infraestructura del malecón costero (Figura 30. Localización del proyecto).

#### Dimensiones del proyecto.

El proyecto abarca una longitud de 200 metros lineales de playa, ocupando una superficie de 700.00 m<sup>2</sup>, de acuerdo a las especificaciones técnicas de los tubos geotextiles y el diseño del proyecto (3.3 m. ancho x 200 m. largo). Se espera que esta obra permita la recuperación de playa, la cual quedará comprendida entre los tubos geotextiles y el actual nivel de pleamar máxima.



Figura 30. Localización del proyecto.

#### Características particulares del proyecto.

El proyecto consiste en una obra de protección costera en una zona que presenta problemas de erosión, con el fin de estabilizar una franja playera de 200 m. para proteger la infraestructura que actualmente se encuentra en la zona y crear el entorno para fortalecer la duna costera.

La tecnología que se utilizará para estabilizar la playa, está basada en un rompeolas semisumergido a base de tubos geotextiles rellenos de arena que asegure el límite de regresión al mismo tiempo que favorezca la acumulación de sedimento en la playa.

El tubo geotextil se coronará en Nivel Medio de Marea Baja (NMMB), la cual se ubica a una distancia del orden de 10 a 15 mts de la línea de pleamar máxima y tendrá una altura de 0.90 m  $\pm$  10 cm. De acuerdo al análisis de mareas, esta altura cubrirá todo el rango de mareas astronómicas, lo que asegurará la rotura del oleaje en el tubo geotextil, reduciendo el movimiento de arena y por tanto favoreciendo su acumulación para formación de playa.

Dado que la función del tubo geotextil es reducir el movimiento de arena y forzar su acumulación local, se limita el movimiento de sedimentos en dirección E-W, resultados de la aplicación de esta tecnología en la costa de Yucatán indican que existe un riesgo de afectación inicial al lado oeste inmediato de la instalación de la obra el cual tiende a estabilizarse. Para minimizar este efecto se recomienda rellenar con material de banco autorizado la zona ubicada entre el tubo geotextil y la línea de la playa.

En caso de no contar con bancos autorizados, el avance de obra tendrá que ser lo suficientemente lento para que se instale cada tubo geotextil de 30 m., cuando haya acumulado suficiente arena el tubo inmediato anterior, con lo que se minimizará la erosión al oeste de la obra conforme avance el proyecto.

Por las características de sus materiales, la estructura que será instalada no se interpondrá a la dinámica natural del movimiento de sedimento que conforma el sistema de litorales en la costa, así como se mantendrá estable ante el paso de eventos meteorológicos extremos como huracanes y nortes.

Se realizará un monitoreo permanente para evaluar el comportamiento de la línea de la costa tanto en el tramo intervenido como en los aledaños, lo cual permitirá identificar puntos críticos para determinar si es necesaria la modificación a los tubos instalados o incluso su remoción.

## Programa General de Trabajo.

Las acciones requeridas para el total desarrollo del proyecto se llevarán a cabo en un período de 2 meses, previo a la instalación de los tubos geotextiles se realizará una verificación de la batimetría para definir el trazo de desplante del proyecto.

El tiempo necesario para la instalación de los tubos geotextiles es de 7 días, ya que el rendimiento general es de 1 día por cada tubo geotextil de 30 metros requerido, sin embargo, como se indica anteriormente en caso de no contar con bancos autorizados para realizar el relleno en la línea de playa, se requerirá realizar la instalación de manera paulatina. Por lo tanto, se estima un tiempo máximo de instalación de 4 semanas.

Una vez finalizada la instalación de los tubos geotextiles, se realizará el monitoreo del comportamiento de la línea de la costa y del perfil costero, con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la estructura de acuerdo a lo proyectado y detectar oportunamente efectos erosivos no esperados.

Los resultados del monitoreo determinarán las acciones de mantenimiento como vegetación, rellenos adicionales, modificación de la obra o incluso su remoción.

El programa de trabajo para las etapas de preparación del sitio y construcción, se estima cubra un período de 2 meses, a partir de que se obtengan las autorizaciones correspondientes. Las actividades que componen estas etapas se presentan en el siguiente cronograma (Tabla 4).

ETAPA	ACTIVIDAD	MES 1				MES 2			
		1	2	3	4	1	2	3	4
PREPARACIÓN	Rectificación de la batimetría	/							
	Trazo definitivo	/							
	Obtención material del relleno	/							
CONSTRUCCIÓN	Desplante del tubo geotextil		█	█	█				
	Llenado del tubo geotextil con arena.		█	█	█				
	Verificación del proceso.					█	█	█	
	Inyección adicional de arena y/o agua.					█	█	█	
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Monitoreo semestral								→
	Inyección adicional de arena y/o agua.								→

Tabla 4. Programa general calendarizado.

Una vez finalizada la instalación de los tubos geotextiles, se realizará el monitoreo del comportamiento de la línea de la costa y del perfil costero, con el propósito de verificar el correcto funcionamiento de la estructura de acuerdo a lo proyectado y detectar oportunamente efectos erosivos no esperados. Los resultados del monitoreo determinarán las acciones de mantenimiento como vegetación, rellenos adicionales, modificación de la obra o incluso su remoción. El programa de trabajo para las etapas de preparación del sitio y construcción, se estima cubra un período de 2 meses, a partir de que se obtengan las autorizaciones correspondientes. Las actividades que componen estas etapas se presentan en el siguiente cronograma.

La fase de *construcción* comprende las siguientes actividades:

- **Desplante del tubo geotextil.**

El tubo geotextil se desplantará en la cota que marque cada sección respecto al nivel medio de marea baja (NMMB) según los perfiles transversales definidos en planos y de acuerdo a la sección tipo (Figura 31).

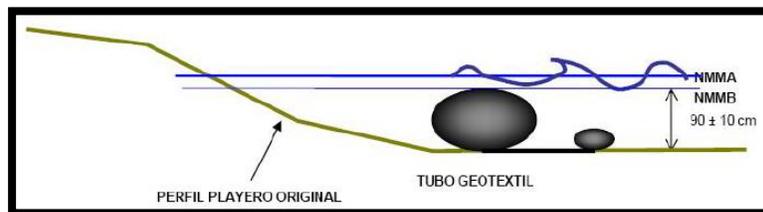


Figura 31. Desplante del geotubo.

Los tubos geotextiles se presentarán en longitudes máximas de 30 m. para poder realizar todas las maniobras con mano de obra no especializada y sin equipo pesado. El trazo de la planta del tubo geotextil puede modificarse levemente según la topografía al momento de la obra, pero los perfiles transversales y las cotas de desplante de proyecto deberán ser respetados.

El desplante de los tubos geotextiles en ambos extremos, deberá terminar enterrado en la playa, conservando la cota de coronación del proyecto. En los extremos del proyecto, desde la orilla hasta el cuerpo principal se utilizará una relación 3 a 1, refiriéndose a sus proyecciones paralelas y perpendiculares a la playa, con el objeto de reducir el efecto erosivo en los costados (Figura 32).

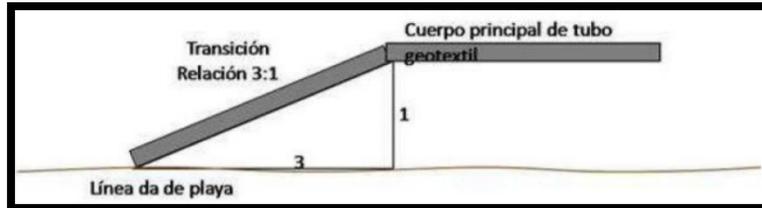


Figura 32. Transición del tubo geotextil en los extremos del proyecto.

- **Llenado del tubo geotextil con arena.**

El llenado del tubo geotextil se realizará con una motobomba. La manguera de descarga de la bomba deberá ser insertada en los puertos de llenado, que han sido previamente fabricados en el tubo geotextil. El tamaño mínimo de la bomba a ser utilizada no deberá tener un diámetro de descarga menor a 4”.

La succión de arena será realizada con un método diferente a lo usualmente utilizado en este tipo de proyectos, el cual consiste en utilizar un contenedor de lodos en el cual se depositará agua del mar y arena la cual será adquirida a un proveedor, y se deberá garantizar un bombeo mínimo de 70 m<sup>3</sup> de arena por jornada. Esto asegurará, que los tubos no queden parcialmente llenados entre un día y otro.

Previo al llenado del tubo principal, los tubos quedarán fijados mediante estacas del lado de la playa (Figura 33), para que durante el proceso de inyección de arena queden fijos. Los tubos se llenarán de forma uniforme hasta obtener la cota de coronación de proyecto con una tolerancia de  $\pm 10$  cm.

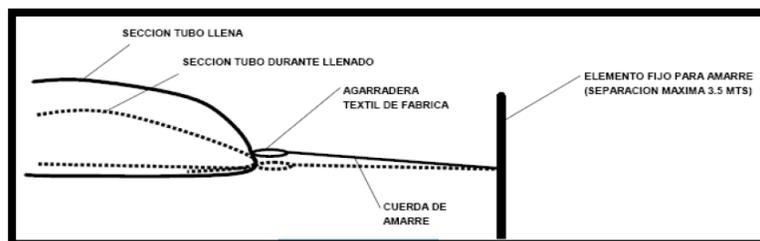


Figura 33. Fijación del geotubo previo al llenado de arena.

Antes de llenar un tubo, éste se traslapará sobre otro aproximadamente 50 cm, con el fin de fijar al tubo siguiente. Este procedimiento de llenado se muestra en la Figura 34.

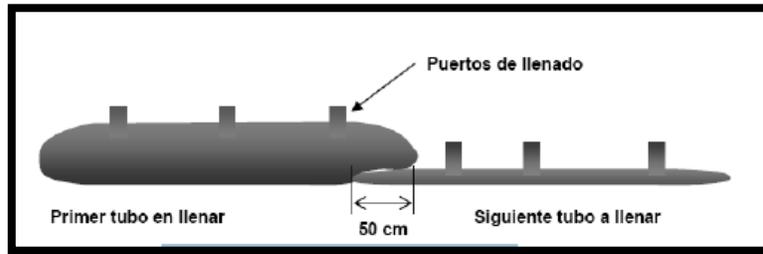


Figura 34. Procedimiento de llenado.

### **Verificación del proceso.**

Tras 24 horas de llenado de los tubos, se procederá a la verificación de la cota de coronación y se realizarán los procesos de inyección adicional de arena en las partes que la cota quede por debajo de la tolerancia, e inyección de agua para extracción de arena en las partes que la coronación quede por arriba del máximo permisible.

### **Limpieza final.**

Se verificará que el área donde se realizaron las maniobras quede libre de residuos generados en el proceso de construcción, los cuales podrán ser restos de material geotextil o residuos sólidos inorgánicos, generados por el personal involucrado en la obra.

### **Etapas de Operación y Mantenimiento.**

La operación del proyecto consiste en la presencia física del tubo geotextil, el cual forma una barrera que favorecerá la acumulación de arena a partir de la disminución de la fuerza y velocidad del oleaje incidente en la playa, misma que marcará el límite de regresión de la línea de la costa y regenerará de manera paulatina la duna costera.

- **Monitoreo semestral.**

Se deberá realizar 2 campañas de monitoreo al año de la zona del proyecto, tanto en el tramo donde se coloquen los tubos geotextiles, como en la playa localizada a 300 metros al oeste de la obra, con el fin de conocer el comportamiento de los perfiles

playeros y evaluar los procesos de acreción/erosión, así como determinar en su caso las medidas correctivas.

- **Actividades de mantenimiento.**

Los resultados de los monitoreos, determinarán la realización de acciones de mantenimiento como vegetación, rellenos adicionales, modificación de la obra o su retiro en casos extremos.

- **Supervisión ambiental.**

Se tendrá una vigilancia del cumplimiento de las medidas de mitigación y de las condicionantes en materia de impacto ambiental que sean dictadas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

## Descripción de los servicios requeridos.

En la etapa de construcción, se requiere contar con materiales de construcción, maquinaria, herramientas, personal e insumos como combustible, agua, personal y víveres (Tabla 5).

Actividad	Equipo	Cantidad	Tipo de combustible	Descripción
Llenado de tubo geotextil con arena	Motobomba de sólidos	2	Diésel	Con salida de 4 o 6 pulgadas de diámetro para la inyección de slurry (arena y agua) hacia el interior de los tubos geotextiles
	Retroexcavadora	1	Diésel	Para el movimiento de arena.
	Contenedor para lodos	1	n/a	Para depositar la arena y el agua para el llenado de geotubos.

Tabla 5. Equipo requerido.

## Personal.

Entre el personal necesario se requiere de 1 operador de retroexcavadora, 4 personas para el manejo de las bombas de sólidos (2 por bomba) y 5 personas para la colocación y acomodo de arena durante el llenado de los tubos.

## Retroexcavadora.

La retroexcavadora, retrocargadora, excavadora mixta, cargadora mixta o pala mixta es una máquina que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos. Consiste en un balde de excavación en el extremo de un brazo articulado de dos partes. Se montan normalmente en la parte posterior de un tractor o cargador frontal, no debe ser confundido con una excavadora (Figura 35).

La retroexcavadora se utiliza habitualmente en obras para el movimiento de tierras, para realizar rampas en solares o para abrir surcos destinados al pasaje de tuberías, cables, drenajes, etc., así como también para preparar los sitios donde se asientan los cimientos de los edificios.

La máquina hunde sobre el terreno una cuchara con la que arranca los materiales que arrastra y deposita en su interior.

El chasis puede estar montado sobre cadenas o bien sobre neumáticos. En este último caso están provistas de gatos hidráulicos para fijar la máquina al suelo.

La retroexcavadora, a diferencia de la excavadora frontal, incide sobre el terreno excavando de arriba hacia abajo. Es utilizada para trabajar el movimiento de tierras a nivel inferior al plano de apoyo, o un poco superior a éste.



Figura 35. Retroexcavadora.

### Contenedores para lodos.

Los contenedores Roll Off para lodos son contenedores roll off sellados en su totalidad lo que impide que existan escurrimientos o fugas. Esta característica los hace ideales para transportar tanto residuos peligrosos como no peligrosos. En este caso para este proyecto se utilizará para realizar una mezcla de agua y arena que se utilizará para llenar los geotubos por medio de bombeo (Figura 36).



Figura 36. Contenedores para lodos.

### **Motobomba traga solido diésel.**

Bombas autocebantes de desagüe con manejo de sólidos (Figura 37). Las bombas de desagüe con manejo de sólidos toman su nombre de la capacidad de manejar cantidades mayores de restos y sólidos que las bombas centrífugas convencionales. Estas bombas por lo general manejan sólidos con un tamaño que puede llegar hasta la mitad del de la abertura de descarga lo que hace más difícil obstruirlas. Así mismo, las bombas con manejo de sólidos pueden manejar agua con 25 % de sólidos en peso. La ventaja del uso de una bomba con manejo de sólidos es que puede desarmarse rápida y fácilmente en el lugar de trabajo para retirar los restos en caso de que la bomba se tape.



Figura 37. Motobomba tragasolidos diésel.

### **Manguera de succión.**

Una manguera es un tubo hueco flexible diseñado para transportar fluidos de un lugar a otro.

Una manguera de succión de bombeo es un tubo flexible que está hecho especialmente para succionar agua u otros tipos de líquidos mediante una bomba hacia la donde se requiera. La manguera está reforzada con un cable helicoidal de acero continuo para evitar que la fuerza del vacío allane la forma tubular de la manga, obstruyendo la misma.

Una manguera de succión se utiliza, para bombear aguas (limpias o sucias).

Para prevenir que la suciedad entre en la bomba o se atasque, normalmente se le coloca un filtro de succión en el extremo de la manguera de aspiración. Este filtro solo está formado por un cilindro con agujeros, pero también puede llevar una rejilla de tejido o fibra o bien una rejilla de acero (Figura 38).



Figura 38. Manguera de succión y descarga.

### 3.3 PRESUPUESTO DEL PROYECTO PROPUESTO.

Algunas definiciones de presupuestar:

- Es la predicción monetaria que representa realizar una actividad o tarea determinada.
- Cálculo aproximado del costo de una obra.
- Es la expresión en cifras monetarias del programa de trabajo previsto en un proyecto.
- Es el monto que se autoriza como apropiación para invertir en la materialización de un proyecto específico.

Presupuestar una obra, es establecer de qué está compuesta (composición cualitativa) y cuántas unidades de cada componente se requieren (composición cuantitativa) para, finalmente, aplicar precios a cada uno y obtener su valor en un momento dado.

Previamente se debe someter el proyecto a los siguientes análisis:

- **Análisis Geométrico.** Significa el estudio de los planos de construcción, es decir la determinación de la cantidad de volúmenes en la obra (cómputos métricos, análisis de precios unitarios).
- **Análisis Estratégico.** Que es la definición de la forma en que se ejecutará, administrará y coordinará la construcción de la obra o el desarrollo de esta. Esto genera determinadas actividades que deben realizarse, pero que no se encuentran en los planos de construcción, sin embargo, todas estas actividades tienen un costo en lo que representa el presupuesto de la obra.
- **Análisis del Entorno.** Definición y valorización de costos no ligados a la ejecución física de actividades o de su administración y control, sino de requerimientos profesionales, de mercado o imposiciones gubernamentales (conexión a servicios públicos, trabajos de mitigación de impacto ambiental, etc.).

## **CARACTERÍSTICAS DEL PRESUPUESTO.**

Todo presupuesto tiene cuatro características fundamentales: es aproximado, es singular, es temporal y es una herramienta de control.

El presupuesto es aproximado, sus previsiones se acercarán más o menos al costo real de la obra, dependiendo de la habilidad (uso correcto de técnicas presupuestales), el criterio (visualización correcta del desarrollo de la obra) y experiencia del quien realiza el presupuesto.

El presupuesto es singular, como lo es cada obra, sus condiciones de localización, clima y medio ambiente, calidad de la mano de obra características del constructor, etc. Cada obra requiere un presupuesto propio, así como cada persona o empresa tiene su forma particular de presupuestar.

El presupuesto es temporal, los costos que en él se establecen sólo son válidos mientras tengan vigencia los precios que sirvieron de base para su elaboración. Los principales factores de variación son: Incremento del costo de los insumos y servicios; utilización de nuevos productos y técnicas; desarrollo de nuevos equipos, herramientas, materiales, tecnología, etc.; descuentos por volumen; reducción en ofertas de insumos por situaciones especiales, cambios estacionales.

El presupuesto es una herramienta de control, permite correlacionar la ejecución presupuestal con el avance físico, su comparación con el costo real permite detectar y corregir fallas y prevenir causales de variación por ajuste en alcances o cambios en actividades. No debe concebirse como un documento estático, cuya función concluye una vez elaborado. El presupuesto de construcción se debe estructurar como un instrumento dinámico, que además de confiable y preciso sea fácilmente controlable para permitir su actualización sistemática y evitar que se convierta en una herramienta obsoleta y de poca utilidad práctica.

## **PRESUPUESTO Y COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.**

El presupuesto en construcción es una herramienta que tiene por objeto determinar anticipadamente el costo de la ejecución material de una obra.

### **Elaboración del Presupuesto.**

Se realiza con base en los planos y en las especificaciones técnicas de un proyecto, además de otras condiciones de ejecución, se elaboran los cómputos de los trabajos a ejecutar, se hacen los análisis de precios unitarios de los diversos ítems y se establecen los valores parciales de los capítulos en que se agrupan los ítems, y así obtener el valor total de la obra, en la Tabla 6 se muestra el formato para la realización de un presupuesto. Los pasos a seguir son:

- **Listado de precios básicos.** -El presupuesto debe incluir la lista de precios básicos de materiales, equipos y salarios utilizados.
- **Análisis unitarios.** -Incluye indicaciones de cantidades y costos de materiales, transportes, desperdicios, rendimientos, costo de mano de obra, etc.
- **Presupuesto por capítulos.** -Los costos de obra se presentan divididos por capítulos de acuerdo con el sistema de construcción, contratación, programación, etc.
- **Componentes del presupuesto.** -Se presenta el desglose del presupuesto con las cantidades y precios totales de sus componentes divididos así: materiales, mano de obra, subcontratos, equipos y gastos generales. Finalmente, en: costos directos y costos indirectos.
- **Fecha del presupuesto.** -Se debe indicar la fecha en la que se hace el estimativo, en caso de haber proyecciones de costos en el tiempo, se deben indicar.

OBRAS/SERVICIO	INSTALACION Y SUMINISTRO DE GEOTUBOS EN EL TRAMO DE LA "CASA DE CULTURA" DEL MUNICIPIO DE COATZACOALCOS, VERACRUZ						
PART. No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE PARCIAL	IMPORTE TOTAL PARCIALES	
<b>ESTUDIO PRELIMINAR</b>							
1	Batimetría de la zona	ESTUDIO	1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00		
						<b>COSTO TOTAL DE ESTUDIO PRELIMINAR</b>	<b>\$ 50,000.00</b>
<b>SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO</b>							
2.1	Arena o gravilla	M3	500	\$ 128.00	\$ 64,000.00		
						<b>COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO</b>	<b>\$ 64,000.00</b>
<b>SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCAVACION</b>							
3.1	Tubo geotextil de 30 m de largo con malla antisocavante	PZA	7	\$ 85,000.00	\$ 595,000.00		
						<b>COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCAVANTE</b>	<b>\$ 595,000.00</b>
<b>RENTA DE MAQUINARIA Y EQUIPO</b>							
CATERGORIA		UNIDAD	CANTIDAD SEMANAS	CANTIDAD EQUIPO	ARRENDAMIENTO		
4.1	Retroexcavadora incluye combustible	SEMANA	7	1	\$ 14,000.00	\$ 98,000.00	
4.2	Motobomba traga sólidos diésel con mangueras de succión y descarga de 6" de diámetro, incluye combustible	SEMANA	7	2	\$ 7,000.00	\$ 98,000.00	
4.3	Contenedor para todos	SEMANA	7	1	\$ 3,500.00	\$ 24,500.00	
						<b>COSTO TOTAL DE ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO</b>	<b>\$ 220,500.00</b>
<b>MANO DE OBRA</b>							
CATERGORIA		UNIDAD	CANTIDAD JORNADAS	CANTIDAD PERSONAL	SALARIO JORNADA		
5.1	Operador de retroexcavadora	JORNADA	56	1	\$ 196.99	\$ 11,031.44	
5.2	Operador de motobomba	JORNADA	56	4	\$ 196.99	\$ 44,125.76	
5.3	Personal para la colocación y acomodo de arena durante el llenado de los tubos geotextiles	JORNADA	56	5	\$ 207.80	\$ 58,184.00	
						<b>COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA</b>	<b>\$ 58,184.00</b>
CONDICIONES DE PAGO:					SUBTOTAL	\$	987,684.00
50% DE ANTICIPO					IVA	\$	158,029.44
50% AL TÉRMINO DE LOS TRABAJOS					TOTAL	\$	1,145,713.44
<b>IMPORTE CON LETRAS:</b>					<b>UN MILLON CIENTO CUARENTA Y CINCO MIL SETECIENTOS TRECE PESOS 44/100 MXN</b>		
AGENCIA DEL PRESUPUESTO: 20 DIAS							
TIEMPO DE EJECUCION: DE ACUERDO A OBRA							

**Tabla 6. Formato de presupuesto de instalación y suministro de geotubos.**

### 3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE GEOSINTÉTICOS PARA LA PROTECCIÓN COSTERA

La aplicación de los geosintéticos data de hace varias décadas acrecentándose su utilización en los últimos años donde varias de las razones que justifican este crecimiento se adjudican a las ventajas ambientales, hidráulicas, económicas, entre otras que representan estos sistemas; sin embargo, también se generan interrogantes relacionados con sus propiedades donde algunos de éstos han sido contestados mediante los resultados obtenidos en los ensayos a escala o por casos de estudio significando en varias ocasiones desventajas para la utilización de este tipo de materiales para protección costera. Teniendo en cuenta el análisis de la información realizado tanto a los casos de estudio como la literatura respectiva, a continuación, se describen las ventajas y desventajas halladas referentes a la aplicabilidad de los geosintéticos donde es posible establecer una correlación entre los factores influyentes para determinar la solución más apropiada (Figura 39).

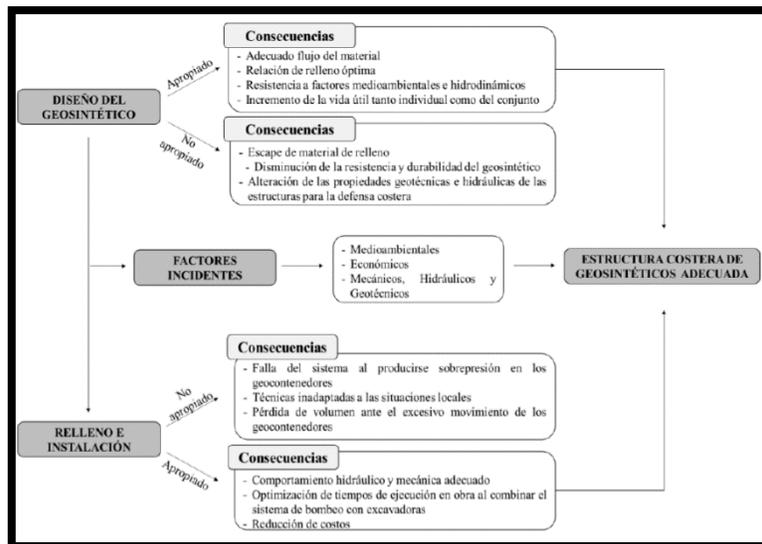


Figura 39. diagrama de las consecuencias de la implementación de estructuras hidráulicas con sintéticos para obtener una solución apropiada para la defensa costera.

#### Ventajas de la aplicación de geosintéticos para protección costera:

La aplicabilidad de geosintéticos como estructuras para defensa costera ha conllevado a obtener beneficios a corto, mediano y largo plazo en los ámbitos económico, ambiental e ingenieril, los cuales pueden agruparse en los siguientes tópicos:

**Medio ambiente.** Estos sistemas presentan una considerable flexibilidad para adaptarse al medio por lo que puede haber crecimiento de vegetación en la superficie de los mismos permitiendo el desarrollo de especies marinas además de proteger los ecosistemas en cercanías a las zonas costeras.

**Durabilidad.** El crecimiento de vegetación en la superficie de los geosintéticos conlleva a que éstos se encuentren menos expuestos a la intemperie. Los geotextiles aplicados en hidráulica costera pueden tener una vida útil entre los 35 a 110 años donde la vida útil estimada podría ser de 30 años siempre y cuando las condiciones de radiación solar no sean tan extremas.

**Resistencia.** Es un factor determinante al momento de la elección de este tipo de soluciones, por lo cual están siendo diseñados con polímeros de alta resistencia. Actualmente se ha mejorado la resistencia tanto a los rayos UV como la abrasión mediante ensayos como el método de prueba alemán - geosintético expuesto a 80,000 ciclos con grava y arena.

**Economía.** La reducción de costos puede atribuirse a varias situaciones, técnicas y métodos, como por ejemplo la no excavación para colocación de los geocontenedores y la reducción de los tiempos de ejecución. Se considera una reducción de costos al emplear menos personal, uso de sistema de bombeo hidráulico, mano de obra poco calificada, utilización de material del sitio y equipos disponibles localmente. Los geocontenedores pueden ser fabricados para satisfacer no sólo la aplicación física sino también la de los equipos disponibles para el contratista.

**Propiedades hidráulico-geotécnicas.** La reducción de la energía del oleaje permite lograr un equilibrio dinámico en la playa lo cual contribuye a mitigar los procesos erosivos mientras se restauran las playas como a su vez la implementación de tubos geotextil sumergidos que actúan como diques para la deposición de material. Cuando son empleados tubos geotextil o geocontenedores, éstos presentan una buena estabilidad individual debido a la permeabilidad de los mismos (retiene material, drenando el agua) como también pueden comportarse de forma ventajosa con respecto a las cargas hidrodinámicas y cambios morfológicos de los fondos marinos.

**Método constructivo.** Debido a las técnicas de llenado y colocación de los geosintéticos, se reducen los tiempos de ejecución de la obra, ejemplo de ello es la colocación de múltiples puntos de bombeo para el relleno de los geosintéticos. La utilización de maquinaria mecánica como las excavadoras se convierten en una forma más práctica del llenado de los geocontenedores que el mismo bombeo hidráulico permitiendo la optimización del tiempo.

#### **Desventajas de la aplicación de geosintéticos para protección costera:**

De igual forma que se obtienen beneficios al implementar estas estructuras se generan desventajas y dificultades asociadas a los tópicos descritos anteriormente, por ello, a continuación, se describirán algunas de éstas.

**Medioambiente.** La utilización de geosintéticos puede permitir estabilización de los procesos costeros en una determinada playa empero puede afectar las playas adyacentes trasladando la problemática.

**Durabilidad.** Los geosintéticos pueden verse afectados por los prolongados períodos de exposición ante los rayos UV e interacción con fuerzas marinas. La vida útil del geosintético se convierte en una incógnita por la cantidad de factores que inciden sobre el sistema, sin embargo, se considera que la vida mínima para los geosintéticos es de 10 años. El vandalismo se convierte en el factor más preocupante para la durabilidad de los geosintéticos, por lo cual se estudian opciones más resistentes ante los ataques con cuchillo o cualquier pieza que pueda ocasionar daño al geosintético.

**Resistencia.** Puede verse afectada ya sea por la presión de bombeo o por la inadecuada adhesión de las capas de los geotextiles viéndose expuesto el material interno y ocasionar un deterioro temprano del geosintético.

**Propiedades hidráulico-geotécnicas.** Las propiedades mecánicas del geotextil pueden afectarse debido a las costuras transversales y los procesos de abrasión a los cuales están expuestos. El flujo interno de arena en los geosintéticos ha sido una de las causas de fracaso de estos sistemas ya que no se han llenado hasta el punto preciso para alcanzar la estabilidad.

La elongación o estiramiento de las bolsas contenedoras puede ocasionar fallas teniendo en cuenta la reducción de volumen y el flujo de material; esta elongación por lo general se produce en la instalación de los geotextiles por lo cual es necesario adecuar técnicas que minimicen las variaciones de las propiedades de los geosintéticos antes de entrar en funcionamiento. Además, la manipulación continua del geosintético con material equivaldrá a la alteración de la capacidad y funcionalidad del mismo, evidenciándose en su capacidad de retención de material a largo plazo.

**Método constructivo.** En algunos casos representa una dificultad la determinación de la técnica de construcción y la relación de llenado. Es menos eficiente el sistema de bombeo que el sistema de excavadoras debido al tiempo que demora el primero en comparación del segundo.

# **CAPÍTULO IV**

## **COSTOS Y BENEFICIOS**

## 4.1 ANÁLISIS DE COSTOS.

Se realizó un presupuesto del sistema propuesto, el cual contempla los costos de los materiales a utilizar, la equipo y maquinaria, y la mano de obra Tabla 7.

OBRA/SERVICIO	INSTALACION Y SUMINISTRO DE GEOTUBOS EN EL TRAMO DE LA "CASA DE CULTURA" DEL MUNICIPIO DE COATZACOALCOS, VERACRUZ						
PART. No.	CONCEPTO	UNIDAD		CANTIDAD	P.U.	IMPORTE PARCIAL	IMPORTE TOTAL PARCIALES
1	ESTUDIO PRELIMINAR						
1.1	Batimetría de la zona	ESTUDIO		1	\$ 50,000.00	\$ 50,000.00	
COSTO TOTAL DE ESTUDIO PRELIMINAR							\$ 50,000.00
2	SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO						
2.1	Arena o gravilla	M3		500	\$ 128.00	\$ 64,000.00	
COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO							\$ 64,000.00
3	SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCAVACION						
3.1	Tubo geotextil de 30 m de largo con malla antisocavante	PZA		7	\$ 85,000.00	\$ 595,000.00	
COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCAVANTE							\$ 595,000.00
4	RENTA DE MAQUINARIA Y EQUIPO						
	CATERGORIA	UNIDAD	CANTIDAD SEMANAS	CANTIDAD EQUIPO	ARRENDAMIENTO		
4.1	Retroexcavadora incluye combustible	SEMANA	7	1	\$ 14,000.00	\$ 98,000.00	
4.2	Motobomba traga solidos diésel con mangueras de succión y descarga de 6" de diámetro, incluye combustible	SEMANA	7	2	\$ 7,000.00	\$ 98,000.00	
4.3	Contenedor para lodos	SEMANA	7	1	\$ 3,500.00	\$ 24,500.00	
COSTO TOTAL DE ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO							\$ 220,500.00
5	MANO DE OBRA						
	CATERGORIA	UNIDAD	CANTIDAD JORNADAS	CANTIDAD PERSONAL	SALARIO JORNADA		
5.1	Operador de retroexcavadora	JORNADA	56	1	\$ 196.99	\$ 11,031.44	
5.2	Operador de motobomba	JORNADA	56	4	\$ 196.99	\$ 44,125.76	
5.3	Personal para la colocación y acomodo de arena durante el llenado de los tubos geotextiles	JORNADA	56	5	\$ 207.80	\$ 58,184.00	
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA							\$ 58,184.00
CONDICIONES DE PAGO:						SUBTOTAL	\$ 987,684.00
50% DE ANTICIPO						IVA	\$ 158,029.44
50% AL TÉRMINO DE LOS TRABAJOS						TOTAL	\$ 1,145,713.44
IMPORTE CON LETRAS:		UN MILLON CIENTO CUARENTA Y CINCO MIL SETECIENTOS TRECE PESOS 44/100 MXN					
VIGENCIA DEL PRESUPUESTO: 20 DIAS							
TIEMPO DE EJECUCION: DE ACUERDO A OBRA							

Tabla 7. Presupuesto del desarrollo de la obra.

El presupuesto de los materiales de relleno para los tubos geotextiles es de \$64,000 MXN., como se muestra en la Tabla 8.

2	SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO						
2.1	Arena o gravilla	M3		500	\$ 128.00	\$ 64,000.00	
COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE MATERIAL ARENOSO							\$ 64,000.00

Tabla 8. Costo del suministro de material arenoso.

De acuerdo al presupuesto del sistema propuesto el costo del suministro materiales geosintéticos es de \$ 595,00.00 MXN., como se muestra en la Tabla 9.

3 SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCACION						
3.1	Tubo geotextil de 30 m de largo con malla antisocavante	PZA		7	\$ 85,000.00	\$ 595,000.00
COSTO TOTAL DE SUMINISTRO DE TUBOS GEOTEXTILES CON MALLA ANTISOCAVANTE						\$ 595,000.00

Tabla 9. Costo del suministro de los materiales geosintéticos.

El costo del arrendamiento de los equipos y maquinaria a utilizar es de \$220,500.00 MXN., como se muestra en la Tabla 10.

4 ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO						
	CATERGORIA	UNIDAD	CANTIDAD SEMANAS	CANTIDAD EQUIPO	ARRENDAMIENTO	
4.1	Retroexcavadora incluye combustible	SEMANA	7	1	\$ 14,000.00	\$ 98,000.00
4.2	Motobomba traga solidos diésel con mangueras de succión y descarga de 6" de diámetro, incluye combustible	SEMANA	7	2	\$ 7,000.00	\$ 98,000.00
4.3	Contenedor para lodos	SEMANA	7	1	\$ 3,500.00	\$ 24,500.00
COSTO TOTAL DE ARRENDAMIENTO DE MAQUINARIA Y EQUIPO						\$ 220,500.00

Tabla 10 Costo de arrendamiento de maquinaria y equipo.

El costo del mano de obra a utilizar durante el proyecto es de \$ 58,184.00 MXN., como se muestra en la Tabla 11.

5 MANO DE OBRA						
	CATERGORIA	UNIDAD	CANTIDAD JORNADAS	CANTIDAD PERSONAL	SALARIO JORNADA	
5.1	Operador de retroexcavadora	JORNADA	56	1	\$ 196.99	\$ 11,031.44
5.2	Operador de motobomba	JORNADA	56	4	\$ 196.99	\$ 44,125.76
5.3	Personal para la colocación y acomodo de arena durante el llenado de los tubos geotextiles	JORNADA	56	5	\$ 207.80	\$ 58,184.00
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA						\$ 58,184.00

Tabla 11. Costo de la mano de obra.

Sumando los costos de los suministros de materia arenoso, tubos geotextiles con malla antisocavante, el arrendamiento de maquinaria y herramienta, hace un costo totalizado de inversión de \$ 987,684.00 MXN, como se muestra en la Tabla 7, este proyecto contempla para la protección costera de 200 metros lineales del tramo de la “Casa de Cultura del municipio de Coatzacoalcos, Veracruz.

## **4.2 BENEFICIOS:**

La aplicabilidad de este estudio de protección costera conllevará a obtener beneficios en los ámbitos ambientales, sociales y económicos, los cuales pueden agruparse en los siguientes tópicos:

En el área ambiental este estudio traerá consigo beneficios en el paisajismo ambiental, dado a que este tipo de tecnologías no tiene un impacto ambiental negativo en el área de desarrollo y por un lado el procedimiento utilizado es diferente al comúnmente utilizado para este tipo de tecnología dado a que no se utilizara arena del sitio.

En el rubro social el desarrollo de este estudio traerá consigo los siguientes beneficios sociales, dado a que la infraestructura del malecón costera no recibirá gran impacto del oleaje y esto evitara afectar considerablemente la imagen de la infraestructura y a su vez se evitara riesgos potenciales para los transeúntes de la zona.

Para la parte económica se beneficiará al municipio, dado a que con el desarrollo de este estudio la infraestructura del malecón costero no seguirá recibiendo grandes daños a causa del oleaje excesivo generado por las inclemencias meteorológica de la región, y por lo tanto se reducirán los costos de reparación de la infraestructura dado a que esta no colapsara antes de su vida útil.

## CONCLUSIÓN

El desarrollo de estudio nació por la problemática que sufre la infraestructura del malecón costero con el paso del tiempo, la cual a causa del oleaje generado por diversos fenómenos meteorológicos aunado a la mala planeación de proyectos de la infraestructura ha generado que esta colapse en repetidas ocasiones.

Por lo consiguiente para resolver el problema se propuso una tecnología tipo blanda a base de tubos geotextiles como estructura de protección costera en el municipio de Coatzacoalcos, Ver., en el tramo de la “Casa de Cultura” que reduce los impactos meteorológicos sobre la infraestructura del malecón.

Después de analizar los tipos tecnologías de protección costera de tipo dura y blanda y sus impactos al medio ambiente se optó por seleccionar la tecnología de tipo blanda o estructural a base de geotextiles siendo esta la mejor alternativa, amigable con el medio ambiente y con casos de éxito para solucionar el problema de la protección costera del municipio de Coatzacoalcos.

Dando como resultado que la aplicabilidad de geosintéticos como estructuras para defensa costera ha conllevado a obtener beneficios a corto, mediano y largo plazo en los ámbitos económico, ambiental e ingenieril.

El costo de inversión requerido para el proyecto es de \$ 987,684.00 MXN, para desarrollar el proyecto propuesto que contribuya a una infraestructura de calidad en el malecón costero

La propuesta además de describir las dimensiones y características cuenta con un programa de trabajo para los procedimientos de aplicación.

De acuerdo a las ventajas y beneficios que ofrece esta propuesta se considera rentable como estrategia de protección costera del municipio de Coatzacoalcos Veracruz.

## BIBLIOGRAFÍA

- Brooke, J. (2003). *Wave energy conversion*. Elsevier.
- Carta Gonzalez, J. A., Calero Perez, R., Colmenar Santos, A., & Castro Gil, M. A. (2009). *Centrales de energías renovables*. Madrid: Pearson Educacion S.A.
- González Velasco, J. (2009). *Energías Renovables*. Barcelona, España: Reverté.
- Ross, D. M. (s.f.). *Energy from waves*.
- Silva Casarín, R., Moreno-Casasola, P., & Martínez, M. L. (2017). *Recomendaciones generales para el manejo de la zona costera*. Xalapa, Veracruz, Mexico: Unam.
- U.S Army Corps of Engineers. (2002). *Coastal engeneering manual*. Washington, DC, U.S.A.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1984). *Shore protection manual*. Washington, D.C., U.S.A.
- V Botello, A., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., & Rojas Galaviz, J. L. (2011). *Vulnerabilidad de las zonas costera mexicana ante el cambio climatico* (Segunda ed.). Campeche, Mexico: Universidad Autonoma de Campeche.

## GLOSARIO

### A

Arrecife: estructura rocosa u otra debajo de la superficie del agua.

### B

Barlomar: parte de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.

### C

Corriente marina: es un movimiento de las aguas en los océanos y, en menor grado, de los mares más extensos

### D

Difracción: La difracción es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija.

Dinámica litoral: Es el conjunto de procesos costeros causados por los agentes climáticos marinos al actuar sobre el medio. Los elementos esenciales de la dinámica litoral son los agentes actuantes, el medio sobre el que actúan y el transporte del material de un lugar a otro. Los principales agentes climáticos marinos son el oleaje, el viento, las variaciones del nivel del mar y las corrientes

Dique: un dique es una construcción para evitar el paso del agua

Dunas: Una duna es una acumulación de arena, en los desiertos o el litoral, generada por el viento, por lo que las dunas poseen unas capas suaves y uniformes.

### E

Efecto de asomeramiento: El asomeramiento es el efecto producido en las ondas del mar (oleaje) al reducirse notablemente la altura del fondo marino a su llegada a la costa. Se produce a partir de que la ola alcanza profundidades menores a la mitad de

su longitud de onda, disminuyendo su velocidad de propagación y la longitud de onda, pudiendo disminuir o aumentar su altura y en general adquiriendo mayor peralte.

**Erosión:** Desgaste y modelación de la corteza terrestre causados por la acción del viento, la lluvia, los procesos fluviales, marítimos y glaciales, y por la acción de los seres vivos.

**Escollera:** Estructura implementada en la desembocadura de los ríos en forma convergente, para aumentar la velocidad de descarga con el fin de reducir el azolve en la bocana.

**Espigón:** Estructura perpendicular a la línea de costa, que atrapa los sedimentos del transporte litoral.

**Estrán:** es el intervalo de costa que queda entre la bajamar y la pleamar. Esta plataforma puede quedar conformada por rocas o por arena, en el primer caso recibe el nombre de plataforma costera o plataforma de abrasión y en el segundo playa.

## **G**

**Geosintético:** Los geosintéticos son principalmente fabricados con productos derivados del petróleo dedicados a cambiar o mantener las características del suelo.

**Geotubo:** Los geotubos son elementos prefabricados, con geotextiles especiales, listos para ser utilizados en la construcción de estructuras hidráulicas y marítimas.

## **H**

**Hemitómbolos o saliente:** Consiste en la formación de un depósito de sedimento en la zona de abrigo generada tras el dique, sin que la nueva disposición de la línea de costa llegue a entrar en contacto con la obra en talud

## **O**

**Oleaje:** Ondulaciones con movimiento sinusoidal que se desarrolla en la superficie del mar.

## **R**

**Reflexión:** se refiere al fenómeno por el cual una onda se absorbe o regresa.

**Refracción:** La refracción es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo

**Rompeolas:** Es una estructura costera que tiene por finalidad principal proteger la costa o un puerto de la acción de las olas del mar o del clima.

## **S**

**Sotamar:** la parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.

## **T**

**Tómbolo:** Un tómbolo es un accidente geográfico sedimentario, como por ejemplo una barra, que forma una estrecha lengua de tierra entre una isla o una gran roca alejada de la costa y tierra firme, o entre dos islas o grandes rocas.

**Trasvase de arena:** Es el proceso de extracción de sedimentos de una zona de mayor acumulación de sedimentos para depositarlos a una zona con erosión

## **Z**

**Zona costera:** Es una zona de interrelación entre los factores marinos, terrestres, atmosféricos y la acción del hombre, es un área especial, de límites variables, cuya importancia está dada por los recursos valiosos que posee.