



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**DISEÑO DE SISTEMA DE ESPIGONES CON GEOTUBOS PARA LA
PROTECCION DEL MALECON DE CRUCITA**

Trabajo de Investigación que se presenta como requisito para la obtención del
título de
Ingeniero Civil

Autor; Jorge Delcito Murillo Zambrano

Tutor: Ing. Guillermo Baños

Samborondón, Septiembre 2017

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **Jorge Delcito Murillo Zambrano**, que cursa estudios en la escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **DISEÑO DE SISTEMA DE ESPIGONES CON GEOTUBOS PARA LA PROTECCION DEL MALECON DE CRUCITA**, presentado por el estudiante **Jorge Delcito Murillo Zambrano** con cédula de ciudadanía N°. 0917999039, como requisito previo para optar por el Grado Académico de Ingeniero Civil, y considero que dicho trabajo investigativo ha incorporado y corregido las sugerencias y observaciones solicitadas por los miembros del tribunal, por lo tanto reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Sustentación Final.

Tutor: Ing. Guillermo Baños

Samborondón, Septiembre 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mis padres, Jorge y Mayra, por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi educación, que se ve reflejada en la culminación de este trabajo.

Al ingeniero Guillermo Baños por su orientación en todo el proceso y su incansable ayuda en todo momento.

A mi enamorada Sofía que en los momentos más complicados, me impulsó a seguir y ser perseverante.

A mi familia que estuvo pendiente durante el transcurso de mi carrera estudiantil así como de esta investigación.

Y finalmente a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron para que este trabajo de investigación pudiera llevarse a cabo.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	8
1. Introducción	8
1.2. El Problema	10
1.2.2. Planteamiento del Problema.....	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo General	12
1.3.2. Objetivos Específicos.....	12
1.4. Justificación	13
CAPÍTULO II	14
2. Zona Costera	14
2.1. Erosión en Zonas Costeras	16
2.1.1. Erosión	16
2.1.2. Variabilidad costera	17
2.2. Meteorología.....	18
2.2.1. Precipitación	18
2.2.2. Temperatura del Aire	18
2.2.3. Temperatura de la superficie	18
2.2.4. Viento.....	19
2.2.5. Acción de las olas	19
2.3. Transporte de Sedimentos	21
2.3.1. Cantidad De Transporte de Sedimentos	24
2.4. Nivel del mar	25
2.4.1. Marea.....	26
2.5. Refracción.....	26
2.6. Difracción	27
2.7. Reflexión.....	27
1.8. Rompientes	27
1.9. Disponibilidad de Arena	27
2.9.1. Suministro periódico de arena	28
2.10. Oleaje en la costa de Ecuador	28
2.10.1. Oleaje en Zona de Rompientes	30
2.10.2. Oleaje en Crucita.....	30
2.11. Estructuras para el Control de la Erosión Marina	31
2.11.1. Muros Rígidos	31

2.11.2.	Espigones Marinos	32
2.11.3.	Rompeolas.....	39
2.11.4.	Dique o rompeolas Sumergidos	41
2.12.	Revestimientos.....	42
2.12.1.	Grandes tubos de geotextil llenos de arena	42
2.11.2.	Colchón articulado de bloques de hormigón	43
2.12.3.	Colchones Preformados de Concreto	43
2.12.4.	Geoceldas Llenas de Concreto	44
2.12.5.	Tubos Diagonales de Geotextil Llenos de Concreto	44
2.12.6.	Enrocados.....	44
2.12.7.	Elementos de Concreto.....	45
2.12.8.	Bolsas de concreto	45
2.12.9.	Geotubos de Alto Modulo para Rellenos Artificiales de Recuperación de Platas	45
2.12.10.	Geotextiles de alto modulo.....	48
2.13.	Proyectos de Regeneración de Playas.....	49
2.14.	Geotubos.....	49
2.14.1.	Información General.	49
2.14.2.	Aplicaciones.	50
2.15.	Recuperación de la playa de Upham, Florida mediante la utilización de geotubos	54
2.16.	Análisis comercial según las propiedades de los geotextiles	56
2.16.1.	Propiedades mecánicas.....	56
2.16.2.	Método Grab.....	56
2.16.3.	Método de tira ancha.....	59
2.16.4.	Método CBR	61
2.17.	Propiedades hidráulicas	63
CAPÍTULO III	66
3.1.	Análisis De Alternativas	66
3.1.1.	Criterios de Pre-diseño.....	66
3.1.2.	Criterios para la Construcción Costera.....	66
3.2.	Alternativa Propuesta	66
3.2.1.	Análisis de estabilidad de la estructura	67
3.2.2.	Metodología constructiva	70
3.2.3.	Impacto Ambiental.....	73
CAPÍTULO IV	73
4.1.	Resultado Esperado.....	73
4.2.	Costos Propuesta Alternativa.....	74

CAPÍTULO V	74
Conclusiones y Recomendaciones	74
5.1. Conclusiones	74
5.2. Recomendaciones	75
CAPÍTULO VI	76
Referencias	76
CAPÍTULO VII	79
Anexos	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de Crucita.....	10
Ilustración 2: Área delimitada a trabajar	11
Ilustración 3: Dirección del Transporte del litoral.....	21
Ilustración 4: Dirección del transporte del litoral con rompeolas	22
Ilustración 5: Porcentaje de Ocurrencia de los Niveles de Onda en Ecuador	29
Ilustración 6: Ubicación del Material de Relleno	70
Ilustración 7: Anexo 2 (Propuesta de Aplicación)	79
Ilustración 8: Anexo 3 (Distribución de Espigones).....	80
Ilustración 9: Anexo 4 (Perfil Costero de Crucita)	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y Desventajas de la Construcción de Espigones	39
Tabla 2: Ventajas y Desventajas de la Construcción de Rompeolas	41
Tabla 3: Método Grab	58
Tabla 4: Método de Tira Ancha	60
Tabla 5: Método CBR.....	62
Tabla 6: Propiedades Hidráulicas y Valores de Geotextiles	64
Tabla 7: Anexo 1 (Presupuesto Geotubos).....	79

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1. Investigaciones de Ingeniería de Costa

La franja de nuestro planeta en donde entran en contacto tres grandes sistemas; la tierra, el aire y el mar; se denomina costa. Es una cinta natural que define los continentes, encontrándose todo tipo de condiciones y temperaturas. En el presente trabajo se busca dar a conocer los fundamentos de la ingeniería de costas y sus métodos de cálculo cuyo fin es dar equilibrio a las diferentes estructuras costeras. Se va a analizar las diferentes variables que se consideran al momento de diseñar una estructura de protección costera así como los distintos tipos de protección. La importancia de referirse a estos conceptos es que sirven como requisito para el tema principal de este trabajo investigativo que es el diseño de espigones utilizando geotubos para recuperar la playa del balneario de la parroquia Crucita con el fin de generar sedimentación para mejorar las playas creando una barrera natural que proteja el malecón de futuros daños. (American Society of Civil Engineers, 1999)

El sistema que se plantea utilizar es la construcción de espigones utilizando geotubos para retener la arena de la playa y contribuir al crecimiento de la franja costera. Se realizara un breve análisis de diferentes proyectos de recuperación de playas exitosos que han utilizado este sistema y en base a esto se presenta el diseño para aplicarlo en el presente caso. Se utilizara como base los criterios del "Shore Protection Manual" y un diseño preliminar realizado por la empresa consultora Ganam para la recuperación de la playa de Crucita. La intención es presentar un diseño técnica y económicamente viable para la parroquia y beneficioso para sus habitantes. (Gobierno Municipal de Portoviejo, 2010)

Para poder realizar la planificación de un puerto o un proyecto costero es requerimiento realizar una selección apropiada del lugar así como la realización de un estudio de distribución y del tipo de estructura, los cuales a su vez tendrán

una gran importancia al considerar al final el costo total de la inversión para la construcción, el mantenimiento y la operación.

Al realizar una pobre planificación de un proyecto que haya sido meditado por un corto periodo de tiempo, puede dar como resultado un exceso en el proceso de sedimentación y la respuesta inmediata es la necesidad de dragados frecuentes y una demanda de que se traduce en una pérdida de tiempo. (American Society of Civil Engineers, United States. Army. Corps of Engineers, 1996)

También se conoce que cambios pequeños que puedan darse en la orientación pueden llegar a generar una reducción en cuanto a los costos adicionales en una proporción considerable. Y del mismo modo es necesario tomar en cuenta que las modificaciones deberán ser realizadas durante la etapa de planificación previa al desarrollo de la obra.

Una vez que la estructura haya sido construida, se puede decir que ya es extremadamente tarde para realizar alguna alteración en relación con la distribución fundamental debido a que al realizarse algún cambio o modificación se incurriría en costos elevados. (Alberti & Lopez, 2006)

Una ventaja adicional es que los costos que pueden representar las investigaciones previas son valores mínimos que no llegan a alcanzar siquiera el 1% de la inversión total del proyecto en general.

Es por estas razones que es necesario poner énfasis en la planificación adecuada de las distintas etapas de una obra portuaria. La correcta organización de un proyecto de protección costera y la recolección apropiada de datos oceanográficos permite realizar un trabajo adecuado que resuelva el problema de manera eficaz y sin desperdiciar los recursos.

1.2. El Problema

1.2.1. Antecedentes

Crucita, parroquia de Portoviejo ubicada a 30 kilómetros de la cabecera cantonal, comenzó como un pequeño caserío considerado parte de Charapotó por lo que pertenecía al cantón Sucre. En junio de 1978 se convirtió en parroquia y pasó a formar parte de Portoviejo como el balneario más importante para el pueblo portovejense. (Castillo & Paez, 2013)

Crucita es un balneario de 13 kilómetros que gracias a sus manglares y árboles es hogar de más de 40 especies de animales pertenecientes a la fauna marina. El malecón cuenta con una extensión de tres kilómetros y ofrece a los turistas diversas opciones de gastronomía y entretenimiento, ya que la mayoría de sus 12 mil habitantes se dedica al turismo, así como de la pesca artesanal y la agricultura; de aquí parte la importancia de recuperar la playa y proteger el malecón.



Ilustración 1: Ubicación de Crucita



Ilustración 2: Área delimitada a trabajar

1.2.2. Planteamiento del Problema

En muchos países costeros es muy común tener problemas de erosión en playas y malecones. Debido a la acción de las mareas y el oleaje, estos sufren desgaste que hace que pierdan territorio y en muchos casos hasta desaparecen. En el Ecuador, la solución más común a esta problemática es construir muros de piedra escollera para detener el embate de las olas. Si bien esto resuelve el problema de manera temporal, en la mayoría de los casos resulta bastante caro porque el material tiene un costo elevado y las canteras se encuentran usualmente lejos de las costas incurriendo en rubros altos de acarreo.

La aplicación de geotubos para resolver este problema se presenta como una solución económicamente viable y al mismo tiempo reduce el impacto ambiental. El simple hecho de eliminar el acarreo conlleva a una disminución significativa de la huella ambiental y eliminando estos costos se obtiene un beneficio económico. Esta solución ha sido implementada en lugares, solo para mencionar algunos, como Perú, México, Brasil y Australia ofreciendo excelentes resultados. Utilizando estos casos y analizando el método de construcción utilizado, se planteara el uso de este método en el caso concreto del Malecón de Crucita para que sirva como estudio para este problema en particular y como guía para casos posteriores. (Flick & Crampton, 2001)

Con este estudio se espera resolver el problema en Crucita y al mismo tiempo implementar en nuestro país esta tecnología que no solo reduce costos sino que es más amigable con el medio ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Comprobar la factibilidad de utilizar un sistema de espigones utilizando geotubos en Crucita para recuperar la playa y proteger el malecón, buscando promover su aplicación en casos similares en el país.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las variables que intervienen en el análisis, cálculo y diseño de los espigones para entender cómo afecta las costas.
- Analizar cada una de estas variables para plantear un diseño eficaz que implique menos recursos.

- Conocer otros proyectos de recuperación de playas con geotubos para sustentar la eficiencia de los mismos.
- Comprobar la factibilidad económica y ambiental frente a otras alternativas.

1.4. Justificación

Recuperar la playa de Crucita tiene como finalidad no solo cuidar un balneario emblemático para la población manabita, sino que a su vez se busca darle estabilidad a los habitantes de la parroquia que dependen económicamente de actividades relacionadas a esta como el turismo y la pesca. Si bien se han planteado varios métodos de protección costera al balneario, estos resultan temporales y muy costosos. En el presente trabajo se plantea un diseño que busca resolver el problema de manera definitiva y que se encuentre acorde a la realidad económica del sector. (EPFL, 2014)

El presente trabajo menciona diversos casos en los que se ha utilizado geotubos de manera exitosa para protección y recuperación de playas y se analizara brevemente los más relevantes para un mejor entendimiento de cómo funcionan. Estos casos sirven como aporte para plantear el diseño de protección en Crucita que utiliza como base los criterios de diseño utilizados en los estudios realizados por la empresa Ganam en Crucita.

CAPÍTULO II

2. Zona Costera

Se denomina zona costera a las porciones de tierra cercanas a la costa cuyos procesos naturales y actividades humanas se ven afectadas por la influencia de mareas y olas. Es una zona frágil en donde los tres sistemas antes mencionados interactúan entre sí, formando una franja de ajuste o transición. Estas franjas de transición son parte del océano durante algunas horas y al bajar la marea se transforman en medios terrestres con valores extremos de temperatura, humedad y vientos. A medida que nos alejamos de estos espacios los ambientes se vuelven más definidos. (Lehigh University. Geotechnical Engineering Division, 1976)

Si bien la extensión de las zonas costeras es variable debido a características ambientales y geológicas, los conceptos políticos y administrativos también juegan un papel muy importante definiendo la extensión de las mismas. Es así que si bien una zona de costa puede estar dividida políticamente, en términos geológicos sigue siendo un solo ambiente.

Las características cambiantes de las zonas costeras viene de un sinnúmero de factores tales como los fenómenos atmosféricos y oceanográficos, los procesos costeros, cómo funcionan los ecosistemas y hasta las actividades que se dan en la parte alta de la cuenca de los ríos que bajan hacia las costas para depositarse en los océanos. Estos fenómenos de integración demuestran lo dinámico que es el sistema de las zonas costeras, todo esto sin considerar los recursos biológicos de los océanos y la contaminación.

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

como la zona económica exclusiva de 200 millas marinas. (Editors of Fine Homebuilding, 2004)

En la franja costera de la Provincia de Manabí tienen cabida actividades actuales y potenciales, que son medulares para la subsistencia y desarrollo de la nación ecuatoriana: el cultivo del camarón, la pesca, la recreación masiva estacional, la agricultura cercana al borde costero, el desarrollo urbano, industrias diversas, transporte acuático, la esperada explotación de gas de hidrocarburo, el ecoturismo, y otras. De esas mismas actividades surgen los problemas que forman los retos a enfrentar en el ordenamiento y el desarrollo sostenible.

Más adelante, se enfocará el tema de los usos y actividades que están operando en los ecosistemas litorales. Sin entrar a debatir los matices de los términos «uso» y «actividad», que preocupa a muchos interesados o especialistas en administración, debemos identificar las actividades más destacadas por su significado social y económico, puesto que de la armonización de los intereses más fuertes dependerá la viabilidad del ordenamiento. (Crowder, Isla, & Denegri, 2005)

La presión del desarrollo económico, representada en la faja costera por ocupación de espacio y fuertes inversiones, recae frontalmente en los recursos independientemente considerados, mientras que la gestión ambiental demanda que la aproximación administrativa considere integralmente al ecosistema.

Acoger esta necesidad como requisito del ordenamiento y del desarrollo social es particularmente importante en un país como el Ecuador, donde muchas veces la urgencia en la búsqueda de recursos económicos para el financiamiento de las operaciones del Estado, las insuficiencias legales y administrativas sectoriales y la falta de conocimiento o de sensibilidad de empresarios y autoridades, aportan condiciones que aceleran el deterioro del ambiente natural. (Craig, 2005)

La playa de Crucita al norte limita con San Jacinto y San Clemente, al sur del cantón Jaramijó, al este de Charapotó, El Pueblito y Cañitas y al oeste con el Océano Pacífico. La playa es de una pendiente empinada, por lo que rompen las olas cerca de la costa. Presenta material fino, tiene 13 km. de playa y en marea alta es completamente cubierta por el mar. La población de Crucita tiene condiciones climáticas muy especiales que hacen de este un importante centro turístico que con el tiempo se fue deteriorando por la erosión de la playa.

2.1. Erosión en Zonas Costeras

Uno de los principales problemas que ocurren en los países costeros es la pérdida de territorio por erosión debido a eventos naturales, catastróficos o producidos por el hombre. La fuerza de la erosión va en función del perfil de la playa, la altura y periodo de oscilación de las olas. A medida que el agua profunda se encuentre más cerca de la orilla, la energía erosiva es más fuerte. Este fenómeno es producido por dos efectos principales; la acción del oleaje que suelta las partículas y el transporte litoral que mueve estas partículas sueltas. (Lehigh University. Geotechnical Engineering Division, 1976)

2.1.1. Erosión

Los conjuntos de datos de campo, detallados y completos, son escasos porque normalmente faltan los perfiles de la calma antes de la tormenta. La erosión costera depende en gran medida del tipo de costa y factores como la exposición, niveles de oleaje, composición del sedimento y pendiente de la playa.

La erosión de las dunas y de los acantilados suaves durante los eventos extremos es principalmente un proceso cruzado que lleva los sedimentos del frente de dunas inmóviles al sistema litoral móvil.

La erosión de las playas también es un proceso a lo largo de la costa debido a la presencia de corrientes erosivas en el litoral, incluyendo corrientes de marea. El aumento del nivel del mar también puede contribuir a la erosión crónica de las playas. (Eliopoulos & Greece, 2005)

La erosión costera relacionada con el aumento relativo del nivel del mar está en el rango de 2 a 20 m³ por año. La erosión de las dunas y de los acantilados blandos es causada principalmente por procesos hidrodinámicos y relacionados con el suelo durante eventos de tormenta mayor con niveles de oleaje por encima de la duna.

2.1.2. Variabilidad costera

La variabilidad costera se da por la pérdida permanente de arena de la zona costera activa (dunas, playa y zona de surf) debido al viento, olas y las fuerzas inducidas por las corrientes.

La variabilidad costera es la variación de la línea de costa alrededor de una línea de tendencia sistemática. Está fuertemente relacionada con el comportamiento cíclico de la barra rompedora en tierra y costa frente a la migración en alta mar en invierno y la migración en tierra y recuperación de playas durante el verano.

La erosión de las dunas durante los eventos de tormenta no puede ser fácilmente compensada por procesos naturales; por lo tanto, la restauración artificial de las dunas a menudo es necesaria por razones de defensa costera. La erosión de las playas y las dunas aumenta fuertemente con el aumento del nivel de oleaje torrencial y la disminución del tamaño de los sedimentos. (American Society of Civil Engineers, United States. Army. Corps of Engineers, 1996)

La erosión de las playas puede ser compensada por procesos naturales (transporte terrestre por ondas post-tormentas) en la escala de tiempo estacional.

2.2. Meteorología

2.2.1. Precipitación

En Ecuador, durante la época de lluvias (enero-mayo), el promedio normal de precipitación es 70.38 mm y en la época seca (junio-diciembre) el promedio es de 5.88 mm. Los meses de agosto, septiembre y octubre son los más secos con precipitaciones casi nulas, y los meses de enero, febrero y marzo son los de mayor precipitación. La precipitación anual es severamente alterada en los años en que se presenta el evento de El Niño, cuando el promedio de precipitación en invierno suele ser más alto. (Cuevas, Espinosa, Ilizaliturri, & Mendoza, 2012)

2.2.2. Temperatura del Aire

Respecto a la temperatura del aire en la zona que comprende el área de estudio, en forma general, las mayores temperaturas ocurren entre los meses de febrero a abril, oscilando entre 26 y 26.5°C, siendo estos meses los más cálidos. Las temperaturas menores se registraron entre junio y diciembre con el valor mínimo de 23.1°C en el mes de agosto.

2.2.3. Temperatura de la superficie

Los estudios de la temperatura en la superficie del mar muestran una tendencia estacional. Los meses más calurosos son febrero y marzo, presentando promedios de 27,3°C; Y entre los meses que registran temperaturas más bajas en la estación seca, podemos resaltar agosto como el más frío, con temperaturas de 24.5°C. Los años más cálidos corresponden a El Niño en 1997 y 1998, donde la temperatura media anual es de 27.0 y 27.1°C.

2.2.4. Viento

Sobre 1000 metros de altura, los vientos se encuentran en un equilibrio geostrófico entre las fuerzas del gradiente local y las de coriolis, por debajo de esta altitud, los efectos de la fricción debido a la presencia del océano, forman una distorsión en el campo de vientos; la velocidad y dirección es una función de la elevación sobre la superficie media, la rugosidad de la superficie, con las diferencias de temperatura del aire y del mar y los gradientes de temperatura horizontales. Para el análisis de viento en las áreas de implementación de los muelles, se refiere a vientos temporales y vientos extremos. (Flick & Crampton, 2001)

En cuanto a los vientos, el registro de sus mediciones es realizada de manera continua o en su defecto mediante periodos establecidos previamente. Todo el procedimiento es realizado en los lugares considerados como importantes cercanos a la costa; como podrían ser puentes, faros así como grandes puertos. La información estadística obtenida durante los periodos de tiempo, toma mayor importancia cuando el periodo de tiempo dedicado a la medición es mayor. Los datos obtenidos pueden ser en relación a la frecuencia, dirección y la duración de las diferentes velocidades del viento. Un dato que se convierte altamente relevante para poder generar cálculos preliminares sobre las olas que serían generadas por el viento así como por la deriva litoral. (Eliopoulos & Greece, 2005)

2.2.5. Acción de las olas

Para determinar las fuerzas que van a actuar sobre una estructura de protección costera es fundamental conocer las alturas, periodos, direcciones de las olas y su frecuencia de ocurrencia. Hay dos tipos de olas que interesan para el tipo de trabajo que se busca realizar; las olas de corto periodo que se miden en segundos las cuales son originadas por el viento, así como las de periodo largo

que son ocasionadas por distintos factores, principalmente las variaciones en la presión atmosférica.

La perturbación de olas puede ser reducida a un mínimo para facilitar la carga y descarga de buques si se selecciona la ubicación y orientación de los rompeolas con mucho cuidado. Esto es especialmente útil en condiciones adversas en zonas externas al puerto.

También es muy importante estudiar los movimientos de los buques amarrados y las fuerzas en las amarras previo a realizar los ensayos de perturbación. Por medio de dichos ensayos se conoce las propiedades elásticas ideales de los amarres. Debido a que el movimiento de un buque está sujeto a un gran número de parámetros, utilizar modelos para predecirlos es uno de los métodos más apropiados para obtener la solución óptima. (Finkl & Makowski, 2014)

Conocer la fuerza de las olas sobre las estructuras puede significar un ahorro significativo si se tiene todos los datos necesarios. Con datos certeros de las condiciones de oleaje se puede producir modelos de estudio que puedan permitir la construcción de un proyecto óptimo para la protección de costas.

Las olas son consideradas un fenómeno difícil para establecer propiedades. Una de sus propiedades básicas es el hecho del cambio instantáneo que poseen las olas. Es necesario considerar dentro de sus características el factor tiempo, altura y considerarlos con una relación dinámica.

Al considerar a las olas en general, como el movimiento vertical de la superficie del mar podrían ser clasificadas de acuerdo al periodo de sus movimientos, de acuerdo al eje y a la magnitud relativa de la energía que posee. (García, 1998)

Las olas oceánicas son consideradas de manera general como las de mayor complejidad de todas las olas. Son altamente irregulares en cuanto a la altura aunque poseen un período uniforme de sucesión infinita.

2.3. Transporte de Sedimentos

Debido a este procedimiento, las playas se erosionan de dos maneras. La ruptura de una ola, provoca un movimiento lateral del sedimento en la zona de oleaje debido al efecto de una corriente a lo largo de la orilla de manera longitudinal. Pero la razón principal es que las partículas de arena son transportadas en un lugar diferente, por un movimiento en forma de zig-zag que lleva las partículas a lo largo de la costa. Las olas llevan el sedimento diagonalmente a la dirección de la ola. Entonces estos granos suben la línea empinada, erosionando gradualmente la playa. (Diaz, 2005)

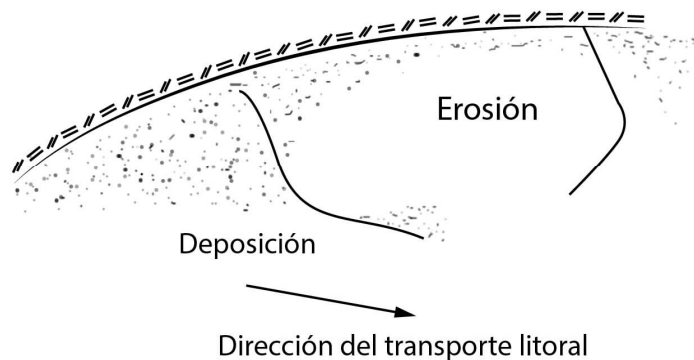


Ilustración 3: Dirección del Transporte del litoral

Es importante cuantificar el material que ha sido transportado, puesto que la predicción y la interpretación de dichos movimientos es sumamente importante para diseñar los espigones. Para este parámetro se libera arena con pintura en dos puntos de la zona intermareal. Una parte en el límite de la marea baja y la otra parte en la mitad de dicha zona. Después de 12 horas se realizan observaciones de los desplazamientos realizados por estas partículas de color.

Aunque es una prueba muy confiable, la orientación del frente de ola puede cambiar así como la dirección de las corrientes costeras, por lo que es necesario realizar varias pruebas. (Lehigh University. Geotechnical Engineering Division, 1976)

En la zona de oleaje gran cantidad de sedimentos, ya sea de fondo o de barro son transportado por la acción de las olas y la corriente de la bahía, sin embargo, el mecanismo de transporte neto de sedimentos no es necesariamente conocido.

El efecto de las olas en la zona costera es la causa principal de la mayoría de los cambios físicos. Las propiedades de la ola dependen de las condiciones del viento, el lugar donde se generan y las condiciones batimétricas de la zona de exploración porque se sabe que las olas pueden ser generadas por vientos distantes o locales. El efecto de las olas sobre las playas, provoca un movimiento más o menos fuerte del sedimento de un lugar a otro. (Gurgenci & Hood, 1997)

La distribución de sedimentos se puede observar mediante los procesos de erosión y deposición. La dirección predominante de transporte también se puede observar dependiendo de cómo se distribuye el sedimento a lo largo de la línea costera como se muestra en la ilustración 4, a pesar de que el transporte de sedimentos es un proceso dinámico y muy cambiante.

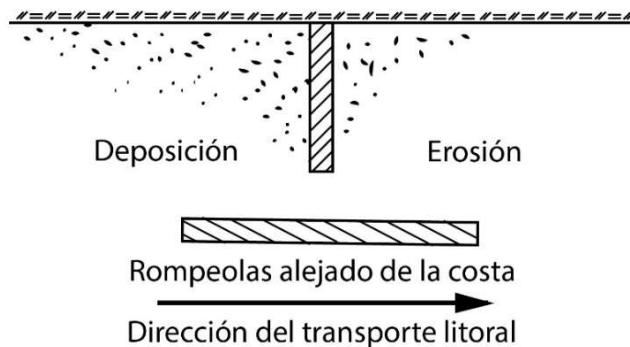


Ilustración 4: Dirección del transporte del litoral con rompeolas

El desarrollo de una playa o costa depende del equilibrio entre la arena movida hacia adentro de la zona afectada y la arena que se trasladó con el tiempo. Estos cambios pueden ocurrir en escalas de tiempo de días, estaciones o años. (Castro & Villacampa, 2000)

Las corrientes litorales que transportan el material pueden ser obstruidas por la presencia de estructuras o tapas artificiales. La difracción de la onda alrededor de la estructura puede dar como resultado ondas más pequeñas lo que evita que se arrastre más material y se disminuya el tamaño de las olas.

El grado de esta diferencia se puede ver en la cantidad de agua en los arroyos costeros y que puede resultar en una disminución de la fuerza en las corrientes que golpean la estructura. Ambos mecanismos juegan un papel importante en la costa alrededor del campo de la implantación de los materiales durante el transporte. La acumulación de arena en un lado de la playa, según confirmen las mediciones, revelaría la tendencia del crecimiento de la playa y la dirección dominante del transporte en estos lugares. (Moreire, 2012)

Al analizar un segmento individual de la playa es necesario determinar la fuente más relevante o de mayor peso en cuanto al material móvil que se encuentre en la playa, que por lo general está en relación con algún segmento adyacente del litoral del cual deriva. También puede ser producida por efecto de alguna corriente grande de tipo sedimentaria que haya ingresado a la zona en cuestión. Por último es necesario tener en cuenta que puede ser causada por un fenómeno extraordinario de erosión como una tormenta o huracán. (Zedler, 2000)

Es necesario tener en cuenta la importancia de la determinación del material a ser utilizado, debido a que el material de una playa puede ser a su vez el producto tanto de una como de varias fuentes.

En estudios previos se ha podido determinar que las condiciones ambientales de las playas pueden generar una cantidad considerable de material y por medio de estructuras de protección ser distribuido para diferentes puntos, todo determinado a su vez por los agentes erosionantes activos así como las condiciones para el transporte de material a lo largo de la costa.

2.3.1. Cantidad De Transporte de Sedimentos

La cantidad de transporte de sedimentos es tan importante como la dirección del movimiento en el proyecto y el funcionamiento de las estructuras de protección de costas. La cantidad solo puede ser medida con precisión mediante una barrera litoral artificial. En dichas barreras se puede llegar a calcular la cantidad de material que se transporta, mediante la medición de la deposición en el lado que enfrenta la dirección del movimiento litoral o la erosión sobre el otro lado de la barrera. (Lehigh University. Geotechnical Engineering Division, International Committee on Environmental Geotechnology, 1987)

La magnitud de la deposición puede llegar a ser medida en las barreras parciales, sin embargo no hay método que pueda decir que proporción de la deriva litoral total es atrapada por la barrera parcial mencionada previamente. Las barreras litorales son de poco uso en la práctica para determinar el transporte litoral, debido a que en tiempo geológico las mismas playas, en cualquier lado de la misma barrera, llegan a alcanzar una condición de estabilidad luego de que la arena aportada haya llegado a igualar a la arena perdida. (Wuttke & Bauer, 2016)

Por otro lado para llegar a compensar los cambios de carácter estacional, es necesario la realización de mediciones alrededor de la barrera artificial durante un lapso de tiempo en el mismo periodo en cada año. Dicha cantidad de

movimiento deberá ser expresada a razón de la cantidad de deriva por la unidad de tiempo, la cual es generalmente un año.

Luego de haber llegado a establecer la cantidad del transporte en una barrera litoral, es necesario que la base medida sea extendida a una distancia lo suficientemente adecuada tanto para uno como el otro lado de la barrera, con el fin único de llegar a incluir las zonas completas que sufren de erosión y deposición. (Ureña, 1999)

2.3.1.1. Investigaciones Geotécnicas

El conocimiento de las condiciones que posee el suelo del área a trabajar, es de gran importancia para poder planificar y proyectar tanto las estructuras portuarias como las estructuras de protección, de manera que se vuelve necesario realizar dichas investigaciones de forma previa y así poder obtener resultados de la resistencia del suelo.

2.4. Nivel del mar

Conocer el nivel del mar es esencial para el diseño de las estructuras de protección costera y la estabilización de las playas. Los niveles de agua determinan áreas críticas de las estructuras porque es donde concentran sus fuerzas y producen la mayor erosión. El comportamiento de las estructuras difiere en las mareas altas y bajas ya que los ataques que sufren difieren dependiendo de los niveles de marea.

El ataque principal proviene de las olas. El nivel del mar, la altura y el período de las olas dan una idea de dónde se encuentran las áreas más vulnerables para fortalecer una estructura. El nivel del mar está sujeto a diversos orígenes astronómicos, tormentas, fenómenos hidrológicos y velocidad del viento.

2.4.1. Marea

La marea está intrínsecamente relacionada con la rotación astronómica de la tierra y las fuerzas de atracción. Los grandes cuerpos celestes ejercen fuerzas gravitacionales que deforman la capa de agua que forman los océanos. Los valores más altos ocurren durante la luna nueva y la luna llena, mientras que los más bajos crecimientos suceden durante luna menguante y creciente; todo esto se da por la luna, el sol y la rotación de la tierra.

Estos puntos son conocidos como la pleamar, que es el punto más alto de la marea y la bajamar que es el punto más bajo de la marea. La diferencia de estos dos puntos es lo que llamamos la amplitud de la marea. Así mismo, el momento que la marea está creciendo se lo conoce como flujo y al decrecer se le llama reflujo. Debido a que el paso de la luna por el mismo lugar en la tierra se atrasa 50 minutos al día, la pleamar y bajamar a diario se retrasan 50 minutos. (Universidad de Sonora, 2002)

En cuanto a las variaciones del nivel del agua, es necesario que sean registradas de forma continua en diversos lugares sobre la costa así como sobre los estuarios, en lugares en los cuales nuevos puertos serán construidos a futuro. Dichas mediciones revelaran ondas de largos periodos que podrían ser a futuro los causantes de problemas de resonancias en las cuencas de dichos puertos. Las mediciones efectuadas, de forma general se realizan mediante mareógrafos los cuales son instalados en los puertos existentes para que se encuentren activos de manera permanente. (The U.S. Army Corps of Engineers, 2011)

2.5. Refracción

Mediante la reducción en la profundidad del agua, el suelo comienza a afectar al movimiento de las partículas por fricción, causando una reducción en la velocidad de propagación, y la longitud de onda de modo que la cresta se deforma y tiende a ser paralela a las líneas batimétricas en las que esta se propaga.

2.6. Difracción

Se produce cuando el oleaje es interrumpido por un obstáculo en su camino que pueden ser naturales (islas) o artificiales (rompeolas). Las islas y los rompeolas pueden actuar incluso como pantallas de manera que generan una desviación sobre las olas. Es un fenómeno similar al que se somete la luz, el cual también es conocido como difracción. En el mar se encuentra presente en las olas cuando una onda considerada como larga golpea un obstáculo y esta se separa en ondas más pequeñas y con distintas direcciones. (Shen, Bai, & Standifird, 2011)

2.7. Reflexión

Cuando la onda incidente se refleja en una playa o una estructura tiende a rebotar. Si el frente de onda es paralelo a la barrera, vertical, plano y con despreciable rugosidad se produce una reflexión perfecta, fenómeno que forma una onda estacionaria. Las estructuras reflectantes pueden ser peligrosas porque pueden producir el fenómeno de "resonancia". (Torres, 2014)

1.8. Rompientes

Se puede observar que el momento en que las olas han sido desarrolladas completamente empieza el proceso de rompimiento. Gran parte de este proceso ocurre a partir de la disminución del fondo del mar el cual llevará a las olas a aproximarse a las playas donde se acumulan las ondas de oleaje, incrementando su altura de manera que rompan totalmente. Cada fenómeno de rompientes es originado en el momento en que la altura de la ola llega a un punto en que pierde estabilidad por la disminución en la distancia entre la superficie y el fondo, así como el aumento en la altura de esta.

1.9. Disponibilidad de Arena

La construcción en la playa no aumenta físicamente la cantidad de arena en la playa, pero redistribuye la arena. La acumulación de arena en el lugar donde se

encuentra la playa debe necesariamente producir erosión en otras áreas de la playa. Por esta razón, en ciertos casos es necesario para los trabajos de construcción, la entrega de arena por medio de rellenos, para compensar los desequilibrios causados por la obra.

2.9.1. Suministro periódico de arena

El suministro regular de arena adicional permite a las playas adaptarse a los procesos dinámicos. Esto se puede llevar a cabo por el dragado desde otro lado de la playa o por medio del transporte litoral de arena. El movimiento paralelo de la arena es el proceso más importante del movimiento del sedimento. La velocidad de transporte, es medida en función de la cantidad de arena que se mueve bajo la fuerza de las corrientes litorales. (SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE ROCAS, 1997)

La velocidad de transporte es necesaria para determinar la cantidad disponible de arena requerida para determinar los espacios entre las estructuras y conocer la cantidad de arena adicional a colocar de manera artificial, que se requiere. Existe mucha controversia en el asunto de las ventajas del suministro de arena, especialmente por el alto costo y porque a veces la erosión, acaba rápidamente con la arena que es colocada. (Nordstrom, 2008)

2.10. Oleaje en la costa de Ecuador

La costa ecuatoriana es limitada por los meridianos 80° - 100° oeste y los paralelos sur 0° - 10° . Los niveles de ola predominantes en las aguas profundas de la costa ecuatoriana son de 1,0 -2,5 m con períodos de 8 segundos, con los frentes más recurrentes 255° y 315° . En los siguientes gráficos se muestran los porcentajes de ocurrencia de altura de olas, periodos y la dirección de las ondas respectivamente.

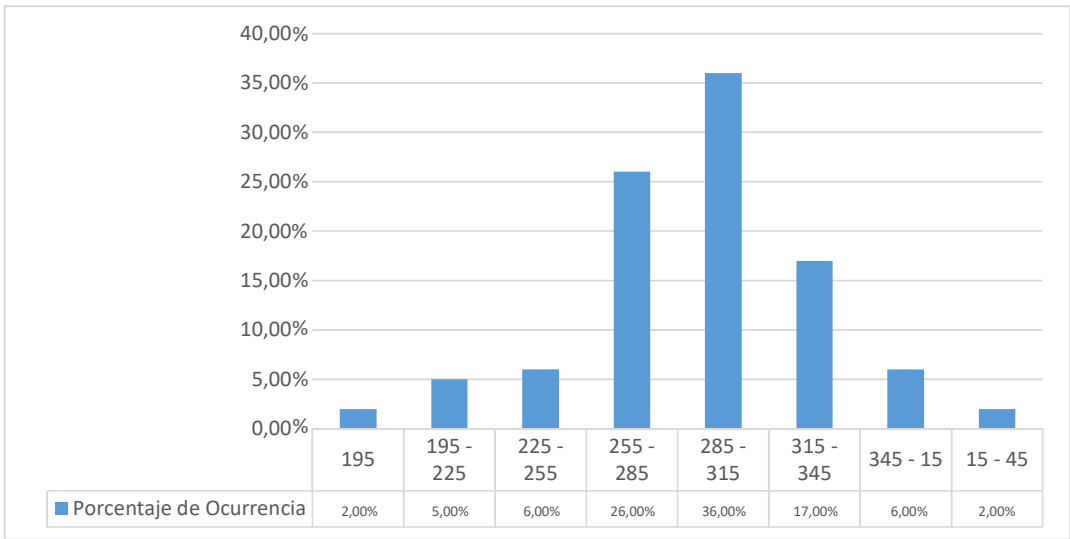
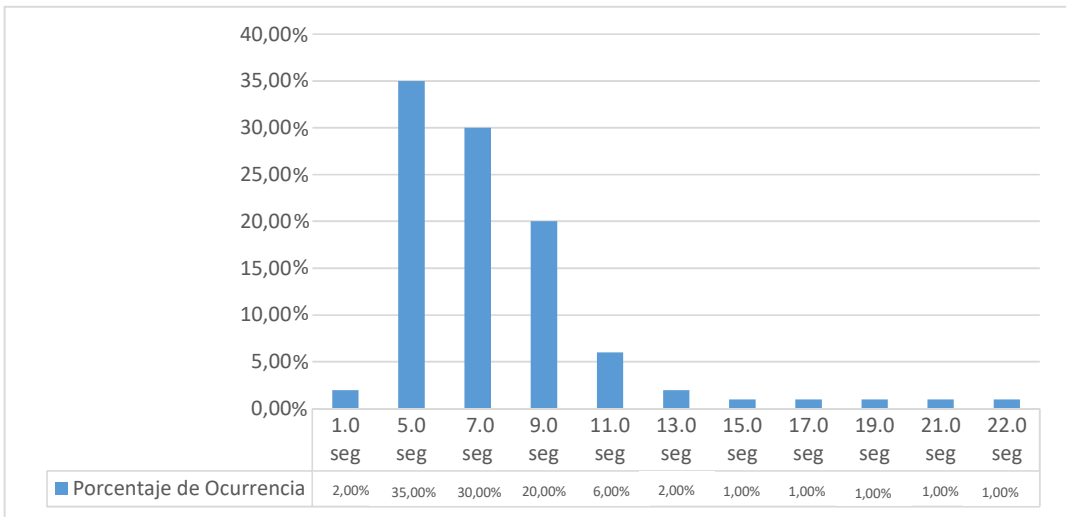
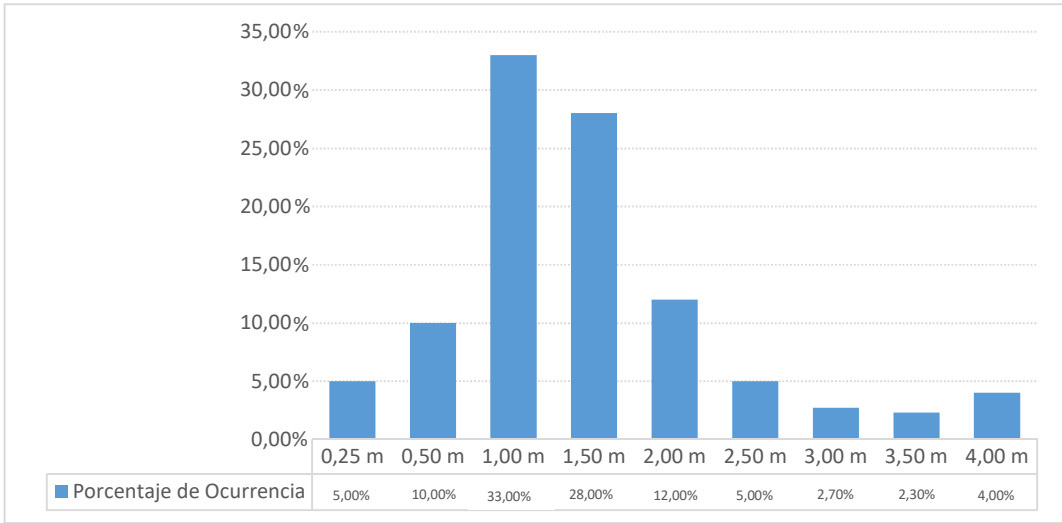


Ilustración 5: Porcentaje de Ocurrencia de los Niveles de Onda en Ecuador

2.10.1. Oleaje en Zona de Rompientes

A medida que la ola se acerca a la costa y comienza a sentirse el fondo, tanto por su velocidad como por su longitud comienza a perder velocidad y a ganar altura mientras el frente de onda empieza a alinearse con la línea de costa. A medida que sigue avanzando la onda se vuelve inestable. En este caso, la velocidad de la onda en la punta de la ola es mayor que su propia velocidad lo que crea un desbordamiento en la parte delantera de la ola provocando la rompiente. (Pellicer & Catala, 2004)

Las olas rompientes son un factor importante en la geometría y composición de las playas y son de considerable influencia en la planificación y diseño del trabajo en la zona costera. Cuando una onda se acerca a la costa, su dirección puede ser cambiada por el efecto de la refracción de muchas ondas y formar olas muy empinadas, de modo que el agua empieza a moverse a la misma velocidad de las olas manifestándose como turbulencia en el agua lo que causa que los materiales de fondo se levanten, se suspendan y luego se transporten en gran cantidad provocando erosión. (Kapetsky, 1997)

2.10.2. Oleaje en Crucita

El oleaje es el primer agente moderador de la playa de Crucita, puesto que al incidir sobre la misma disipa su energía moviendo los materiales que se encuentran en ella.

La arena de la playa está sometida a dos movimientos naturales: Uno perpendicular a la costa con el oleaje del temporal que provoca que las olas que alcanzan la costa desplazan la arena de la playa del fondo del mar formando barreras sumergidas paralelas a la costa y otro paralelo a la playa provocado por las corrientes litorales que se llevan parte del material suspendido por las rompientes.

Esta arena acumulada en barreras sumergidas regresa a la playa con el oleaje del fondo, que es el oleaje que alcanza la costa cuando los temporales se desarrollan lejos de las mismas, dando crecimiento de la anchura de la playa. Este proceso bien definido se realiza periódicamente.

La playa de Crucita se encuentra orientada hacia al norte, haciendo que la zona costera de este cantón no se vea afectada directamente por los frentes de ondas del norte, en cambio, esta zona es vulnerable a los frentes con dirección del oeste, oscilando frecuentemente en trenes de onda que vienen de los 250° SW hasta los 310° NW. Para Crucita se consideró los datos obtenidos por la consultora Ganam donde estiman que la altura de las olas se encuentra por encima de los tres metros y estas alturas se registran con más frecuencia en marzo y abril.

2.11. Estructuras para el Control de la Erosión Marina

2.11.1. Muros Rígidos

Los muros de concreto, piedra o pilotes, se han utilizado desde hace muchos años como una forma de controlar la erosión por acción del oleaje. Sin embargo, existen criterios encontrados sobre sus ventajas. Aunque no se puede negar que el revestimiento de estructuras rígidas efectivamente evita la erosión del suelo detrás del muro, se argumenta que al impedir la erosión se aumenta la erosión en zonas adyacentes, por reflexión de las olas, o por la acumulación de arena que de otras formas se trasladaría a otros sitios de la playa. En algunos estados de los Estados Unidos los muros junto a la playa se encuentran prohibidos y su uso muy restringido. (Martin, 2007)

2.11.2. Espigones Marinos

El principal objetivo de los espigones marinos es el de interrumpir el transporte de sedimentos producido por las corrientes longitudinales presentes en las playas, logrando una nueva acumulación de arena que genera un tramo de costa adicional. Es muy común encontrar este tipo de estructuras en grupo debido a que es muy difícil que este tipo de elementos trabaje en forma aislada, pues el espigón genera erosión costero en sus inmediaciones.

Este tipo de obras se construyen perpendiculares a la playa. Su función es protegerla de procesos erosivos, permitiendo mantener un cierto ancho de playa, reteniendo la arena, sea en forma natural o preservando rellenos artificiales para compensar pérdidas de material. Aunque la forma más común de construir estas estructuras es utilizar roca, podrían emplearse otros tipos de materiales como tabla-estacas de concreto, pilotes, gaviones, etc. Los espigones pueden ser permeables o impermeables, altos o bajos y fijos o ajustables. (Martinez, 2012)

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

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

de playa amplio, constituyendo un “sistema de espigones”. (Gomez & Gomez, 2013)

Los espigones son las estructuras más comunes para manejo de playas. Estos se construyen generalmente normales a la orilla para impedir el tránsito normal de la arena a lo largo de la playa. El objetivo principal de los espigones es estabilizar la playa contra la erosión producida por el movimiento de arena paralelamente a la orilla. Las corrientes paralelas a la orilla inducidas por las olas acumulan arena a un lado del espigón. (Graux, 1975)

La presencia del espigón modifica la dirección de las corrientes y no permite el paso de arena hacia el otro lado de la estructura, con la consiguiente reducción de disponibilidad de arena en la playa al otro lado del espigón, causando en ocasiones problemas delicados de erosión.

Colocando arena adicional los espigones sirven para estabilizar la playa sosteniendo en el sitio la arena colocada. El espigón de mar actúa como una entrada de tierra artificial produciendo fenómenos de difracción y refracción de las olas y la formación de una serie de playas artificiales entre espigones. Las playas así formadas producen un avance hacia el mar y puede ser necesario seguir prolongando los espigones para lograr un efecto de avance acumulativo de la playa.

El avance depende del espaciamiento entre espigones, el volumen de deriva litoral, la pendiente del mar y las características del oleaje. Generalmente los espigones son estructuras rectas pero algunas veces se construyen curvos, o en forma de T. Un espigón en forma de T actúa además como rompeolas. Los espigones son estructuras relativamente delgadas normales a la orilla.

El diseño de los espigones incluye su localización en planta y la definición de su longitud, espaciamiento, altura, perfil, espaciamiento, tipo y materiales de construcción, permeabilidad entre otros parámetros.

2.11.2.1. Diseño funcional de los espigones

El U.S. Army Corps of Engineers divide el diseño en dos partes, la primera es el diseño funcional de los espigones y la segunda el diseño estructural. El diseño funcional se refiere a determinar si los espigones son una solución aceptable para resolver el problema de erosión objeto del proyecto. Esto incluye determinar los límites del área de proyecto como la localización y dimensiones del sistema de espigones para cumplir con los objetivos del proyecto, que generalmente es el proveer un área de protección o de playa recreacional con unas dimensiones especificadas. (American Society of Civil Engineers, 1997)

Se deben tener en cuenta las condiciones de la playa antes del proyecto, estimando el efecto de la construcción de los espigones y determinando si la cantidad de arena disponible es suficiente para mantener las dimensiones de playa deseada o si se requiere suplementarla con arena adicional. La frecuencia de ese complemento de arena también debe ser establecida.

Se debe considerar la utilización de espigones, si las pérdidas de sedimento en el área de playa analizada son mayores que la cantidad de arena que entra. Los espigones pueden retener la arena dentro del área de proyecto y reducir las pérdidas. Estos cambios pueden ser temporales o permanentes dependiendo del tipo de espigón, sus dimensiones, su permeabilidad a la arena, y las posibilidades de arena adicional. (Doody, 2012)

2.11.2.2. Longitud de los Espigones

Los espigones trabajan interrumpiendo el transporte de arena a lo largo de la orilla. La mayor parte de este transporte ocurre en la zona de rompimiento de las olas. Por lo tanto, la longitud de los espigones debe establecerse basada en la zona esperada de rompimiento de olas, con la línea de playa colocada en su nueva posición.

Los espigones pueden clasificarse como cortos o largos dependiendo de hasta donde atraviesan la zona de rompimiento de oleaje. Si los espigones atraviesan la totalidad de la zona de rompimiento de las olas, se consideran largos, pero si solo se extienden parte de la zona de rompimiento, se consideran cortos. Sin embargo, en periodos de olas bajas, un espigón puede funcionar como largo y durante las tormentas funcionar como corto. Los espigones cortos están diseñados para permitir el paso de ciertas cantidades de arena. (Engineering, 2013)

2.11.2.3. Efectos de las Estructuras

Las características del transporte pueden llegar a ser determinadas de una manera precisa mediante la consideración de los efectos producidos por las estructuras existentes. Para este método se requiere la toma de fotografías aéreas para verificar los cambios en las líneas de costa.

La determinación de la dirección de tipo dominante del transporte de litoral requerirá que se realicen observaciones en intervalos de tiempo regulares por un lapso de al menos un año para evitar que se registren o se realicen interpretaciones de tipo erradas por efectos propios del clima o estacionales. (Engineering, 2013)

Al considerar los efectos de los rompeolas presentados en estudio previos en cuanto a las cantidades involucradas, se puede inferir que cantidades pueden llegar a representar grandes volúmenes, de manera que la cantidad que haya sido registrada y observada será la indicativa de la dirección que sea dominante en cuanto al transporte del litoral, que a su vez pueden presentar cambios en cuanto a las variaciones de la dirección a corto plazo.

2.11.2.4. Altura y perfil de la ola

La selección de la altura del espigón debe tener en cuenta la optimización de las cantidades de obra de la construcción y su eficiencia para controlar el movimiento de arena.

Los espigones también pueden clasificarse como altos o bajos, dependiendo de su altitud con referencia a los niveles normales de la playa. Los espigones altos tienen crestas por encima del nivel normal de marea alta. Generalmente, no se transportan sedimentos por encima de un espigón alto. Los espigones bajos tienen elevación de cresta por debajo del nivel normal de la marea alta y se puede transportar algo de sedimentos sobre el espigón en la cara de la playa.

Generalmente el perfil de un espigón tiene tres secciones diferentes. Una zona alta junto a la playa con una cresta horizontal a la elevación requerida, de acuerdo a la altura de las olas. Una zona inclinada que conecta la zona de playa con la punta del espigón que tiene generalmente la pendiente de la playa y una parte inferior de menor pendiente dentro del mar. Sin embargo, la mayoría de los espigones se construyen con una pendiente constante a todo lo largo de su longitud.

2.11.2.5. Espaciamiento de los espigones

El espaciamiento de los espigones a lo largo de la orilla generalmente depende de la longitud de los espigones individuales. La distancia entre espigones es comúnmente 1.5 a 2 veces la longitud de un espigón, tomando como longitud la distancia de espigón dentro del mar. Cuando la dirección de las olas es muy paralela a la playa se pueden utilizar espaciamientos grandes pero cuando el grado de incidencia es grande, se requiere un menor espacio entre espigones. Para una dirección determinada de dirección de la ola, el espaciamiento óptimo puede ser determinado, redistribuyendo la arena dentro de cada compartimiento, en tal forma que línea de orilla sea paralela a la de la ola. Cálculos similares se pueden desarrollar para diferentes direcciones de las olas y encontrar el espaciamiento que se acomode mejor a las fluctuaciones debidas a cambios estacionales de dirección de las olas. (Asaoka, Akira, Adachi, & Oka, 1997)

Inicialmente se pueden colocar series de espigones normales a la playa a un espaciamiento igual a su longitud, y a medida que se evalúa su efecto se cambia la dirección o se colocan adicionales. A ambos extremos de la zona estabilizada con espigones se recomienda la construcción de un sistema transicional de espigones.

2.11.2.6. Criterios generales para el diseño de espigones

En el diseño de espigones se recomienda adicionalmente tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) Si el oleaje dominante forma un ángulo con respecto a la playa se recomienda colocar los espigones normalmente al oleaje para evitar erosión por turbulencia en la punta del espigón. Si no existe dirección predominante se colocan generalmente perpendiculares a la costa.

- b) Los espigones deben tener una altura constante con respecto al fondo de playa, evitando los muros altos que producen erosiones fuertes y en algunos casos la destrucción del espigón. En ciertos casos, en la punta del espigón se disminuye la altura para evitar turbulencias.
- c) A medida que progresa la sedimentación la altura del espigón puede ajustarse aumentándola para conseguir efectos acumulativos.
- d) Los elementos deben ser lo suficientemente grandes para resistir las características del oleaje, siguiendo el criterio que se menciona más adelante para los rompeolas.
- e) El ancho de la corona del espigón debe ser al menos 1.5 veces el diámetro de las piedras más grandes y suficiente para el paso del equipo de mantenimiento.

2.11.2.6.1. Espigones sumergidos alejados de la playa

La nueva tecnología de espigones completamente sumergidos permite la alimentación de arena por modificación de la dinámica de las corrientes en el fondo del mar. Su efecto es la disminución de la reflexión de las olas y la turbulencia junto a la orilla. Al volverse las aguas más calmadas se facilita la sedimentación. Estas estructuras normales a la playa ayudan a la acumulación de arena y disminuyen la erosión. Su utilización es relativamente nueva y no existe certeza de su eficiencia. (Universidad Nacional de Colombia, 2010)

Su longitud puede alcanzar distancias hasta de 100 metros desde la orilla. Para su construcción se pueden utilizar elementos sueltos o tubos de geotextil rellenos de concreto.

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Los espigones son efectivos para controlar la erosión debida al transporte de sedimentos a lo largo de la orilla. 2. Se tiene mucha información sobre el comportamiento de los espigones en variadas condiciones ambientales. 3. Los espigones se construyen desde la playa hacia el mar, siendo relativamente económica su construcción. 4. Los espigones no cambian las condiciones de la zona de rompimiento de las olas. La altura de las olas después de construidos los espigones prácticamente no cambia. 5. Los espigones pueden construirse con muchos tipos de materiales diferentes (piedra, pilotes, tablestacas, gaviones, bolsacreto, etc.) 6. Los espigones permiten ajustar sus dimensiones después de construidos para ajustarlos a los efectos generados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los espigones no son efectivos para impedir la pérdida de arena hacia el fondo del mar. 2. En los espigones se generan corrientes fuertes de agua a lo largo de sus flancos produciéndose pérdida de arena hacia el fondo del mar. 3. Los espigones pueden generar erosión en las playas vecinas al impedir el paso de sedimentos a lo largo de la orilla. 4. No existe claridad sobre la filosofía del diseño. Si deben ser largo o cortos, altos o bajos, permeables o impermeables.

Tabla 1: Ventajas y Desventajas de la Construcción de Espigones

2.11.3. Rompeolas

Los rompeolas son obstrucciones que se construyen alejadas de la playa paralelas a la orilla, y cuyo objeto es el de amortiguar o impedir el paso del oleaje. Las fuerzas que se consideran en la estabilidad de un rompeolas son las debidas al oleaje, al peso propio y a la fricción de base. Los rompeolas son estructuras individuales o espaciadas construidas paralelamente a la playa con el objetivo de disminuir la fuerza de las olas que lleguen a la playa. Los rompeolas pueden retener la arena de playa o reducir la altura de las olas. (Universidad Iberoamericana, 2005)

Las olas al pasar por el espacio entre los rompeolas se difractan reduciendo su energía. Esta protección facilita la acumulación de arena entre las estructuras y la playa. El resultado es una playa con una serie de salientes hacia el mar localizado frente a los rompeolas. La efectividad de un sistema de rompeolas depende del nivel de protección y de la longitud de playa que protejan. Sus factores más importantes son su altura, longitud, separación de la orilla y

características de transmisión de la ola. En un sistema de rompeolas la distancia entre segmentos, la longitud de los segmentos y la distancia a la orilla juegan un papel muy importante. Generalmente, un solo rompeolas tiene muy poco efecto sobre la playa a menos que sea de gran longitud, y se acostumbra construir un sistema de varios rompeolas espaciados. (Marine Board, 1994)

Si el rompeolas se construye de gran longitud con respecto a la longitud de las olas y muy cerca de la orilla, se produce gran acumulación de arena entre el rompeolas y la playa formándose un tómbolo, el cual conecta la orilla con el rompeolas. El tómbolo va a impedir el transporte de arena a lo largo de la orilla, evitando procesos de erosión.

Si el rompeolas es corto y se encuentra muy alejado de la orilla se puede formar un saliente en la playa. El saliente controla pero no impide el transporte de arena. La forma definitiva de la orilla después de construidos los rompeolas depende de la geometría y localización longitud y espaciamiento de los rompeolas, la dirección longitud y altura de las olas, y la cantidad de arena disponible.

Los rompeolas pueden construirse acumulando rocas de gran tamaño, bolsacreto, tubos de geotextil rellenos, pilotes hincados, tablestacas formando cofres, o bloques prefabricados de concreto. La altura de los rompeolas determina la energía de ola disipada. Un rompeolas bajo puede impedir la formación de un tómbolo, y un rompeolas alto facilita la acumulación excesiva de arena y formación de tómbolos. La separación de las estructuras determina la modificación de circulación de las corrientes de agua. Entre mayor sea la separación se permite un mayor paso de las corrientes, facilitando un mejor transporte de arena a lo largo de la orilla (OASAS, 2001)

Ventajas	Desventajas
1) Los rompeolas son efectivos para controlar tanto la erosión por transporte a lo largo de la orilla, como el transporte de arena hacia el fondo del mar.	1) Pueden ser costosos porque se requiere construirlos en mitad del mar.
2) Los rompeolas son muy efectivos para estabilizar líneas de playa y proteger estructuras junto a la orilla.	2) Afectan significativamente las características de la zona de rompimiento de las olas y pueden restringir la práctica de algunos deportes como surfing y baño en la vecindad de las estructuras.
3) Los rompeolas pueden diseñarse sumergidos para que no afecten el paisaje.	3) Constituyen un peligro serio para la navegación.
4) Los rompeolas pueden diseñarse permitiendo el paso de arena y controlar la rata de paso de sedimentos.	4) Constituyen un peligro para los nadadores.
5) Pueden construirse de piedra, bloques y materiales relativamente económicos.	5) Pueden disminuir la calidad del agua si dificultan la circulación de agua entre las estructuras y la playa.
6) Pueden diseñarse para airear y mejoras la calidad del agua junto a la orilla.	6) Los rompeolas pueden conectarse con la playa formando depósitos de arena conocidos como "tómbolos", los cuales afectan el comportamiento de orilla y pueden generar problemas de erosión.
7) Existe mucha experiencia en el uso de rompeolas.	
8) Los rompeolas reducen en forma significativa la altura de las olas junto a la playa.	

Tabla 2: Ventajas y Desventajas de la Construcción de Rompeolas

2.11.4. Dique o rompeolas Sumergidos

El funcionamiento de las estructuras sumergidas es muy similar al de los rompeolas, se crearon barreras subacuáticas que extrajeron la arena en el lecho marino. El pico de este dique es continuo en la mayoría de los modelos y alturas inferiores a los niveles de marea baja, produciendo que las olas rompan la estructura. Estas estructuras bajo el agua, alteran el comportamiento de las corrientes. Lo que ayuda a depositar arena en las playas, pero usualmente con una magnitud de efecto menor que la de un rompeolas convencional.

Una notoria ventaja en la construcción de estructuras como la solución de erosión, es el impacto nulo en el paisaje ya que estas se encuentran sumergidas. Pero a sí mismo, como esta situación se presenta como una ventaja estética, tiene algunas desventajas. Es el principal peligro para los nadadores y la navegación, que al no darse cuenta de su presencia, pueden sufrir accidentes. Otra desventaja importante es que, contrariamente a los rompeolas que actúan directamente en el aire, las estructuras enterradas están implicadas en el transporte de arena, y en los casos en que el área es sostenida por el suelo arenoso, crean erosión. (American Society of Civil Engineers, United States Army. Corps of Engineers, 1993)

2.12. Revestimientos

Además de la estructura revisada, también es posible construir métodos de protección sobre la playa existente para proteger la zona entre el mar y las estructuras. Estas áreas limitadas por estos elementos sirven como protección, pero perturban el funcionamiento natural en las playas.

2.12.1. Grandes tubos de geotextil llenos de arena

Un nuevo sistema para la protección de las zonas altas de la zona, es el uso de grandes tubos de geotextil lleno de material dragado de la playa. El geotextil a usarse debe ser de alta durabilidad, generalmente un poliéster de alta resistencia para evitar el desgaste a través de la abrasión, desgarre y perforación debido a su gran tamaño, consecuencia del ancho y gran longitud de las bolsas. Estas permiten a las mismas, soportar el golpe de las olas a través de su gran peso. Debido a su flexibilidad, la socavación no es un problema muy serio para estos tipos de revestimientos. (American Society of Civil Engineers, 1995)

Para la construcción, que utiliza tubos de gran diámetro. Estos pueden llegar a medir 2,5 metros y con una longitud de hasta 150 metros. Para colocar estos

tubos, se deberá excavar una zanja trapezoidal. Estas luego son rellenas con el mismo material que se encuentra en la playa. Aunque la vida de las tuberías, es menor que otros materiales el que estos sean rellenos de arena de la misma playa, provoca una considerable reducción en el costo del equipo utilizado y el transporte. (American Society of Civil Engineers, 1994)

2.11.2. Colchón articulado de bloques de hormigón

Los bloques de concreto articulados, se colocan sobre las áreas costeras para prevenir la erosión de la playa producto de la fuerza de las olas. Son estructuras grandes que implican la colocación de bloques prefabricados con alturas concretas entre 10 y 30 centímetros. Estos bloques están conectados entre sí, utilizando cordones de poliéster. Estos están ubicados sobre una capa de 30 cm de espesor, con piedras recubiertas con una malla de geotextil de alta resistencia.

El propósito de esta capa de piedra es ayudar con el drenaje y así mantener la cimentación en una capa más uniforme y los cimientos estables. El geotextil se ancla directamente con un bloque alargado y los espacios entre los bloques son cubiertos con tierra para sembrar o material de relleno del sector. En la fase de desarrollo es importante, considerar la posibilidad de deslizamiento una de las capas, el asunto de la socavación en la parte inferior del colchón y si se presenta la necesidad, se deberá diseñar un sistema adicional para protección. (American Society of Civil Engineers, 1994)

2.12.3. Colchones Preformados de Concreto

Los colchones de concreto prefabricados tienen una construcción similar a la de los bloques articulados, pero estos están contruidos con dos capas de geotextil. Estas capas crean un colchón de dos celdas, donde el concreto se inyecta bajo presión.

2.12.4. Geoceldas Llenas de Concreto

El Geocell de hormigón se construyen soldando tiras de polietileno de alta densidad a intervalos definidos, formando un canal de placas en tres dimensiones. Se les incorpora tendones de refuerzo. Estos son colocados sobre el geotextil, y servirá de ayuda contra la filtración que luego se rellenará con material de mejoramiento de la misma manera que el colchón de hormigón. Esto protege las áreas en las orillas para detener la erosión.

2.12.5. Tubos Diagonales de Geotextil Llenos de Concreto

Este sistema se conoce como “término salchicha” debido a la manera en la que son los tubos de geotextil tan pronto como estén llenos. Estos tubos se entrelazan de forma diagonal para neutralizar la erosión causada por las fuerzas de las olas. Este sistema ha estado ganando popularidad en los últimos años y se ha utilizado con buenos resultados.

2.12.6. Enrocados

Este tipo de protección se ha utilizado durante muchos años y es probablemente el sistema de protección costera más antiguo. Se colocan grandes rocas sobre las hojas de geotextil para así evitar que material fino sea arrastrado a las orillas. Al diseñar se debe tener muy en cuenta la pendiente, el grosor de los geotextiles y las especificaciones de la roca.

2.12.7. Elementos de Concreto

Los elementos de concreto consisten en bloques y elementos de hormigón de diferentes maneras. Estas formas permiten que los elementos se entrelazen con facilidad y funcionen como un cuerpo. Soportan la fuerza de las olas, por la acumulación de pesos. Entre los elementos comúnmente utilizados se pueden resaltar el tribar, los dolos, los tetrápodos, los hexápodos y los cubos.

2.12.8. Bolsas de concreto

En particular, las bolsas de concreto son otro sistema que utiliza geotextiles, en este caso son rellenas de hormigón o mortero. Al igual que muchos sistemas de protección costera, estas trabajan según el peso. Y estas trabajan juntas, gracias a que las bolsas están dispuestas de tal manera que se cree un entrelazado. Este grupo es muy resistente y se forma por bolsas individuales con pesos entre 3 y 27 toneladas con dimensiones de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y 1 metro de altura.

2.12.9. Geotubos de Alto Modulo para Rellenos Artificiales de Recuperación de Platas

2.12.9.1. Rellenos Artificiales para la recuperación de Playa

La tecnología de los rellenos artificiales tiene distintos objetivos para obras de Ingeniería Costera y existen diversos tipos según la finalidad buscada. Sus diferencias con los sistemas de protección tradicionales son esencialmente el material y el método de construcción, que lo convierte en un sistema más práctico de aplicar.

Usualmente, al construir un rompeolas, escollera o cualquier estructura de protección costera de roca u hormigón, se implica la obtención y movilización del material que se puede complicar al momento de la construcción, pues se requiere encontrar cantera y existe un riesgo al trabajar en playas con piedras

de cortantes peligrosas. En ocasiones, la maquinaria no puede llegar al sitio donde se solicita ubicar el material.

Los rellenos artificiales de playa utilizan el geotubo (geotextil) y un relleno de arena para formar la estructura en sitio, materiales que deben cumplir propiedades según especificaciones técnicas. Para su diseño y aplicación se realiza un análisis que va desde las causas de la pérdida de la playa hasta el comportamiento del mar en la zona de rompientes. La aplicación del geotubo y del relleno artificial busca recomponer formas naturales como bermas o dunas litorales a través del relleno con arena similar a la de la forma original, además de recomponer las condiciones costeras morfológicas originales sin alterar la dinámica (olas, corrientes litorales) y manteniendo el equilibrio entre las formas.

El geotubo para recuperación de playa es fabricado de geotextil permeable de alto módulo para retener partículas de suelo mientras que el líquido pasa libremente, posee propiedades únicas de retención pues es permeable al agua pero impermeable al paso del material del suelo, se llena con arena original del lugar o con aquella que cumpla con especificaciones de estudios. A lo largo de todo el geotubo existen orificios de entrada y salida desde donde se lo puede llenar.

Se dispone también de geomallas lastradas que se ubican debajo y están compuestas por tejidos de polipropileno de alta densidad hilados en un tramo que sea estable e inerte a la degradación biológica y que sea resistente a químicos, álcalis y ácidos naturales pertenecientes al medio en que se instalen. Estas geomallas trabajan para evitar la socavación, y asegurar larga vida útil de la obra.

Las dimensiones de los geotubos varían con el proyecto en el que se vaya a aplicar debido a diferentes condiciones que prevalecen en cada lugar como vientos, mareas, olas, corrientes, suelo, etc. Se aplican como espigones, rompeolas, diques de contención, protección costera de orillas para protección

de costas y recuperación de playas. Existen muchos tipos de geo-estructuras de uso en obras hidráulicas a los que se los denominan con distintos términos como bolsas, sacos de arena, geobolsas, geotubos, geocontenedores y geosistemas.

Muchos están siendo utilizados con nombres comerciales registrados. Los denominados sacos o bolsas poseen volumen y peso que lo limitan en su uso y eficacia. En la actualidad se diseñan geotubos para sitios de exposición al océano con dimensiones que han superado los 100 metros de longitud y 5 metros de ancho.

Funcionan como estructuras tradicionales de control de la erosión costera de manera perpendicular o paralela a la orilla. Estos sistemas han incluido muelles, espigones, rompeolas verticales, revestimientos con pendiente, diques con diversos grados de éxito. Los geotubos sumergidos poseen un denominado sistema de correas de seguridad para colaborar a mantener la integridad de las estructuras de contenedores llenos de arena.

El propósito de las correas es atar el contenedor individual para aumentar la estabilidad de la estructura general, y para prevenir su desplazamiento. Los geotubos sumergidos debido a su peso y tamaño deben ser llenados in situ por lo que el geotubo se coloca en la posición de diseño final, lo cual presenta algunas desventajas para una colocación precisa. La colocación se realiza desde una barcaza, y existe dificultad en conseguir un perfil liso de diseño.

El sistema de relleno artificial o geotubo tiende a ser más estable hidráulica y geotécnicamente por ser más pesado y tener mayor área de contacto entre unidades. Estos métodos internacionalmente llevan años de aplicación, sin embargo en el Ecuador aún se considera un método novedoso a pesar de ya haberse usado en la provincia de Esmeraldas, en el club náutico Estrella Maris de la parroquia Same.

2.12.10. Geotextiles de alto modulo

Los geotextiles de los geotubos son tejidos y están fabricados con fibras de poliéster de alto módulo elástico, diseñados de materiales especiales para soportar condiciones marinas severas, escombros generados por las olas, mareas de tempestad, erosión, rayos solares. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, aunque siempre existirá una principal que determina la elección del tipo de geotextil que se debe utilizar.

Los geotextiles tejidos se forman por hilos entrecruzados y pueden ser tejidos de calada o tricotados. Los denominados de calada están formados por hilos de urdimbre y de trama es decir, en sentido longitudinal y en sentido transversal respectivamente, la resistencia a la tracción de estos tejidos es biaxial y puede ser muy elevada dependiendo de las características de los hilos empleados, la estructura es plana. Por otro lado, los tejidos tricotados se fabrican con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto, la resistencia a la tracción multiaxial o biaxial depende de la máquina de fabricación. (Asaoka, Akira, Adachi, & Oka, 1997)

Las funciones del geotextil de alto módulo para la recuperación de playa son la separación, refuerzo, drenaje, filtro y protección. La separación consiste en apartar dos capas de suelo en este caso el encapsulado y el de la playa original los cuales van a poseer diferentes propiedades físicas para evitar primordialmente la mezcla de los mismos; el refuerzo mejora las propiedades mecánicas del suelo aprovechando al máximo la propiedad de tracción del material, el geotextil va a trabajar como un elemento estructural de confinamiento de granos de suelo para difundir y repartir tensiones locales por lo cual se mejorará la capacidad portante y estabilidad de la construcción; el drenaje es la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del Geotextil y su efectividad depende del geotextil, del espesor y del gradiente de presiones en el

camino de salida del fluido, pues el geotextil debe impedir el lavado o transporte de partículas finas, que si se depositan reducen su permeabilidad horizontal; la filtración evita el paso a través del geotextil de determinadas partículas permitiendo el paso de fluidos o gases. En la práctica se utiliza el geotextil como filtro en muchos sistemas de drenaje. (American Society of Civil Engineers, United States. Army. Corps of Engineers, 1993)

En fin, los geotextiles de alto modulo están diseñados para soportar grandes solicitaciones de carga a la rotura por unidad de ancho, por lo tanto son apropiados para proporcionar resistencia a la tracción a los suelos y controlar su falla. Los geotextiles de alto modulo para recuperación de playas además deben cumplir con especificaciones de resistencia a la degradación por Rayos UV y al ataque biológico y químico.

2.13. Proyectos de Regeneración de Playas

Los planes de recuperación con la instalación de Geotubos ha probado ser exitosa en la recuperación de Upham en el condado Pinellas (Florida) que se discute en el presente trabajo, Cancún (México) y la playa Sea Palling en Norfolk (Reino Unido).

2.14. Geotubos

2.14.1. Información General.

En los últimos 30 años, han utilizado telas sintéticas permeables y no tejidos para contener diversos tipos de materiales como bolsas de arena, bolsacretos, tubos con geotextil, y también contenedores con geotextil. En los últimos años, ha sido muy popular el diseño y la construcción de contenedores hechos de geotextiles que son llenados de material de dragado.

Existen numerosos ejemplos de proyectos que pueden haber sido completados sin el uso de estos materiales, no proporcionando los beneficios de la simplicidad de construcción, los beneficios económicos y el impacto mínimo sobre el medio ambiente.

El tipo geotubos y geocontenedores es generalmente circular y tiene cojines en forma de esquina cuando se llena con material. Aproximadamente 85 a 95 por ciento del material de relleno es arena. Por lo tanto, la tela debe estar diseñada para contener partículas de tierra de este tamaño. Las cintas de polipropileno se utilizan para la fabricación del tejido que se sutura para formar el recipiente. La resistencia de la costura es un punto de diseño importante y depende de la técnica utilizada para el material de costura. Este valor debe ser al menos 50% de la resistencia final del tejido. (National Academies, 2017)

El tejido utilizado para la construcción de estos contenedores está diseñado para: Tener suficiente presión para aliviar la permeabilidad del agua; retención del material de relleno; presión de resistencia; fuerzas de abrasión durante las operaciones de llenado; sobrevivir a los procesos de instalación; resistencia a la perforación y desgaste; resistencia a la luz ultravioleta.

2.14.2. Aplicaciones.

Los geotubos son utilizados para protección de riveras; estructuras del canal de los ríos; aplicaciones costeras; islas artificiales; construcción de diques y terraplenes bajo el agua; almacenamiento de material contaminado.

2.14.2.1. Metodología de Instalación de los Geotubos en Obras Costeras

A continuación, se realizara una descripción esquemática de manera general de los pasos esenciales que deben ser tomados en cuenta para poder realizar la ejecución de las obras en la costa en las que se utilicen geotubos de tipo geotextil.

2.14.2.2. Material de Relleno

Comunmente el material que se utiliza para rellenar los geotubos es material de dragado. Se considera que el material adecuado debe contener un porcentaje mayor al 15% en cuanto a finos, con el único objetivo de llegar a minimizar el aplastamiento del geotubo de forma posterior a que se haya realizado el llenado. De forma contraria se deberá proceder a realizar el llenado del tubo a forma de etapas con el fin de lograr alcanzar la altura requerida o prevista.

Cualquiera que sea el resultado, se deberá prestar un cuidado especial para no llegar a sobre exigirle al geotextil al igual que a las costuras, de manera que se evitan las tensiones por fatiga o las distorsiones de carácter excesivas. Del mismo modo, es importante evitar contenidos orgánico, ya que no se los considera adecuados cuando el objetivo principal del tubo es alcanzar una altura determinada, esto debido a la degradación de dicho contenido.

2.14.2.3. Granulometría de Relleno

La granulometría de relleno deberá ser realizada con un mínimo de un ensayo del material que sea utilizado para el relleno, el mismo que deberá ser repetido cada 300 metros de tubo que haya sido llenado. De forma adicional se debe garantizar en todo momento mediante la realización de una inspección visual la cantidad de material fino que se encuentra dentro del material de relleno y que este haya superado el porcentaje previsto que fuere permitido

2.14.2.4. Fundación del geotubo

Para realizar la fundación del emplazamiento del geotubo, se utiliza un manto antisocavación provisto de tubos secundarios para anclarlos al suelo, así como un geotextil, el mismo que deberá presentarse de carácter liso y libre de elementos de carácter punzante que puedan a su vez dañar la estructura del geotubo y posteriormente perturbar los resultados esperados o cambiar el efecto de la estructura.

2.14.2.5. Alineamiento de los tubos

Los geotubos que son comúnmente utilizados para las obras en sectores de costa, requieren un alineamiento con un mínimo de diferencia de la línea de base, el mismo que pudiera ser obtenido de varias maneras, tal como la implementación de cunas de tierra, amarres o el uso de contrafuertes.

Los geotubos que ya poseen relleno suelen haber alcanzado una altura efectiva con una variabilidad de alrededor de 15 centímetros en relación con la que se haya previsto o especificado previamente. Del mismo modo la altura de tipo efectiva suele definirse con la existente desde la fundación hasta que haya hasta el promedio del borde superior lleno del mismo tubo, con una medición que debe realizarse de manera repetitiva cada 7 metros en toda la longitud del tubo, entre las bocas del llenado. De la misma manera se especifica que cualquier hundimiento que pudiera existir en el coronamiento del tubo y que se encuentre por debajo de la altura que haya sido especificada, debe a la vez corregirse por medio de algún tipo de relleno suplementario. De manera similar sucede con un tubo que se encuentre dañada, el cual deberá ser reemplazado inmediatamente. Es necesario tener en cuenta que rellenar el tubo por encima de la altura que haya sido recomendada por el proveedor, podría a su vez conducir a la falla durante la construcción. Se destaca también que en ningún momento y bajo ninguna circunstancia se deberá operar el equipo de construcción directamente sobre el geotubo o sobre sus elementos secundarios. Tener en cuenta también que para realizar la manipulación, no debe utilizarse elementos con filo o de tipo

punzantes como los ganchos o pinzas. Tanto los geotubos como los tubos secundarios, no deberán ser arrastrados sobre el terreno bajo ninguna circunstancia.

2.14.2.6. Anclaje de los geotubos

El tubo principal, así como los secundarios y el geotextil usado para la erosión, deberán ser desplegados mientras se asegura su alineamiento correcto después de haber sido llenados. Tener en cuenta que ninguna porción nueva deberá ser rellenada hasta que el geotubo en cuestión haya sido llenado por completo y debidamente anclado y alineado con la fundación.

2.14.2.7. Superposición entre tubos

La continuidad de tipo longitudinal entre los tubos debe ser lograda mediante la superposición. La misma que debe ser por debajo del geotubo principal, los tubos secundarios deben ser estructurados y el geotextil para el control de la erosión deberá superponerse como mínimo 1.5 metros. La altura efectiva típica de la estructura de los geotubos en la zona de la superposición comúnmente se encuentra en el 80% de la altura que haya sido prevista.

2.14.2.8. Relleno de los geotubos

Una vez que se haya llegado a completar el proceso de desplegado y el anclaje del tubo, se procederá a realizar su relleno con arena de acuerdo al plan de construcción realizado previamente. De manera que la línea de descarga del dragado deberá contar a su vez con el sistema propio de válvulas que permitirá la posibilidad del control del proceso, de manera que se pueda controlar cualquier exceso en la descarga, lo mismo que podría afectar tanto a la alineación como a la resistencia del tubo. Será necesario que se realice una monitorización continua para determinar que exista una presión de llenado constante que no exceda los 5 psi.

Como una regla práctica, es necesario tener en cuenta que la cañería del dragado debería limitarse a 10" de diámetro como máximo. Suceso que debe ser tomado en cuenta al aumentar el tamaño de la descarga de dragado, lo que conscientemente aumenta el flujo enviado por la bomba, lo que también aumenta el riesgo de obtener una sobrepresión en el geotubo que puede provocar roturas.

Luego de haber completado el proceso de relleno es necesario que se cierre las bocas de llenado mediante la fijación al tubo, de manera que se pueda prevenir un posible movimiento dado por la acción del oleaje o la corriente.

Finalmente se requiere la realización de limpieza y un proceso de alisado de la zona aledaña a la cual se está trabajando.

2.14.2.9. Relación altura-ancho del geotubo

Como una medida general, se considera que la altura del geotubo una vez que haya sido relleno, no debería llegar a superar la mitad del ancho, siendo una manera de asegurar su estabilidad frente a la acción o la fuerza del oleaje. Sin embargo dicho procedimiento no exime de realizar las comprobaciones necesarias antes de realizar una estructura de contención como las pruebas de deslizamiento, vuelco, la capacidad de la carga, estabilidad global, sobrepaso de la ola, entre otros.

2.15. Recuperación de la playa de Upham, Pinella, Florida mediante la utilización de geotubos

La playa de Upham está situada en la costa del oeste de la Florida en el condado de Pinellas, el extremo norteño de la costa del golfo de la llave larga. Esta zona

costera se encuentra aguas abajo del conocido Paso Ciego y se sabe que es muy erosiva. La playa también se ve afectada por la presencia común de tormentas.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos había llenado la playa seis veces desde 1975, con más de un millón de metros cúbicos de arena durante 30 años registrando costos por más de \$ 10 millones. La acción de las olas pesadas y continuas amenazaba diques, dunas y propiedades frente a la playa.

Una solución a largo plazo fue necesaria debido a que cada vez que se colocaba el relleno este era rápidamente erosionado por las tormentas que ocurren después de la deposición. Las autoridades realizaron un esfuerzo para reducir la severidad de la erosión y buscaron la estabilización de la playa utilizando tecnología de contención geotubular para la protección costera.

El rompeolas tiene una longitud en forma de T de 60 m por 55 m, la circunferencia de los muñones es de 10 metros. Los geotubos paralelos a la playa son seis y el tamaño del área y las circunstancias de los rompeolas como "T" se llenaron con arena especial de poliuretano para proporcionar una barrera de protección contra los rayos UV y vandalismo.

El rendimiento de la estructura ha sido comprobada que es eficaz ya que redujo la tasa de erosión en la zona. Los resultados del uso de la tecnología de confinamiento de geotubos fueron inmediatos. Después de sólo dos años, la playa de Upham recuperó una anchura de 30m en el área de los rompeolas, ya que su acción disipó la energía de las olas y la cabeza del geotubo empujó la arena de la playa al sur mientras que la sección perpendicular captura la arena. Según los ingenieros del condado, los rompeolas cambiaron totalmente el ambiente e hicieron la playa utilizable. La arena en lugar de desaparecer con

cada tormenta, se acumula naturalmente entre la cabeza T y el cuerpo del rompeolas, en el que se está reconstruyendo la playa.

2.16. Análisis comercial según las propiedades de los geotextiles

Los geotextiles tejidos de alto modulo para geotubos que se han investigado poseen las propiedades aptas para la recuperación o ampliación de playas, por lo cual se ha escogido las fábricas y empresas más reconocidas en el medio comercial que los fabrican o distribuyen, entre las cuales tenemos: Pavco S.A., Tencate, Skaps Industries, Thrace Linq fabrics, Propex Synthetic Industries, Belton Bentech y Carthage Mills.

Para el estudio se relacionó propiedades mecánicas, hidráulicas y físicas de geotextiles de empresas de mayor comercialización en el mundo, por medio de un cuadro comparativo que describe las propiedades de los geotextiles y se han analizado dos o más geotextiles para recuperación de playa para cada empresa estudiada. Los geotextiles han sido manufacturados bajo los controles de calidad establecidos por un sistema de gestión de calidad que cumple con los requisitos de las normas.

2.16.1. Propiedades mecánicas

La resistencia de los geotextiles es obtenida mediante varios ensayos que van en función de la dirección, uniformidad y duración de la carga aplicada y área a la cual se aplica. En geotextiles, la resistencia a la tensión es la propiedad que gobierna el diseño para la aplicación de refuerzo y está determinada por la fuerza de tensión por unidad de longitud y se establece por el método Grab o por el de tira ancha.

2.16.2. Método Grab

“Ensayo de tensión que permite determinar la resistencia a la tensión y la elongación en una fracción del ancho del espécimen ensayado”. Este método obtiene una propiedad índice que indica los valores de carga por rotura y elongación, la carga aplicada se incrementa continuamente en sentido longitudinal. Cabe indicar que estos valores se pueden obtener por medio de este método y por el método de tira ancha, algunas empresas utilizan los dos, y otras solo uno de los métodos. En el caso del método Grab, lo utilizan seis de las empresas estudiadas, con excepción de Tencate.

Método Grab ASTM D4632 N (Lb)			
	Resistencia a la tensión		Elongación
PAVCO S.A. Colombia			
TR 3000	2050 (462)		19
TR 4000	2570 (579)		22
TR 6000	2800 (630)		22
SKAPS INDUSTRIES USA			
MT4050	1400 (315)		15
M440	2220 (500)		15
THRACE LINQ FABRICS USA			
GTF-320	1779		15
GTF-370	1779		15
GTF-400	1779		20
GTF-500	2669		20
GTF-570	2113		12
PROPEX INC SYNTHETIC INDUSTRIES USA			
2x2 HF (2016)	1401.8 (315)		15
3x3 (2033)	2002.5 (450)		15
4x4 (2044)	2670 (600)		15
4x4 HF	2114 (475)		15
BELTON BELTECH USA			
400, Style 884	2359 (530)		20
Style 1104	1980 (445)		20
4x6, Style 1853	3115 (700)		15
4x2.5, Style 1890	2492 (560)		24
4x4 Style 2056	2314 (520)		18
CARTHAGE MILLS			
FX-400MF	2110 (475)		12
FX-400TF	2440(550)		15

Tabla 3: Método Grab

Del cuadro anterior, podemos observar: Resistencia a la tensión: Valor máximo: 3115 N (Belton Beltech, USA, Geotextil 4x6, Style 1853) Valor mínimo: 1400 N (Skaps Industries, USA, Geotextil MT4050) Elongación: ambos tienen una elongación de 15%. Por ende, el geotextil de Belton Beltech (USA) se ubica con buenas características a la tensión en este método. Por otro lado, podemos observar que en la aplicación de este método existen elongaciones que van del 15 al 24%.

2.16.3. Método de tira ancha

Este método, al igual que el anterior, obtiene la resistencia a la fuerza de tensión por unidad de longitud y la prueba se realiza tanto en sentido longitudinal como transversal. Las fuerzas que se muestran a continuación son las necesarias para iniciar un rasgado previo la dirección indicada.

Método Tira Ancha					
	Sentido Longitudinal ASTM D 4595 KN/m (Lb)	Elongación	Sentido Transversal ASTM D 4595 KN/m (Lb)	Elongación	Resistencia al Punzonamiento ASTM D 4833 N (Lb)
PAVCO S.A. Colombia					
TR 3000	56	29	55	17	1010 (277)
TR 4000	75	28	65	17	1240 (279)
TR 6000	95	19	95	18	1045 (235)
SKAPS INDUSTRIES USA					
MT4050			38 (2400)		530 (120)
M440			70 (4800)	10	800 (180)
THRACE LINQ FABRICS USA					
GTF-320			39	9	
GTF-370			53	9	
GTF-400			55	9,4	
GTF-500			70	10,2	
GTF-570			70	9	
PROPEX INC SYNTHETIC INDUSTRIES USA					
2x2 HF (2016)			35	17	
3x3 (2033)			57,6	15	
4x4 (2044)			70,1	10	
4x4 HF			70,1	9	
BELTON BELTECH USA					
400, Style 884	51 (290)	25	60 (340)	20	1001 (225)
Style 1104					1001 (225)
4x6, Style 1853	70 (400)	17	106 (600)	13	1013 (250)
4x2.5, Style 1890	70 (400)	19	44 (250)	14	1157 (260)
4x4 Style 2056	70 (400)	19	70 (400)	13	1135 (255)
CARTHAGE MILLS					
FX-400MF	105,1		70,1 (400)	9	890 (200)
FX-400TF	75,3	11	73,6	8	1020
TENCATE Mirafi Geotube NICOLON HOLANDA					
HP 270	38,5 (2640)		35,9 (2460)		
HP 370	52,5 (3600)		39,4 (4800)		
HP 565	66,5 (4560)		70 (4800)		
HP 570	70 (4800)		70 (4800)		
HP 770	105,1 (7200)		84 (5760)		

Tabla 4: Método de Tira Ancha

Podemos observar que las empresas realizan este método siempre en sentido transversal para obtener la resistencia a la tensión. Los valores de resistencia y elongación en el sentido transversal se dan para cargas distribuidas: Valor máximo: 105 Kn/m (Belton Beltech, USA, Geotextil 4x6, Style 1853) Valor mínimo: 35 Kn/m (Propex Synthetic Industries, USA, Geotextil 2x2 HF (2016))
Elongación: Para el geotextil de Belton Beltech, 13%. Para el geotextil de Propex Synthetic Industries, 15%. Podemos indicar que el geotextil 4x6, Style 1853, de Belton Beltech (USA), posee características a la tensión excelentes y que tanto el método Grab como el de tira ancha en sentido transversal lo ubican como el geotextil con mejores características a la tensión. Además, podemos observar que la elongación en el método de tira ancha, varía entre el 8% y el 20% para el sentido transversal, dependiendo del geotextil y del fabricante.
Sentido Longitudinal: En relación al sentido longitudinal son cuatro las empresas que aplican el método de tira ancha: Valor máximo: 105.1 Kn/m (Carthage Mills, Geotextil FX-400 MF/ Tencate, Holanda, Geotextil HP770) Valor mínimo: 38.5 kn/m (Tencate, Holanda, Geotextil HP270)

2.16.4. Método CBR

El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte”.

Por medio de los valores de resistencia al punzonamiento podemos conocer la resistencia del geotextil al recibir una carga en su parte central. Seis de las empresas han publicado sus datos:

Método CBR	
	Resistencia al punzonamiento kn ASTM D 4833
PAVCO S.A. Colombia	
TR 3000	7.7
TR 4000	10
TR 6000	11
SKAPS INDUSTRIES USA	
MT4050	4.4
M440	3.98
THRACE LINQ FABRICS USA	
GTF-320	6.5
GTF-370	6.7
GTF-400	5.3
GTF-500	6.2
GTF-570	8.89
PROPEX INC SYNTHETIC INDUSTRIES USA	
2x2 HF (2016)	6.2
3x3 (2033)	7.1
4x4 (2044)	9.7
4x4 HF	9.7
BELTON BELTECH USA	
400, Style 884	
Style 1104	
4x6, Style 1853	13.1
4x2.5, Style 1890	
4x4 Style 2056	
CARTHAGE MILLS	
FX-400MF	8.9
FX-400TF	6.23

Tabla 5: Método CBR

De lo expuesto, podemos observar: Valor máximo: 13.1 Kn (Belton Beltech, USA, Geotextil 4x6, Style 1853) Valor mínimo: 4.4 Kn (Skaps Industries, USA, Geotextil MT4050). Una vez más, el Geotextil de Belton Beltech 4x6 Style 1853 muestra buenas propiedades en lo relativo a la resistencia al punzonamiento.

2.17. Propiedades hidráulicas

Las propiedades hidráulicas que se consideran importantes en la aplicación de geotextiles son la permeabilidad, la resistencia a la tubificación y la resistencia al taponamiento, por lo cual, para los geotextiles tejidos se proporcionan los parámetros de tamaño de abertura, que está relacionada con el suelo al que va a estar expuesta la estructura, y la permitividad que está relacionada con el espesor del geotextil. En el siguiente cuadro especificamos cada una de las propiedades y sus valores en diferentes geotextiles del mercado.

Propiedades Hidráulicas			
	Tamaño de Abertura Aparente ASTM D 4751 mm (No Tamiz)	Permeabilidad ASTM D 4491 cm/s	Permitividad ASTM D 4491 s-1
PAVCO S.A. Colombia			
TR 3000	0,600 (30)	9,1 x 10	0.7
TR 4000	0,425 (40)	7,8x10	0.6
TR 6000	0,425 (40)	7,0 x 10	1.0
SKAPS INDUSTRIES USA			
MT4050	0,425 (40)		0.7
M440	0,3 (30)		0.15
THRACE LINQ FABRICS USA			
GTF-320	0,425 (40)		0,7
GTF-370	0,600 (30)		0,52
GTF-400	0,425 (80)		0,16
GTF-500	0,18		0,136
GTF-570	0,60 (30)		0,4
PROPEX INC SYNTHETIC INDUSTRIES USA			
2x2 HF (2016)	0,425 (40)		0,7
3x3 (2033)	0,60 (30)		0,52
4x4 (2044)	0,60 (30)		0,15
4x4 HF	0,60 (30)		0,4
BELTON BELTECH USA			
400, Style 884	0,5 (35)		0,5
Style 1104			
4x6, Style 1853	0,425 (40)		0,26
4x2.5, Style 1890	0,3 (50)		0,13
4x4 Style 2056	0,355 (45)		0,24
CARTHAGE MILLS			
FX-400MF	0,600 (30)	5,0 x 10	0.4
FX-400TF	0,18 (80)		0.15
TENCATE Mirafi Geotube NICOLON HOLANDA			
3x3 (2033)	0,60 (30)	4,0 x 10	0,7
4x4 (2044)	0,60 (30)	5,0 x 10	0,52
4x4 HF	0,43 (40)	0,1 x 10	0,025
400, Style 884	0,60 (30)	15 x 10	0,40
Style 1104	0,60 (30)	4 x 10	0,23

Tabla 6: Propiedades Hidráulicas y Valores de Geotextiles

Tamaño de abertura aparente: podemos observar que los valores mínimos del tamaño de abertura aparente de 0,18 mm (tamiz N.-80) pertenecen a los geotextiles FX-400TF de Carthage Mills y GTF-500 de Thrace Linq y que el valor máximo de 0,60 mm (tamiz N.-30) lo presentan varios geotextiles de las empresas Tencate (Holanda), Propex Synthetic Industries (USA), Pavco S. A. (Colombia) y Carthage Mills. Permeabilidad: La permeabilidad rápida va en $0,1 * 10^{-2}$ cm/s del geotextil 4x4 HF de Tencate (Holanda) y la más lenta $9,1 * 10^{-2}$ cm/s del geotextil TR3000 de Pavco (Colombia).

En general existe un rango entre $5,1 * 10^{-2}$ a $7,1 * 10^{-2}$ cm/s. Pavco, Thrace Linq y Propex Synthetic Industries presentan geotextiles con permitividad de $0,7 \text{ s}^{-1}$ y el geotextil FX-400TF de Carthage Mills presenta la mas baja de $0,15 \text{ s}^{-1}$. La resistencia a los rayos UV de los geotextiles de alto módulo analizados son altas, variando entre 50 a 70 @ 500 horas, por lo que se entiende que los geotextiles se deben proteger de los rayos solares debido a que les causaría mayor deterioro y perdida de resistencia, causando fracaso de la obra.

Los valores que se indican son específicos de fichas del 2012 que se localizan en las páginas principales de las empresas y son las más actuales. Para años posteriores los valores expuestos pueden ser modificados debido a que las empresas buscan mejorar la calidad de los geotextiles y generar más competencia en el medio. Cabe recalcar que la elección de la dimensión depende de la conveniencia del proyecto al que se aplicará, de acuerdo al diseño elaborado.

En el cuadro anterior podemos observar que entre las propiedades de longitud, área y ancho del rollo a la venta, la mayoría de las empresas coinciden en las siguientes dimensiones: Ancho máximo de rollo: 4.6 metros. Longitud máxima: 100 metros. Área máxima: 418 metros cuadrados.

CAPÍTULO III

3.1. Análisis De Alternativas

Con la información básica recogida se sugiere para proteger la playa de Crucita y regenerar la playa la construcción de espigones para frenar el transporte litoral.

3.1.1. Criterios de Pre-diseño

Para la definición de alternativas de protección de las zonas costeras en Crucita se consideraron los siguientes criterios; el impacto ambiental y viabilidad económica. El proyecto puede desarrollarse después de los estudios de viabilidad y puede llevarse a cabo en varias fases.

3.1.2. Criterios para la Construcción Costera

Cuando se consideran alternativas, la variable oceanográfica más interesante, las oleadas, y especialmente las olas de tormenta, conocidas como "norte", son ondas que se reflejan en las estructuras. La altura de diseño que se considera es la altura significativa de ola que según datos del Municipio de Portoviejo es de 1,1 metros.

3.2. Alternativa Propuesta

La alternativa escogida son estructuras que se componen de cinco geotubos rellenos con material dragado de la playa. Estos geotubos tienen una longitud de 100 metros y van a estar ubicados a lo largo de todo el malecón a una distancia de 200 metros uno del otro. Los geotubos son de grosor y altura variable dependiendo de donde estén ubicados. Se construirá 15 estructuras de este tipo para proteger el malecón de Crucita. En el anexo 3 se puede observar con detalle las dimensiones de los geotubos en corte.

3.2.1. Análisis de estabilidad de la estructura

Observando el perfil de la playa obtenido por mediciones hechas en el sitio se observa que la profundidad al final del espigón es de 4,34 metros en relación al malecón. La altura de las mareas oscila entre 2,62 m y 2,36 m en pleamar, sumado a la ola de diseño que fue establecida en 1,1 de acuerdo a datos del municipio de Portoviejo. Con estas consideraciones y de acuerdo a las medidas de geotubos disponibles se estableció el diseño presentado en el anexo 2.

En el Manual Geosystems. Design, Rules and Applications se hace mención de diferentes geoestructuras, entre las cuales se encuentran los geotubos. Este manual define a los geotubos como tubos permeables rellenos de arena con diámetros que llegan hasta los cinco metros y longitudes que en algunos casos superan los 100 metros. De acuerdo a esta definición, el manual establece la verificación de la estabilidad de estas estructuras con las siguientes relaciones:

3.2.1.1. Estabilidad contra el ataque de oleaje

En base a resultados obtenidos por las investigaciones hechas para el manual antes mencionado para la estabilidad de tubos de geotextil, se establece la siguiente relación para comprobar la estabilidad de geotubos contra el ataque del oleaje:

$$\frac{H_s}{\Delta_t * D_k} \leq 1,0$$

Donde:

H_s : *Altura de ola significativa*

Δ_t : *Densidad relativa del Geotubo*

D_k : *Espesor efectivo del Geotubo*

Así mismo, se especifica que D_k depende de la posición del geotubo, ya que si este se encuentra paralelo a la dirección del oleaje debe utilizarse el ancho del geotubo, mientras que si este está ubicado perpendicular a la dirección del oleaje se usa la longitud del geotubo. La densidad relativa del geotubo (Δ_t) es un coeficiente adimensional que está relacionado con la resistencia del geotextil del geotubo como elemento estructural. Este coeficiente está establecido en 0,91 por el fabricante.

A pesar de que la ola que pide el manual es la altura significativa de ola, por motivos de darle mayor seguridad a la estabilidad de la estructura se utilizara como ola de diseño una ola extrema de 3,1 metros con un periodo de retorno de 100 años.

Aplicando la relación establecida en el caso particular de Crucita para los dos geotubos que se van a utilizar, se obtiene que:

$$\frac{3,1m}{0,91 * 6,4m} = 0,5323 \leq 1,0; \text{ Si cumple}$$

$$\frac{3,1m}{0,91 * 3,8m} = 0,8965 \leq 1,0; \text{ Si cumple}$$

3.2.1.2. Estabilidad contra las corrientes

A pesar de no haber mucha información disponible sobre la estabilidad de los geotubos frente a la influencia de las corrientes, se sugiere la siguiente relación de estabilidad:

$$\frac{U_{cr}}{\sqrt{g * \Delta_t * D_k}} \leq 1,2$$

Donde:

U_{cr} : Velocidad crítica del flujo de agua

Δ_t : Densidad relativa del Geotubo

D_k : Espesor efectivo del Geotubo

g : Aceleración de la gravedad

Con esta relación se busca establecer el límite crítico de velocidad al que el agua puede llegar para que no haya inestabilidad en la estructura debido a corrientes.

Por lo tanto, despejando se obtiene la siguiente ecuación:

$$U_{cr} \leq 1,2\sqrt{g * \Delta_t * D_k}$$

Aplicando la ecuación con el geotubo de menor espesor, se obtiene:

$$U_{cr} \leq 1,2\sqrt{9,81m/s^2 * 0,91 * 3,8m}$$

$$U_{cr} \leq 6,989 \text{ m/s}$$

A partir de este análisis se encontró que la estructura no sufrirá de inestabilidad debido a velocidades de corriente menores a 6,989 m/s.

Trabajando con información obtenida en septiembre del 2008, se observó velocidades máximas de corrientes superficiales y sub-superficiales de 0,29 m/s en flujo y 0,23 m/s en reflujos. Así mismo, según el municipio de Portoviejo, estudios realizados en costas similares a Crucita establecieron velocidades de

corrientes de fondo de 0,32 m/s. Estas velocidades están muy por debajo del límite crítico de velocidad establecido, por lo que la estructura no sufrirá de inestabilidad por corrientes.

3.2.2. Metodología constructiva

A continuación se detalla una descripción de los trabajos a realizar para la ejecución de la alternativa propuesta

3.2.2.1. Ubicación del Material de Relleno

El material a utilizarse proviene del sector de “La Boca”, ubicado en la zona de desembocadura del Rio Portoviejo a cinco kilómetros del malecón de Crucita. En esta zona se encuentra gran cantidad de bancos de arena con suficiente material para suplir la demanda que conlleva el llenado de los geotubos.

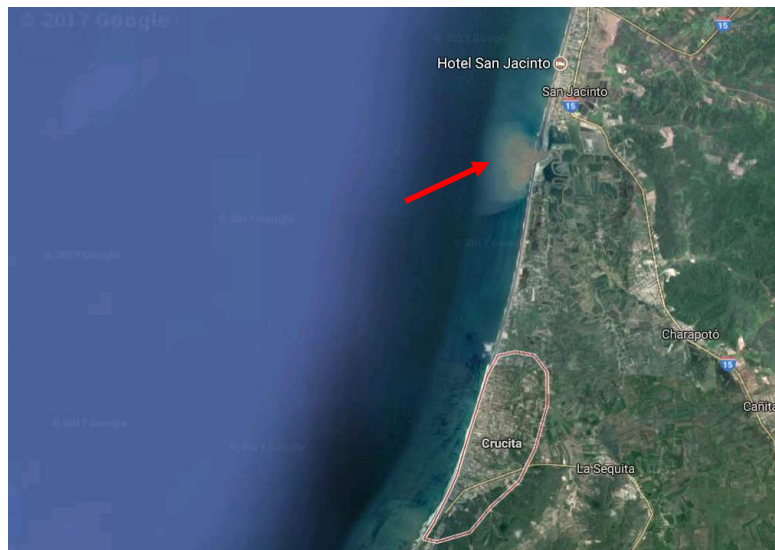


Ilustración 6: Ubicación del Material de Relleno

3.2.2.2. Preparación del terreno

El terreno debe estar libre de cualquier tipo de obstáculo que pueda producir punzonamiento en cualquiera de las estructuras, ya sea esta el manto

antisocavación o los mismos geotubos. Es importante tener en cuenta que estos trabajos deben realizarse en mareas de sicigia durante las bajamares para tener suficiente área de trabajo. A pesar de esto, se debe instalar contrafuertes para proteger las estructuras antes y durante el llenado.

Con la ayuda de excavadoras de oruga se procede a excavar el área donde van a ser enterrados los geotubos. El ancho de la excavación debe ser del ancho del manto antisocavación para que este pueda ir enterrado y anclado al suelo. A medida que se profundiza en la playa, la necesidad de excavar va disminuyendo debido a la altura a la que tienen que llegar las geoestructuras.

3.2.2.3. Dragado de material para relleno

El material será dragado de la zona especificada anteriormente utilizando una draga de tolva con capacidad de 1100 m³. La capacidad de la tolva será llenada hasta su máxima capacidad para proveer la mayor cantidad de material para realizar el llenado de un geotubo, que en el caso de los que se colocan en la base, necesitan alrededor de 1005 m³.

3.2.2.4. Colocación de manto antisocavación

Una vez que el área de trabajo esté libre de obstáculos se procede a colocar el manto antisocavación. El manto se fabrica del mismo material de los geotubos y debe prolongarse a lo largo de toda la estructura, con el fin de evitar erosión debajo de los geotubos, producto del oleaje y el agua que escurre por los poros durante el llenado. En los bordes del manto se encuentran un geotubo de menor diámetro de cada lado. Estos geotubos van enterrados como se indica en el anexo 2 a fin de anclar el manto al suelo. Estos geotubos pueden ser rellenos con el mismo material de los geotubos principales por medio de mangueras flexibles conectadas a una bomba. Es muy importante no arrastrar el manto, no manipularlos con objetos cortopunzantes ni transitar sobre estos con el equipo de movimiento de tierras. Todo esto es para prevenir roturas y desgarres en el geotextil del que está compuesto el manto.

3.2.2.5. Colocación y llenado de geotubos

Con el manto colocado en sitio y debidamente anclado, se procede a la ubicación de los geotubos. Los geotubos deben ser desenrollados a lo largo de todo el manto y ubicados en la posición para ser llenados, con los puertos de entrada y salida hacia arriba. Es importante que los geotubos estén alineados correctamente, en este proceso, los contrafuertes sirven como guía para mantener este lineamiento. Para anclar los geotubos al manto se debe utilizar eslingas o argollas de amarre, hechas de poliéster, que van cosidas al geotubo. A estas argollas se las amarra con cordeles y se los ancla al suelo con estacas metálicas de ½" de diámetro.

Por medio de mangueras flexibles introducidas por lo menos 0,50 m dentro del puerto de entrada se procede al llenado del geotubo con agua para que este pueda alcanzar por lo menos el 80% de la altura establecida. Estas mangueras no deben exceder las 10" de diámetro ya que este es la medida de los puertos de entrada, pero se recomienda mangueras de 6" de diámetro para evitar exceso de presión que puedan causar roturas en las fibras del geotubo. Una vez alcanzada esta altura se empieza el relleno con arena que debe estar en una proporción de 90% de arena y 10% de agua según las especificaciones del fabricante.

La arena que ingresa a los geotubos rellenos de agua expulsa el exceso de agua por medio de los puertos de salida y los poros del geotubo. Es importante revisar que la presión de entrada no exceda los cinco psi para evitar roturas en el geotextil. Se puede realizar el relleno simultaneo de los geotubos que se encuentren en la misma altura para ahorrar tiempo y aprovechar la bajamar, pero se debe terminar de llenar los geotubos de un nivel para poder avanzar al siguiente. Durante el proceso de llenado es normal observar que el agua se torne turbia, ya que pequeñas cantidades de material que pasan la malla 200 saldrán

por los poros del geotubo. El bombeo debe ser monitoreado constantemente para asegurar que el material fluya por todo el geotubo.

3.2.2.6. Finalización

Una vez que el geotubo se encuentre lleno en su totalidad, 2/3 de los puertos de entrada y salida deben ser cortados y sellados utilizando anillos de acero resistente a la corrosión. Al finalizar el llenado debe realizarse un monitoreo final del material del geotextil, esto con la finalidad de ubicar las áreas que resulten dañadas durante el proceso de llenado y realizar las reparaciones necesarias. Para reparar cualquier rasgadura, una vez ubicado el daño, se debe cortar un parche del mismo geotextil que se extienda mínimo 0,30 m en todas las direcciones desde el agujero. Se limpia el área donde se va a colocar y se procede a pegar el parche con un adhesivo epóxico para geosintéticos. Este proceso se repite a lo largo de cada uno de los espigones hasta completar el sistema.

3.2.3. Impacto Ambiental

El impacto ambiental de esta propuesta es mucho menor si se lo compara con las opciones tradicionales de construcción de espigones donde se involucra el uso de piedra escollera. Al evitar la explotación de material, acarreo de material constante y trabajos que involucran maquinaria pesada se reduce significativamente la huella ambiental

CAPÍTULO IV

4.1. Resultado Esperado

Con el esquema propuesto se espera que la playa de Crucita recupere la playa y de esta forma proteja el malecón de la erosión.

4.2. Costos Propuesta Alternativa

El Anexo muestra el detalle de los rubros con un valor total para desarrollar el proyecto de \$4.566.074,60 USD.

4.2.1. Viabilidad económica

Si se realiza un análisis comparativo con el estudio realizado por la empresa Ganam se concluye que la alternativa propuesta es más viable económicamente que la opción propuesta por Ganam. El costo de la propuesta de Ganam es de 88.320.533,90 USD para proteger los 13 km. de la playa. Si se considera que solo se protegerán los tres km. de malecón de acuerdo a la alternativa propuesta en este estudio, el costo será de 20.381.661,70 USD lo cual demuestra que la alternativa propuesta en este estudio es más viable que la expuesta por el municipio de Portoviejo.

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La información oceanográfica analizada en el área de investigación concluye que la alternativa propuesta es una solución definitiva para la recuperación y protección del malecón de Crucita por lo que se podría inferir que la recuperación de la playa se realizara de manera efectiva en forma gradual, como se ha demostrado en el caso antes mencionado.

- El uso de geoestructuras para protección costera busca reemplazar el uso de elementos más convencionales como rocas de gran tamaño, a fin de reducir el impacto ambiental y los costos.
- Esto proceso a largo plazo se reflejara en la recuperación integral de la playa y del sector, sumado a la integración del turismo y el impulso económico de la zona ya que permitirá que haya mayor interés en la zona.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable hacer pruebas preliminares en el campo si se busca aplicar estas estructuras como solución para detener la erosión en distintas costas, ya que cada problema tiene sus propios parámetros a considerar.
- El geotextil de los geotubos es especialmente sensible a las presiones de bombeo, por eso es importante el control de las presiones de bombeo y el monitoreo del geotextil durante el llenado.
- Es necesario normar el uso de las geoestructuras en nuestro país para dar paso a su uso como alternativa en proyectos de protección costera.

CAPÍTULO VI

Referencias

- Alberti, A., & Lopez, J. (9 de 5 de 2006). Geomorfología y territorio: actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología : Santiago de Compostela, 13-15 de septiembre de 2006. Compostela, España: Univ Santiago de Compostela.
- American Society of Civil Engineers. (10 de 5 de 1995). Hydraulic Design of Spillways. Atlanta, USA: ASCE Press.
- American Society of Civil Engineers. (4 de 10 de 1997). Flood-runoff Analysis. Atlanta, USA: ASCE Press.
- American Society of Civil Engineers. (6 de 2 de 1999). Instrumentation of Embankment Dams and Levees. Atlanta, USA: ASCE Press.
- American Society of Civil Engineers, U. S. (2 de 11 de 1994). Retaining and flood walls. Atlanta, USA: ASCE Press.
- American Society of Civil Engineers, United States. Army. Corps of Engineers. (3 de 6 de 1993). Design of pile foundations. Atlanta, USA: American Society of Civil Engineers Press.
- American Society of Civil Engineers, United States. Army. Corps of Engineers. (9 de 8 de 1996). Rock Foundations. Atlanta, USA: American Society of Civil Engineers Press.
- Asaoka, Akira, Adachi, T., & Oka, F. (9 de 8 de 1997). Deformation and Progressive Failure in Geomechanics. Michigan, USA: Elsevier.
- Bezuijen A. & E. W. Vastenburg E. W.; (2013). Geosystems. Design Rules and Applications. The Netherlands: Taylor and Francis Group.
- Castillo, A., & Paez, B. (9 de 5 de 2013). Balneario Los Totumos: Propuesta para la Recuperación de la Playa Interior. Valencia, España: Editorial Académica Española.
- Castro, M., & Villacampa, Y. (2 de 5 de 2000). Estadística aplicada a la ingeniería civil. Santiago, Chile: Editorial Club Universitario.
- Craig, J. (9 de 8 de 2005). Rapid Assessment of Fragilities for Collections of Buildings and Geostructures. Vancouver, Canada: Mid-America Earthquake Center.
- Crowder, P., Isla, F., & Denegri, G. (9 de 8 de 2005). Mar del Plata: fragilidad costera. Mar de Plata, Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata.
- Cuevas, M., Espinosa, G., Ilizaliturri, A., & Mendoza, A. (9 de 5 de 2012). Métodos ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos. Ciudad de Mexico, Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- Diaz, J. (9 de 8 de 2005). Sistemas de energías renovables. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- Doody, P. (18 de 8 de 2012). Sand Dune Conservation, Management and Restoration. Pensacola, USA: Springer Science & Business Media.

- Editors of Fine Homebuilding. (8 de 9 de 2004). Beach Homes. Tampa, Florida, USA: Taunton Press.
- Eliopoulos, G., & Greece, M. (7 de 4 de 2005). Proceedings of the International Workshop in Geoenvironment and Geotechnics (GEOENV 2005). Atenas, Grecia: Heliotopos Conferences.
- Engineering, E. G. (19 de 8 de 2013). Laloui, Lyesse; Di Donna, Alice; Wiley, John. Atlanta, USA: Technology & Engineering.
- EPFL. (8 de 5 de 2014). Thermomechanical Characterization of Energy Geostructures with Emphasis on Energy Piles. New York, USA: EPFL Press.
- Finkl, C., & Makowski, C. (16 de 8 de 2014). Environmental Management and Governance: Advances in Coastal and Marine Resources. Boca Raton, Florida, USA: Springer.
- Flick, E., & Crampton, W. (7 de 4 de 2001). Restoring the Beach: Science, Policy and Funding. Los Angeles, California, USA: UCLA.
- Garcia, R. (2 de 1998). Manual de fórmulas de ingeniería. Ciudad de Mexico, Mexico: Editorial Limusa.
- Gobierno Municipal de Portoviejo. (8 de 9 de 2010). Construcción de Espigones Crucita: Diseño para la construcción emergente de dos espigones sedimentarios. Portoviejo, Manabi, Ecuador: GANAM.
- Gomez, D., & Gomez, T. (7 de 5 de 2013). Evaluación de impacto ambiental. Castilla, España: Mundi-Prensa Libros.
- Graux, D. (8 de 5 de 1975). Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones, Volume 1. San Jose, Costa Rica: Reverte.
- Gurgenci, H., & Hood, M. (8 de 5 de 1997). Proceedings: Fourth International Symposium on Mine Mechanisation and Automation, Brisbane, Queensland 6-9 July, 1997, Volume 2. Minnesota, USA: Cooperative Research Centre for Mining Technology and Equipment.
- Kapetsky, J. (4 de 12 de 1997). Una Evaluación estratégica de la potencialidad para la piscicultura dulceacuícola en América Latina. Oregon, USA: Food & Agriculture Org.
- Lehigh University. Geotechnical Engineering Division. (5 de 8 de 1976). Analysis and design of building foundations. Atlanta, USA: Envo Pub. Co.
- Lehigh University. Geotechnical Engineering Division, International Committee on Environmental Geotechnology. (4 de 1 de 1987). International Symposium on Environmental Geotechnology, Volume 2. Washington, USA: Envo Pub. Co.
- Marine Board. (1 de 4 de 1994). Restoring and Protecting Marine Habitat: The Role of Engineering and Technology. Washington, USA: National Academies.
- Martin, J. (9 de 8 de 2007). Ingeniería de ríos. Ciudad de Mexico, Mexico: Universidad Politecnica de Catalaunya.
- Martinez, M. (12 de 9 de 2012). Las playas y dunas costeras: Un hogar en movimiento. Santiago, Chile: Fondo de Cultura Economica.

- Moreire, F. (3 de 5 de 2012). Manual de biología de suelos tropicales. Ciudad de Mexico, Mexico: Instituto Nacional de Ecología.
- National Academies. (7 de 5 de 2017). Progress Toward Restoring the Everglades: The Sixth Biennial Review - 2016. Everglades, USA: National Academies.
- Nordstrom, K. (18 de 9 de 2008). Beach and Dune Restoration. Kansas, USA: Cambridge University Press.
- OASAS. (8 de 5 de 2001). Oceanology of the Academy of Sciences of the American States. California, USA: MAIK "Nauka/Interperiodica" Pub.
- Pellicer, E., & Catala, J. (5 de 1 de 2004). El proceso proyecto-construcción: [aplicación a la ingeniería civil]. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.
- Shen, X., Bai, M., & Standifird, W. (19 de 10 de 2011). Drilling and Completion in Petroleum Engineering: Theory and Numerical Applications. Ontario, Canada: CRC Press.
- SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE ROCAS. (14 de 4 de 1997). USO DE EXPLOSIVOS EN OBRAS DE INGENIERIA CIVIL. Ciudad de Mexico, Mexico: Fundacion ICA.
- The U.S. Army Corps of Engineers. (8 de 7 de 2011). National Water Resources Challenges Facing the U.S. Army Corps of Engineers. Atlanta, USA: National Academic Press.
- Torres, J. (1 de 12 de 2014). Olas. Ciudad de Mexico, Mexico: Paraninfo Press.
- Universidad de Sonora. (8 de 9 de 2002). ESTUDIO DE EGRESADOS DE INGENIERIA CIVIL. Sonora, Mexico: Coleccion de Documentos de Investigacion Educativa.
- Universidad Iberoamericana. (2 de 6 de 2005). Creceremos sin ingeniería civil?: aun sin ingeniería civil mexicana podría haber crecimiento pero no avence social. Santa Fe, Mexico: Universidad Iberoamericana.
- Universidad Nacional de Colombia. (7 de 10 de 2010). Guia Academica de Ingenieria. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ureña, J. (10 de 5 de 1999). Ingeniería civil o ingeniería del territorio. La Mancha, España: Universidad de Castilla de La Mancha.
- Wuttke, F., & Bauer, S. (8 de 5 de 2016). Energy Geotechnics: Proceedings of the 1st International Conference on Energy Geotechnics. Washington, USA: CRC Press.
- Zedler, J. (30 de 8 de 2000). Handbook for Restoring Tidal Wetlands. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.

CAPÍTULO VII

Anexos

	DESCRIPCION	UNI	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL
1.1	TRANSPORTE DE GEOTUBOS PARA ESTRUCTURA DE PROTECCION	U	38,00	\$ 400,00	\$ 15.200,00
1.2	GEOESTRUCTURA H=2.0m, B=6.4m, L=100m	ML	3.000,00	\$ 255,62	\$ 766.860,00
1.3	GEOESTRUCTURA H=1.6m, B=3.8m, L=100m	ML	4.500,00	\$ 187,35	\$ 843.075,00
1.4	EXCAVACION PARA INSTALACION DE GEOTUBOS	M3	37.800,00	\$ 5,50	\$ 207.900,00
1.5	COLOCACION DE GEOTUBOS	ML	7.500,00	\$ 65,00	\$ 487.500,00
1.6	SERVICIO DE LLENADO DE GEOTUBOS (INCLUYE DRAGADO DE MATERIAL)	M3	51.621,60	\$ 43,50	\$ 2.245.539,60
	TOTAL				\$ 4.566.074,60

Tabla 7: Anexo 1 (Presupuesto)

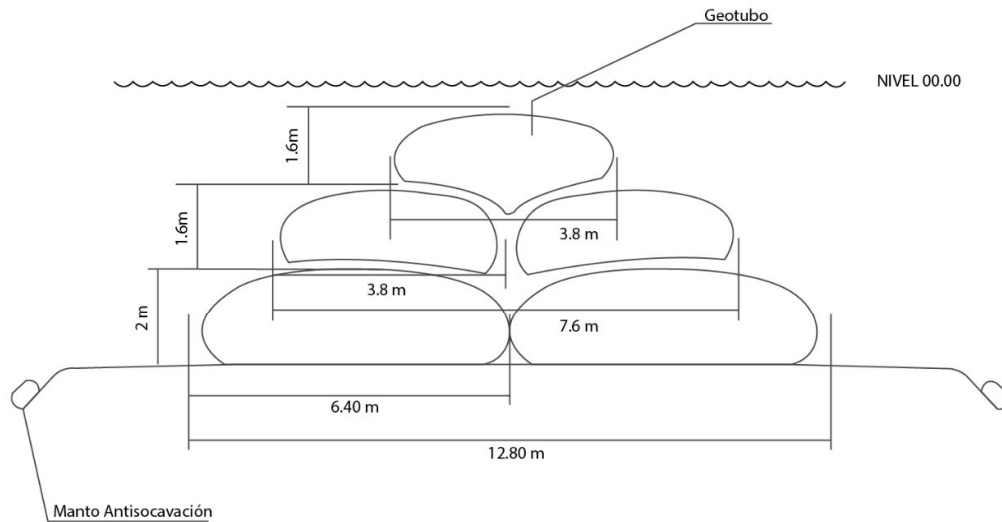


Ilustración 7: Anexo 2 (Propuesta de Aplicación)



Ilustración 8: Anexo 3 (Distribución de Espigones)

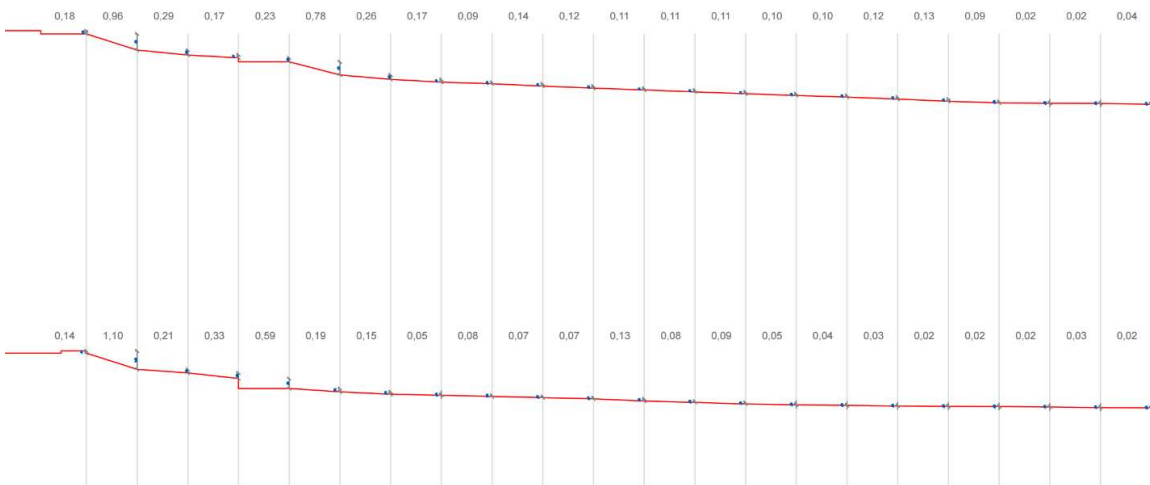


Ilustración 9: Anexo 4 (Perfil Costero de Crucita)