



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA DE GEOTEXTILES PARA PROTECCIÓN COSTERA EN COLÁN-PIURA

Alejandro Ramirez-Chumacero

Piura, julio de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Ramirez, A. (2017). *Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán-Piura* (Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para
protección costera en Colán-Piura**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Alejandro Ramirez Chumacero

Asesor: Jorge Demetrio Reyes Salazar

Piura, Julio 2017

A Dios, por permitirme dar un paso más en mi desarrollo personal y profesional.

A mis padres, Rosario y Carlos, por su apoyo imprescindible en la elaboración de mi tesis.

A mi familia, a mis tíos y a la memoria de mi tío Andrés, cuyo recuerdo representa una motivación constante en mi vida.

A Treicy, por su cariño y apoyo incondicional.

Prólogo

El uso de geosintéticos ha tenido un gran incremento en los últimos años y en los distintos campos de la ingeniería, lo cual ha permitido su uso constante en obras viales, hidráulicas, sistemas para el control de erosión, etc., aprovechando sus propiedades y los distintos beneficios que se consiguen con sus aplicaciones.

La principal motivación que llevó a realizar esta investigación es poder dejar mediante este trabajo, documentación sobre el uso de geotextiles en aplicaciones de protección de costas, implementados en un ámbito local, en la playa de Colán, ubicada en la ciudad de Piura en el norte del Perú.

Esto responde a una necesidad que va en aumento en países cuyas localidades costeras son de gran importancia por su infraestructura y por las distintas actividades económicas que se desarrollan en estas zonas. Por eso, es necesario tener registro de la implementación y el proceso constructivo de este sistema que representa una alternativa flexible en defensas costeras, mediante el cual se busca mitigar los efectos de la erosión sin alterar el medio donde es instalado; apoyando de esta manera el desarrollo a la infraestructura de la ciudad.

Quisiera agradecer a la Universidad de Piura por haberme brindado una educación de calidad y una valiosa formación profesional. Agradecer al Ing. Jorge Reyes por su asesoría y preocupación constante en el desarrollo del trabajo.

Resumen

La costa peruana concentra más del 60% de la población total y en ella se desarrollan importantes actividades económicas en el rubro industrial, comercial y turístico. Mencionado esto, se resalta la importancia de la protección y preservación de las costas, contra el fenómeno que más impacto genera en las actividades y en su infraestructura, la erosión. Durante muchos años se han venido utilizando sistemas convencionales de protección de costas como la mampostería y enrocados de piedra, muros de contención, entre otras defensas rígidas, las cuales muchas veces no solucionan a largo plazo los problemas de erosión costera y pueden contribuir al incremento de la misma. El empleo de geotextiles como contenedores de arena resulta ser una alternativa flexible con ventajas considerables ante estos sistemas convencionales, tanto por los materiales utilizados como el impacto que generan en el medio. Habiéndose implementado de forma eficiente en otros lugares del Perú, se busca en la presente investigación, dejar documentación de su implementación en la playa de Colán del departamento de Piura. Para esto se describirá el procedimiento constructivo de este sistema, mostrando la mano de obra, materiales, equipos y la maquinaria que se requiere, así como también dificultades e inconvenientes presentados durante la ejecución del proyecto.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1	3
Sistema litoral	3
1.1. Dinámica litoral.....	3
1.1.1. El oleaje, corrientes y mareas.....	6
1.1.2. Propagación del oleaje hacia la costa.....	9
1.1.3. Rotura y disipación de energía.....	12
1.2. Deriva litoral en playas.....	14
1.2.1. Transporte sólido litoral.....	14
1.2.2. Ciclos de una playa.....	17
1.2.3. Unidades fisiográficas.....	18
1.3. Generalidades de la erosión costera.....	18
1.3.1. Definición de erosión costera.....	18
1.3.2. Causas naturales y causas antrópicas de la erosión costera.....	19
1.3.3. Evaluación de la erosión: Tiempo y espacio.....	21
Capítulo 2	23
Estructuras de defensa costera	23
2.1. Clasificación de obras de defensa.....	23
2.1.1. Defensas estructurales o duras.....	24
2.1.2. Defensas no estructurales o blandas.....	29

2.2. Geosintéticos	30
2.2.1. Geotextiles tejidos y no tejidos	32
2.2.2. Contenedores de arena a base de geotextiles para protección costera.....	34
2.2.3. Características y propiedades de los geotextiles para protección costera	36
Capítulo 3.....	39
Características de la zona costera del Perú.....	39
3.1. Geomorfología de la Costa.....	39
3.2. La Bahía de Paita	40
3.2.1. Ubicación-Extensión	40
3.2.2. Características climáticas	40
3.2.3. Relieve y geología.....	41
3.2.4. Características socioeconómicas	41
3.3. Fisiografía de la costa.....	41
3.4. Características de la oceanografía costera.....	43
Capítulo 4.....	45
Zona de estudio: Playa La Esmeralda de Colán.....	45
4.1. Ubicación geográfica.....	45
4.2. Descripción física de la zona.....	46
4.2.1. Clima	46
4.2.2. Geomorfología	46
4.2.3. Geología	47
4.3. Situación actual de la playa.....	48
4.4. Planteamiento de defensa en local comercial Costa Bonita-Colán	50
4.4.1. Ubicación	50
4.4.2. Antecedentes de erosión.....	50
4.4.3. Alternativa de defensa usando geotextiles tipo geobolsas	52
Capítulo 5.....	55
Diseño de sistema de defensa flexible con geobolsas	55
5.1. Procedimiento de diseño	55
5.1.1. Diseño de la solución hidráulica	55
5.1.2. Diseño interno de la geoestructura	58
5.2. Datos considerados.....	58
5.3. Diseño geométrico de la geoestructura flexible	59
5.4. Material de relleno de las geobolsas	60
Capítulo 6.....	63
Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán-Piura.....	63
6.1. Descripción general del sistema constructivo	63

6.2. Materiales, equipos, mano de obra y maquinaria.....	64
6.2.1. Materiales.....	64
6.2.2. Mano de Obra.....	66
6.2.3. Equipos.....	66
6.2.4. Maquinaria	66
6.3. Procedimiento constructivo.....	67
6.3.1. Excavación, perfilado y nivelado del terreno.....	67
6.3.2. Trazo y replanteo.....	68
6.3.3. Colocación de la capa de geotextil no tejido.....	68
6.3.4. Encofrado de geobolsas.....	69
6.3.5. Habilitado de geobolsas	69
6.3.6. Llenado de geobolsas	70
6.3.7. Cierre de geobolsas	70
6.4. Recomendaciones del fabricante para la instalación de las geobolsas	71
6.5 Planificación del Trabajo	71
6.6 Calculo de rendimientos.....	73
6.7. Inconvenientes, dificultades y soluciones durante la ejecución	75
6.8. Consideraciones para la implementación de geobolsas	80
Conclusiones y recomendaciones	81
Referencias bibliográficas.....	83
Anexos	87
Anexo A	89
Anexo B	93
Anexo C.....	99
Anexo D.....	109

Índice de Figuras

Figura 1. 1. División de la zona litoral.....	4
Figura 1. 2. Formas del relieve costero.....	5
Figura 1. 3. Características de las olas	6
Figura 1. 4. Clasificación de ondas, Fuente: (Rosales, 1999)	7
Figura 1. 5. Corrientes marinas, Fuente: Apuntes de clase: Geomorfología. Universidad La Coruña.....	8
Figura 1. 6. Fuerzas que actúan en las mareas y ciclo de mareas en un día, Fuente: Dpto. de Biología y Geología. Instituto Trassierra-Cordova.	9
Figura 1. 7. Diagrama de refracción del oleaje	10
Figura 1. 8. Diagrama de difracción, Fuente: (Lizardo, 2010).....	11
Figura 1. 9. Descripción zonas del litoral, Fuente: (Martínez, 2013).....	12
Figura 1. 10. Tipos de rotura de olas, Fuente: (Martínez, 2013).....	14
Figura 1. 11a. Descomposición del oleaje incidente, Fuente: (De la Peña, 2007).....	15
Figura 1. 12. Transporte sólido longitudinal, Fuente: (De la Peña, 2007).	16
Figura 1. 13. Balance sedimentario de una playa, Fuente: De la Peña, (2007).....	17
Figura 1. 14. Perfil tipo de una playa, Fuente: Escuela Técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.	17
Figura 1. 15a. Solución con enrocado de piedra deficiente, Colán, Piura-Perú.....	20
Figura 1. 15b. Uso de mampostería de piedra, Colán, Piura-Perú.....	20
Figura 2. 1. Tipos de muros, Fuente: (Ovalle, 2012)	24
Figura 2. 2. Candás (Asturias) muro botaolas, paseo marítimo y carretera de acceso, Fuente: (Cimbra, 2010)	25
Figura 2. 3. Tipos de Pantallas, Fuente: (Ovalle, 2012).....	26
Figura 2. 4. Tipos de revestimiento, Fuente: (Ovalle, 2012)	27
Figura 2. 5. Espigón en La Costa Verde, Miraflores-Perú.....	27
Figura 2. 6. Espigones en piedra, Bocagrande-Cartagena.....	28
Figura 2. 7. Rompeolas y formación de tómbolos Bibione (Italia).....	29
Figura 2. 8. Clasificación de geosintéticos y tipos de geotextil, Fuente: (Suarez, 2001), Modificado por Autor.	32
Figura 2. 9. Geotubos colocados paralelos a la línea de la costa,	34
Figura 2. 10. Vista frontal del revestimiento flexible con geobolsas, Colán-Piura, Fuente: Autor	35
Figura 3. 1. Bahía de Paita, Fuente: (Correa et al, 2007).	40
Figura 3. 2. Valles y ríos en la costa peruana, Fuente: (INDECI, 2014).....	42
Figura 4. 1. Distrito de Colán-Región Piura, Fuente: (INDECI, 2014)	46
Figura 4. 2. Distribución lineal, manzaneo balneario Colán, Fuente: (INDECI, 2014).	48
Figura 4. 3. Análisis evolución de la línea de la costa Balneario Colán, Fuente: (Rondón, 2011)	49
Figura 4. 4. Ubicación en planta Local comercial Costa Bonita, Colán Sur, Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 4. 5. Local comercial Costa Bonita, antes de erosión	51
Figura 4. 6. Local comercial Costa Bonita, después de la erosión.....	51
Figura 4. 7. Antiguo límite de estructura y línea de erosión, Fuente: Elaboración propia.....	52
Figura 4. 8. Vista en planta de la defensa costera con geotextiles	53

Figura 5. 1. Esquema de perfil de la estructura de geobolsas, Fuente: Elaboración propia.	59
Figura 5. 2. Protección de esquinas del local (Vista Planta), Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 5. 3. Ensayo granulométrico del material	61
Figura 6. 1. Vista cubierta superior e inferior y laterales de geobolsa, Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 6. 2. Esquema isométrico de geobolsa, Fuente: Elaboración propia	65
Figura 6. 3. Excavación de zanjas	67
Figura 6. 4. Nivelación del terreno.....	67
Figura 6. 5. Línea guía a base de pies derechos	68
Figura 6. 6. Habilitación del geotextil no tejido.....	68
Figura 6. 7. Encofrado de geobolsas utilizando molde metálico.....	69
Figura 6. 8. Habilitación de geobolsa.....	69
Figura 6. 9. Llenado de geobolsa con excavadora	70
Figura 6. 10. Cierre de geobolsa con cosedora manual.....	70
Figura 6. 11. Tabla de mareas Colán.....	72
Figura 6. 12. Avance promedio diario, primer turno, Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 6. 13. Avance promedio diario, segundo turno, Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 6. 14. Colocación del geotextil no tejido, perfil de diseño de la geoestructura.	75
Figura 6. 15. Geotextil enterrado al nivel de terreno existente	76
Figura 6. 16. Pieza de geotextil no tejido agregada	77
Figura 6. 17. Dificultades en el desencofrado de las planchas metálicas.....	77
Figura 6. 18. Encofrado por medio de izaje del molde metálico.....	78
Figura 6. 19. Ensanchamiento y asentamiento de geobolsas	78
Figura 6. 20. Geobolsas expuestas al oleaje. Altura y unión entre bolsas.....	79

Índice de Tablas

Tabla 1. 1. Número de Iribarren para diferentes tipos de rotura	13
Tabla 2. 1. Ventajas y desventajas de los espigones	28
Tabla 2. 2. Resumen de métodos de defensa blandas.....	30
Tabla 2. 3. Clasificación de geosintéticos	31
Tabla 2. 4. Funciones y aplicaciones de los geotextiles	33
Tabla 2. 5. Rango de valores de propiedades representativas de los geotextiles	36
Tabla 4. 1. Eras geológicas del área de estudio.....	47
Tabla 5. 1. Parámetro de profundidad Kh	57
Tabla 5. 2. Geometría de diseño de geobolsas	59

Introducción

La costa peruana tiene una longitud de 3080 km, alberga gran porcentaje de la población y en ella se realizan importantes actividades económicas como son la pesca marina y agricultura en el sector primario y el turismo en el sector terciario.

La línea de costa se ha modificado a lo largo de los años principalmente por factores naturales, que siempre han actuado causando variación sobre ella; hecho que ha sido tomado en consideración al interactuar con las actividades y construcciones en las localidades costeras, que se han visto afectadas por la denominada “erosión costera”.

Debido a esta problemática es necesario la construcción de obras de protección para mitigar los efectos de la erosión, estabilizar y/o recuperar las playas y garantizar la integridad de las actividades y asentamientos cercanos a estas áreas. Uno de los métodos más utilizados son las soluciones rígidas como defensas costeras utilizando materiales como concreto, acero, rocas, etc.

La presente investigación busca describir el procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles como contenedores de arena para protección costera en la playa de Colán en el departamento de Piura. Este método de protección tiene importantes ventajas sobre los métodos rígidos y materiales de protección utilizados convencionalmente, una de ellas es que representa una alternativa flexible que permite la sustitución de materiales como roca, concreto y acero en la construcción de muros, revestimientos, espigones, rompeolas, etc., y aportan una forma más sencilla de construcción que implica menores costes tanto en la construcción como en el mantenimiento. A continuación se presenta un resumen de los capítulos que conforman la presente tesis.

El primer capítulo contiene el marco teórico, que presenta de forma general las características de los sistemas litorales y su dinámica litoral, para entender cuáles son los

principales agentes causantes de los procesos costeros que dan forma al medio litoral y actúan sobre las estructuras costeras. En el segundo capítulo se presentan los distintos métodos de protección costera, resumiendo sus características y funciones, haciendo énfasis en el uso de geosintéticos y específicamente en el uso de los geotextiles como alternativa flexible de protección costera. El tercer capítulo describe las características de la zona costera del Perú, esto con el fin de tener una visión más amplia del medio donde se va a implementar la protección costera. El cuarto capítulo hace referencia a la zona de implementación de la defensa, que es la playa La Esmeralda de Colán en el norte del Perú; presentando también el planteamiento de la alternativa de defensa flexible utilizando geotextiles como contenedores de arena (geobolsas). El quinto capítulo contiene el diseño del sistema de defensa, mostrando los procedimientos de diseño, los datos considerados y el prototipo final de la estructura con geobolsas. El sexto capítulo representa el capítulo principal y contiene la descripción del procedimiento constructivo del sistema con geobolsas, mostrando la mano de obra, materiales, equipos y la maquinaria que se requiere, así como también dificultades e inconvenientes presentados durante la ejecución del proyecto. Finalmente se exponen las conclusiones y las recomendaciones.

Capítulo 1

Sistema litoral

La zona costera o litoral, constituye el área de transición e interacción entre el ambiente terrestre y el ambiente marino. Las zonas costeras son de gran importancia para el Perú, y en general, para todos los estados costeros, ya que de ellas depende gran porcentaje de sus actividades económicas. Con la presencia y el desarrollo de la actividad del hombre en las costas, se ha hecho notorio el fenómeno de erosión costera, el cual afecta principalmente las construcciones y actividades que se realicen en esta zona.

Como esta problemática se da principalmente por factores naturales, se brindará en este capítulo un enfoque general de los sistemas litorales y su dinámica litoral, para entender cuáles son los principales agentes causantes de los procesos costeros que dan forma al medio litoral y actúan sobre las estructuras costeras.

También este capítulo contiene un análisis del fenómeno de la erosión costera y las causas naturales y antrópicas relacionadas a este fenómeno.

1.1. Dinámica litoral

La zona litoral es una franja paralela a la costa en la que el límite del agua varía dependiendo del movimiento de las mareas. Constituye una zona de interface entre atmósfera, hidrósfera, geósfera y biosfera, que da lugar a una morfología particular denominada relieve litoral. La zona litoral, a su vez, se puede dividir según Maldonado y Zamarreño (1993) en tres zonas:

-Zona supralitoral: Comprendida entre la pleamar¹ y el límite de acción del mar en temporales².

-Zona mesolitoral o intermareal: Comprendida entre la pleamar y la bajamar³

-Zona infralitoral: Comprendida entre la bajamar y el límite inferior que alcanza el oleaje.

-Zona sublitoral: Se extiende desde el límite inferior que alcanza el oleaje hasta el borde de la plataforma continental, aproximadamente a 200 m de profundidad.

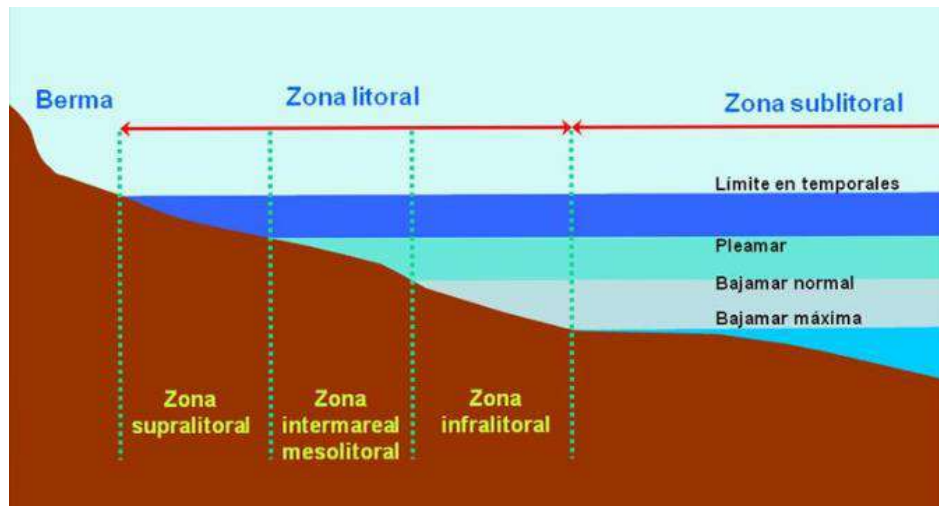


Figura 1. 1. División de la zona litoral

Fuente: <http://www.biologiasur.org/Ciencias/index.php/geosfera/procesos-geologicos-externos-y-sus-riesgos>

Las costas no han estado siempre localizadas en su emplazamiento actual; han sucedido transgresiones y regresiones en el curso de la historia geológica en que las glaciaciones y los movimientos tectónicos han hecho fluctuar el nivel marino. Es por esto que en un sentido amplio las zonas costeras abarcan todas las geformas cuyo origen haya sido la acción marina, aun cuando actualmente, ellas no estén en contacto con el mar.

Las costas pueden clasificarse o definirse de forma variada dependiendo de las características principales a tener en cuenta.

Según el cambio relativo del nivel del mar, las costas pueden ser:

-Costas bajas: Corresponden a costas de emersión o levantamiento, debido al levantamiento de bloques de corteza o al descenso en el nivel del mar. Formadas por depósitos sedimentarios por encima del nivel actual de las aguas (plataformas de abrasión, acantilados...), con numerosos accidentes litorales deposicionales (albufera, cordones, deltas, etc.).

-Costas altas: Son llamadas de inmersión o hundimiento, debido a que tienen su origen en hundimientos tectónicos de bloques o al ascenso generalizado del nivel del mar.

¹ Pleamar: Máxima altura del agua del mar dentro del ciclo de mareas o marea alta.

² Temporales: Vientos fuertes que originan oleajes de cierta intensidad.

³ Bajamar: Menor altura del agua del mar dentro del ciclo de mareas o marea baja

Encontramos desembocaduras fluviales inundadas (estuarios), con costas más o menos accidentadas (llanuras costeras, rías, fiordos, etc.).

-Costas neutras: Cuando no ha habido ningún movimiento relativo entre el nivel del mar y el continente. Son las formadas por aportes de materiales al agua. Entre las distintas clases de costas neutras figuran las debidas a los deltas de los ríos, las formadas por las lavas volcánicas, cuando los productos de la erupción alcanzan el mar, y las costas de formaciones coralinas, muy abundantes en mares tropicales.

También pueden definirse dos tipos de costas según la procedencia de los materiales que contengan⁴:

-Costas de avance o acumulación: Cuando procedan fundamentalmente de arrastre fluvial. Presentan gran cantidad de sedimentos aluviales, siendo sus costas bajas, llanas y rectas, y abundancia de formaciones deltas, arrecifes, barras, albuferas, etc.

-Costas de erosión o abrasión: En los que los materiales proceden de la erosión y transporte por el agua marina. Estas a su vez pueden ser altas, rocosas, con acantilados, fiordos, bahías, etc., o bajas arenosas, formando las playas.

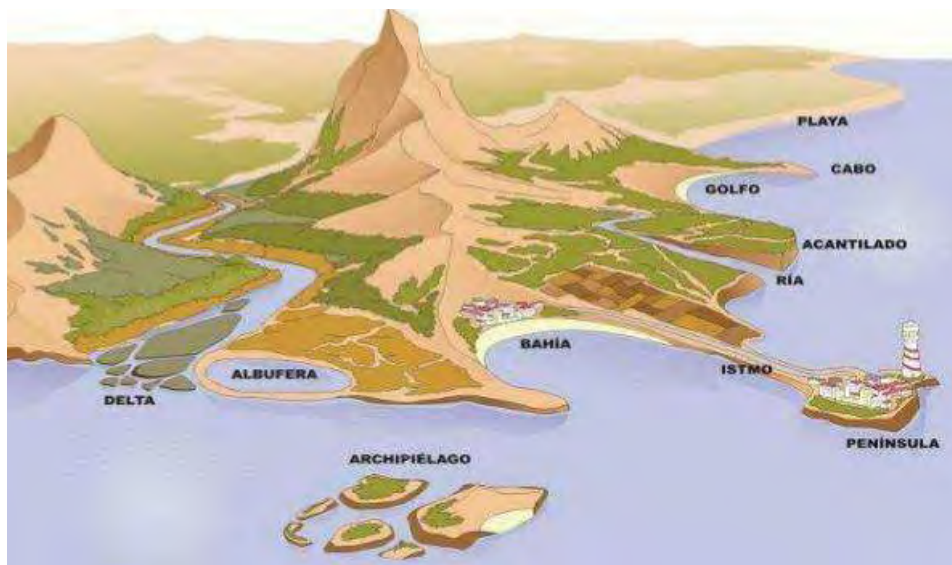


Figura 1. 2. Formas del relieve costero

Fuente: <http://costasyrios.blogspot.pe/2013/05/definiciones-y-clasificacion-de-costas.html>.

Existen diversos factores que condicionan el relieve litoral como las características de comunidades vivas, las características continentales (sobre todo la litología y estructura), pero lo más influyente es la acción de los agentes marinos como las olas, mareas y corrientes.

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

⁴ Sistemas Litorales, Dpto. de Biología y Geología del Instituto Trassierra-Cordova.

1.1.1. El oleaje, corrientes y mareas

Dentro de los aspectos climáticos que influyen en la dinámica costera como son el oleaje, vientos, corrientes y mareas, además de otros de menor entidad como temperatura, salinidad, etc. El más importante con mucha diferencia y en el cual se hará énfasis en la presente investigación es el oleaje.

1.1.1.1. Oleaje

Se define oleaje como una sucesión de ondas u olas, que son movimientos ondulatorios del mar producidos por el viento en zonas oceánicas, que se desplazan hacia la línea de costa. También se pueden producir por movimientos sísmicos y erupciones volcánicas submarinas. Las características definitorias de cada ola son:

- La altura (H), distancia vertical entre el seno y la cresta de cada ondulación.
- El periodo (T), tiempo que transcurre desde que un punto de la superficie del agua se encuentra en la cresta de una ola que pasa sobre el hasta que ese mismo punto vuelve a encontrarse en la cresta de la siguiente ola.
- Longitud de onda (L), distancia horizontal, medida en el sentido de avance de las ondulaciones, entre dos crestas de olas sucesivas.
- La dirección de avance de la ola (D).

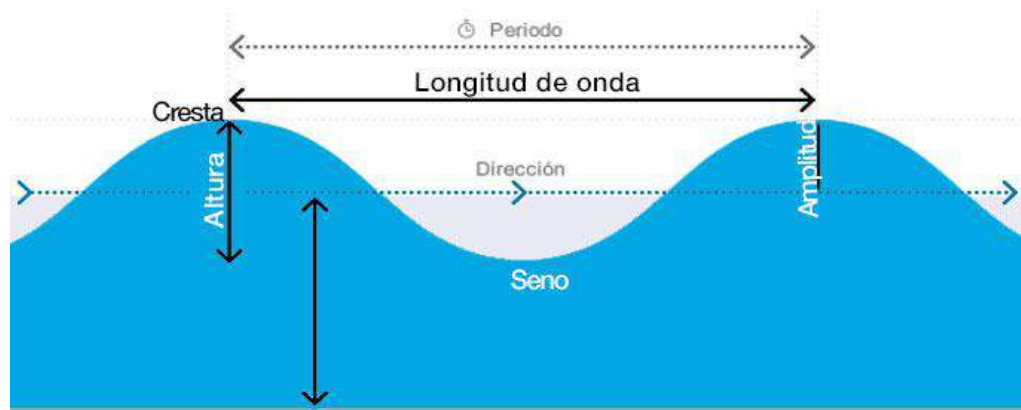


Figura 1. 3. Características de las olas

Fuente: <http://www.masmar.net/esl/Apuntes-Náuticos/Oceanografía/Características-de-las-olas>

Las olas del océano son de una alta gama de periodos, pero existen aquellas que son las más energéticas y las cuales son de mayor interés en la ingeniería de costas: las generadas por el viento. El oleaje de viento es la oscilación típica que vemos en nuestras costas. No mueve masas de agua, excepto durante los procesos de rotura. Lo que se propaga es la perturbación, no la masa de agua.

El oleaje generado por el viento viene representado por las ondas de gravedad (las más energéticas), y son llamadas de esta forma puesto que la principal fuerza actuante sobre ellas después de su generación es la gravedad.

Dentro de las ondas de gravedad se encuentran dos grandes tipos: el oleaje en la zona de generación donde sopla el viento denominado *SEA* o local, y el oleaje que sólo se mantiene debido a la gravedad, y que ha viajado probablemente cientos de kilómetros desde la zona de generación; a éste se le ha denominado *SWELL* o distante (Rosales, 1999).

-El oleaje *SEA*, se distingue por ser totalmente caótico, ya que no cuenta con un periodo y altura bien definidos. Las olas se propagan en todas direcciones aunque su orientación principal es la que el viento les imprime. A la longitud de la superficie sobre la que actúa el viento que lo produce, se le denomina *Fetch*. La asimetría y la esbeltez crítica (apuntalamiento, gran peralte) son las características del oleaje ahí generado.

-El oleaje *SWELL*, está bien alineado, con las crestas y valles de las ondas formadas y se aprecia una dirección predominante. Las ondas con diferentes celeridades se solidifican al acercarse a la costa, donde se transforman por efecto del fondo. Sus características son las siguientes: Pérdida de energía, las olas viajan a expensas de su propia fuerza; dispersión angular y radial, esto significa que las ondas, por una parte, se dispersan en todas direcciones, y por otra, que las ondas se sueldan unas con otras simplificando su forma. Cuando se acerca a las playas, se modifica por la fricción con el fondo marino.



Figura 1. 4. Clasificación de ondas, Fuente: (Rosales, 1999)

1.1.1.2. Corrientes marinas

Las corrientes marinas pueden clasificarse como superficiales, profundas o corrientes de turbidez⁵.

-Superficiales: Por efecto del viento sobre la superficie. Afectan a los primeros 300 o 400 m. Transportan material fino en suspensión. En zonas tropicales, con mayor velocidad, pueden llegar a modificar la morfología costera, formando cordones litorales o flechas. Si transportan arcilla, pueden dar lugar a corrientes de turbidez.

-Profundas: Generadas por mareas: El movimiento de las mareas es vertical, pero produce traslado lateral por convección, con células de distinta profundidad. No tienen capacidad erosiva, pero sí de transporte.

⁵ Apuntes de Clase: Geomorfología. Universidad La Coruña, España.

-Corrientes de turbidez: Con abundante material arcilloso. En el talud continental.

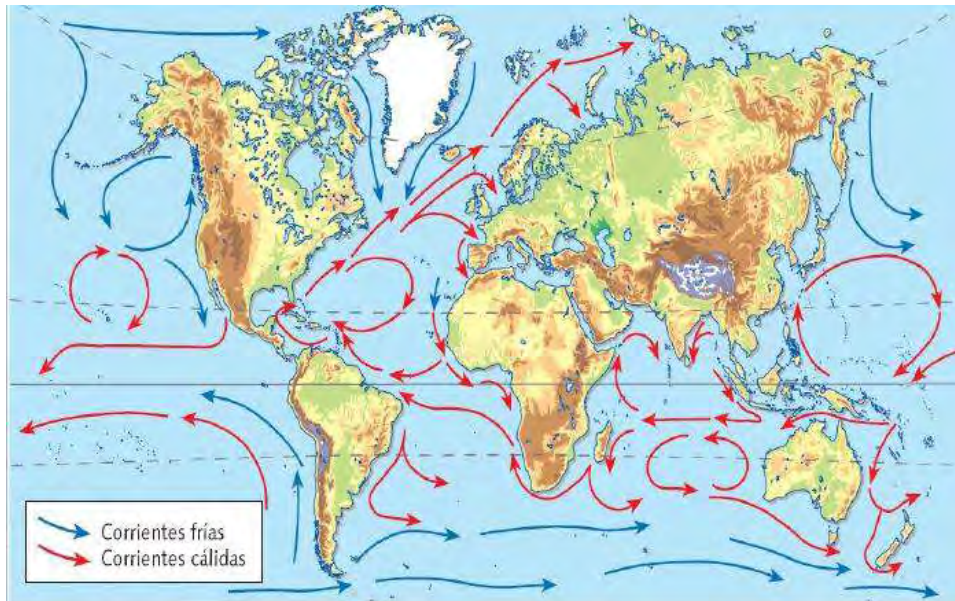


Figura 1. 5. Corrientes marinas, Fuente: Apuntes de clase: Geomorfología. Universidad La Coruña

1.1.1.3. Mareas

Las olas oceánicas de mayor longitud de onda están asociadas con las mareas y se caracterizan por una elevación y caída rítmicas del nivel del mar durante un período de varias horas.

Las mareas, en efecto, son movimientos periódicos y alternativos de ascenso y descenso del nivel del mar producidos por la atracción gravitacional que ejercen sobre la tierra la luna y el sol principalmente. Entran en juego tres fuerzas: atracción de la luna, fuerza gravitatoria terrestre y fuerza centrífuga que hace que los objetos se muevan hacia el exterior debido al giro terrestre.

Cualquier punto de la tierra se alinea dos veces diarias con la luna, por lo que hay dos elevaciones de mayor amplitud (pleamar o marea alta), y otras dos de baja amplitud (bajamar o marea baja). La pleamar máxima se produce en la zona donde la tierra está más próxima a la luna (pleamar proximal), siendo algo menor en la diametralmente opuesta (pleamar distal). El nivel mínimo de bajamar se produce en zonas situadas a 90° de las anteriores. Hay dos mareas altas al día y dos mareas bajas, cada 12 horas y 26 minutos. Los efectos que producen las mareas son de erosión, transporte y sedimentación al subir o descender el nivel del mar⁶.

⁶ Sistemas litorales, Dpto. de Biología y Geología del Instituto Trassierra-Cordova.

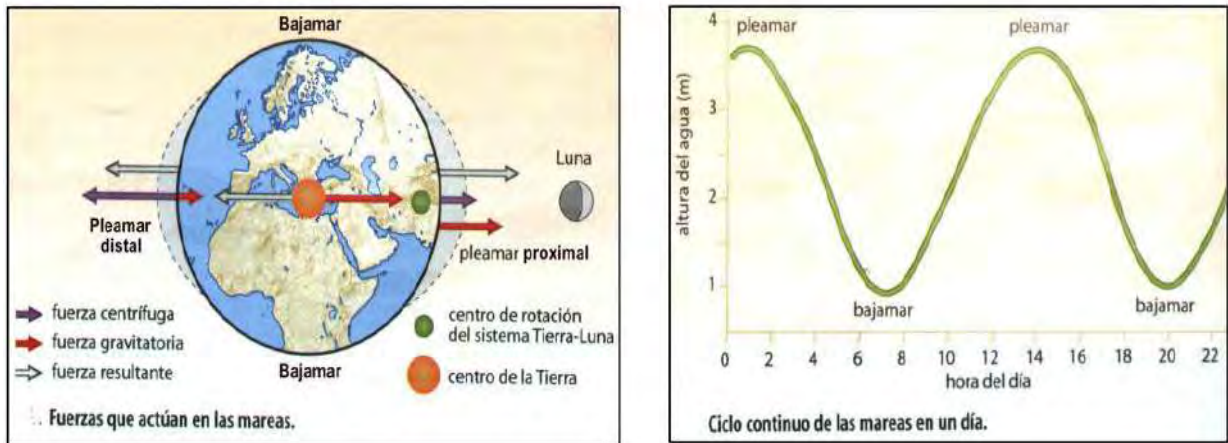


Figura 1. 6. Fuerzas que actúan en las mareas y ciclo de mareas en un día, Fuente: Dpto. de Biología y Geología. Instituto Trassierra-Cordova.

1.1.2. Propagación del oleaje hacia la costa

A la propagación se le conoce como la traslación de las olas por la superficie del mar y su importancia radica en conocer sus características cuando el oleaje se aproxima a las costas, las alcanza y rompe sobre ellas.

El oleaje generado por el viento en altamar llega a la costa en forma, generalmente, de un conjunto de ondulaciones (olas) que avanzan en un sentido y que tienen una serie de características. Estas características definitorias de cada ola, como ya han sido explicadas, son: la altura, el periodo, la longitud de onda y la dirección de avance de la ola. Caracterizado por estos parámetros, el oleaje, no es un proceso homogéneo ni estacionario, es decir, no todas las olas tienen el mismo periodo, altura, longitud de onda o dirección en cada instante y lugar, sino que cada una tiene sus características propias que además varían en el espacio y en el tiempo.

De esta forma para definir el oleaje, a efectos de la dinámica litoral interesa considerar lo que denominamos frente, que incide en un tramo de costa dada y para que el que se utiliza una serie de parámetros estadísticos calculados a partir de un conjunto, más o menos grande, de olas individuales, obtenidos en un lugar y plazo suficientemente concreto y corto para poder considerar el proceso estacionario y homogéneo durante el tiempo de muestreo. Así, existen toda una serie de definiciones de cada una de las características que definen el frente de olas. Siendo las más usadas⁷:

-Altura de ola significativa (H_s o también llamada $H_{1/3}$), este parámetro estadístico se obtiene al calcular la media de las alturas de ola del tercio de olas más altas dentro del grupo de olas considerado.

-Altura de ola máxima ($H_{m\acute{a}x, N}$), altura de ola máxima dentro del grupo de N olas considerado.

-Periodo significativo (T_s), media de los periodos del tercio de olas más altas dentro del grupo de olas considerado.

-Periodo medio (T_m), media de los periodos del grupo de olas considerado.

⁷ Apunte de clase: Introducción a la dinámica de las formas costeras. Universidad Politécnica de Madrid

-Dirección media (Dm), media de las direcciones de propagación del grupo de olas considerado.

De esta forma, un frente de olas que se propaga desde alta mar hasta la costa, queda definido por una Hs, un Ts, y un Dm.

El proceso de acercamiento de las ondas marinas a tierra se ve alterado por el efecto de los fondos marinos y las formas costeras. Siendo los efectos más importantes de la interacción oleaje-costa la refracción y la difracción, que junto con la rotura y reflexión completan el panorama de acontecimientos que suceden al oleaje en su movimiento de propagación hacia aguas someras o contra obras, arrecifes o acantilados.

-Refracción: Consiste en un fenómeno producido por la influencia de los fondos en la propagación del oleaje cuando este se traslada hacia aguas someras o se aproxima a la costa. Así como los procesos de somerización (cambio de la altura al sentir el fondo), percolación (entre las partículas de sedimento en el fondo), fricción con el fondo marino y rompimiento, modifican básicamente la altura de ola, también hay procesos que cambian su dirección; dado que la velocidad de las olas en aguas poco profundas depende de la profundidad ($c = \sqrt{gh}$), la parte de la ola que se encuentra viajando más profundo viaja más rápido, haciendo que la ola se curve o cambie de dirección. A este cambio de dirección del frente del oleaje, haciéndolo paralelo a las líneas batimétricas, es lo que se conoce como refracción.

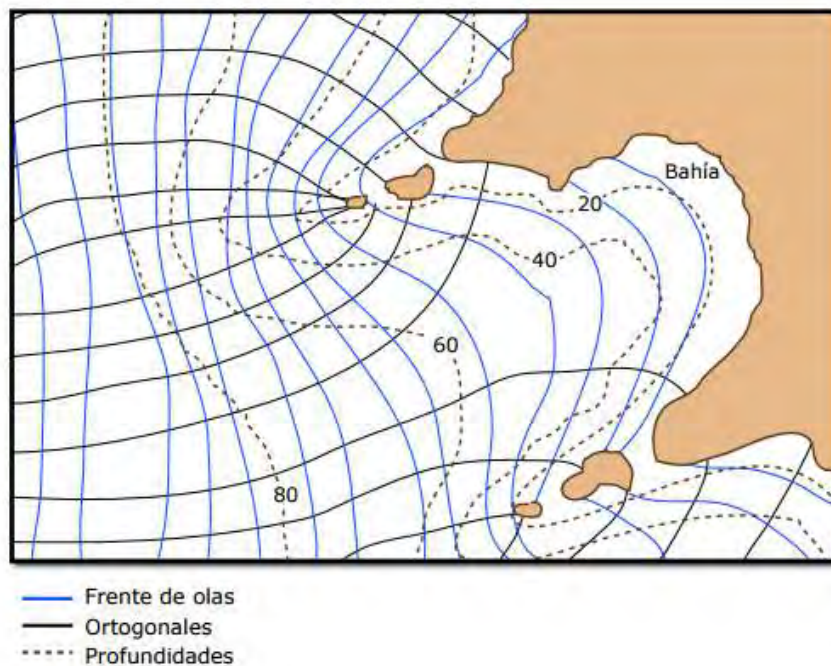


Figura 1. 7. Diagrama de refracción del oleaje

Fuente: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/cursos/contenidos/docpdf/capitulo22.pdf>

Cuando las líneas trazadas en la figura 1.7, se juntan están indicando la convergencia de energía de la ola (aumento de altura H). Es como si el frente de las olas se comprimiera, lo cual implicaría aumentar su altura. Mientras que una separación de las líneas trazadas

perpendicularmente al frente de olas indica divergencia de energía (menor altura H), y sería equivalente a que el frente de ola se alargase.

-Difracción: Este fenómeno se produce cuando el oleaje, en su propagación, encuentra un obstáculo que obliga al tren de onda a curvarse y a disminuir su velocidad. Cuando la ola pasa al otro lado de la barrera, el frente de olas adopta una forma circular, entrando en una zona de calma por detrás de la barrera, disminuyendo su altura en esa zona, mientras que la celeridad y la longitud de la ola no se modifican.

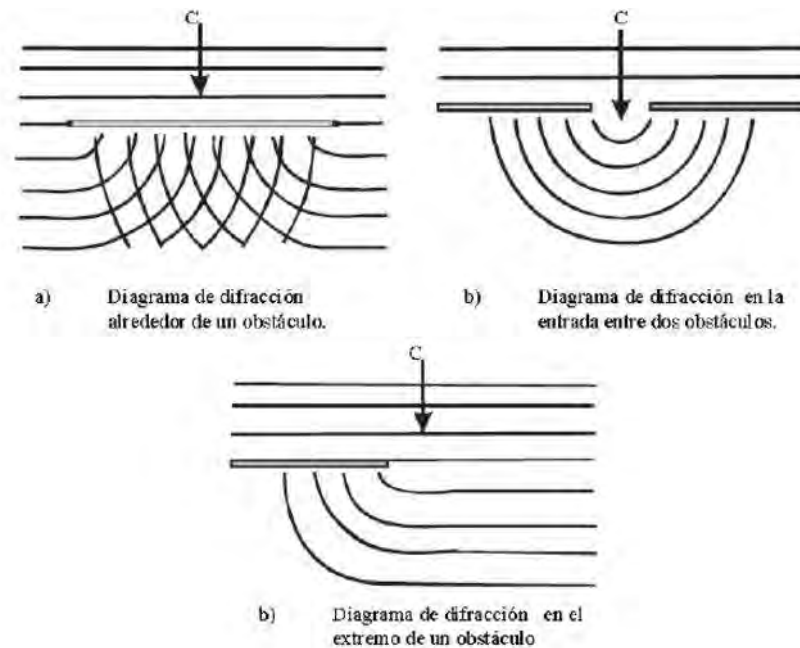


Figura 1. 8. Diagrama de difracción, Fuente: (Lizardo, 2010)

-Reflexión: Se genera por el choque del oleaje incidente sobre un obstáculo (acantilado, dique...). La energía liberada no se disipa tal y como ocurriría en una playa. Se produce, entonces, un sobrante de energía que se traduce en una onda reflejada y en un aumento de la agitación frente al obstáculo, con grandes implicaciones sobre fondos formados por sedimentos.

Se utiliza también una clasificación de zonas del litoral basada en las características del oleaje incidente (Martínez, 2013).

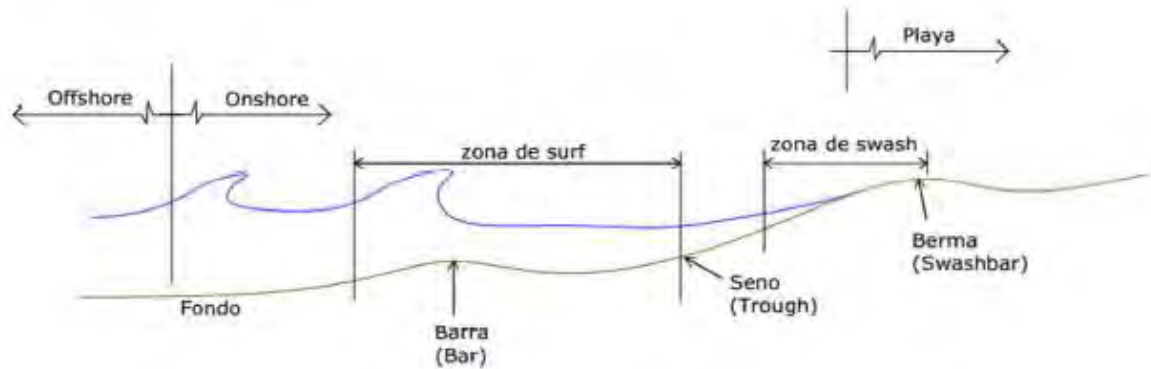


Figura 1. 9. Descripción zonas del litoral, Fuente: (Martínez, 2013).

- Zona de plataforma: Donde el oleaje no está afectado por la batimetría, es decir donde las características del oleaje no están controladas por la topografía del fondo marino.
- Zona de somerización y refracción: El fondo marino afecta al oleaje incidente, lo que ocasiona un aumento de la altura de ola (efecto de *shoaling* o peraltamiento) y un cambio de orientación debido a la refracción en función de la batimetría en la zona.
- Zona de rotura: Es la zona donde la ola alcanza su altura máxima lo que provoca su rotura, debido a la refracción que sufre.
- Zona de Surf: La ola rota avanza hacia la costa formando un resalte (*bore*) situado en el frente de ola.
- Zona de swash: La ola rota llega a la línea de costa ascendiendo por la superficie de la zona interlitoral (*run-up*) y posteriormente desciende por efecto de la gravedad (*rundown*).

1.1.3. Rotura y disipación de energía

La rotura del oleaje es de gran importancia en los procesos litorales debido a que es el principal causante de los fenómenos de la dinámica litoral. Cuando la ola rompe, la turbulencia asociada a la rotura, además de disipar la energía de las olas, es uno de los principales mecanismos generadores de corrientes, y en consecuencia, de transporte de sedimentos. Además, en zonas de aguas someras, la rotura puede ser un factor limitante a la hora de determinar la altura de ola de diseño de estructuras marítimas.

La rotura del oleaje se puede presentar tanto en aguas profundas como en aguas someras, siendo bastante distinto el proceso en ambos casos. En aguas profundas el viento generalmente es el agente que produce su rotura por la excesiva cantidad de energía que éste le proporciona. En aguas someras, el oleaje al acercarse a la costa se ve afectado por el fondo, dado que la celeridad de la onda es proporcional a la raíz cuadrada de la profundidad, el frente de onda se desplaza a una velocidad menor que la cresta de la onda, dando lugar al vuelco de la cresta en la llamada zona de rompientes o *surf*.

La rotura del oleaje se produce al reducirse la profundidad hasta la incompatibilidad con el movimiento orbital del oleaje causando una transformación en el movimiento de la masa líquida que pasa de oscilatorio según trayectorias elípticas a semi-paralelo al fondo (cuasi-horizontal). Ello produce un choque de la masa de agua contra la costa que la hace perder toda la energía que transportaba en su propagación, transformando la energía cinética en potencial, y está en cinética con velocidad contraria a la primitiva, produciéndose la disipación de la misma en los fenómenos de fricción y choque con los sedimentos y el propio caudal de agua en movimiento contrario⁸.

De acuerdo al número de Iribarren Ir o parámetro de rompientes, se puede clasificar los diversos tipos de rompiente. Este parámetro se define como:

$$I_{Ro} = \frac{m}{\sqrt{\frac{Ho}{Lo}}}$$

Siendo m la pendiente de la playa, Ho la altura de ola en la zona de rotura y Lo la longitud de onda en profundidades donde la ola no se ve afectada por el fondo. Según el valor del número de Iribarren se establecen cuatro tipos de rotura de olas.

Tabla 1. 1. Número de Iribarren para diferentes tipos de rotura

Tipo de Rotura	Número de Iribarren
Decrestamiento (<i>Spilling</i>)	$Ir < 0.46$
Voluta (<i>Plunging</i>)	$0.46 \leq Ir < 2.5$
Colapso (<i>Colapsing</i>)	$2.5 \leq Ir < 3.3$
Oscilación (<i>Surging</i>)	$Ir > 3.3$

Fuente: (Martínez, 2013), Modificado por autor

Siendo los tipos de rotura de olas (Martínez, 2013):

-Decrestamiento (*Spilling*): Se observa cuando olas con gran peralte inciden en playas con pendientes muy suaves. En este caso el agua cerca de la cresta vuelca mientras que la cresta de la ola toma una forma afilada con el decremento de la profundidad, y mantiene una forma casi simétrica de una ola permanente. La rotura tipo decrestamiento y voluta siguen el mismo proceso, pero difieren en la magnitud del vuelco.

-Voluta (*Plunging*): Tiene la característica de presentarse en playas con pendientes relativamente empinadas. Las olas toman una forma afilada en la cresta, después la ola vuelca, y la cresta volcada se hunde en el agua. Este tipo de rotura produce una deformación de la ola antes de romper es más rápida que la que se presenta cuando la ola rompe con el tipo decrestamiento. El movimiento de la partícula en el tipo voluta es más violento, y es típico que aparezcan nubes de burbujas en el punto donde la ola vuelca y se incrusta sobre el agua.

⁸ Apuntes de Clase: Introducción a la dinámica de las formas costeras. Universidad Politécnica de Madrid

-Oscilación (*Surging*): Ocurre en playas con pendientes altas, se aprecia la formación de una cresta que no llega al vuelco y se diluye cuando las olas ascienden y descienden por el talud con un mínimo de aire atrapado, se observa reflexión elevada.

-Colapso (*Colapsing*): La ola comienza a desmoronarse por su base y colapsa, el aire queda parcialmente atrapado, formado espuma. El período de ascenso – descenso coincide con el período del oleaje y el flujo sobre el talud alcanza valores máximos. La reflexión comienza a disminuir debido a la pérdida de energía por turbulencia.

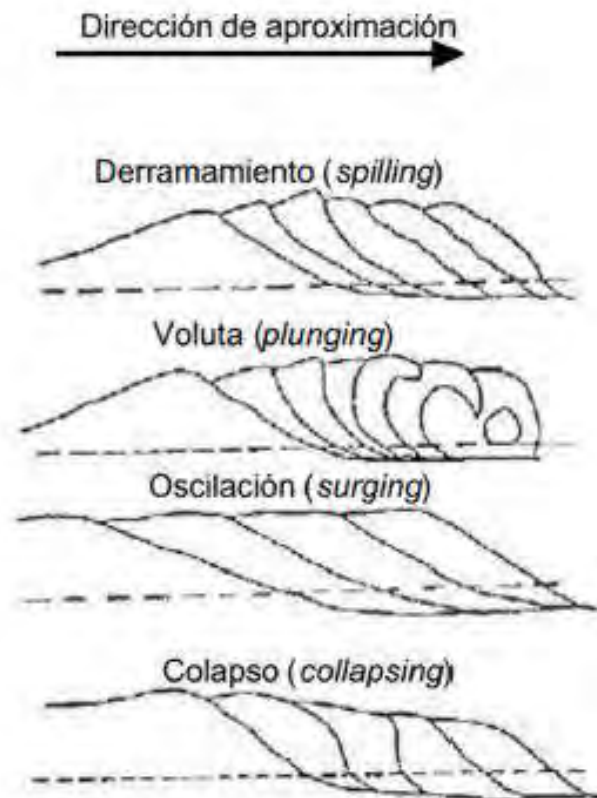


Figura 1. 10. Tipos de rotura de olas, Fuente: (Martínez, 2013)

1.2. Deriva litoral en playas

El sistema más dinámico de todos es la playa. Esta franja costera es la primera parte del continente en entrar en contacto con la fuerza del mar, recibiendo toda su energía y actuando sobre ella absorbiéndola y reduciéndola. Por ello pierde arena, cambia de forma, se mueve, responde y se recupera.

Las playas son acumulaciones de sedimento, arena, gravilla, grava y bolos, a lo largo de la línea de orilla del mar proveniente, principalmente, de los cauces fluviales que los aportan de forma más o menos regular, como ríos, o esporádicamente, como ramblas, barrancos y rieras, aunque ocasionalmente pueden tener otros orígenes

1.2.1. Transporte sólido litoral

Ovalle (2012) explica que la acción continuada del oleaje en la costa provoca una movilización del material que forma la franja litoral siendo uno de los responsables de la

transformación de la costa. Cuando el oleaje incide oblicuamente sobre la costa genera dos tipos de corrientes: una longitudinal paralela a la línea de costa y otra transversal perpendicular a la línea de costa (Figura 1.11a). Al igual que forma corrientes, el oleaje provoca el movimiento de sedimento que forma la costa en las mismas dos direcciones: paralela y perpendicular a la línea de costa. El movimiento del sedimento paralelo a la línea de costa se denomina transporte sólido litoral longitudinal y el movimiento del sedimento perpendicular a la línea de costa se le conoce con el nombre de transporte sólido litoral transversal (Figura 1.11b).

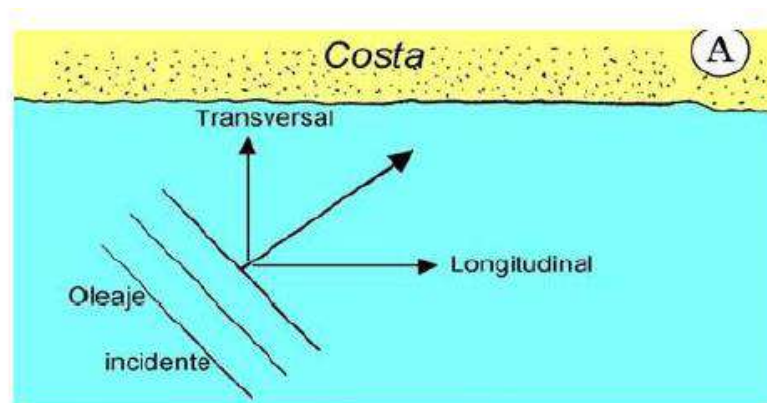


Figura 1. 11a. Descomposición del oleaje incidente, Fuente: (De la Peña, 2007)

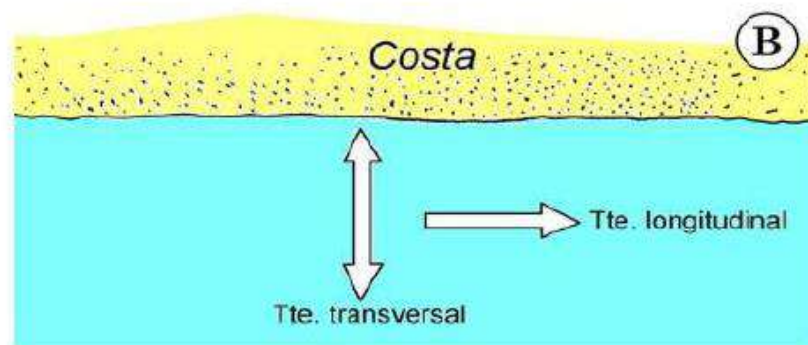


Figura. 1.11b. Tipo de transporte sólido litoral, Fuente: (De la Peña, 2007)

El transporte litoral longitudinal de sedimentos en una playa obliga a que la cantidad de material entrante en el tramo de playa sea igual a la que sale de ella para que sea estable. Si no es igual, esto puede ser debido a la acumulación (playa en aumento) o a la erosión de sedimentos (playa en retroceso).

A lo largo del tiempo la dirección de incidencia del oleaje va cambiando, variando el sentido del transporte; pudiendo ir en uno u otro sentido paralelo a la costa (Figura 1.12). Se conoce como transporte longitudinal bruto (Ql, Bruto) a la cantidad total de material transportado en ambas direcciones, esto es a la suma en valor absoluto del material transportado en uno y otro sentido. Y se denomina transporte longitudinal neto (Ql, Neto) a la diferencia de material transportado en uno y otro sentido. El primero (Ql, Bruto) representa la cantidad total de material movido por el mar durante un determinado periodo de tiempo, independientemente de la dirección hacia donde lo haya llevado. Mientras que el segundo

(Q_l , Neto) representa el balance del material transportado a lo largo de la costa (Ovalle, 2012).

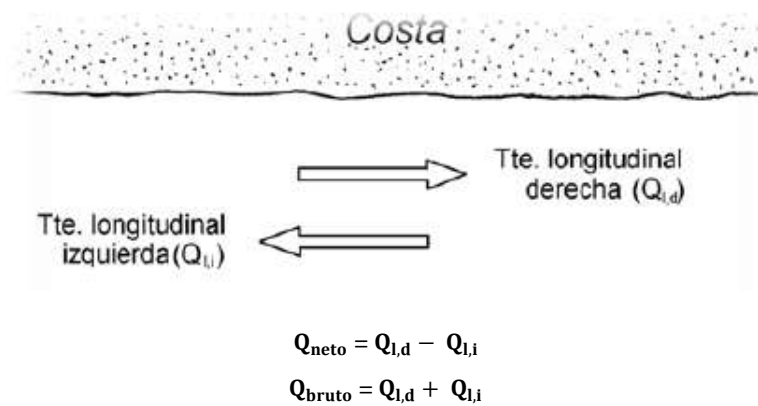


Figura 1. 12. Transporte sólido longitudinal, Fuente: (De la Peña, 2007).

El transporte litoral transversal se refiere al movimiento de sedimentos a lo largo del perfil de playa. Esto debido a que el oleaje también mueve los sedimentos en sentido transversal a la orilla, pudiendo emigrar desde el límite superior de la playa seca hasta el límite inferior de la playa sumergida, conociéndose a este límite con el nombre de profundidad de cierre; afectando este movimiento transversal a zonas más profundas y elevadas del perfil cuanto mayor sea la intensidad del oleaje incidente.

En cuanto a la forma en la que el transporte sólido litoral se realiza, podemos hablar de arrastre, saltación y suspensión:

-Transporte por fondo, que se produce cuando el flujo hidrodinámico en la zona de rompientes no es capaz de levantar, debido al peso de los granos, el sedimento, produciéndose el transporte por pequeñas saltaciones de las partículas o por arrastre sobre el fondo de las mismas.

-Transporte por suspensión, el cual se da en el caso de granos pequeños arrastrados inmersos en el flujo líquido del agua.

La acción del viento sobre la superficie del mar da lugar a que, por transferencia de energía entre el aire y el agua, se generen ondas, oleaje y diversos tipos de corrientes marinas. Además, es responsable del transporte eólico litoral, de levantar y mover los granos de arena de la superficie. El viento puede redistribuir el material sedimentario a lo largo del litoral, mover la arena hacia las marismas y llegar a colmarlas, perder arena de la playa transportándola al mar y formar cadenas dunares a lo largo de la costa.

Teniendo en cuenta el transporte sólido litoral y el transporte eólico litoral se puede plantear un balance sedimentario de las playas. Los componentes que aportan sedimentos al sistema son el transporte longitudinal entrante, el aporte fluvial, el transporte transversal hacia tierra, la erosión de acantilados, los depósitos biogénicos (Sedimento marino de material orgánico,

procedentes de conchas marinas principalmente), los depósitos hidrogénicos⁹, el transporte eólico hacia el mar y la alimentación artificial. Los componentes que extraen sedimentos del sistema son el transporte longitudinal saliente, el transporte transversal hacia el mar, el transporte eólico hacia tierra, los cañones submarinos, la disolución y la abrasión y la extracción de material por parte del hombre.

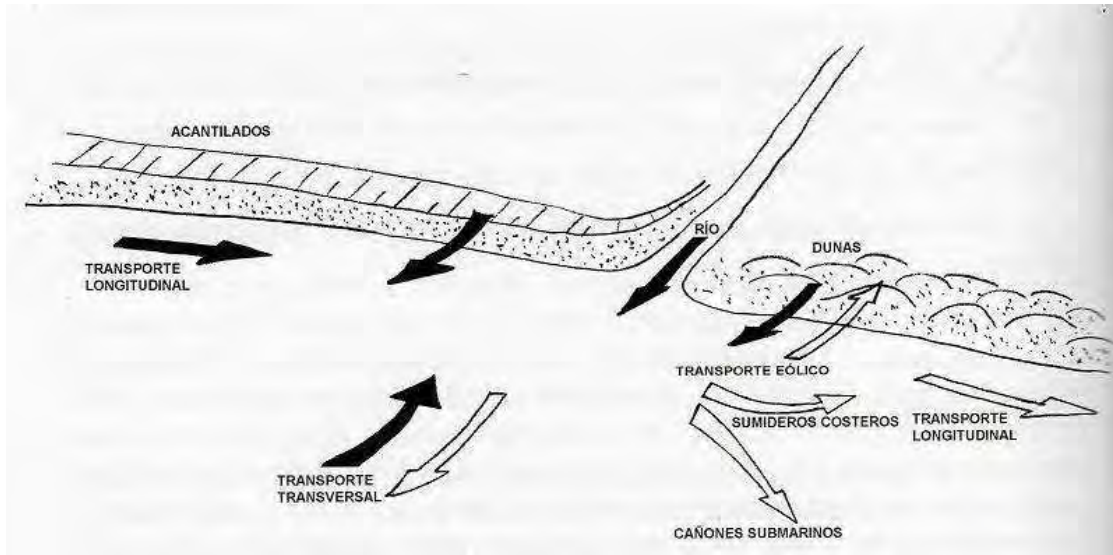


Figura 1. 13. Balance sedimentario de una playa¹⁰, Fuente: De la Peña, (2007).

1.2.2. Ciclos de una playa

El perfil de una playa varía en función del estado del mar, existiendo tiempos de bonanza (baja energía del oleaje) y periodos donde se producen temporales (alta energía del oleaje).

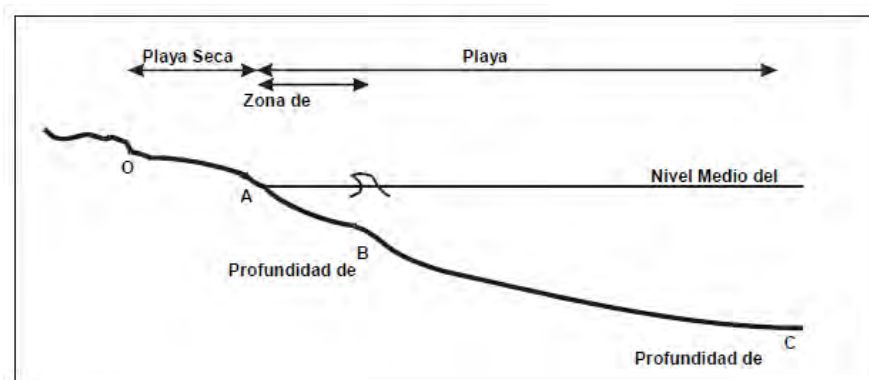


Figura 1. 14. Perfil tipo de una playa¹¹, Fuente: Escuela Técnica superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.

⁹ Oolites que precipitan directamente del agua marina. Los Oolites son rocas sedimentarias formadas de ooides, granos esféricos compuestos de capas concéntricas.

¹⁰ Las entradas de sedimentos se representan con una flecha negra y las pérdidas con una flecha blanca.

¹¹ Zona O-A, denominada playa seca. Zona A-C, denominada playa sumergida y subdividida en: Zona A-B: Zona de rompientes o Surf Zone y Zona B-C: Definida entre el punto de rotura y la denominada profundidad de cierre o punto neutro.

En condiciones de baja energía del oleaje, o de bonanza, el perfil de playa es más abrupto, con pendientes más fuertes, y la gran parte del sedimento se acumula en la llamada playa seca, o zona emergida, alcanzando la playa su mayor anchura; se tiende a pensar muy frecuentemente que ésta es la anchura normal de la playa y no, como es en realidad, la máxima en un periodo de bonanza, pero no su única anchura natural.

En periodos donde se producen temporales, u oleajes con cierta intensidad, el perfil de playa se hace más tendido, y los sedimentos, por la acción del transporte litoral transversal, emigran a zonas más profundas del perfil, pudiendo formar barras que provocan que la rotura del oleaje sea más lejana a la costa, protegiendo a ésta de inundaciones. En esta situación la línea de orilla retrocede y la anchura de playa seca es menor, y no por ello se ha perdido sedimento, sino que está en otra zona de la playa¹².

1.2.3. Unidades fisiográficas

El transporte de sedimentos no es un fenómeno continuo a lo largo de la costa, sino que sufre variaciones en magnitud y dirección debido a elementos naturales, como los accidentes geográficos, o artificiales, como los puertos. Estas barreras pueden bloquear parcial o totalmente el transporte longitudinal de sedimentos. Los accidentes que pueden actuar como barreras totales se pueden clasificar en dos:

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

Existen tramos de costa con características homogéneas en su forma y en su interacción con los fenómenos de la dinámica litoral. Esto debido a que una playa cualquiera no es un elemento aislado en el territorio, sino que forma parte de una franja de costa en la que cualquier cambio en la dinámica litoral en un punto, afecta al resto con mayor o menor importancia. Por lo tanto, la playa se encuentra inmersa por una unidad mayor denominada sistema litoral.

Es necesario entonces para poder identificar, evaluar y formular los distintos fenómenos que constituyen la dinámica litoral, definir estas áreas de estudio, las cuales son tramos de costa "homogéneas" conocidas con el nombre de unidades fisiográficas. Se denomina unidad fisiográfica independiente a aquella porción o tramo de costa donde discurre continuamente el transporte sólido litoral longitudinal; esto es, el tramo de costa comprendido entre dos barreras totales al paso de sedimentos (Tinoco, 2015).

El sistema litoral, y su unidad fisiográfica, se puede zonificar, dividiendo su costa en tramos que tienen básicamente las mismas características respecto a la dinámica litoral, actuando y reaccionando, por tanto, de manera similar cada zona.

1.3. Generalidades de la erosión costera

1.3.1. Definición de erosión costera

La erosión costera se define como el retroceso progresivo de la línea de costa cuyas causas pueden ser de origen natural así como también antropogénicas. Entre las causas naturales se encuentra: La interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y con la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa, y entre las causas antropogénicas a las inducidas por el hombre cuando actúa sobre

¹² Directrices sobre actuaciones en playas, Ministerio del Medio Ambiente, España. (2008).

el medio natural, como es la construcción de infraestructura sobre las dunas costeras (Manrique S., 2012).

La erosión costera es el avance del mar sobre la tierra, medido en un periodo de tiempo suficientemente amplio para eliminar las fluctuaciones del clima, de los temporales y de los procesos sedimentarios a nivel local (EuroSION, 2005). Es decir si existe una constancia en el tiempo de este retroceso, habría que analizar si ese estado es realmente erosivo ya que pudiera suceder que el sedimento de la playa que antes estaba en su zona seca, se haya movido a la zona sumergida, o que exista un desequilibrio sedimentario a lo largo de todo el sistema litoral. Por lo que solamente se puede afirmar que existe erosión de una costa cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento.

1.3.2. Causas naturales y causas antrópicas de la erosión costera

La erosión costera resulta de la combinación de varios factores, tanto de origen natural como humano, que operan a diferente escala.

Los factores naturales más importantes que ocasionan erosión en las zonas costeras son: el viento y los temporales, las corrientes litorales, el aumento relativo del nivel del mar (como resultado del cambio climático a nivel mundial), así como los procesos en relieves costeros. Dentro los factores antrópicos que producen erosión costera se encuentran: la ocupación de las zonas costeras debido a que los asentamientos pueden alterar los depósitos de arena ocasionando pérdidas de material requerido para nutrir de sedimentos las playas, la construcción de obras fijas en zonas intermareales, playas y dunas que alteran los procesos naturales de transporte litoral arenoso, el incremento de la variación del nivel del agua causa cambios en el perfil litoral; a su vez, la concentración de energía de oleaje sobre las playas provocada por la construcción de paredes verticales en la zona activa de las mismas ocasionando una disipación forzada por parte de los sedimentos que se encuentran frente a la estructura (Chico y Yina, 2014).

La línea de la costa se ha modificado a lo largo de los años principalmente por factores naturales, los cuales siempre han actuado sobre ella originando su variación. Este hecho ha sido tomado en consideración al interactuar con las actividades humanas y las construcciones en localidades costeras (urbanización de la costa), las cuales se han visto afectadas por la denominada erosión costera. En los resultados del estudio EuroSION del año 2005, se concluye que la urbanización de la costa es uno de los principales factores antrópicos de erosión costera y en muchas zonas, los efectos combinados de la erosión costera, la construcción de infraestructuras y la implantación obras de defensa rígidas reducen la anchura de la franja litoral. La disminución de los sedimentos costeros y la reducción de espacio de la zona costera activa provocan una situación de “estrés costero¹³”.

La erosión producida por el hombre es directa cuando existe alguna degradación sobre la morfología natural; e indirecta cuando una acción producida por el mismo altera algún parámetro que, si bien no se percibe en el momento, producirá una modificación a futuro (Marcomini y López, 2007).

Entre los factores de erosión directa se han registrado los siguientes:

-Explotación de arena en zonas de playa con fines constructivos o de relleno

¹³ Este fenómeno se observa cuando no se permite la adaptación natural de llanuras costeras o zonas intermareales ante tormentas o mareas, y esto debido a las construcciones rígidas (urbanizaciones, defensas, etc).

- Depredación y degradación de dunas costeras
- Trazado de avenidas costaneras perpendiculares a la línea de costa
- Modificaciones en el escurrimiento superficial
- Evacuación de excedentes pluviales a la zona de playa
- Circulación de vehículos en la zona de playa y dunas.

Mientras que las causas de erosión indirecta son:

- Interrupción de la dinámica litoral por construcción de puertos, escolleras, espigones, muelles, forestación y urbanización de campos de dunas interiores
- Implantación de especies foráneas en el cordón de dunas costeras
- Generación de barreras eólicas
- Edificación en sectores cercanos a la playa
- Construcción de balnearios sobre la playa



Figura 1. 15a. Solución con enrocado de piedra deficiente, Colán, Piura-Perú



Figura 1. 16b. Uso de mampostería de piedra, Colán, Piura-Perú

La presente investigación tiene como zona de estudio la playa La Esmeralda de Colán, ubicada en el departamento de Piura en el norte del Perú. Las construcciones y sus defensas en esta playa se han visto afectadas en los últimos años por la erosión del mar. Debido a que en su mayoría las defensas construidas en esta playa para resistir la fuerza del oleaje son defensas rígidas como mampostería y enrocados de piedra, tal y como se observa en las fotografías de la primera fila del balneario en la figura 1.15a y 1.15b, esto podría constituir una posible causa o un factor contribuyente a la erosión costera, siendo conveniente la evaluación de alternativas consideradas como flexibles o blandas. La presente tesis tiene como objetivo principal el describir el procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles como protección costera en la playa de Colán, método que representa una alternativa flexible, que entre unas de sus ventajas permite sustituir materiales convencionales para el control de la erosión como la roca y el concreto, utilizando los sedimentos propios del lugar (arena) como material de relleno de los geotextiles.

La protección costera contra la erosión se puede realizar con distintos métodos, los cuales se detallan en el segundo capítulo, que muestra las estructuras de protección costera convencionales, así como también la aplicación de geosintéticos para el control de la erosión.

1.3.3. Evaluación de la erosión: Tiempo y espacio

El estudio de la erosión se define por tres elementos básicos: el balance sedimentario, que nos dirá a dónde va el sedimento; la forma de medir la erosión; y cómo debe estudiarse y las medidas que deben tomarse.

La erosión puede evaluarse en dos aspectos¹⁴:

1.- En el tiempo:

a.- Cíclica

Se debe básicamente a los dos estados extremos de una playa: bonanza y temporal, que corresponden a los estados cíclicos de la playa que varían de acuerdo a las condiciones de la energía del oleaje. Como se ha explicado en la sección 1.2.2, en condiciones de baja energía del oleaje o bonanza, gran parte del sedimento se acumula en la llamada playa seca, o zona emergida, alcanzando la playa su mayor anchura, la cual se tiende a pensar frecuentemente que esta es su anchura normal, como es en realidad, la máxima en un periodo de bonanza, pero no su única anchura natural. En condiciones de oleaje de cierta intensidad, los sedimentos, por acción del transporte litoral transversal, emigran a zonas más profundas del perfil de playa, en esta situación la línea de orilla retrocede y la anchura de playa seca es menor, y no por ello se ha perdido sedimento, sino que está en otra zona de la playa. Estos dos estados, bonanza y temporal, coexisten cíclicamente en el tiempo.

b.- Onda erosiva

Es un fenómeno que se produce en largas alineaciones de playa cuando, normalmente por falta o reducción drástica de la fuente de alimentación del transporte sólido litoral, el tramo comienza a erosionarse por un extremo, no notándolo el resto de la playa; existiendo un punto donde no hay ni avance ni retroceso, a partir de ese punto, la playa se comporta como si no hubiera ocurrido nada. Transcurrido un tiempo ese punto que separa la zona erosionada de la que ni siquiera se ha enterado, va avanzando; llamando a ese avance en el tramo en erosión como ‘onda erosiva’.

¹⁴ Diagnóstico de la erosión en la zona del Caribe colombiano. INVEMAR, 2008.

La explicación de cómo un tramo de playa no se entera de lo que le pasa al resto es bien sencilla: la pérdida de aporte de la fuente, la suple la propia playa en su extremo más cercano a ella, por lo que le llega al resto de la playa la cantidad de material suficiente; pero ese tramo que suple a la fuente se va agotando y transmitiendo a su aledaño esa descompensación, necesitando de nuevos aportes que los realiza el tramo aledaño, y así sucesivamente.

c.- Continua o constante

Cuando la playa no es de gran longitud, o existe un importante transporte transversal neto hacia el mar, entonces la línea de orilla erosionada va incrementándose, produciéndose una erosión continua y constante, pudiéndose valorar en el número de metros de disminución de anchura de playa seca al año.

2.- En el espacio:

Desde este punto de vista se pueden considerar dos tipos de erosiones: Generalizada en todo el sistema litoral, y parcial de un tramo de costa.

a.- Generalizada (sistema litoral):

Se produce cuando todo un tramo de costa, amplio y que ocupa todo o prácticamente todo el sistema litoral, se encuentra en erosión. Esta erosión puede ser debida fundamentalmente a tres causas:

- Falta de sedimento
- Alteraciones del medio
- Cambio en los agentes

b.- Parcial:

La erosión que se produce solamente afecta a una zona de la playa, no transmitiéndose al resto, considerándose ello como una erosión parcial, aunque, a veces, ésta indica el inicio de una erosión generalizada, no siendo más que una fase inicial de ella; por tanto, la erosión parcial puede ser de dos tipos:

1.- Desequilibrio del sistema litoral

- Cambio en la morfología
 - a.- Barreras transporte longitudinal
 - b.- Barreras transporte transversal
- Cambio de los agentes
- Incidentes climáticos

2.- Inicio de erosión generalizada

- Falta de sedimento
- Alteraciones del medio
- Cambio en los agentes

Capítulo 2

Estructuras de defensa costera

La protección costera es una actividad que el hombre se vio en la necesidad de realizar y tomar en consideración debido a la influencia de la erosión del mar en las actividades y construcciones sobre las localidades costeras. Las estructuras de protección costera representan el conjunto de obras implementadas por el hombre para la defensa y la estabilización de la línea de la costa en un determinado tramo del litoral, esta función se puede realizar de muy diversas maneras y con distintos métodos.

En el presente capítulo se presentarán los distintos métodos de protección convencionales que se utilizan con el fin de prevenir o controlar la erosión costera, resumiendo sus características y funciones. Se hará énfasis, para los fines de la presente tesis, en el uso de los geosintéticos y específicamente en las aplicaciones de los geotextiles como alternativa flexible en el control de la erosión.

2.1. Clasificación de obras de defensa

La clasificación de las obras de defensa de la costa se puede realizar basándose en distintos criterios, la clasificación que se detalla a continuación es distinguiendo las obras en defensas duras y blandas. La principal función de los métodos «duros» (espigones, diques, muros de contención, etc.) consiste en proteger de los peligros inmediatos y en establecer la línea de la costa. Los métodos «blandos» están pensados para «trabajar con la naturaleza» integrando la dinámica natural del litoral y la movilidad de la línea de costa (abastecimiento de la playa con sedimentos, restauración dunar, etc.

La reversibilidad de una construcción permite, asimismo, diferenciar las soluciones «blandas» de las soluciones «duras». De hecho, una técnica «blanda» (aplicada a una pequeña superficie) constituye una técnica fácilmente reversible (con pocas repercusiones) a diferencia de las grandes construcciones, que desestabilizan el entorno además de suponer un coste muy elevado en el caso de eliminación (diques, por ejemplo) (ANCORIM, 2010).

2.1.1. Defensas estructurales o duras

Son aquellas que contemplan la construcción de estructuras resistentes, cuya clasificación más usual en este tipo de estructuras suele ser en función de la situación relativa que se encuentra de la línea de la costa, pudiendo ser: defensas longitudinales, espigones, rompeolas y diques exentos. Estas estructuras pueden llegar a alterar fuertemente la dinámica litoral debido a que interrumpen o modifican el transporte sólido litoral.

2.1.1.1. Defensas longitudinales

Este tipo de obras se construyen en la propia línea de la costa o en la parte posterior de la playa, normalmente urbana o de urbanización. Suelen tener el doble objetivo de resistencia al oleaje y actuar como muro de soporte de los terrenos situados en el trasdós. Este tipo de obras pueden ser: muros, pantallas y revestimientos (Ovalle, 2012).

-Muros: Son estructuras robustas, estructuralmente pueden ser flexibles o rígidas. Y atendiendo a su forma en perfil pueden ser: verticales, en talud y con formas especiales (escalones, botaolas, etc.), esto depende del diseño y los requerimientos particulares.

Los muros rígidos, con materiales como piedra o concreto se han utilizado desde hace mucho tiempo como solución contra la erosión. 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 (Suarez Díaz, 2001).

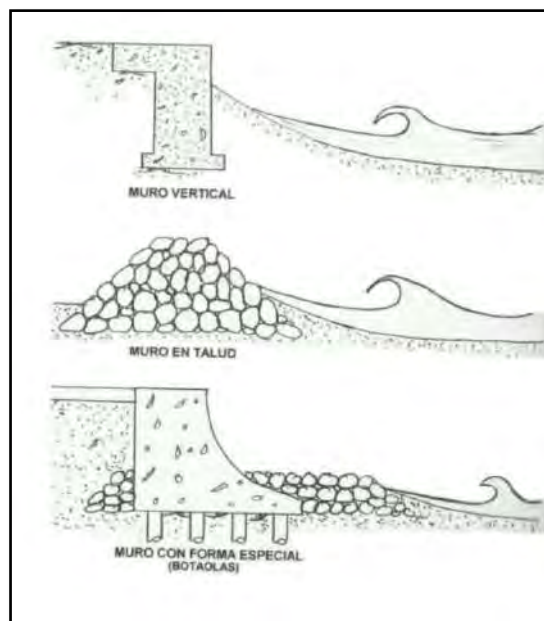


Figura 2. 1. Tipos de muros, Fuente: (Ovalle, 2012).

Los muros, responden a ciertas funciones como son:

-Defensa de costa

- a) Costa erosionada
- b) Defensa del trasdós costero para eventos extraordinarios

-De paseo marítimo

- a) Núcleos urbanos consolidados
- b) Núcleos turísticos

-Como muro de contención

- a) Plataforma de viviendas
- b) Plataforma de infraestructuras

En ocasiones el muro tiene varios usos. Es frecuente que los muros de paseos marítimos sirvan también como muros para infraestructuras o viviendas. Como se aprecia en la figura 2.2.



Figura 2. 2. Muro botaolas, paseo marítimo y carretera de acceso, Fuente: (Cimbra, 2010).

-Pantallas: Son estructuras más ligeras clavadas o pilotadas que forman un tablestacado para la retención del material del trasdós. Las pantallas a su vez pueden clasificarse en: pantallas tablestacadas (o pilotadas y ancladas) y de gravedad (Figura 2.3). Las pantallas tablestacadas se anclan para soportar el empuje de las tierras del trasdós. En ambos casos se debe poner un pie de protección que evite socavamientos, pues estos tipos de estructuras favorecen las reflexiones del oleaje. Según CERC (1995) estas estructuras requieren cuando son elementos tablestacados, de una buena penetración y es adecuado su uso cuando son necesarias alturas importantes. Cuando se opta por pantallas de gravedad, estas requieren una buena cimentación unida a una penetración suficiente (Como se cita en Ovalle, 2012, p. 36).

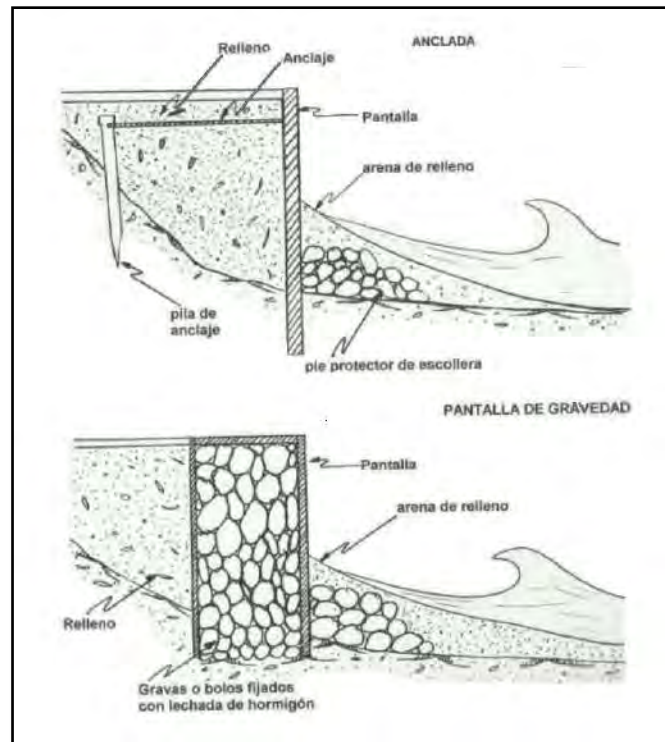


Figura 2. 3. Tipos de Pantallas, Fuente: (Ovalle, 2012)

-Revestimientos: Son una capa protectora superficial que se asienta sobre un terreno original, dando a este una mayor capacidad de resistencia frente a la acción externa de los agentes climáticos. Suelen ir asentados sobre terrenos en talud y para que sean estables deben ser construidos con pendientes suaves, pudiendo tomar una gran variedad de formas. Pueden clasificarse en: rígidos, construidos generalmente por losa de concreto; y flexibles construidos en escollera, bloques de concreto, elementos modulares, asfaltos, etc.

El comportamiento de un revestimiento depende de las características propias del revestimiento y del suelo de cimentación. Un revestimiento flexible permite cierto grado de movimiento o deformación debido al asentamiento del suelo del talud, manteniéndose el contacto permanente y continuo de la cimentación. Un revestimiento rígido no permite movimientos a excepción del asentamiento uniforme de toda la estructura.

Un revestimiento permeable permite el libre paso del agua, mientras uno impermeable no permite el flujo de agua a su través. El grado de permeabilidad es un indicativo de facilidad con que un flujo de agua puede atravesar el revestimiento.

El revestimiento puede ser sujeto a fuerzas de levantamiento por el movimiento del agua hacia arriba del talud. Las fuerzas de levantamiento dinámico pueden ocurrir como un resultado de las ondas generadas por el viento las cuales causan unos ascensos rápidos de la presión de poros y del nivel de agua junto al revestimiento. Cuando las fuerzas de levantamiento no son completamente contrarrestadas por el peso del revestimiento se produce un deslizamiento del revestimiento. Las fuerzas mayores de impacto de las olas ocurren cuando las olas rompen directamente sobre la estructura causando presiones muy altas de impacto de corta duración. El impacto de las ondas puede causar rotura del revestimiento si este es rígido. En el caso de revestimientos flexibles la continuidad de impactos en forma cíclica puede causar fatiga y deformación del revestimiento.

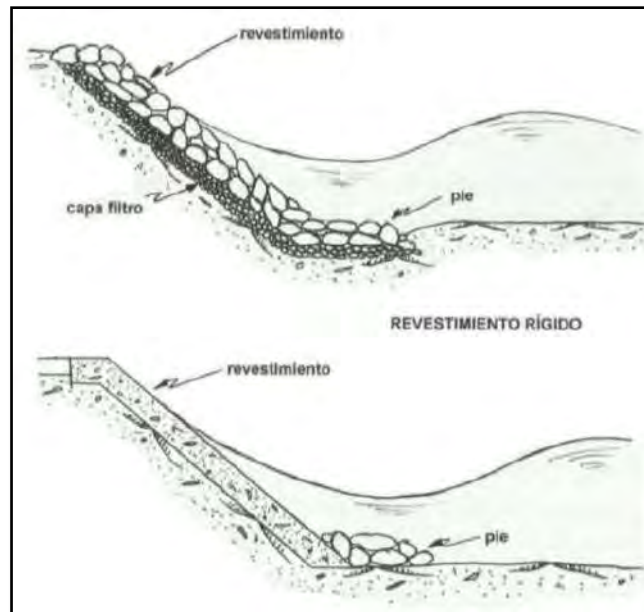


Figura 2. 4. Tipos de revestimiento, Fuente: (Ovalle, 2012)

2.1.1.2. Espigones

Los espigones son las estructuras más comunes en el manejo de las playas. La función de estas estructuras, que se sitúan perpendicularmente a la línea de la costa, es la de frenar o retener parcial o totalmente el movimiento de arenas a lo largo del litoral.

Los espigones interceptan el transporte sólido litoral longitudinal, acumulando sedimentos aguas arriba de la obra pero reduciendo el suministro de arenas aguas abajo. La presencia del espigón modifica la dirección de 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 (Suarez, 2001).



Figura 2. 5. Espigón en La Costa Verde, Miraflores-Perú, Fuente: <http://composicionurbana.blogspot.pe/2015/02/la-costa-verde-barrera-urbana-o-espacio.html>



Figura 2. 6. Espigones en piedra, Bocagrande-Cartagena, Fuente: (Suarez, 2001).

Los espigones generalmente son estructuras rectas, pero también se construyen curvos, en L o en forma de T. Se pueden clasificar de acuerdo a su sección transversal en espigones en talud y espigones verticales. Se aprecia en la tabla 2.1 un resumen de las ventajas y desventajas en el empleo de espigones contra la erosión.

Tabla 2. 1. Ventajas y desventajas de los espigones

Ventajas	Desventajas
1. Los espigones son efectivos para controlar la erosión debida al transporte de sedimentos a lo largo de la orilla	1. Los espigones no son efectivos para impedir la perdida de arena hacia el fondo del mar
2. Se tiene mucha información sobre el comportamiento de los espigones en variadas condiciones ambientales	2. Los espigones pueden generar erosión en las playas vecinas al impedir el paso de sedimentos a lo largo de la orilla.
3. Los espigones se construyen desde la playa hacia el mar, siendo relativamente económica su construcción	3. En los espigones se generan corrientes fuertes de agua a lo largo de sus flancos produciéndose perdida de arena hacia el fondo del mar
4. Los espigones no cambian las condiciones de la zona de rompimiento de las olas. La altura de las olas después de contruidos los espigones prácticamente no cambia	4. Los espigones no cambian las condiciones de la zona de rompimiento de las olas. La altura de las olas después de contruidos 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 contruidos para ajustarlos a los efectos generados.	

Fuente: (U.S. Army Corps of Engineers).

2.1.1.3. Diques exentos o rompeolas

Estas estructuras se construyen mar adentro, paralelamente a la línea de la costa y su función es interceptar las olas antes de que lleguen a la orilla, disminuyendo las fuerzas de las olas que llegan a la playa. El oleaje se difracta en los extremos de la estructura, cambiando su dirección de propagación y su altura. Los diques exentos interrumpen el transporte sólido litoral, tanto el longitudinal como sobre todo el transversal, y actúan como sumideros de material.

El dique retiene a ambos lados la mayoría de los sedimentos transportados, provocando la generación de un hemitómbolo o de un tómbolo dependiendo de la distancia relativa de la obra. El resultado es una playa con una serie de salientes hacia el mar localizados frente a los rompeolas.



Figura 2. 7. Rompeolas y formación de tómbolos Bibione (Italia), Fuente:
<https://sites.google.com/site/sistemaslitorales/diagnosi/destruccio/rigidizacion-de-playas>

2.1.2. Defensas no estructurales o blandas

Son aquellas que buscan el aprovechamiento de los recursos naturales existentes en los lugares que requieren ser intervenidos o estabilizados debido al proceso de erosión. Están pensados para trabajar con la naturaleza integrando la dinámica natural del litoral y la movilidad de la línea de costa.

Entre las principales se encuentran los arrecifes artificiales, el drenaje de playas, relleno de playas, regeneración de dunas, *by-pass* de arena, las cuales se encuentran explicadas de forma general en la tabla 2.2.

Tabla 2. 2. Resumen de métodos de defensa blandas

Método de defensa	Función
Arrecifes artificiales	Absorben la energía de las olas lo cual se constituye como una defensa y a su vez proporciona un hábitat natural para la diversidad biológica marina.
Drenaje de playas	Disminuye el volumen de agua superficial incidente en la infiltración de agua en la playa y así disminuir el movimiento de sedimentos hacia el mar.
Relleno de playas	Consiste en el aumento artificial del volumen de arena mediante el suministro externo de la misma en áreas que se desean proteger.
Regeneración de dunas	Pretende reducir la velocidad del viento para propiciar la acumulación de arena en la zona supramareal mediante cerca, geotextiles o planta.
By-pass de arena	Consiste en tomar arena de una zona de acumulación aguas arriba de una estructura con el fin de depositarla de manera artificial, aguas debajo de la misma.

Fuente: (Chico & Tapias, 2012).







2.2. Geosintéticos

Los geosintéticos son productos de la ingeniería, fabricados con polímeros como el polipropileno, el poliéster, el nylon y el polietileno, presentándose en forma de filtro, manto o lámina. El uso de los geosintéticos se ha ido incrementando a lo largo de los años y en todo el mundo, con aplicaciones en distintos campos de acción como son: obras viales, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, etc.

Los tipos de geosintéticos más comunes utilizados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes, geocompuestos y mantos para control de erosión derivados de la unión de las características y cualidades de cada uno de los anteriores (Manual de Geosintéticos Pavco, 2012).

1. Geotextiles
2. Geomallas
3. Georedes
4. Geomenbranas
5. Mantos para el control de la erosión

Tabla 2. 3. Clasificación de geosintéticos

<p>1. Geotextiles Textiles permeables o redes de material plástico utilizadas en contacto con el suelo o la roca. Los geotextiles son utilizados como separadores entre capas de suelo, como refuerzo o como filtro.</p>	
<p>2. Geomallas Mallas plásticas con orificios de gran tamaño, los cuales se utilizan generalmente como refuerzo del suelo, pero también se les usa como separadores entre capas de materiales gruesos.</p>	
<p>3. Geocompuestos Un geocompuesto de drenaje consiste en la combinación de geotextil y geored, combinando las cualidades más sobresalientes de cada material, de tal manera que se resuelva en forma óptima la captación y conducción de fluidos</p>	
<p>4. Georedes Especialmente diseñado para la conducción de fluidos, el cual es fabricado con un material resistente a los factores térmicos, químicos y biológicos presentes en el suelo.</p>	
<p>5. Geomembranas Las geomembranas, son láminas poliméricas impermeables, utilizadas como barrera de líquidos y sólidos. Cuya función es la de revestir canales, lagunas, depósitos de agua y controlan la erosión.</p>	
<p>6. Mantos para control de erosión Son esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantizan la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación.</p>	

Fuente: (Manual de diseño de geosintéticos PAVCO, 2012), (Suarez, 2001), Modificado por Autor.

Para los propósitos de esta tesis, el geosintético sobre el cual es necesario profundizar es el geotextil y sus aplicaciones en la ingeniería, especialmente su uso en protecciones costeras y control de la erosión.

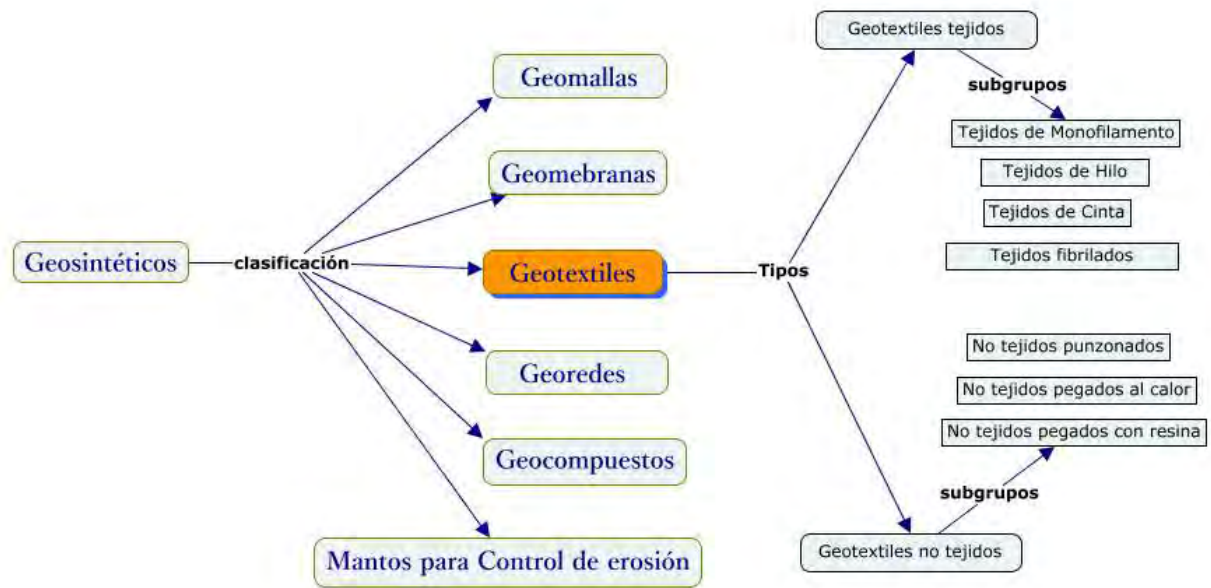


Figura 2. 8. Clasificación de geosintéticos y tipos de geotextil, Fuente: (Suarez, 2001), Modificado por Autor.

2.2.1. Geotextiles tejidos y no tejidos

2.2.1.1. Geotextiles tejidos

son materiales fabricados de forma entrelazada, normalmente en ángulo recto, dos o más conjunto de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos, es decir, se tejen tanto en sentido longitudinal como transversal mediante la ejecución de un procedimiento textil.

Los geotextiles pueden dividirse en cinco subgrupos, de acuerdo a la fibra que se usa para su fabricación (Suarez, 2001).

a) Geotextiles tejidos de monofilamento

Estos consisten en monofilamentos en las dos direcciones. Los monofilamentos son de sección circular o elíptica.

b) Tejidos de hilo

Consisten en hilos de multifilamentos torsionados en la típica estructura de un hilo. Son tejidos en las dos direcciones y se observa que los hilos se aplanan ligeramente en los puntos de entrelace.

c) Tejidos de cinta

Consisten en cintas planas tejidas en las dos direcciones. El ancho de las cintas varía entre 1.5 y 4.0 mm.

d) Tejidos fibrilados

Consisten en hilos fibrilados de secciones aproximadamente elípticas o rectangulares. El proceso de fibrilado rompe las cintas en hilos fibrosos, pero los hilos se mantienen interconectados uno al otro en varios puntos a lo largo de su longitud.

2.2.1.2. Geotextiles tejidos

Son construidos por filamentos de polímeros colocados en forma desordenada y unidos utilizando calor, resinas o punzado con alfileres. Dependiendo del sistema de pegado pueden dividirse en 3 subgrupos (Suarez, 2001).

a) No tejidos punzonados

En este método de unión el geotextil es punzonado por miles de alfileres sobre una placa perforada. Este geotextil se deforma fácilmente y se conforma bien a las irregularidades del suelo.

b) No tejidos pegados al calor

Este método de pegado se basa en el principio que las fibras termoplásticas se ablandan con el calor. Cuando están calientes se les coloca una presión por medio de rodillos para que las fibras se adhieran en sus puntos de contacto. Este es un geotextil plano y compacto con menos flexibilidad pero mejor resistencia a la abrasión.

c) No tejidos pegados con resina

Esto se logra impregnando las fibras con una resina o goma. Después del curado del pegante, se logran uniones muy sólidas.

2.2.1.3. Usos y aplicaciones

El uso de los geotextiles tejidos y no tejidos en los diferentes campos de aplicación pueden definirse mediante las funciones que van a desempeñar. En la mayoría de las aplicaciones el geotextil puede cumplir simultáneamente varias funciones, pero siempre habrá una principal que determinará el geotextil a utilizar.

En el cuadro 2.2 podemos observar las funciones más importantes en la aplicación de geotextiles, entre ellas: Separación, refuerzo, drenaje, filtro, protección, impermeabilización, etc.

Tabla 2. 4. Funciones y aplicaciones de los geotextiles

Función	Descripción
Separación	Separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades geomecánicas (granulometría, densidad, capacidad, etc.) evitando permanentemente la mezcla del material.
Refuerzo	Se aprovecha el comportamiento a tracción del geotextil para trabajar como complemento de las propiedades mecánicas del suelo, con el fin de controlar los esfuerzos transmitidos tanto en la fase de construcción como en la de servicio de las estructuras.
Drenaje	Consiste en la captación y conducción de fluidos y gases en el plano del geotextil.
Filtro	Esta función impide el paso a través del geotextil de determinadas partículas de terreno (según sea el tamaño de dichas partículas y el del poro del geotextil) sin impedir el paso de fluidos o gases.
Protección	Previene o limita un posible deterioro en un sistema geotécnico.

Fuente: (Suarez, 2001), Modificado por Autor.

2.2.2. Contenedores de arena a base de geotextiles para protección costera

El uso de geotextiles como protección costera, específicamente el concepto de los contenedores de arena (*Geotextil Sand Containers, GSG*), surge a razón de la búsqueda de soluciones de protección que impliquen menores costos y sean obras cuyo proceso constructivo sea sencillo. Inicialmente los contenedores fueron empleados para obras de protección de costas temporales debido a los percances que presentaron las primeras estructuras hechas para largo plazo, a partir de esto se han desarrollado mejoras en aspectos como la resistencia a largo plazo, tiempo de vida útil, mecanismos de degradación e identificación de los problemas relacionados con la estabilidad hidráulica frente a tormentas marinas.

El diseño y la construcción de contenedores a base de arena se ha ido incrementando en los últimos años debido a su facilidad de implementación (colocación y llenado), su economía y su afinidad con el medio ambiente, considerados como alternativas de defensas “blandas”. Las soluciones más usadas para controlar la erosión son la construcción de diques de contención, rompeolas o espigones; las cuales son posibles de construir utilizando geotextiles como contenedores de arena. Las formas de estos contenedores a base de geotextiles pueden variar, desde la más conocida, los geotubos, hasta las geobolsas y geocontenedores, que varían, además, en su forma de colocarse: in-situ o transportados por barcas hasta el lugar de colocación.

Los geotubos son hechos en fábrica en forma cilíndrica con ambos extremos cerrados, diseñados con uno o más orificios de llenado situados en la parte superior del cilindro, de tal manera que el material pueda ser bombeado o colocado hidráulicamente en el tubo geotextil. Los diámetros de fabricación de los geotubos varían de 1 a 10 m, y su longitud oscila comúnmente entre 20 y 30 m, pero podría llegar a ser según el diseño hasta de 100 m. Estos geotubos se rellenan con una mezcla de arena y agua. Dado que el geotextil es permeable, va a retener la arena y va a permitir la salida del agua, con lo que, poco a poco el geotubo queda completamente lleno de arena compactada a valores mayores al 95% de su peso volumétrico seco máximo, PVS_M, dando con ello pesos volumétricos del orden de 2.2 ton/m³, que son del orden de un enrocamiento.

Los geocontenedores son parecidos a los geotubos convencionales, con la diferencia que están dimensionados para adaptarse a la barcaza de fondo (generalmente cilíndrica), en la cual se realiza su llenado, para después trasladarse a aguas profundas y soltarse. Presentan capacidades típicas que varían de 100 a 700 m³.



Figura 2. 9. Geotubos colocados paralelos a la línea de la costa, Fuente: http://www.evi.com.mx/evicom/prod_geotubo_marino_proteccion_costera.html

Las geobolsas son cosidas en fábrica con un extremo abierto, para que el cierre de las bolsas se realice en campo una vez completadas las operaciones de llenado del geotextil. Estas comúnmente tienen capacidades típicas que varían entre 0.05 a 5 m³, pero según el diseño y los requerimientos particulares del proyecto pueden alcanzar hasta los 13 m³. La forma de la bolsa puede ser de almohada, de caja o de colchón dependiendo de su aplicación.

En el caso particular de las geobolsas con volumen hasta de 5 m³, deben ser utilizadas para estructuras temporarias por su limitada estabilidad hidráulica, no debiéndose usar cuando el oleaje supere el metro de altura o cuando la velocidad resulte mayor a 1.5 m/s (Dal Farra, A y Rodríguez, C, 2003).

La presente tesis está enfocada a dar solución al problema de protección de zonas costeras a un centro comercial ubicado en el balneario de Colán, en el norte del Perú. Según las condiciones y los requerimientos particulares del proyecto, se utilizarán geobolsas con dimensiones de 2.45 m de ancho, 5 m de largo y 1 m de altura, con una capacidad de 13 m³. Estas dimensiones y capacidad de las geobolsas las convierte en estructuras de gran peso, las cuales no son fácilmente removidas por las fuerzas del oleaje y su flexibilidad les permite adaptarse a la socavación. Las geobolsas representan una aplicación muy útil en trabajos de protección de playas para controlar los problemas de erosión donde se requiere un tratamiento inmediato y de fácil instalación. Se observa en la figura 2.10 el revestimiento flexible con geobolsas colocado en el local comercial Costa Bonita ubicado en la playa de Colán.



Figura 2. 10. Vista frontal del revestimiento flexible con geobolsas, Colán-Piura, Fuente: Autor

Ventajas e inconvenientes en la utilización de geotextiles:

Los métodos blandos y duros se diferencian básicamente según los criterios de impacto sobre la dinámica sedimentaria natural y la reversibilidad de las construcciones. Estos criterios dependen propiamente de la elección de los materiales utilizados, de la flexibilidad de las construcciones, de su influencia espacial, del impacto visual, etc. El empleo de geotextiles

representa una alternativa de protección costera blanda cuyas ventajas e inconvenientes se presentan a continuación:

El impacto visual de las construcciones con geotextiles resulta a menudo menos agresivo que el de otras estructuras tipo espigón, rompeolas, etc., especialmente porque son recubiertos generalmente con arena. Cuando se camuflan y disponen en forma de masas, pueden utilizarse las bolsas para almacenar la arena, que sirve de anclaje (por ejemplo después de la regeneración artificial de una playa). Son actuaciones reversibles y la estructura de última generación es permeable, flexible, resistente a los rayos UVA y favorece el crecimiento de la vegetación. La ejecución de estas construcciones es rápida y resulta menos costosas que las grandes construcciones con materiales convencionales como piedra, concreto o acero. Además, afectan en escasa medida al ecosistema litoral. Una de sus principales ventajas es el método de construcción, resultando en un procedimiento sencillo, sin mano de obra ni equipo especializado y con distintas formas de llenado que facilitan su implementación, entre ellas: llenado manual, con maquinaria pesada o por bombeo del material.

Entre los inconvenientes o desventajas de estos sistemas es que la utilización de geosintéticos si bien pueden permitir la estabilización de los procesos costeros en una determinada playa pueden afectar las playas adyacentes trasladando la problemática.

Los geosintéticos pueden verse afectados por los prolongados períodos de exposición ante los rayos UV e interacción con fuerzas marinas. Según Corbella & Stretch (2012) la vida útil del geosintético se convierte en una incógnita por la cantidad de factores que inciden sobre el sistema, sin embargo se considera que la vida mínima para los geosintéticos es de 10 años (como se cita en Chico, L., Yina, T., 2014). El vandalismo se convierte en el factor más preocupante para la durabilidad de los geosintéticos, por lo cual se estudian opciones más resistentes ante los ataques con cuchillo o cualquier pieza que pueda ocasionar daño al geosintético.

2.2.3. Características y propiedades de los geotextiles para protección costera

Como se ha mencionado anteriormente existen dos tipos de geotextiles, los cuales pueden ser utilizados de acuerdo a sus propiedades para funciones y requerimientos particulares.

Tabla 2. 5. Rango de valores de propiedades representativas de los geotextiles

Geotextiles		Resistencia a la tensión (kN/m)	Máxima elongación %	Tamaño aparente de poros (mm)	Permeabilidad (l/m ² /seg.)	Peso unitario (gr/m ³)
Tejidos	Monofilamento	20-80	5-35	25-2000	25-2000	150-300
	De hilo	40-800	5-30	20-80	20-80	250-1300
	De cinta	8-90	15-20	5-15	5-15	100-250
No tejidos	Punzonado	7-90	50-80	0.02-0.15	25-200	150-2000
	Pegado al calor	3-25	20-60	0.01-0.35	25-150	70-350
	Pegado con resina	4-30	30-50	0.01-0.35	20-100	130-800

Fuente: (Suárez, 2001).

Se presentan a continuación algunas características señaladas por Ovalle (2012), con respecto a los geotextiles tejidos y no tejidos:

Los geotextiles no tejidos no poseen la resistencia para soportar esfuerzos tan grandes (a bajas deformaciones) como los que ameritan las obras portuarias y marítimas que, en muchos casos soportan además sobrecargas. La menor fuerza de tracción de los geotextiles no-tejidos comparado con los tejidos, representa una desventaja, si el contenedor tiene que adaptarse a tensiones muy grandes durante la instalación con lo cual los errores deben evitarse al máximo en esta etapa. Generalmente esta fuerza de tracción es menor una vez se hayan instalado y estén en operación.

La capacidad de elongación de los geotextiles no-tejidos presenta mayor flexibilidad referente a las deformaciones sin presentar posibles fallos, con lo cual compensa la desventaja descrita en torno a la fuerza de tracción. Esta propiedad es muy importante cuando el contenedor requiere adecuar su forma durante la instalación y la puesta en servicio, generando mayor adaptabilidad frente al desarrollo de una posible erosión.

En cuanto a la permeabilidad hidráulica, es muy importante cuando se encuentran sujetos al régimen de mareas. El agua debe drenar del contenedor lo suficientemente rápido como para evitar un exceso de presión acumulada y asegurar de esta manera la estabilidad integral del contenedor. Por lo tanto se requiere que el geotextil tenga una permeabilidad mucho mayor que el relleno. Alternativamente, los geotextiles pueden ser seleccionados bajo los criterios que normalmente se utilizan para un filtro. Los geotextiles no-tejidos tienen mayor permeabilidad y mayor capacidad para retener finos si se compara con los tejidos, pero debe aclararse que la permeabilidad está en función del grosor del geotextil utilizado y por tanto depende de la compresibilidad bajo tensiones normales.

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

La resistencia a la perforación es importante ante situaciones de vandalismo, presencia de hielo, presencias de madera o caídas de rocas durante la construcción.

El ángulo de fricción entre las bolsas de arena debe ser mayor con el fin de mejorar la estabilidad hidráulica contra las olas y la acción de las corrientes. Los geotextiles no-tejidos proporcionan mayor fricción.

La resistencia a la radiación ultravioleta (UV) ha sido uno de los temas que más ha ocasionado críticas a los geotextiles debido a la forma como afectan la vida útil de ellos. Las resinas, fibras e hilos usados en la fabricación de los geotextiles tejidos y no-tejidos, necesitan estabilizantes especiales con el fin de evitar el deterioro y garantizar su estabilidad por más de 50 años. En general al aumentar el grosor de las fibras, hilo y el peso del geotextil se aumenta la resistencia a la radiación UV.

Capítulo 3

Características de la zona costera del Perú

El Perú es uno de los países con mayor biodiversidad del mundo, y esto debido a las cuatro regiones naturales que lo conforman: La costa, la sierra, la selva y el mar del Perú. En la costa peruana se concentra más del 60% de la población y se realizan importantes actividades económicas como son la pesca marina y agricultura en el sector primario y el turismo en el sector terciario. La gran cantidad de población que alberga, ha generado una intensa actividad humana en esta franja de costa, lo cual ha hecho notorio el fenómeno de ‘erosión costera’ ya que afecta principalmente a las construcciones y a las actividades de la población. En este capítulo y para entender mejor las características de la costa peruana, se presenta una descripción de la geomorfología, fisiografía y características de la oceanografía costera, esto con el fin de tener una visión más amplia del medio donde se realizó la defensa costera de estudio en la presente tesis.

3.1. Geomorfología de la Costa

La costa peruana tiene una longitud de 3080 km y se encuentra constantemente erosionada por la fuerza de las olas del mar, una fuerza permanente que origina procesos de degradación (destrucción) y agregación (acumulación), así como también influyen en los procesos tectónicos.

Está constituida por una franja estrecha, mayormente desértica, que ocupa aproximadamente el 12% de la superficie del país y con un espacio variable, que alcanza como mayor amplitud los 200 km (Piura y Lambayeque) (Instituto Nacional de Defensa Civil, INDECI, 2014).

A lo largo del litoral existen diferentes geoformas como son:

- a) Bahías, que por sus aguas someras y corrientes marina débiles, son ideales para la instalación de puertos. Destacan: Sechura y Paita (Piura); El Ferrol y Samanco (Ancash); Callao y Miraflores en Lima; Pisco, San Nicolás y San Juan de Marcona (Ica).
- b) Ensenadas, como la de Chorrillos y la de Pucusana en Lima; y San Fernando en Ica.
- c) Penínsulas, tales como la Península de Paracas.
- d) Islas e Islotes, como Pachacamac e isla Asia en Lima; islas Chincha en Ica, islas Ballestas y San Gallán en Ica.
- e) Puntas, como Lobería en Lima, Pejerrey en Ica, Punta Coles en Moquegua.

3.2. La Bahía de Paita

Representa el área de estudio de la presente investigación y es considerada actualmente como uno de los ejes del desarrollo regional de Piura; su ubicación, extensión y características se detallan a continuación:



Figura 3. 1. Bahía de Paita, Fuente: (Correa et al, 2007).

3.2.1. Ubicación-Extensión

Se encuentra ubicada en el departamento de Piura, al norte del desierto de Sechura y al oeste de la ciudad de Piura. Comprende una extensión de aproximadamente 34 km, desde la península de Paita hasta la desembocadura del río Chira y comprende tres distritos litorales: Paita, Colán y Vichayal.

3.2.2. Características climáticas

El clima de Paita se podría caracterizar como árido y semi cálido. Las precipitaciones son escasas (menos de 200 mm al año), salvo cuando se produce el evento de El Niño, años en que las lluvias son abundantes y se activan todos los cursos de las quebradas secas originando inundaciones y acciones morfológicas de gran dinamismo. Con respecto a los valores de temperatura, se encontró que, las temperaturas medias anuales en el área varían entre 21.88 °C y 25.53 °C, arrojando un promedio anual de 23.15 °C. Así mismo, el comportamiento de la temperatura muestra como máximo valor medio mensual 27,7 °C y un mínimo de 19.4 °C, alcanzando las más altas temperaturas entre los meses de Enero y Abril. Se pone en evidencia que hay muy poca variación de temperatura entre los meses de mayor temperatura

media y los de menor temperatura media, lo cual es característico de las zonas cercanas a la costa por la influencia moderadora del mar y por estar entre ambos trópicos en que el sol pasa dos veces por año por la latitud del lugar (Municipalidad provincial de Paita, 2016). Los vientos que siguen una dirección al sur, tienen una velocidad promedio de 3 m/s. La dirección predominante del oleaje viene del sur y suroeste; sin embargo durante el verano se presentan también oleajes del noroeste y oeste, con mayor frecuencia durante el evento El Niño (Rondón, 2011).

Se caracteriza por ser una zona árida, y su área desértica origina un gradiente térmico significativo entre el continente y océano colindante, el cual ocasiona que el flujo del viento circule libremente, acelerándose superficialmente hacia mar afuera, razón justificable para que sus aguas sean tranquilas en todo el año (Correa et al, 2007).

Las mareas son del tipo semidiurno, con amplitudes promedio del orden de 1.16 m; las de sicigias alcanzan valores promedios del orden de los 1.49 m (Correa et al, 2007). Sin embargo, es necesario mencionar la línea de más alta marea. Esta es aquella línea definida por el máximo valor de altura de marea astronómica observada históricamente que en el puerto de Paita alcanza un valor de 2.20 m, según la Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV).

3.2.3. Relieve y geología

Paita es uno de los pocos espacios en el Perú donde la configuración del perfil costero ha permitido la existencia de playas de gran belleza, que se alternan con puertos abrigados en los que se desarrollan distintas actividades.

Partiendo desde el extremo norte del departamento, en el límite con Tumbes, se localiza Máncora, que es un balneario y al mismo tiempo caleta de pescadores, seguida del distrito de los Órganos y, 20 km al sur, la caleta de pescadores de Cabo Blanco, conocido mundialmente por su abundante fauna y aguas cristalinas de color azul especiales para la caza submarina. A partir de este punto el litoral sigue, en términos generales, una dirección norte sur y está compuesto por un sin número de bahías, entre las que destacan las de Lobitos, Talara y Negritos. Una saliente de tierra de 2 km da lugar a Punta Pariñas y 2 km más al sur aparece Punta Balcones, el punto extremo occidental del Perú y Sudamérica. El perfil costero orienta ahora hacia el sureste en un continuo de 40 km hasta llegar a la Bahía de Paita, la cual comprende tres distritos litorales, entre los cuales se encuentra la zona de estudio, Colán, una de las playas más turísticas del Perú.

3.2.4. Características socioeconómicas

La población comprendida en los distritos es predominantemente urbana, sobre todo en los distritos de Paita y Colán, ya que en el distrito de Vichayal —debido a que el río Chira se encuentra dentro de su jurisdicción— congrega población dedicada a actividades agrícolas. El mayor número de habitantes se encuentra en el distrito de Paita, porque debido su desarrollo en la actividad portuaria lo convierte en el foco de atracción de las personas. En cuanto a las actividades económicas, se puede señalar que la provincia de Paita cuenta con actividades portuarias en su terminal marítimo de Paita, donde existen plantas de transformación de pescado e infraestructura de apoyo a la industria. Además cuenta con tierras bajo riego para los cultivos de maíz, algodón, frutales y leguminosos (Rondón, 2011).

3.3. Fisiografía de la costa

En la costa desértica peruana discurren 53 ríos pertenecientes a la vertiente occidental de los Andes, que dan lugar a los valles fluviales en forma de V, formados por los ríos, valles aluvionales (en forma de V, formados por aluviones), valles glaciales (en forma de U,

formados por los glaciares), los cuales forman terrazas (superficiales horizontales que representan antiguos lechos de ríos, de aluviones y de glaciares). En esas terrazas fluviales, fluviales-aluvionales y glaciares se ubican las ciudades y también, sirven para agricultura y ganadería.; gran parte de las carreteras pasan por esas terrazas (INDECI, 2014).

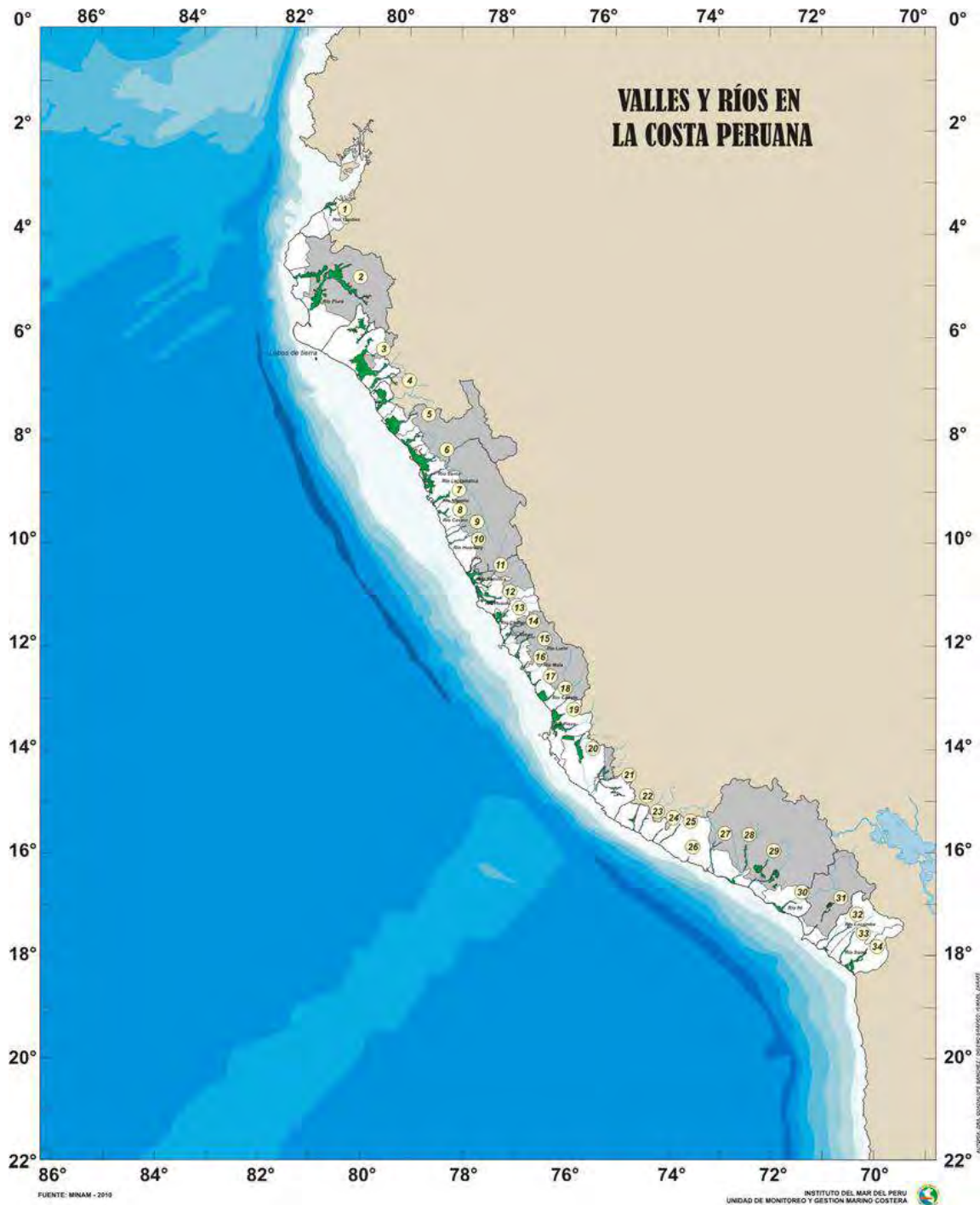


Figura 3. 2. Valles y ríos en la costa peruana, Fuente: (INDECI, 2014).

3.4. Características de la oceanografía costera

En las características oceanográficas del mar peruano es importante mencionar el sistema de corrientes que se presentan en él. Frente a la costa peruana existen cinco corrientes marinas y por eso se habla de un sistema de corrientes:

- a) La corriente peruana o de Humboldt: Se desplaza paralela a la costa, de sur a norte. Se caracteriza por sus bajas temperaturas que, en promedio, están entre los 13° y 14° en invierno (mayo-octubre) y entre 15 y 17° C en verano (noviembre - abril).
- b) La corriente oceánica: Se desplaza al oeste de la anterior y llega hasta unos 700 metros de profundidad. Sus aguas son más cálidas, por encima de los 21° C. Por alteraciones en la Corriente Peruana, sus aguas pueden llegar hasta la costa.
- c) La contracorriente del Perú: Se desplaza en sentido contrario (norte-sur) de las dos anteriores y por debajo de ellas. Es la responsable principal del afloramiento de aguas profundas y se manifiesta entre los 40 y los 400 m de profundidad. Separa la Corriente Peruana de la Oceánica.
- d) La corriente submarina o subsuperficial del Perú: Se manifiesta entre los 100 y los 200 metros de profundidad, y se desplaza en dirección norte-sur, muy pegada a la costa.
- e) La corriente del niño: Denominada así porque se manifiesta a partir de Navidad, es parte de la Contracorriente Ecuatorial, de aguas cálidas, que al llegar frente a las costas de América del Sur (0° a 10° L. N.) se divide en dos ramales, uno se dirige hacia el norte y el otro hacia el sur.

Las diversas corrientes transportan masas de agua de características distintas:

-La masa de agua antártico intermedia se encuentra entre 600 y 1 000 metros de profundidad. Su origen es antártico, lo que determina su baja temperatura (4 a 7° C).

-La masa de agua subtropical superficial está situada al oeste y es de alta salinidad a causa de la evaporación producida por los vientos alisios, y de temperatura variable, pero cálida.

-La masa de agua tropical superficial está situada al norte y es de temperatura cálida (superior a 25° C), por su cercanía la línea ecuatorial.

-La masa de aguas costeras frías es una mezcla de agua subtropical superficial y de aguas de afloramiento.

Este intrincado sistema de corrientes y de masas de agua es responsable de las características tan especiales del mar peruano, y de los fenómenos que ocurren en él.

El Fenómeno del Niño

El Niño/Oscilación Sur (ENOS) es una interacción océano – atmósfera que se presenta en la región del océano Pacífico tropical. El Niño corresponde a la componente oceánica y la Oscilación Sur a la componente atmosférica.

ENOS conjuga dos procesos, tanto oceánico (El Niño, EN) como atmosférico (Oscilación del Sur) y se expresa mediante una fase cálida (EN) y una fase fría (La Niña, LN).

EN se caracteriza por un debilitamiento a gran escala de los vientos alisios y el calentamiento de las capas superficiales del océano ecuatorial en los sectores oriental y central del Pacífico. Estos cambios se asocian al debilitamiento de la presión atmosférica en el Pacífico oriental y son acompañados por el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical, que junto al incremento de la temperatura del mar genera una mayor concentración de humedad y mayores precipitaciones en la costa norte, alcanzando valores récord durante eventos extraordinarios, como EN 1982-1983 y EN 1997-1998. LN, por el contrario, se

caracteriza por temperaturas del agua de mar más frías que lo normal en el sector oriental del océano Pacífico (IMARPE, 2013).

Durante el siglo XX y hasta antes de El Niño extraordinario de 1997/98, ocurrieron unos 25 episodios El Niño de diferente intensidad; las referencias bibliográficas indican que los eventos El Niño de 1891 y 1925, fueron eventos de intensidad comparable a los de 1982/83 y 1997/98. (SENAMHI, 2014).

En lo que va del siglo XXI, de acuerdo al índice ONI¹⁵ (Oceanic Niño Index) de la NOAA, se han presentado cuatro episodios El Niño en el Pacífico central; dos de intensidad débil (años 2004/05 y 2006/07) y dos de intensidad moderada (años 2002/03 y 2009/10).

¹⁵ La Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica - NOAA, utiliza el Índice Oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés) para la identificación de El Niño y La Niña.

Capítulo 4

Zona de estudio: Playa La Esmeralda de Colán

4.1. Ubicación geográfica

El distrito de Colán es uno de los siete que conforman la provincia de Paita, ubicada en el departamento de Piura bajo la administración del Gobierno regional de Piura, en el norte del Perú. Colán fue creado mediante un decreto sin número que fuera emitido el 8 de octubre de 1840. Este distrito presenta una superficie total de 158.84 km², y se ubica sobre los 45 msnm.

El distrito de Colán comprende dos localidades: El balneario La Esmeralda de Colán y el centro poblado San Lucas de Colán. Se extiende a lo largo de 7 km en el cordón litoral del Pacífico, hacia el sur del distrito del mismo nombre, en la Provincia de Paita y Región Piura.

La zona de balneario se localiza entre las coordenadas UTM:

-Por el Norte: 491889.84 m E; 9448387.90 m N.

-Por el Sur: 493259.21 m E; 9442322.31 m N.

La zona central del pueblo de San Lucas de Colán se localiza en las coordenadas UTM:

- 493553.93 m E y 9446785.20 m N.

El distrito de Col limita con:

-Norte : con el distrito de Vichayal.

-Sur : con el distrito de Paita y el Océano Pacífico.

-Este : con los distritos de Arenal y Paita.

-Oeste : con el Océano Pacífico



Figura 4. 1. Distrito de Colán-Región Piura, Fuente: (INDECI, 2014)

4.2. Descripción física de la zona

4.2.1. Clima

La zona de Colán se encuentra clasificada como AS (Tropical con verano seco), según la clasificación de Koppen Geiger. Es decir, posee un clima tropical con escasa presencia de lluvias. Se estima también que la temperatura media anual en Colán se encuentra a 23.0 °C. La estación meteorológica más cercana al ámbito de estudio es la estación de “La Esperanza”, localizada aproximadamente a 13 km al norte de San Lucas de Colán. Esta estación registra una temperatura media anual de 23,3 °C, con media máxima de 27,9 °C y media mínima de 19,9 °C.

Durante el periodo 2000 a 2011 la Estación “La Esperanza” presentó valores de precipitación total anual promedio de 46,8 mm. Destaca la presencia de años húmedos como el 2008, donde se alcanzó una precipitación total de 150,1 mm y en el año 2010 se registró 115,0mm. Por el contrario, en este periodo también se han presentado años extremadamente secos como el 2005 que sólo se registró una precipitación total anual de 3,4 mm. Los meses de mayor precipitación registrada son febrero y marzo, siendo los meses de diciembre, enero y abril donde se registran niveles de precipitación bajo. El resto del año la ausencia de precipitación es casi total.

4.2.2. Geomorfología

-Borde Litoral: Se refiere al área que comprende la tierra firme adyacente a la línea de alta y baja marea, formando una franja delgada, cuyo ancho es variable a lo largo de la zona de estudio. Varía entre 0 a 50 m. y se encuentra limitada por el cordón litoral

-Cordón Litoral: Se refiere al área que comprende la tierra firme adyacente a la línea de alta y baja marea, formando una franja delgada, cuyo ancho es variable a lo largo de la zona de estudio. Varía entre 0 a 50 m. y se encuentra limitada por el cordón litoral

-Pampa Costanera: Es el área que se extiende entre el cordón litoral y la zona de acantilados. Hacia el sur presenta poca extensión, limitado por la presencia de la zona de acantilados (100 m -aprox.) ensanchándose hacia el norte, donde alcanza una amplitud máxima (1600 m - aprox.); hecho que dificulta la evacuación en caso de alerta de tsunami. Se observa afloramiento de aguas salobres que contribuyen a la formación de sal. Presenta una pendiente muy baja, casi plana.

-Acantilado: Esta unidad geomorfológica se prolonga desde la bahía de Paita, perdiéndose hacia el norte debido a la erosión. En la zona de estudio, esta unidad geomorfológica aflora al extremo sur del balneario generando la disminución de la zona de playa. Posteriormente se ubica de manera paralela al borde litoral, presentando una altura variable entre 45 y 60 metros. Su presencia enmarca todo el paisaje del balneario y el centro poblado.

4.2.3. Geología

El área de estudio se localiza entre los cuadrángulos 10a (Talara) y 11a (Paita), cuya información geológica ha sido generada a una escala 1/100 000. Esto permite tener un acercamiento general de los principales rasgos geológicos del ámbito de estudio, estos muestran que existe una presencia geológica propia de los sistemas terciario y cuaternario (INDECI, 2014).

Tabla 4. 1. Eras geológicas del área de estudio

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	CODIFICACIÓN
CENOZOICA	Cuaternario	Reciente	Depósitos en playa	Qr-ml
	Cuaternario	Reciente	Depósitos lacustres	Qr-l
	Cuaternario	Reciente	Depósitos eólico	Qr-e
	Cuaternario	Pleistoceno	Tablazo de Lobito	Qp-tl
	Terciario	Mioceno	Fam. Miramar	Te-m
	Terciario	Eoceno	Fam. Chira	Te-ch

Fuente: INDECI, (2014).

Cuaternario Reciente

-Depósitos en playa (Qr-ml)

Se refiere a la acumulación de arenas, limos y cantos en el borde del litoral. Son franjas angostas y comprende la zona de alta marea y los cordones litorales.

-Depósitos lacustres Salinas (Qr-l)

Se encuentra conformado por antiguas marismas que presentan estado de colmatación por presencia de arenas eólicas. En la superficie de estas arenas se presentan aguas salobres y costras de arena con caliche. En esta zona la comunidad realiza explotación de sal.

-Depósitos eólicos (Qr-e)

Se refiere a la acumulación de arena que ha sido acarreada por el viento; el acarreo de arena se observa principalmente en dirección SO a NE, debido a la presencia de los vientos.

Cuaternario Pleistoceno

-Tablazo de Lobito (Qp-tl)

Es la plataforma más baja, sobre la cual se encuentra el Centro Poblado de San Lucas de Colán. Es una secuencia conglomerádica, pero consolidada, se caracteriza por presentar rodados sub angulosos. Se observa también formas faunísticas no fosilizadas.

Terciario Eoceno

-Form. Miramar (Te-m)

Conglomerado constituido por areniscas arcósicas de grano fino, de color amarillo a ocre plomizo. Son poco compactas y en algunos niveles son arenas sin cohesión, deleznable y socavadas rápidamente por la erosión. La parte superior contiene microfósiles como braquiópodos y gasterópodos. Su sección típica se encuentra bajo los tablazos.

-Form. Chira (Te-ch)

En su parte inferior tiene presencia de lutitas bentónicas laminadas en capas muy delgadas. Presentan también areniscas intercaladas con lutitas micáceas. En la parte media de esta compuesta por areniscas de grano grueso y en la parte superior está compuesta por lutitas y limolitas, areniscas limolitas y tobas.

4.3. Situación actual de la playa

El balneario La Esmeralda de Colán es un balneario tradicional, caracterizado por sus casas emplazadas sobre piedras o pilotes. Se estima que actualmente existen alrededor de 800 viviendas localizadas en aproximadamente 132 manzanas distribuidas de manera lineal (figura 4.2).

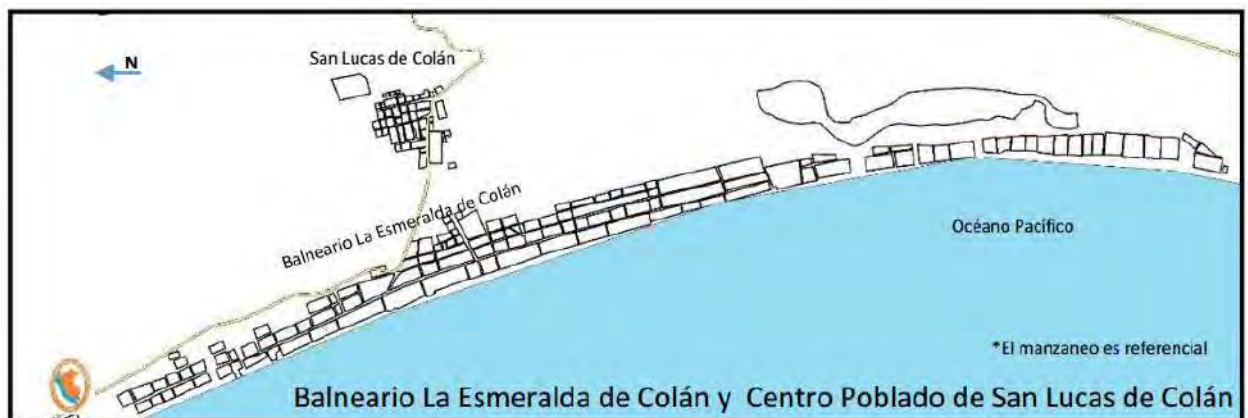


Figura 4. 2. Distribución lineal, manzaneo balneario Colán, Fuente: (INDECI, 2014).

No siendo el objetivo de la presente investigación el determinar el estado erosivo de la playa, se presentan los resultados del estudio del geógrafo Gustavo Rondón entre los años 1946-2007. En estos resultados se muestra el avance de la línea de la costa La Esmeralda de Colán y se visualiza su tendencia, lo que ayuda a determinar a grandes rasgos su situación actual.

Según el análisis sobre la evolución de la línea de la costa en el balneario Colán, desarrollada por Rondón; si vemos las líneas de costa de los años 1946 y 1960 nos damos cuenta de la ocurrencia de un fuerte proceso erosivo, que ha generado la reducción de la línea de costa. Posteriormente, luego del Fenómeno El niño de 1998, la línea de costa gana territorio sobre el mar; sin embargo el análisis de las líneas de costa 2003-2007 demuestra que se mantuvo el proceso erosivo y nuevamente se pierden tierras.

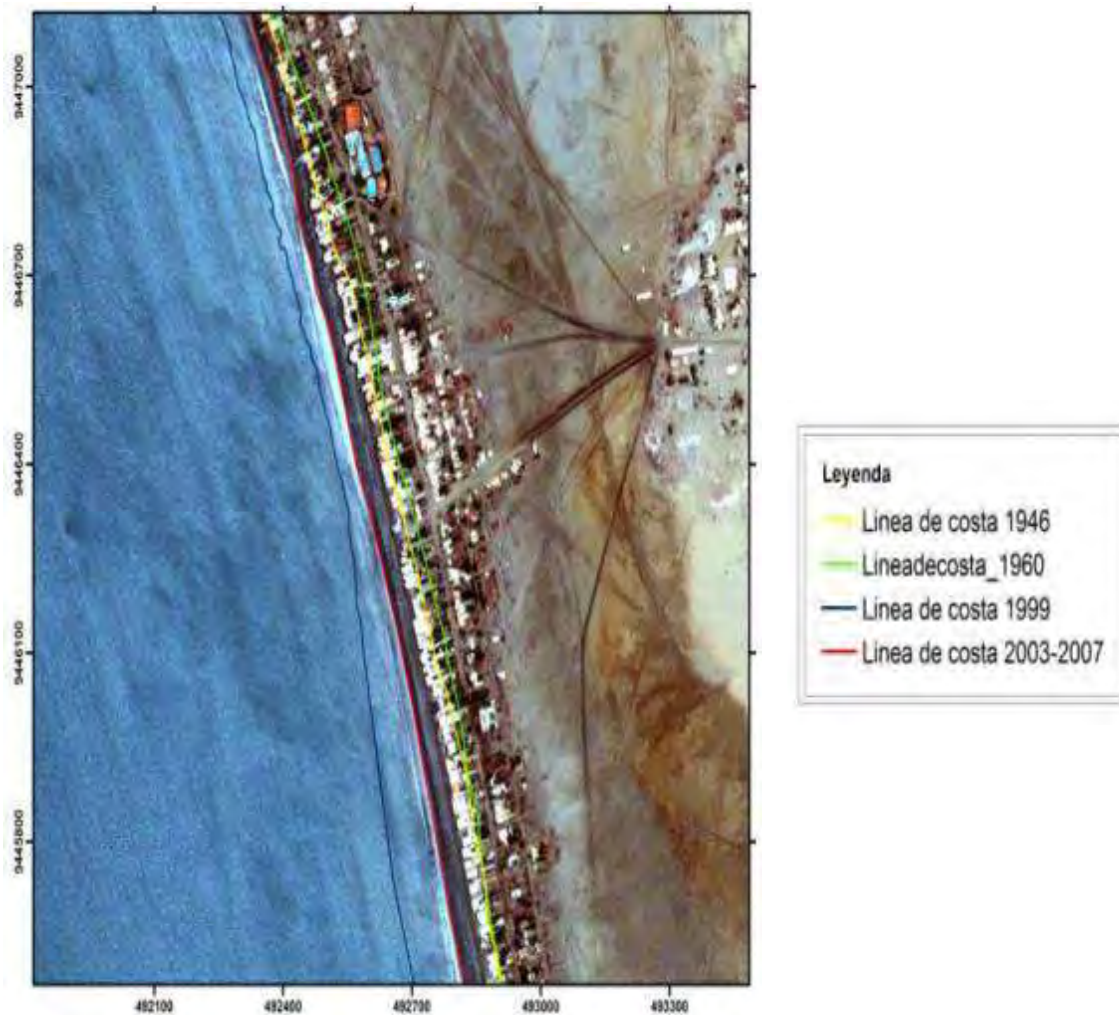


Figura 4. 3. Análisis evolución de la línea de la costa Balneario Colán, Fuente: (Rondón, 2011)

Se distingue dos sectores según su perfil: uno disipativo, cerca del Balneario de La Esmeralda y otro erosivo, en los sectores norte y sur del mismo balneario. Geomorfológicamente encontramos cordones litorales en la zona cercana a los acantilados y también en la zona cercana a la desembocadura del río Chira. Estos están fijados por vegetación, principalmente verdolaga. En la zona cercana al río Chira la acción eólica es intensa, desarrollándose campos de dunas inmediatamente después de los cordones litorales. La tendencia de la línea de costa es sedimentaria pues presenta un índice de 1.13 metros/año (Rondón, 2011).

Debido los problemas de erosión costera presentados en el balneario, las viviendas ubicadas frente el mar cuentan en su mayoría con defensas rígidas como enrocados o mampostería de piedra.

4.4 Planteamiento de defensa en local comercial Costa Bonita-Colán

4.4.1. Ubicación

El local comercial Costa Bonita se encuentra ubicado en Balneario de Colán zona sur, formando parte de la primera línea de casas paralelas a la línea de la costa frente al mar.



Figura 4. 4. Ubicación en planta Local comercial Costa Bonita, Colán Sur, Fuente: Elaboración propia.

Este local comercial está dedicado a la recreación, gastronomía, hotelería y turismo. Cuenta con una longitud paralela a la línea de la costa de 140 m.

4.4.2. Antecedentes de erosión

El local comercial Costa Bonita desde su inauguración en el año 2003 hasta inicios del 2016 contaba en su estructura con una defensa rígida hecha con mampostería de piedra contra la fuerza del oleaje. Esta estructura fue destruida en el año 2016 por el efecto erosivo del mar, el cual originó socavación en la estructura y el colapso de la misma.



Figura 4. 5. Local comercial Costa Bonita, antes de erosión



Figura 4. 6. Local comercial Costa Bonita, después de la erosión.

El local perdió 5.5 metros de estructura por efectos de erosión. Pudiéndose establecer una línea de erosión, ubicada por lo tanto 5.5 metros atrás del antiguo límite de la estructura, como se aprecia en la figura 4.7.



Figura 4. 7. Antiguo límite de estructura y línea de erosión, Fuente: Elaboración propia

4.4.3. Alternativa de defensa usando geotextiles tipo geobolsas

Se requiere entonces una alternativa que ayude a controlar o mitigar los efectos erosivos causados por el oleaje. Las razones que llevaron a la elección de la alternativa del uso de geosintéticos fueron principalmente:

- Debido a que la defensa que anteriormente presentaba el local era una defensa rígida a base de mampostería de piedra la cual fue destruida, se optó por una alternativa flexible que permita reacomodarse en su estructura ante cualquier eventualidad (asentamientos o socavaciones a un nivel moderado).
- El material a utilizar, ya que si bien es cierto las geobolsas tienen una vida útil menor que otras estructuras, son generalmente menos costosas al utilizar la arena de playa como material básico.
- La facilidad constructiva, debido a que las geobolsas son diseñadas para ser llenadas in-situ y sin equipo especializado para su colocación e implementación.
- Antecedentes en el uso de estos sistemas con geobolsas para protecciones contra la erosión, en su mayoría en ríos en el Perú. Entre ellas: “Defensas ribereñas del río Acre” Dpto. Madre de Dios (2008), “Protección de la ribera de la margen izquierda del río Tumbes” Dpto. Tumbes (2015), “Refuerzo de colchón antisocavante del dique de las defensas ribereñas del río Zarumilla” Frontera Perú-Ecuador (2012), entre muchas otras las cuales han tenido un comportamiento eficaz a lo largo de su vida útil y han respondido satisfactoriamente las solicitudes a las que han sido expuestas.

Actualmente en el todo el mundo y en el Perú se han venido utilizando satisfactoriamente la tecnología de geotextiles como protección costera, sin embargo ninguna ha sido evaluada en el ámbito local como lo planteado en esta tesis.

La alternativa de solución adecuada a los requerimientos particulares del proyecto ha sido evaluada y diseñada por la empresa ANDEX-Perú, especialista en geosintéticos. Los geotextiles se utilizarán como contenedores de arena (geobolsas), las cuales se colocarán conformando un revestimiento flexible a lo largo de los 140 m longitudinales del local (Ver Fig4.8). Este sistema constructivo cuenta con un proceso de instalación sencillo (llenado y colocación de geobolsas), utilizando los sedimentos propios de la playa para el llenado de las mismas. Las geobolsas, cuyas dimensiones son: 5 metros longitudinales x 2.45 metros

de ancho x 1 metro de altura, son colocadas una sobre otra hasta alcanzar la altura de diseño del revestimiento, como se explica más adelante, en el capítulo 5, que abarca el diseño de la estructura de

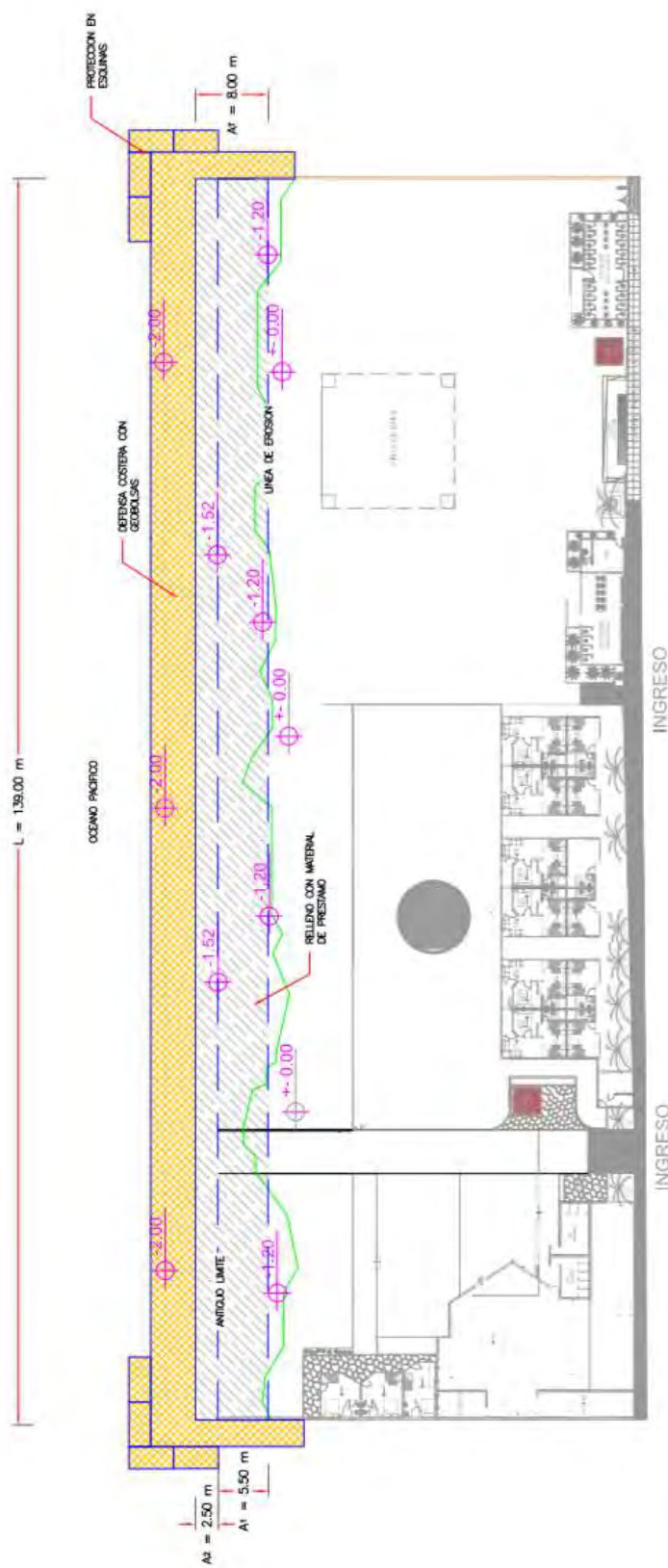


Figura 4. 8. Vista en planta de la defensa costera con geotextiles

Capítulo 5

Diseño de sistema de defensa flexible con geobolsas

Antes de diseñar un sistema de estabilización es muy importante tener conocimiento de cómo ocurren los mecanismos de erosión y de las fuerzas que actúan sobre las estructuras de protección. El conocimiento inadecuado de los procesos de erosión activos y potenciales en un sitio específico pueden conducir a la falla del sistema de protección (Suárez, 2001).

El diseño y la propuesta de solución presentada para la defensa costera en el local comercial Costa Bonita fue realizado por la empresa ANDEX Perú, especialista en la tecnología de geosintéticos, y con experiencia en la utilización de geotextiles en proyectos de defensas costeras y ribereñas en el Perú.

5.1. Procedimiento de diseño

El diseño de un sistema de geoestructuras tiene dos componentes:

5.1.1. Diseño de la solución hidráulica

Generalmente los proyectos de geoestructuras, se originan a partir de un diseño hidráulico que indica el dimensionamiento de los elementos a incluir dentro del sistema a utilizar en el proyecto.

El diseño hidráulico deberá ser establecido por un ingeniero especialista en hidráulica, ajustándose a las condiciones de la corriente y la aplicación definitiva del proyecto.

Fórmulas utilizadas

Uno de los parámetros básicos a diseñar es el espesor del manto protector. Para el cálculo del espesor de revestimiento se presenta uno de los sistemas universalmente utilizado: las ecuaciones de Pilarczyk.

-Ecuaciones de Pilarczyk

a) Para fuerzas producidas por las olas

Pilarczyk (2001) desarrolló las siguientes ecuaciones representan el equilibrio entre las fuerzas de levantamiento causadas por el oleaje y las fuerzas de gravedad:

$$\left(\frac{H_s}{\Delta D}\right) = \frac{F}{\xi_{op}^{2/3}} \quad \text{Con un valor máximo de: } \left(\frac{H_s}{\Delta D}\right)_{cr} = 0.8$$

Donde:

- H_s : Altura crítica de la onda que causa el levantamiento del revestimiento en metros.
- D : Espesor del revestimiento (m) (puede asimilarse al valor de D50 para diseño de enrocados).
- F : Factor de estabilidad que depende del tipo de revestimiento.
- ξ : Parametro de Breaker¹⁶.
- Δ : Relación de densidades.

En las cuales la relación de densidades y el parámetro de Breaker quedan definidos como:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad ; \quad \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_s / L_{op}}} \quad ; \quad L_{op} = \frac{g}{2\pi} T_p^2$$

Donde:

- α : Angulo de pendiente del talud.
- ρ_s : Densidad del material del revestimiento.
- ρ_w : Densidad del agua.
- L_{op} : Longitud de onda de la ola pico (m).
- T_p : Período de la onda pico (s).

En la fórmula de Pilarczyk conociendo la altura máxima de onda, se puede calcular el espesor crítico del revestimiento.

¹⁶ También conocido como Número de Iribarren, es un parámetro adimensional utilizado para clasificar y modelar los distintos tipos de rompiente de olas.

b) Para fuerzas producidas por el flujo del agua

Para calcular las fuerzas generadas por el flujo tangencial de agua Pilarczyk (2001) desarrolló la siguiente expresión. Esta expresión es aplicable cuando se conoce la velocidad de flujo o puede calcularse razonablemente con precisión.

$$\Delta D = 0.035 \frac{\Phi}{\Psi} \frac{K_T K_h}{K_m} \frac{u_{cr}^2}{2g}$$

Donde:

- Δ : Densidad relativa.
- D : Espesor característico (m).
- Φ : Parámetro de estabilidad.
- Ψ : Parámetro crítico de Shields.
- K_T : Parámetro de turbulencia.
- K_h : Parámetro de profundidad.
- K_m : Parámetro de pendiente del talud.
- g : Aceleración de la gravedad. (9.81 m/seg²).
- U_{cr} : Velocidad crítica promedio (m/seg).

Ecuaciones para calcular el parámetro de Profundidad K_h :

Tabla 5. 1. Parámetro de profundidad K_h

Para perfil de velocidades bien desarrollado.	$K_h = \frac{2}{\left(\log\left(\frac{12h}{K_s}\right)\right)^2} - 1$
Para perfil de velocidades no desarrollado.	$K_h = \left(\frac{h}{k_s}\right)^{-0.2} - 2$
Para flujo muy rugoso ($h/k_s < 5$)	$K_h = 3$

Fuente: Pilarczyk, (2000).

Donde:

- h : Profundidad del agua (m).
- k_s : Rugosidad equivalente (m). Para riprap¹⁷ usualmente se toma igual a dos veces el diámetro de las piedras y para bolsas, igual al espesor de las bolsas. Para otros revestimientos k_s es aproximadamente 0.05 metros para superficies lisas.

Ecuaciones para calcular el parámetro de profundidad K_m :

¹⁷ Término utilizado para describir el enrocado de gradación amplia. Protección de bloques de roca sueltos sobre la superficie del talud.

$$K_m = \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \theta}\right)^2}$$

Donde:

- α : Pendiente del talud de la ribera.
 θ : Angulo de fricción del material del revestimiento.

c) Estabilidad contra olas

Una vez definidos los criterios de estabilidad (Wouters, 1995), las fórmulas recomendadas para olas regulares e irregulares son las siguientes:

$$\left(\frac{H_s}{\Delta D}\right)_{cr} \leq \frac{3.5}{\sqrt{\xi_0}} \quad , \text{ para olas regulares.}$$

$$\left(\frac{H_s}{\Delta D}\right)_{cr} \leq 1.4 \quad , \text{ para olas irregulares, talud 1:3 o menos.}$$

5.1.2. Diseño interno de la geoestructura

Cuando se realiza el llenado de la geoestructura, se generan esfuerzos circunferenciales y axiales en el recubrimiento de la geoestructura que deberán ser analizados para determinar la competencia del geotextil en la aplicación.

El geotextil para la conformación de la geoestructura deberá estar en capacidad de:

- Presentar una permeabilidad suficiente para aliviar el exceso de presión de agua.
- Retener el material de llenado.
- Resistir las presiones de llenado.
- Resistir las fuerzas de abrasión durante las operaciones de llenado.
- Sobrevivir a los procesos de instalación.
- Resistencia al punzonamiento y al rasgado.

5.2. Datos considerados

Dentro de los parámetros relacionados con la ola se encuentran: La altura de la ola al pie de la estructura y comúnmente es representada por la altura de la ola significativa (H_s), que se toma como un tercio del promedio de los registros más altos del oleaje ($H_{s_{1/3}}$), el periodo de la ola, el ángulo con que se aproxima a la costa y la profundidad del agua en el sitio. (Moreno E., 2012). Estos parámetros fueron asumidos por la empresa en base a su experiencia en obras similares y fueron:

- Altura de ola (H_s): 1.50 m
- Periodo de onda pico (T_p): 10.0 a 15.0 s
- Tirante de agua cerca al perímetro: 2.0 m
- Velocidad a lo largo del perímetro: 1.5 m/s

5.3. Diseño geométrico de la geoestructura flexible

De acuerdo a los requerimientos del proyecto y en base al procedimiento de diseño realizado:

La empresa encargada del diseño, propone el uso de un sistema de geobolsas prismáticas rectangulares con capacidades de 12.5 m^3 , rellenas de material arenoso (arena de playa) con menos del 15% en finos.

Tabla 5. 2. Geometría de diseño de geobolsas

Forma	Dimensiones (m)			Peso(ton)
	L	A	H	
Prismática rectangular	5	2.45	1	22

Fuente: Elaboración propia

El perfil de la geoestructura lo conforman dos geobolsas en el primer nivel, una geobolsa en el segundo nivel y una geobolsa en el tercer nivel. La altura de diseño del revestimiento es de tres metros y su talud es de 1:1. Así mismo el diseño contempla la colocación de un manto de protección a base de geotextil no tejido siguiendo el contorno de las geobolsas a lo largo de la altura de diseño, con el fin de evitar el lavado de finos del talud de protección. El perfil esquemático del revestimiento se aprecia en la figura 5.1.

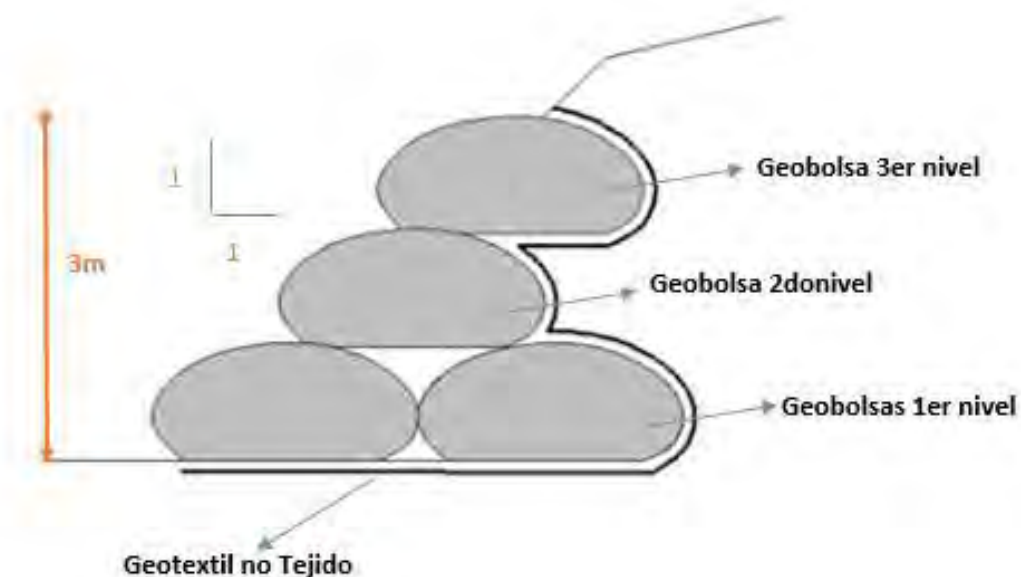


Figura 5. 1. Esquema de perfil de la estructura de geobolsas, Fuente: Elaboración propia.

El revestimiento con geobolsas será colocado a lo largo de los 139 metros longitudinales del local, paralelos a la línea de la costa. Es importante señalar que el diseño del sistema flexible contempla la implementación de dos dados de protección en las esquinas del

local (refuerzo con geobolsas adicionales), esto debido a que una vez instalada la geoestructura, la fuerza erosiva del mar se intensifica en estas zonas. Este refuerzo consiste en la colocación de cuatro geobolsas (en forma de L) en planta y una altura de dos metros. Esto se aprecia en la figura 5.2 la cual muestra el detalle de la protección en los límites del local.

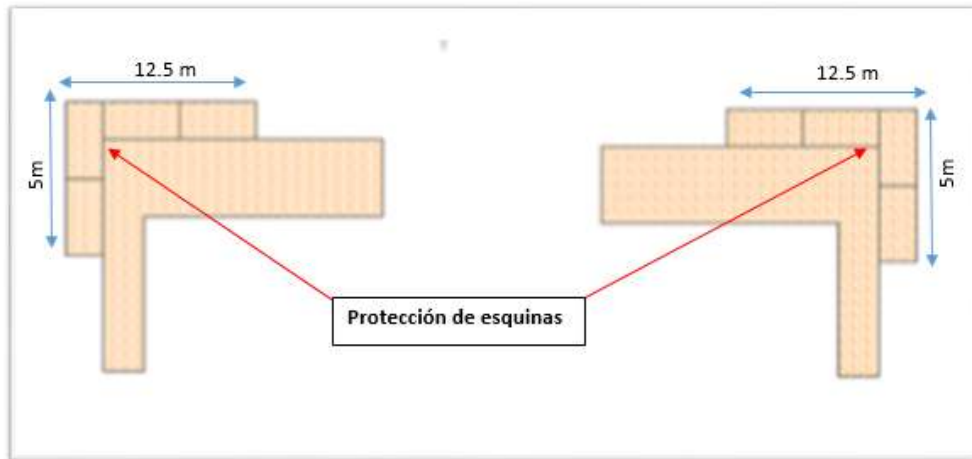


Figura 5. 2. Protección de esquinas del local (Vista Planta), Fuente: Elaboración propia.

La ubicación del eje central de la defensa con geobolsas –en planta- se encuentra ubicado a 8.5 m de la línea promedio de erosión. Esto podrá apreciarse detalladamente en los planos de diseño (planta y perfiles de la defensa) en el Anexo B.

5.4. Material de relleno de las geobolsas

Las geobolsas cuentan con propiedades de diseño que permiten la adecuada retención de finos. Con un tamaño de abertura aparente menor o igual a 0.075 mm, el material a utilizar debe contar con un porcentaje de finos menor al 15% con el fin de minimizar un proceso lento de consolidación del material dentro de la geobolsa.

El material de relleno de las geobolsas será arena de playa, extraída del mismo lugar de instalación, para este material se realizó un ensayo de granulometría clasificándolo de acuerdo al sistema SUCS de clasificación de suelos como arena pobremente gradada con 3.4 % de material que pasa el tamiz #200. En ensayo granulométrico se aprecia en la figura 5.3.

METODO DE ENSAYO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO

(NTP 339.128)

UBICACIÓN	: Local Costa Bonita-Colán
CALICATA	: C-1
MUESTRA	: M-1
MATERIAL	: ARENA

TAMICES ASTM	ABETURA (mm.)	PESO RETENIDO (gr.)	PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		
				RETENIDO (%)	QUE PASA (%)	PORCION DE FINOS	250.0	
3"	75						% HUMEDAD	-
2"	50						% GRAVA [N°4 < ϕ < 3"]	0.0
1 1/2"	37.5						% ARENA [N°200 < ϕ < 4"]	96.6
1"	25.0						FINOS [ϕ < N° 200]	3.4
3/4"	19.0						L.L. (%)	21
1/2"	12.5						L.P. (%)	0
3/8"	9.5						I.P. (%)	NP
1/4"	6.3						CLASIFIC. SUCS	SP
4	4.75	0.0	0.0	0.0	100.0		CLASIFIC. AASHTO	A-3(0)
10	2.00	0.1	0.0	0.0	100.0		D10	0.112 C _U
20	0.850	0.2	0.1	0.1	99.9		D30	0.225 C _C
40	0.425	64.0	25.6	25.7	74.3		D60	0.354
60	0.250	103.3	41.3	67.0	33		OBSERVACIONES:	
140	0.106	61.3	24.5	91.6	8.4		ARENA PROBEMENTE GRADADA	
200	0.075	12.7	5.1	96.6	3.4			
BANDEJA		8.4	3.4	100.0				

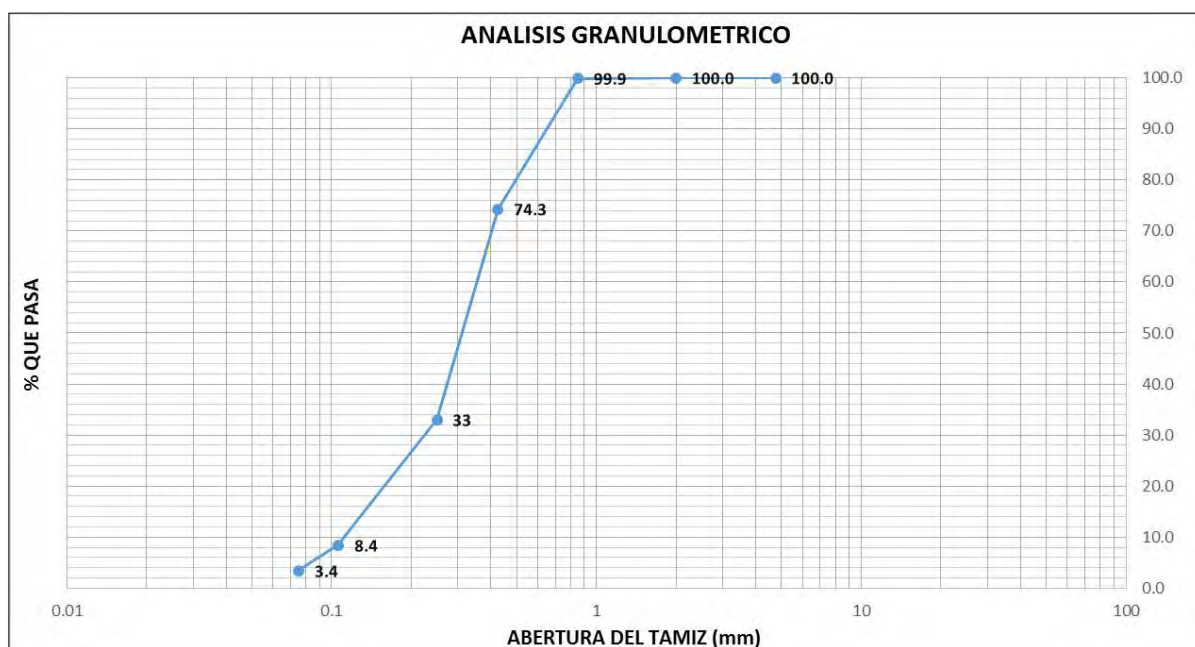


Figura 5. 3. Ensayo granulométrico del material

Capítulo 6

Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán-Piura.

6.1. Descripción general del sistema constructivo

Los geotextiles utilizados para la formación de geobolsas son un sistema de confinamiento de suelos (arena, arcilla, limos), cuyas aplicaciones en la ingeniería son las protecciones costeras, control de sedimentos, estabilización de taludes, etc. Este sistema permite reemplazar a métodos de defensa rígidos como la mampostería ordinaria, construida a base de piedra y mortero de cal o cemento, muros de contención a base de concreto armado, etc. Los cuales ante un comportamiento impredecible del mar (fenómeno del niño por ejemplo) o temporales, pueden colapsar debido a asentamientos en el suelo de fundación, socavaciones o fuerzas de impacto al romper las olas directamente en la estructura. Caso contrario la defensa a base de geotextiles al ser un sistema flexible permite el reacomodo de la estructura, evitando el colapso parcial o total de la misma.

Las características de las geobolsas como capacidad de almacenamiento, porosidad, resistencia, etc., son determinadas de acuerdo a la particularidad y requerimientos de cada proyecto. Para este proyecto el tipo de geobolsa a utilizar cuenta con las siguientes dimensiones: 5 metros longitudinales x 2.45 metros de ancho x 1 metro de altura. Es importante mencionar que debido a la geometría de las mismas, cada geobolsa alcanza un volumen de 12.25 m^3 de arena húmeda con un peso específico de 1.8 ton/m^3 , transmitiendo un esfuerzo al suelo de fundación de 0.2 kg/cm^2 aproximadamente, que es un valor muy por debajo de la capacidad resistente de la arena (0.5 kg/cm^2).

El procedimiento constructivo para la implementación de las geobolsas en la playa de Colán-Piura en el local comercial Costa-Bonita, consiste básicamente en la colocación y el llenado in-situ de las geobolsas, las cuales según el diseño, conforman un revestimiento flexible de 140.0 m de longitud y 3.0 m de altura. Para el llenado de las geobolsas se utilizan los sedimentos propios de la playa, los cuales pueden ser confinados debido a las propiedades del geotextil, el cual tiene una porosidad suficientemente baja para retener los finos y una alta resistencia para soportar los efectos de la intemperie y las cargas a las cuales estará expuesto durante su vida útil. El proceso de excavación y llenado de las geobolsas se realiza con maquinaria pesada (excavadora y retroexcavadora). Para la instalación de la estructura de defensa de geobolsas se seguirán los planos de diseño (detallados en el Anexo B), los cuales abarcan los requerimientos particulares del proyecto, así como también las recomendaciones propuestas por el fabricante.

6.2. Materiales, equipos, mano de obra y maquinaria

Se describe a continuación los insumos que forman parte de este sistema constructivo.

6.2.1. Materiales

Geobolsas

Bolsas compuestas por geotextil tejido a base de poliéster de alta resistencia (108 KN/m), con permitividad¹⁸ menor o igual a 0.008 s^{-1} y tamaño de abertura aparente menor o igual a 0.075 mm.

El campo de aplicación del geotextil viene determinado tanto por las características físico-mecánicas como las hidráulicas. Las especificaciones que rigen el control de calidad de los geotextiles de acuerdo a su aplicación vienen dadas por la organización internacional ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Las geobolsas son el elemento principal del sistema de defensa flexible, las cuales actúan como filtro permitiendo el libre drenaje del agua, pero impidiendo la pérdida de sus finos. Para estos requerimientos el geotextil tejido debe cumplir con ciertos valores en sus propiedades y características como son (Ver especificaciones técnicas en Anexo A).

-Mecánicas: Resistencia a la tensión última, resistencia al punzonamiento, resistencia al rasgado trapezoidal. (En las 2 direcciones del tejido).

-Hidráulicas: Permeabilidad normal al plano, permisividad, tasa de flujo y tamaño de abertura aparente.

Las dimensiones estándar de las geobolsas utilizadas y que satisfacen los requerimientos del proyecto son:

Longitud: 5 m, ancho: 2.45 m, altura: 1 m, como se aprecia en la vista en planta y el esquema isométrico de las geobolsas mostrados a continuación.

Cada geobolsa alcanza una capacidad de 12.25 m^3 y un peso aproximado de 22 ton.

¹⁸ Si se requiere determinar la permeabilidad (m/s) de un geotextil específico, ésta puede obtenerse multiplicando la permitividad (s^{-1}) por el espesor nominal del geotextil (m).

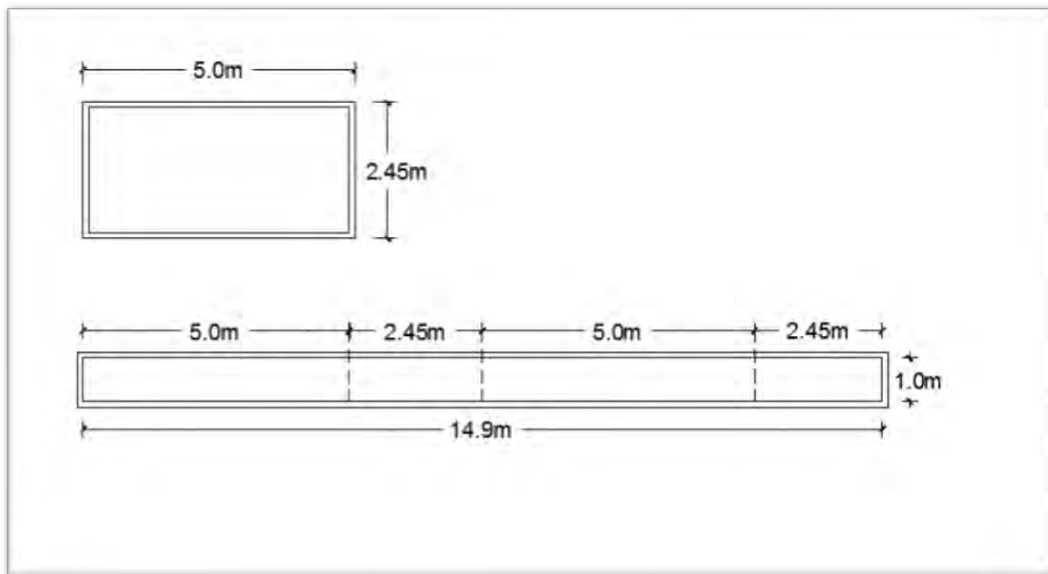


Figura 6. 1. Vista cubierta superior e inferior y laterales de geobolsa, Fuente: Elaboración propia

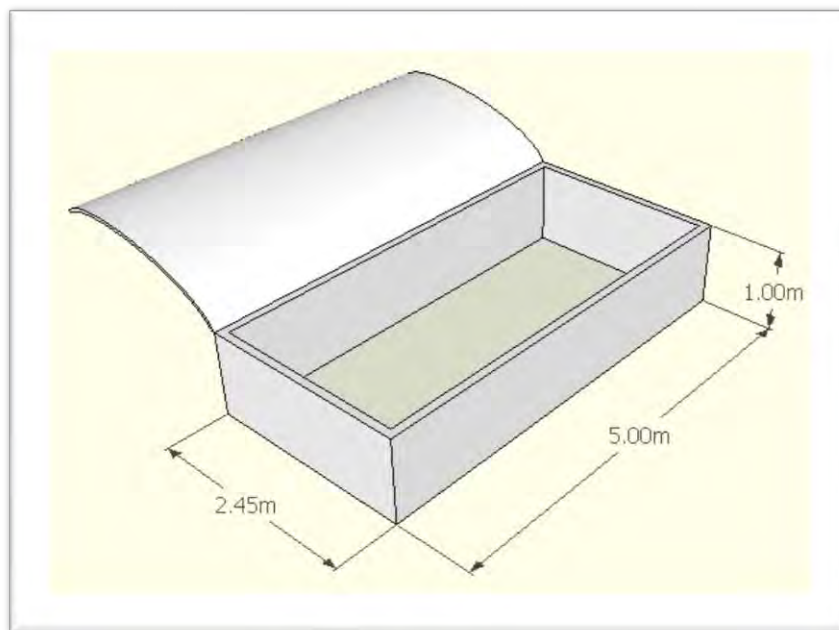


Figura 6. 2. Esquema isométrico de geobolsa, Fuente: Elaboración propia

Geotextil no tejido

Geotextil elaborado por fibras de polipropileno, mediante el punzonado por agujas. Las fibras punzonadas forman una red estable que mantiene la estabilidad dimensional en relación con las demás fibras. Es resistente a los rayos ultravioleta, y son químicamente estables en una gran variedad de ambientes agresivos.

La función principal del geotextil no tejido es la protección del talud que forma parte del relleno de la estructura del local, evitando el lavado de finos del talud. Para estos requerimientos el geotextil no tejido debe cumplir con ciertos valores en sus propiedades y características como son (Ver especificaciones técnicas en Anexo A):

-Mecánicas: Resistencia a la Tensión Grab, elongación a la rotura Grab, resistencia al reventón, resistencia al punzonamiento, resistencia al rasgado trapezoidal.

-Hidráulicas: Permisividad, flujo de Agua, tamaño de abertura aparente (AOS).

-Físicas: Espesor, resistencia a los rayos ultravioleta.

Material de llenado

Las geobolsas, son como su nombre lo indica, bolsas destinadas a ser rellenas normalmente con arena o eventualmente con mortero. Para este caso en particular y aprovechando una de las ventajas de este sistema, se utilizarán los sedimentos propios de la playa, representando un ahorro significativo en el costo la construcción.

Para este material se realizó un ensayo de granulometría clasificándolo de acuerdo al sistema SUCS de clasificación de suelos como arena pobremente gradada con 3.4 % de material que pasa el tamiz #200. Se adjunta la curva granulométrica del material en el Anexo B.

Hilo

El hilo especificado para el cierre de las geobolsas es a base de fibra de nylon, el cual es un polímero artificial que constituye una fibra textil elástica y resistente.

6.2.2. Mano de Obra

La cuadrilla total estuvo conformada por: 1 maestro de obra + 5 peones.

6.2.3. Equipos

-Nivel y mira topográfica: Nivel automático óptico utilizado para la preparación nivelación del terreno previo a la colocación de las geobolsas.

-Bomba hidráulica: Bomba de 3 hp de potencia, utilizada para eliminar el agua excedente de las zanjas.

Máquina de coser: Cocedora portátil especial, utilizada para el cierre de las geobolsas.

-Apisonadora: Motor 4 hp de potencia y fuerza de impacto 12 kN, utilizada para la compactación de las capas de llenado de las geobolsas.

6.2.4. Maquinaria

-Retroexcavadora: Con una potencia neta de 80 hp, utilizada en los trabajos de excavación de zanjas y llenado de geobolsas.

-Excavadora: Máquina sobre orugas con una potencia neta de 280 hp, utilizada en los trabajos de excavación de zanjas y llenado de geobolsas.

6.3. Procedimiento constructivo

A continuación se describen las actividades realizadas en la implementación de la defensa flexible a base de geobolsas.

6.3.1. Excavación, perfilado y nivelado del terreno

La primera actividad a realizar es la excavación del terreno hasta alcanzar la profundidad de diseño del revestimiento. Se utiliza una excavadora sobre orugas para la excavación de las zanjas y para el perfilado del talud natural, formando de esta manera un lugar seguro para los trabajos posteriores.

Posterior a la excavación es necesario la verificación de la profundidad para el nivelado del terreno. La nivelación del terreno se realiza mediante un nivel óptico y una mira topográfica; asumiendo como referencia para la medición de desniveles el plano horizontal conformado por la plataforma del local (nivel +0.00). De esta forma la base de las bolsas inferiores consideradas como bolsas de primer nivel, deben ubicarse a una profundidad de -3.40 m con respecto a la plataforma del local, la base de las bolsas de segundo nivel a una profundidad de -2.40 m y la base de las bolsas de primer nivel una profundidad de -1.40 m, esto de acuerdo al diseño del revestimiento flexible.



Figura 6. 3. Excavación de zanjas



Figura 6. 4. Nivelación del terreno

6.3.2. Trazo y replanteo

Previo a los trabajos de colocación de las geobolsas, se ubicó una línea guía conformada por pies derechos (figura 6.5), alineados en la dirección de diseño de la defensa costera a lo largo del terreno, delimitando el eje central de la estructura. En base a esta guía se realizó la colocación de los encofrados.



Figura 6. 5. Línea guía a base de pies derechos

6.3.3. Colocación de la capa de geotextil no tejido

Una vez señaladas las áreas en las zanjas donde se ubicarán los encofrados y seguidamente las geobolsas, se coloca primero el geotextil no tejido, cuya función principal es evitar el lavado de finos del talud a proteger. Este geotextil se coloca sobre la base de las bolsas de primer nivel y así a lo largo de todo el talud de protección hasta las bolsas de tercer nivel. Como las dimensiones de fábrica del rollo del geotextil no tejido tienen un ancho de 4 m, es necesario realizar traslapes de 1 m entre dos tramos de geotextil y así a lo largo de todo el revestimiento.



Figura 6. 6. Habilitación del geotextil no tejido

6.3.4. Encofrado de geobolsas

El encofrado utilizado es un molde metálico, y cuenta con cuatro ganchos soldados para que por medio de una soga, el proceso de encofrado y desencofrado se realice mediante izaje, utilizando la excavadora como grúa.

El encofrado metálico es colocado en el espacio y orientación correcta de acuerdo a línea guía fijada, que delimita la dirección de las geobolsas (figura 6.7). El encofrado de las bolsas de primer nivel se coloca directamente sobre el geotextil no tejido, estas bolsas conforman la base para la colocación de los encofrados superiores, hasta alcanzar la altura de diseño.



Figura 6. 7. Encofrado de geobolsas utilizando molde metálico

6.3.5. Habilitado de geobolsas

Una vez colocado el encofrado, se prosigue con la habilitación de las geobolsas, extendiéndola y sujetándola en las cuatro esquinas de las bolsas sin que existan pliegues dentro del encofrado, teniendo especial cuidado con la tapa. De acuerdo a la recomendación del fabricante la tapa de la geobolsa se posicionará a un costado del encofrado, de preferencia en la dirección opuesta a la descarga del material de llenado.



Figura 6. 8. Habilidad de geobolsa

6.3.6. Llenado de geobolsas

El llenado de las geobolsas se realiza mediante el uso de maquinaria pesada, para este proyecto, por sus condiciones de terreno y el trabajo a realizar, fue necesario una excavadora sobre orugas. El proceso de llenado se realiza extrayendo material propio de la playa y dejándolo caer sobre las bolsas, a un desnivel de caída máximo de un metro (Recomendación del fabricante). Dentro de este proceso es necesario también compactar el material conforme se van llenando las bolsas, esta compactación se realizó por capas de 50 cm, es decir a medio llenado y a llenado completo de la bolsa utilizando agua y la presión de la cuchara de la excavadora.



Figura 6. 9. Llenado de geobolsa con excavadora

6.3.7. Cierre de geobolsas

Como trabajo final, se procede a cerrar las geobolsas cerrando la tapa y cosiéndola en todo el perímetro de la bolsa. Para esta actividad se utilizó una cosedora manual especial e hilo de especificación nylon; realizando una doble costura para asegurar el cierre completo de las bolsas. Después del cierre se realiza el desencofrado, levantando el molde metálico con la excavadora.



Figura 6. 10. Cierre de geobolsa con cosedora manual

6.4. Recomendaciones del fabricante para la instalación de las geobolsas

-Comenzar con la limpieza de la zona de trabajo, procediendo con el corte y el perfilado dando el espacio necesario para el trabajo seguro del personal que llenará las geobolsas.

-Señalización de las áreas donde se ubicarán las geobolsas evitando pérdidas de espacio, teniendo especial cuidado con la inclinación y altura que pretende la estructura de protección.

-Se deberá instalar el geotextil no tejido sobre el talud a proteger antes de colocar las geobolsas, esto para evitar un futuro lavado de finos del talud.

-Existen diferentes tipos de encofrado, pudiendo ser estos de madera, de metal, entre otros. Asimismo existen geobolsas que prescinden de encofrado como los que son llenados hidráulicamente mediante bombas. Habilitar el encofrado de la geobolsa en la posición señala por el trazo, preparando el encofrado para la recepción de la geobolsa vacía.

-Colocar la geobolsa vacía dentro del encofrado con especial cuidado evitando cualquier pliegue o arruga; asimismo se aseguran los bordes para evitar cualquier desplazamiento. La tapa de la geobolsa se posicionará a un costado del encofrado, de preferencia en la dirección opuesta a la descarga del material de llenado. Finalmente preparar el sistema para la recepción del material de llenado.

-El llenado podrá realizarse manualmente como también con maquinaria, teniendo especial cuidado con este último por lo que la descarga deberá tener un desnivel máximo de 1.0 m. Se recomienda la compactación del material de llenado con una compactadora manual para evitar el efecto de compactación hidráulica, para este proceso se puede utilizar agua para mejorar el acomodo de las partículas. Finalmente preparar la geobolsa para su sellado.

-Cocer la tapa de cada geobolsa con una cocedora portátil especial, asegurando el tipo de costura y puntada. Tener especial cuidado con la calidad del acabado de cada costura, ya que son las zonas con mayor susceptibilidad a falla. Finalmente retirar el encofrado.

6.5 Planificación del Trabajo

Para lograr una planificación de trabajo que permita satisfacer los requerimientos de calidad y tiempo en la implementación de las geobolsas para este proyecto en particular, se siguió un proceso de retroalimentación, identificando los errores constructivos desde la implementación de la primera geobolsa, para poder mejorar en todas las actividades necesarias para el llenado de las mismas en las etapas posteriores. Permitiendo de esta manera obtener un rendimiento adecuado con el paso del tiempo, con una buena programación de trabajo y a la vez alcanzar la calidad técnica prevista en el diseño de la defensa.

En vista a que la defensa a implementar iba a estar en constante interacción con el oleaje en la etapa de ejecución del proyecto, es importante planificar el trabajo teniendo en cuenta los cambios de marea, para poder realizar las actividades sin inconvenientes y obtener un mejor rendimiento. La marea cambia cada seis horas, existiendo dos mareas altas y dos mareas bajas en todo el día. Para la programación del trabajo se utilizó la tabla de mareas, la cual permite visualizar las variaciones del nivel del mar, mostrando las horas pico de marea alta y de marea baja como se aprecia en la figura 6.11, en la cual se observa la variación semanal entre los días 17 al 24 de febrero del 2017 (referencial).

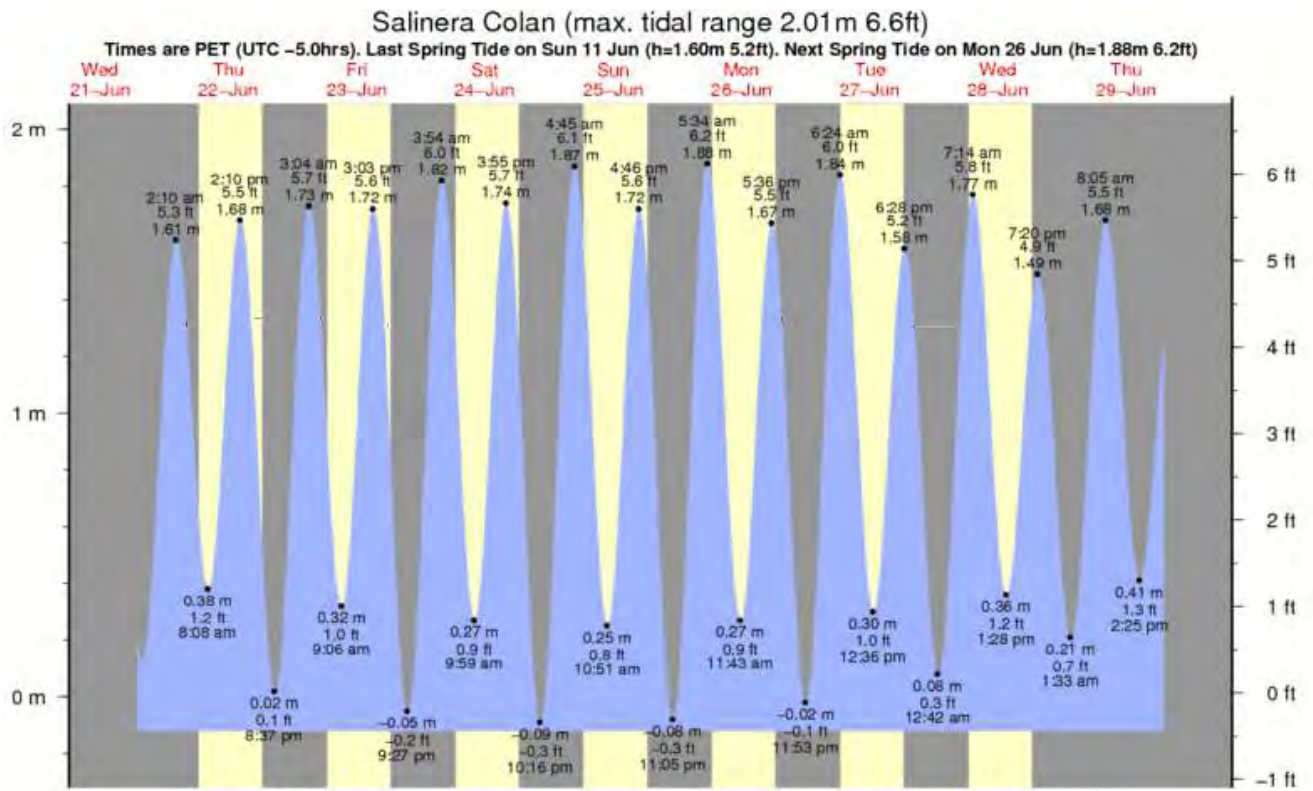


Figura 6. 11. Tabla de mareas Colán

Fuente: <http://es.surf-forecast.com/breaks/Colan/tides/latest>

Fue necesario entonces trabajar en los horarios de marea baja (dos turnos por día), los cuales iban a ir variando diariamente. Es importante tener en cuenta que cuando la marea se encontraba en descenso (marea baja) y dos horas después de alcanzar la hora pico de marea alta, según la tabla de mareas, se podía empezar las actividades; así como también cuando la marea se encontraba en ascenso (marea alta) y dos horas antes de alcanzar su pico máximo, ya las actividades se veían afectadas por la influencia del oleaje y era necesario terminar con los trabajos y evitar inconvenientes.

El trabajo promedio en la colocación de geobolsas en un día se realizó en dos turnos. En el primer turno y en las horas de marea baja se realiza la colocación de una base de bolsas inferiores (primer nivel), generalmente cuatro o seis bolsas. Esto debido a que la colocación de las bolsas en este nivel son las que requieren mayor esfuerzo y con las que se tienen que tener mayor cuidado con el nivel del mar.

Una vez colocada la base de bolsas en el primer nivel en horas de marea baja y pudiendo colocar las bolsas de segundo nivel en horas de marea alta considerable; se colocan las bolsas suficientes, de tal manera que se termine la base del segundo nivel para que el tercer nivel sea completado en el segundo turno. En el segundo turno, y como generalmente se realizaba en horario nocturno, era preferible esperar las siguientes horas de marea baja, para de esta forma completar el bloque de avance diario con las bolsas de tercer nivel.

6.6 Calculo de rendimientos

El rendimiento máximo (bolsas/día), alcanzado a lo largo de la ejecución de la obra, fue de 12 bolsas/día y el rendimiento promedio fue de 8 bolsas/día, utilizando una cuadrilla de 1 maestro de obra + 6 peones.

Se detallará paso a paso el procedimiento y las actividades realizadas en un día de trabajo promedio (8 bolsas/día), que representan un avance de 10ml de estructura.

Primer turno

Descripción : Colocación de 6 geobolsas, 4 bolsas de primer nivel y 2 de segundo nivel.

Cuadrilla : 1 Maestro de Obra + 5 peones

Maquinaria : 1 Excavadora con orugas

Se procede como primera actividad, y en horas de marea baja, a la excavación de zanjas y perfilado del terreno para la colocación de las bolsas de primer nivel, utilizando una excavadora y ayuda de la mano de obra utilizando palanas para el perfilado.

Tomando como referencia la plataforma del local (nivel +0.00) y una vez conseguida la profundidad de diseño (-3.40 m) se procede con el nivelado del terreno, así mismo se realiza el corte del geotextil no tejido, cuyo rollo tiene dimensiones de fábrica de 4.5 m de ancho y 90 m de largo. Para el avance a realizar en el día es necesario el corte de dos piezas de geotextil de 12.5 m de largo. Inmediatamente después del nivelado se realiza la habilitación de las piezas de geotextil no tejido sobre la base donde se colocarán las 4 bolsas de primer nivel, traspalándose un metro entre las dos piezas de geotextil.

Una vez esté listo el lugar de colocación de las geobolsas, se realiza el encofrado, para lo cual el molde metálico es llevado mediante izaje utilizando la excavadora, hacia el lugar de colocación de las bolsas. El molde metálico una vez colocado en el lugar es ajustado manualmente hasta estar en el espacio y en la dirección correcta (diseño). Paso siguiente, se realiza la habilitación de la geobolsa dentro del encofrado, sujetando las esquinas y la tapa durante el proceso de llenado; colocando la tapa de la bolsa a un costado del encofrado. Posteriormente se da el proceso de llenado de las geobolsas, utilizando la excavadora con orugas y dejando caer el material en la bolsa con un desnivel máximo de 1 m (recomendación) para evitar que el geotextil se someta a esfuerzos no previstos en su diseño.

Finalmente, se procede con el cierre de la geobolsa, utilizando una máquina de coser manual especial e hilo nylon (especificación). Una vez cerrada la tapa de la bolsa se realiza una doble costura a todo lo largo de todo el perímetro para sellar la tapa, teniendo especial cuidado con la costura ya que representa un punto crítico y evita la salida de sedimentos de la geobolsa y el ideal comportamiento de la estructura. De esta forma se completa el avance de la base de primer nivel con las bolsas número 1, 2, 3 y 4 (Ver figura 6.12).

Para la colocación de las dos bolsas de segundo nivel, es posible realizar en trabajo en horas de marea alta considerable, mas no en horas pico de marea alta. Una vez terminada la colocación de la base de bolsas de primer nivel, se procede con la preparación y el nivelado del terreno para las bolsas de segundo nivel (cota -2.40 m). La colocación de las bolsas 5 y 6 (Ver figura .12) requiere menos esfuerzo y se sigue el mismo procedimiento de instalación: encofrado, habilitación de bolsa, relleno de bolsa y cierre de bolsa descrito anteriormente. Una vez colocadas la base de segundo nivel, se prepara el terreno para la colocación de las bolsas de tercer nivel.

Con la subida de la marea se dificultan los trabajos de la excavadora en la extracción del material para el relleno de las geobolsas (mayor esfuerzo), así como también la influencia del oleaje afecta el rendimiento de la mano de obra. Por lo tanto, para la colocación de las geobolsas 7 y 8, es conveniente esperar la próxima marea baja (segundo turno).

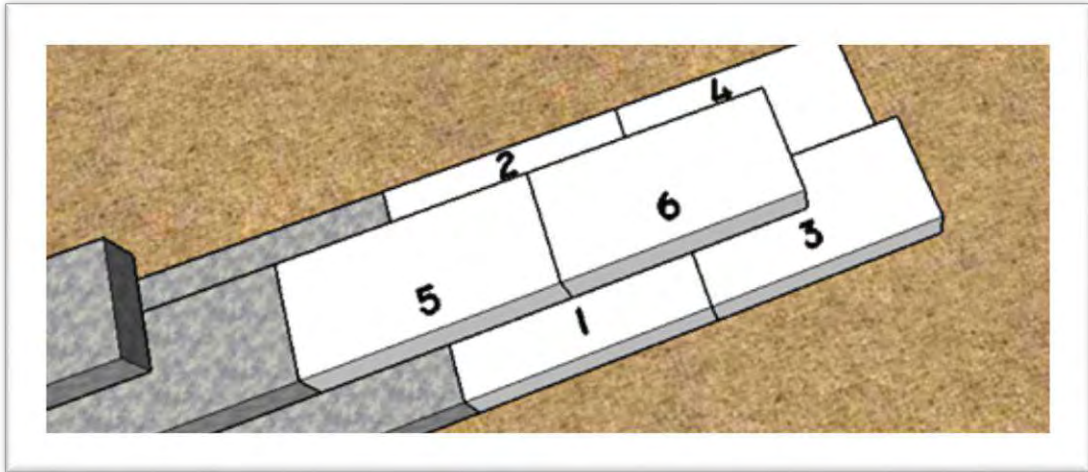


Figura 6. 12. Avance promedio diario, primer turno, Fuente: Elaboración propia.

Segundo turno

Descripción : Colocación de 2 geobolsas de tercer nivel

Cuadrilla : 1 Maestro de Obra + 5 peones

Maquinaria : 1 Excavadora con orugas

En la siguiente marea baja, se procede con la colocación de las bolsas de tercer nivel. Como la base de segundo nivel, en el primer turno, quedo lista para la colocación de las bolsas 7 y 8 (cota -1.40 m), se realiza como primera actividad el encofrado por izaje del molde metálico, colocándolo y ajustándolo manualmente en el espacio y dirección correcta (diseño).

Se prosigue con la habilitación de la geobolsa, con el llenado, y finalmente con el cierre de la misma. Una vez selladas las bolsas 7 y 8 se acomoda el geotextil no tejido siguiendo el contorno bolsas y se rellena el talud para mantenerlo fijo.

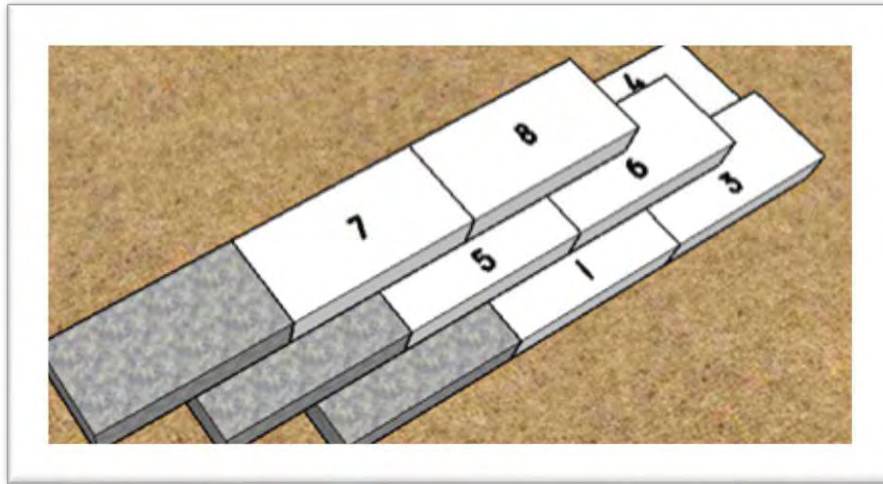


Figura 6.13. Avance promedio diario, segundo turno, Fuente: Elaboración propia.

6.7. Inconvenientes, dificultades y soluciones durante la ejecución

Durante la construcción y especialmente al inicio de la misma, hubo distintos problemas, que ocasionaron retraso y percances en el avance de la obra. Estos se mencionan a continuación así como también la solución de los mismos.

1) Colocación del geotextil no tejido

Según lo indicado en los planos del proyecto el geotextil no tejido debe ser colocado siguiendo el contorno de las geobolsas como se aprecia en la figura 6.14.

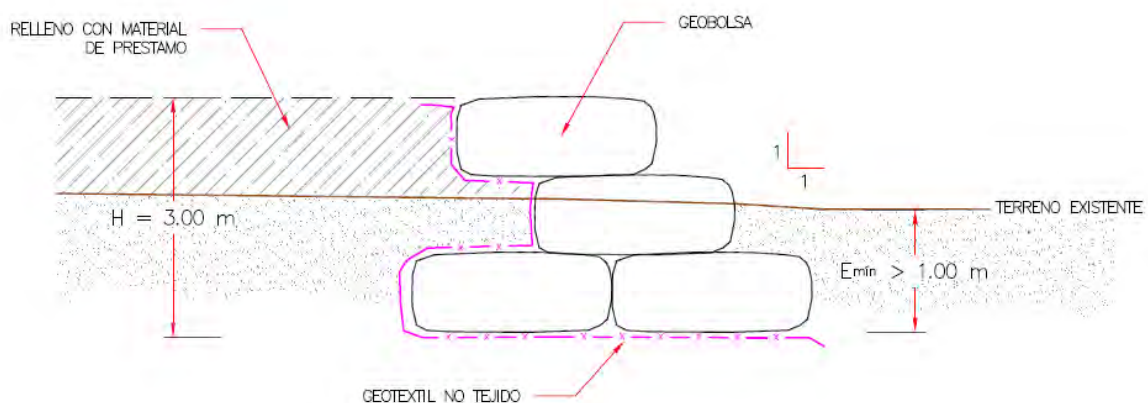


Figura 6.14. Colocación del geotextil no tejido, perfil de diseño de la geoestructura.

Sin embargo en el proceso de construcción se decidió avanzar primero con las bolsas de primer nivel y segundo nivel, colocando el geotextil sobre el talud de terreno natural que quedaba inclinado, para que posteriormente sea colocado como base de las bolsas de tercer nivel. Lo que implicó que, por la influencia del mar, el geotextil quedó enterrado 1.5 m aproximadamente como se aprecia en la figura 6.15.

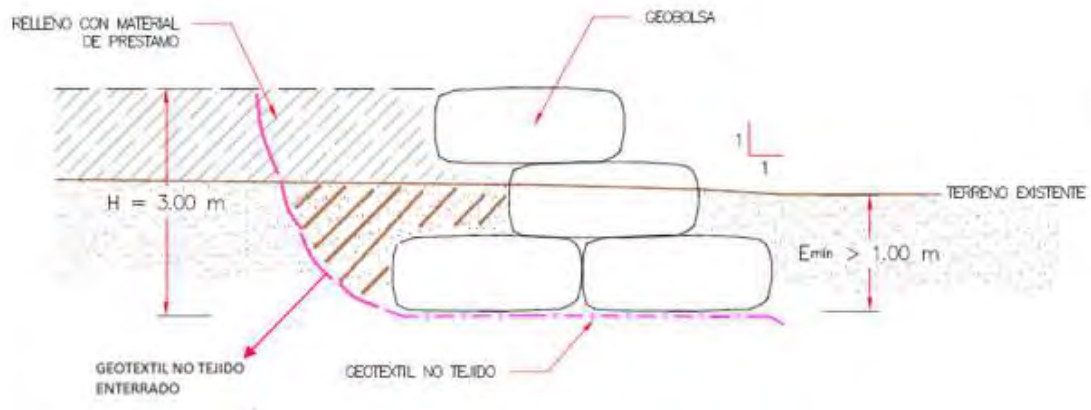


Figura 6. 15. Geotextil enterrado al nivel de terreno existente

Se tuvo que realizar trabajos de excavación para desenterrar 20 metros lineales del geotextil no tejido en los cuales se había colocado solo bolsas de primer y segundo nivel. Después de esto se empezó a realizar el avance de la estructura en bloques de altura de tres metros (altura de diseño), avanzando conjuntamente las bolsas de primer nivel, segundo nivel y tercer nivel para evitar este inconveniente.

2) Longitud del geotextil no tejido

El geotextil no tejido deberá ser colocado siguiendo el contorno de las geobolsas como lo indica su diseño. La longitud requerida del geotextil de acuerdo a la geometría del perfil de las geobolsas es de 10.5 m.

Las dimensiones de fábrica del rollo de geotextil son 4.5 m de ancho y 90 m de largo. Por seguridad, en obra se realizó el corte de 12 m de geotextil, para asegurar que logre el recubrimiento efectivo de las geobolsas.

En el tramo inicial, los 12 m de geotextil fueron insuficientes, esto debido en parte al entierro del geotextil mencionado en el problema número 1), lo cual permitió que el geotextil se encogiese debido a las presiones del suelo.

Se optó por colocar una pieza de geotextil de 1.5 m para completar el contorno de las bolsas de tercer nivel. Esta pieza no fue cosida con el geotextil colocado anteriormente (mala práctica constructiva), lo que podría constituir una zona de falla en donde se produzca el lavado de finos a largo plazo.



Figura 6. 16. Pieza de geotextil no tejido agregada

3) Encofrado metálico

El encofrado metálico inicialmente estaba conformado por cuatro planchas metálicas que eran armadas, ajustadas y colocadas manualmente. Este proceso demandaba una cantidad de tiempo considerable en el proceso de encofrado y desencofrado, especialmente en el segundo ya que las presiones que el suelo ejercía una vez llenadas las geobolsas complicaban el retiro de las planchas metálicas (figura 6.17).



Figura 6. 17. Dificultades en el desencofrado de las planchas metálicas

Para solucionar esto, se optó por el soldado de las planchas metálicas y la implementación de cuatro ganchos metálicos para que el proceso de encofrado y desencofrado sea mediante izaje y por medio de la excavadora, lo que redujo notablemente los tiempos de trabajo en esta actividad (figura 6.18).



Figura 6. 18. Encofrado por medio de izaje del molde metálico

4) Altura y ensanchamiento de geobolsas

Una vez colocadas las geobolsas y estar sometidas a la acción del mar, estas bolsas presentan un ensanchamiento aproximado de 10 a 15 cm en los lados y se asientan en promedio 10 cm.



Figura 6. 19. Ensanchamiento y asentamiento de geobolsas

Debido a esto y para lograr la altura prevista en el diseño (3 m), se empezó a llenar las bolsas con más arena, primero llenando la bolsa hasta la altura del encofrado y posteriormente colocando una capa más de 20 cm aproximadamente en el centro de la bolsa en forma de loma.

Inicialmente se utilizaba agua para generar el acomodo de las partículas de arena en el llenado de las geobolsas, esto en dos capas, la primera capa a 50 cm y la segunda en los últimos 50 cm. Para mejorar esto se utilizó la cuchara de la excavadora para ejercer presión y compactar en ambas capas de llenado.

Los resultados como se aprecia en la figura 6.20, son bolsas con un mejor llenado, y un acabado con una mejor geometría (0.95 a 1 metro de altura en promedio y un ensanchamiento despreciable). Esto permite, además de alcanzar la altura prevista en el diseño, mejorar el comportamiento de la estructura ya que las uniones entre bolsa y bolsa son más uniformes y permiten el comportamiento íntegro del sistema.



Figura 6. 20. Geobolsas expuestas al oleaje. Altura y unión entre bolsas

6.8. Consideraciones para la implementación de geobolsas

-Es necesario la planificación de los horarios de trabajo en horas de marea baja o de marea alta considerable que permitan realizar los trabajos sin inconvenientes y mejorar el rendimiento de la excavadora, logrando de esta manera una mejora en el rendimiento total de avance o número de bolsas colocadas diariamente.

-Con un trabajo planificado, esto es en dos turnos de trabajo al día (horas de marea baja) y con una cuadrilla conformada por 1 maestro de obra y 5 peones, se alcanzó un rendimiento promedio de avance diario de 8 bolsas/día, siendo el rendimiento máximo diario alcanzado de 12 bolsas/día.

-Las dimensiones de las geobolsas utilizadas son: 5 m de longitud, 2.45 m de ancho y 1 m de altura. Sin embargo, estas dimensiones sufren variaciones cuando las geobolsas son expuestas al oleaje y a las condiciones marinas. Estas variaciones son: Un aumento de 10 a 15 cm en el sentido longitudinal y lateral, y una disminución de 10 a 20 cm de altura.

- Para la adecuada colocación del geotextil no tejido, cuya función es evitar el lavado de finos del talud, es importante colocar entre un 15% a 20% más de la longitud requerida geoméricamente en el diseño, esto para asegurar que aunque el geotextil se encoja debido a las presiones del suelo, se logre el completo recubrimiento de la altura de diseño.

- Una correcta compactación es importante para que las geobolsas alcancen su mayor capacidad. Es conveniente realizarla por capas, si es posible utilizando una compactadora manual, y utilizar agua para el acomodo de las partículas de suelo.

-Las geobolsas tienen que quedar completamente selladas, debido a que el cierre de estas representa un punto crítico de falla en estas estructuras. Una doble costura con el hilo especificado a lo largo de todo el perímetro fue suficiente en este caso.

-Los trabajos de llenado de las geobolsas fueron realizados inicialmente por una retroexcavadora, la cual presentaba muchas limitaciones y tuvo que ser reemplazada por una excavadora sobre orugas para aprovechar su mayor potencia y capacidad de excavación, así como también para su movilidad en terrenos inestables.

Conclusiones y recomendaciones

- 1) El procedimiento constructivo para la implementación del sistema con geobolsas resulta ser un proceso sencillo, con requerimientos de mano de obra no especializada y el uso opcional de maquinaria pesada para las actividades de llenado de las geobolsas, ya que pueden ser llenadas manualmente.
- 2) El uso del geotextil como medio para la retención de las partículas de suelo requiere compatibilidad entre él y el suelo a utilizar. El tamaño de abertura aparente del geotextil utilizado es menor o igual a 0.075 mm, es decir que para su relleno se puede utilizar como material básico la arena de la playa de Colán, la cual contiene un porcentaje de base del del tamiz #200 de 3.5%, lo que justifica su uso.
- 3) El método de llenado e instalación de las geobolsas se lleva a cabo con actividades de trabajo sencillas y estas se pueden resumir en: 1) Excavación, perfilado y nivelado del terreno, 2) Trazo y replanteo, 3) Colocación del geotextil de separación, 4) Encofrado de geobolsas, 5) Habilidad de geobolsas, 6) Llenado de geobolsas, 7) Cierre de geobolsas.
- 4) Para la instalación de geobolsas para protección costera en playas, donde durante la ejecución del proyecto, la obra está en constante interacción con el oleaje, es necesario una planificación del trabajo. Esto es, utilizar una tabla de mareas en donde se visualice las horas de marea alta y de marea baja, para de esta forma trabajar en horarios donde la incidencia del oleaje no genere inconvenientes ni dificultades tanto para el personal como para la maquinaria.
- 5) La facilidad constructiva en la aplicación de este sistema genera un alto rendimiento de trabajo, siempre y cuando el trabajo esté planificado, esto se manifiesta en que sólo es necesaria una cuadrilla conformada por un maestro de obra y cinco peones (mano de obra no especializada) y el uso de una sola excavadora. De esta forma, se logró construir 140 metros lineales del

revestimiento con geobolsas en solo 25 días hábiles de trabajo, alcanzando un rendimiento máximo diario de 12 bolsas/día.

- 6) Durante el proceso de construcción hubieron distintos inconvenientes y dificultades, generalmente durante el inicio de la obra. La solución de estos problemas permitió que el rendimiento de trabajo mejore continuamente con la calidad técnica prevista en el diseño de la defensa.
- 7) Es importante, debido a que estas estructuras están expuestas al vandalismo, implementar dentro de su construcción un acabado de protección, el cual puede ser de piedra u otro material. Esta protección en la defensa del local comercial Costa Bonita no pudo realizarse debido al reducido tiempo restante para el funcionamiento del local, quedando pendiente su implementación en un futuro cercano.
- 8) El sistema de geotextiles como contenedores de arena instalado en el local comercial Costa Bonita de Colán, representa una solución ventajosa como protección de edificaciones expuestas al embate marino ya que es una solución flexible que puede ser aplicada con un procedimiento sencillo, lo que implica menor tiempo en su implementación si se requiere una actuación inmediata de protección.
- 9) Debido a que fenómenos como El Niño Costero, ocurrido recientemente a inicios del año 2017, pueden afectar el comportamiento dinámico de la línea de la costa con impactos directos sobre la elevación del nivel del mar, es posible que el sistema de defensa con geobolsas estuviera expuesto a solicitaciones extremas no previstas en su diseño, con lo cual no realizó efectivamente la protección del local Comercial Costa Bonita, sufriendo daños en su estructura como los presentados en el Anexo D. Aun cuando los resultados obtenidos no han sido del todo satisfactorios, esta investigación podría ser utilizada como referencia para obras similares.

Referencias bibliográficas

Almazán, J., Palomino, M., García, J., (2000). *Introducción a la dinámica de formas costeras*. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España.

ANCORIM (Atlantic Network for Coastal Risks Management), Red Atlántica para la Gestión de los Riesgos Costeros, 2010, *Soluciones alternativas para la protección de las costas*, ANCORIM, 21 pp.

Barreto Escovedo, David. (2015). *Investigación hidráulica utilizando un modelo numérico 3D de la presa tablonos Alto – Chinecas*. Tesis de título. Piura: Universidad de Piura.

Chico, L., Yina, T. (2014). *Análisis y aplicación del uso de estructuras hidráulicas blandas empleando geosintéticos para la protección costera, Caso de estudio: Estructuras en la línea de costa de Cartagena de Indias*. Tesis de título, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias, Colombia.

Comisión Europea - Medio Ambiente. (14 de Noviembre de 2005). Eurosion. *A European initiative for sustainable coastal erosion management. (P. Doody, M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, C. Pérez, Edits.).* http://www.eurosion.org/project/eurosion_es.pdf.

Corbella, S., & Stretch, D. D. (28 de Septiembre de 2012). Geotextile sand filled containers as coastal defence: South African experience. *Geotextiles and Geomembranes, Elsevier*(35), 11.

Correa, D., Gonzáles, E., Alvarado, V. (2007). *Modelamiento del flujo de mareas en la Bahía de Paita*. IMARPE-UNMSM. Lima, Perú.

Dal Farra, A., Rodríguez, C. (2005). *Utilización de geosintéticos en defensa de márgenes – casos de obras.* Instituto de recursos hídricos, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.

De La Peña Olivas, J. M. (2007). *Guía Técnica de Estudios Litorales.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

De la Peña Olivas, J. (2010). *Aproximación al conocimiento de muros en playas.* Cimbra. [online] Available at: http://www.citop.es/publicaciones/documentos/Cimbra393_03.pdf.

Geosistemas PAVCO. (2012). *Manual de diseño con geosintéticos* (Novena ed.). Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de PAVCO: <http://www.geosoftpavco.com/descarga-manual.php>.

IMARPE, (2010). *Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú, Lima, Perú.*

EL NIÑO - OSCILACIÓN DEL SUR. (2013). [imarpe.pe](http://www.imarpe.pe). Retrieved 20 April 2017, from http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I0178010000000000000000.

INDECI, (2014). *Estudio de identificación de zonas vulnerables por tsunami, para el balneario La Esmeralda de Colán y el pueblo San Lucas de Colán.* Dirección de preparación, Perú.

Maldonado, A. and Zamarreño, I. (1983). *Modelos sedimentarios en las plataformas continentales del Mediterráneo español: factores de control, facies y procesos que rigen su desarrollo.* In: Castellví, J. (Eds), *Estudio Oceanográfico de la plataforma continental.* Seminario Científico. Cádiz, pp. 15-52.

Manrique S., J. A. (2012). *Estudio experimental de alternativas de protección costera, Caso Chelem--Chuburná, Yucatán.* Tesis Maestría en Ingeniería Civil, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad de Zacatenco, Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, México D. F.

MAPAMA (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente), 2008, *Directrices sobre actuaciones en playas,* Dirección General de Costas, España.

Martínez, S. (2013). *Estudio morfodinámico de una playa lineal. Aplicación al caso de Gandía.* Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

Molero, R. (2012). *Ciencias de la tierra y medio ambiente, Sistemas Litorales.* Dpto de Biología y Geología del Instituto Trassierra-Cordoba, Cordoba, Argentina.

Municipalidad Provincial de Paita. (2016). *Plan integral de convivencia y seguridad ciudadana 2016.* Piura.

Ovalle, J. (2012). *Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa catalana.* Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.

Pedraza Gilsanz, J., & Carrasco González, R. (1996). *Geomorfología.* Madrid: Rueda.

Pilarczyk, K. (2000). *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering,* A.A, Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

- Posada, P., Blanca Oliva y Henao P., William. (2008).** *Diagnóstico de la erosión en la zona costera del Caribe colombiano*. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 13, Santa Marta, 200 páginas.
- Rondón, G. A. (2011).** *Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita, Perú 1946-2007*. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rosales, V. (1999).** *Caracterización del oleaje aplicada a Tuxpan, Veracruz*. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México D. F.
- SENAMHI. (2014).** *El fenómeno El Niño en el Perú*, Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres –PLANAGERD, Lima, Perú.
- Smith, M. (2008).** *Geotextile Tubes in Environmental Applications*. CeTeau. Recuperado el 11 Febrero del 2017, de <http://www.ceteau.com/assets/2008-geotextile-tubes-in-environmental.pdf>.
- Súarez Díaz, J. (2001).** *Control de erosión en zonas tropicales*. 1st ed. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Tinoco, H. (2015).** *Estudio detallado de la calidad y gestión de las playas de la provincia de Alicante*. Tesis de Maestría en Ingeniería de los Materiales, Agua y Terreno, departamento de Ingeniería civil. Universidad de Alicante, España.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2002).** *Coastal Engineering Manual (CEM)*. Washington, D.C., EEUU.
- Vega, E. (2004).** *Construcción de rompeolas, escolleras, y rocas in situ por el sistema de cimbra flexible "BOLSACRETO"*. Tesis de título, Instituto tecnológico de la construcción. A. C, México D.F.

Anexos

- Anexo A: Especificaciones técnicas: Geotextiles tejido (Geobolsas) y Geotextil no tejido
- Anexo B: Planos de diseño
- Anexo C: Ilustración fotográfica del procedimiento constructivo y fotografías del revestimiento flexible terminado.
- Anexo D: Comportamiento de estructura ante condiciones climáticas del Niño Costero

Anexo A

Especificaciones técnicas: Geotextiles tejido (Geobolsa) y Geotextil no tejido

Especificaciones técnicas Geobolsas

5.00 m x 2.45 m x 1.00 m

Las Geobolsas de 108KN/m con permeabilidad menor o igual a 0.008 s-1 y tamaño de apertura aparente menor o igual 0.075 mm, deberán de ser fabricadas de Poliéster de Alta Resistencia (PET) de Alto Peso Molecular, Alta Tenacidad y baja fluencia de acuerdo a Especificaciones Internacionales.

Ofrecen alto módulo de deformación, estabilidad hidráulica y una alta resistencia mecánica a largo plazo, haciendo que estas características se mantengan estables durante la vida útil de la estructura, ejerciendo así un control sobre las deformaciones que se puedan presentar además de la retención adecuada de finos. Las Geobolsas de 108KN/m poseen los valores de las propiedades aquí presentadas¹ que se derivan de los ensayos para el control de calidad de la planta:

PROPIEDAD INDICE	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR MINIMO PROMEDIO
<u>Mecánicas</u>		
Resistencia a la Tensión Última		
MD	ASTM D-4595	108 kN/m
XMD		108 kN/m
Resistencia al Punzonamiento		
MD	ASTM D-4833	≥ 1,500 N
XMD		≥ 1,500 N
Resistencia al Rasgado Trapezoidal		
MD	ASTM D-4533	≥ 1,234 N
XMD		≥ 1,234 N
<u>Hidráulicas</u>		
Permeabilidad normal al plano	ASTM D-4491	≤ 0.0004 cm/s
Permisividad	ASTM D-4491	≤ 0.008 s-1
Tasa de Flujo	ASTM D-4491	≤ 25 l/min/m ²
Tamaño de abertura aparente	ASTM D-4751	≤ 0.075 mm

MD : Dirección de la Máquina, a lo largo de los rollos.

XMD : Dirección Transversal, a través del largo de los rollos.

1. Los valores de las propiedades listadas están sujetas a cambio sin previo aviso por el fabricante.
2. Hoja técnica en términos de MARV – Valor mínimo promedio por rollo (95% de nivel de confiabilidad)
3. El ancho puede variar +/- 1%.

Usos:

Protecciones ribereñas, costeras, embalses y control de sedimentos.

Figura A.1. Especificaciones técnicas Geotextil tejido-Geobolsas

Especificaciones técnicas Geotextil no tejido

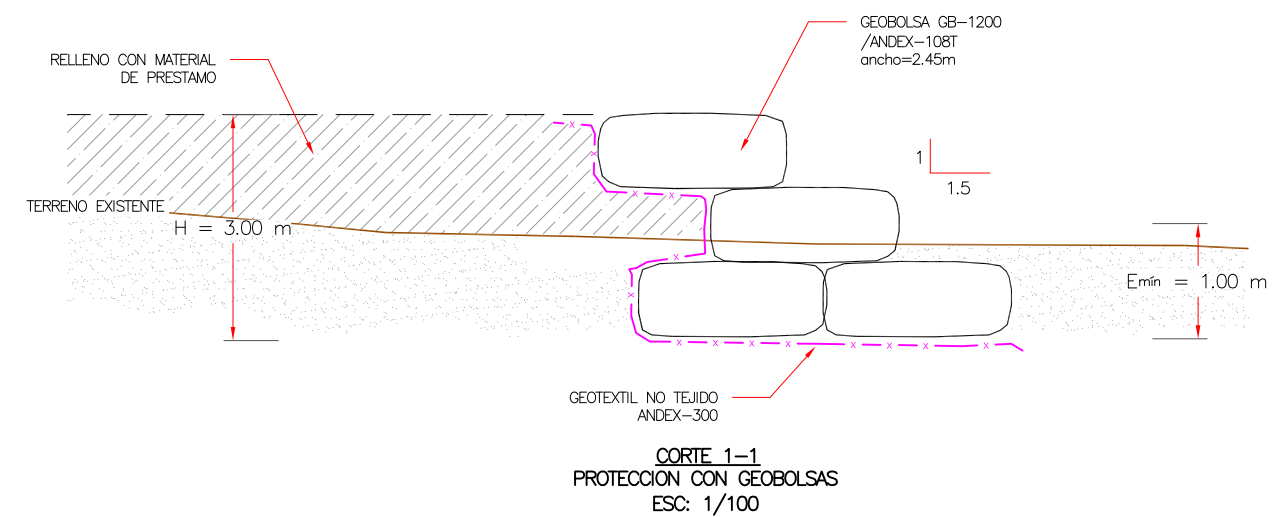
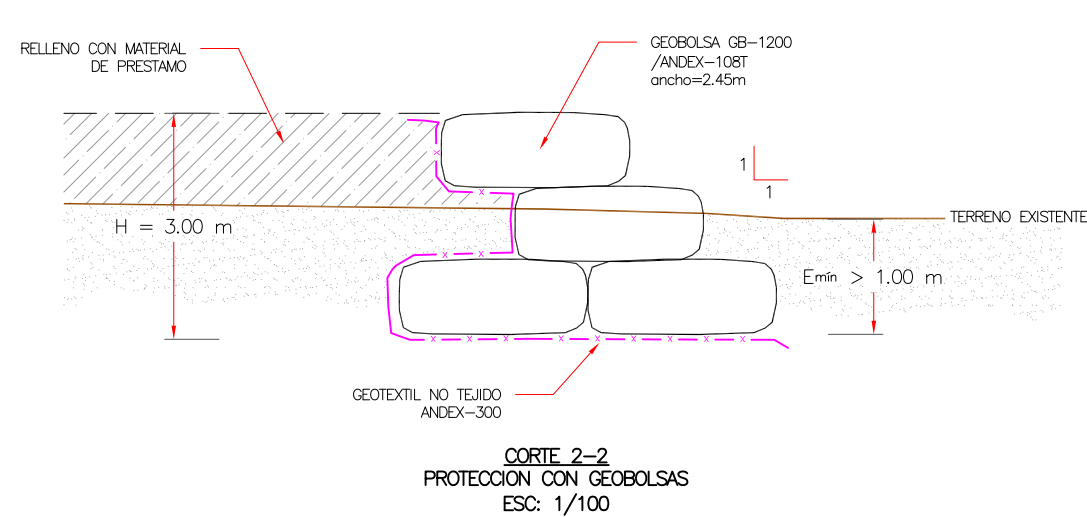
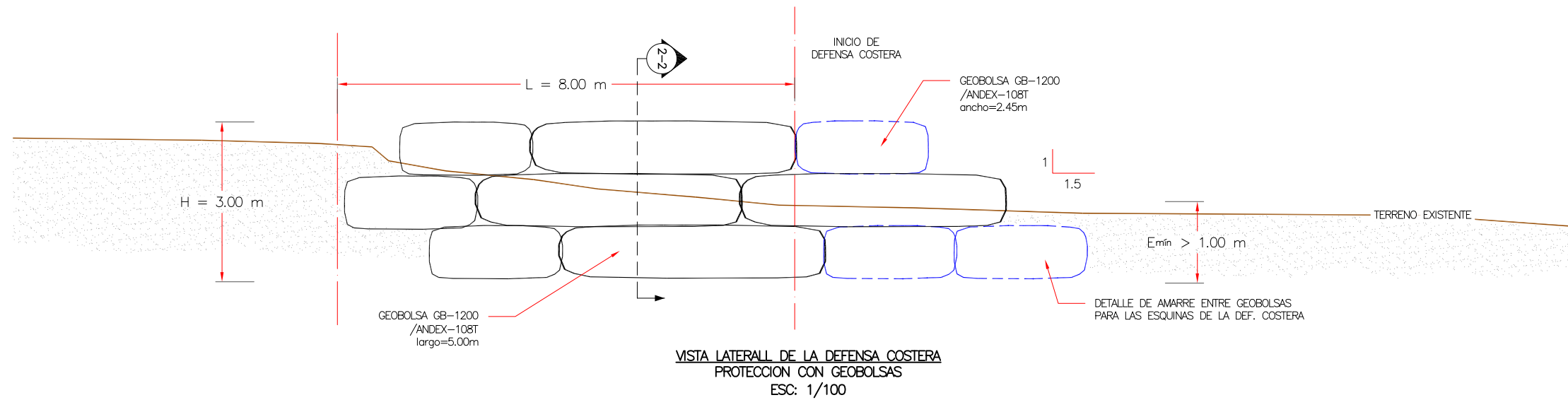
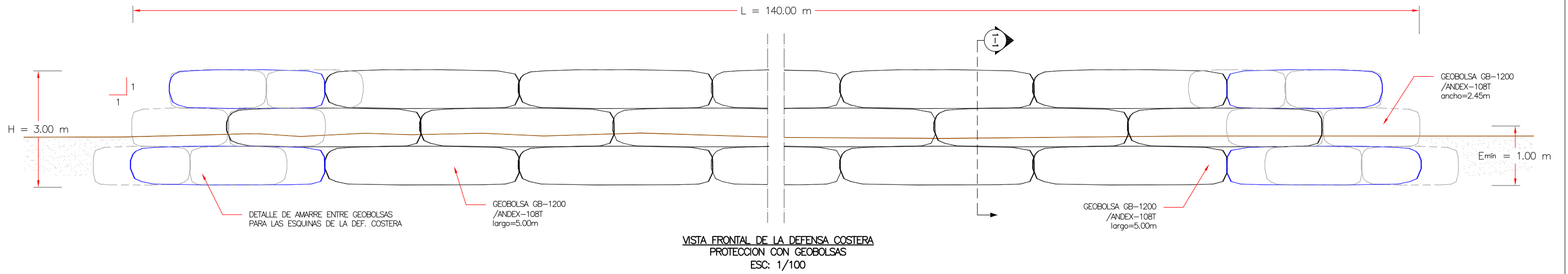
El geotextil no tejido se encuentra elaborado por fibras de polipropileno, mediante el punzonado por agujas. Las fibras punzonadas forman una red estable que mantiene la estabilidad dimensional en relación con las demás fibras. El geotextil no tejido, posee los valores de las propiedades aquí presentadas que se derivan de los ensayos para el control de la calidad en planta:

PROPIEDAD INDICE	METODO DE ENSAYO	VALOR MINIMO PROMEDIO
<u>Mecánicas</u>		
Resistencia a la Tensión Grab	ASTM D-4632	912 N
Elongación a la Rotura Grab	ASTM D-4632	50%
Resistencia al Reventón o Mullen Burst	ASTM D-3786	2413 Kpa
Resistencia al punzonamiento	ASTM D-4833	534 N
Resistencia al punzonamiento (CBR)	ASTM D-6241	2380 N
Resistencia al Rasgado Trapezoidal	ASTM D-4533	356 N
<u>Hidráulicas</u>		
Permisividad	ASTM D-4491	1.5 seg-1
Flujo de agua	ASTM D-4491	74.7 l/seg/m ²
Tamaño de abertura aparente (AOS)	ASTM D-4751	0.150 mm
<u>Físicas</u>		
Espesor	ASTM D-5199	2.286 mm
Resistencia a los rayos ultravioleta (% retenido a 500 horas)	ASTM D-4355	70%

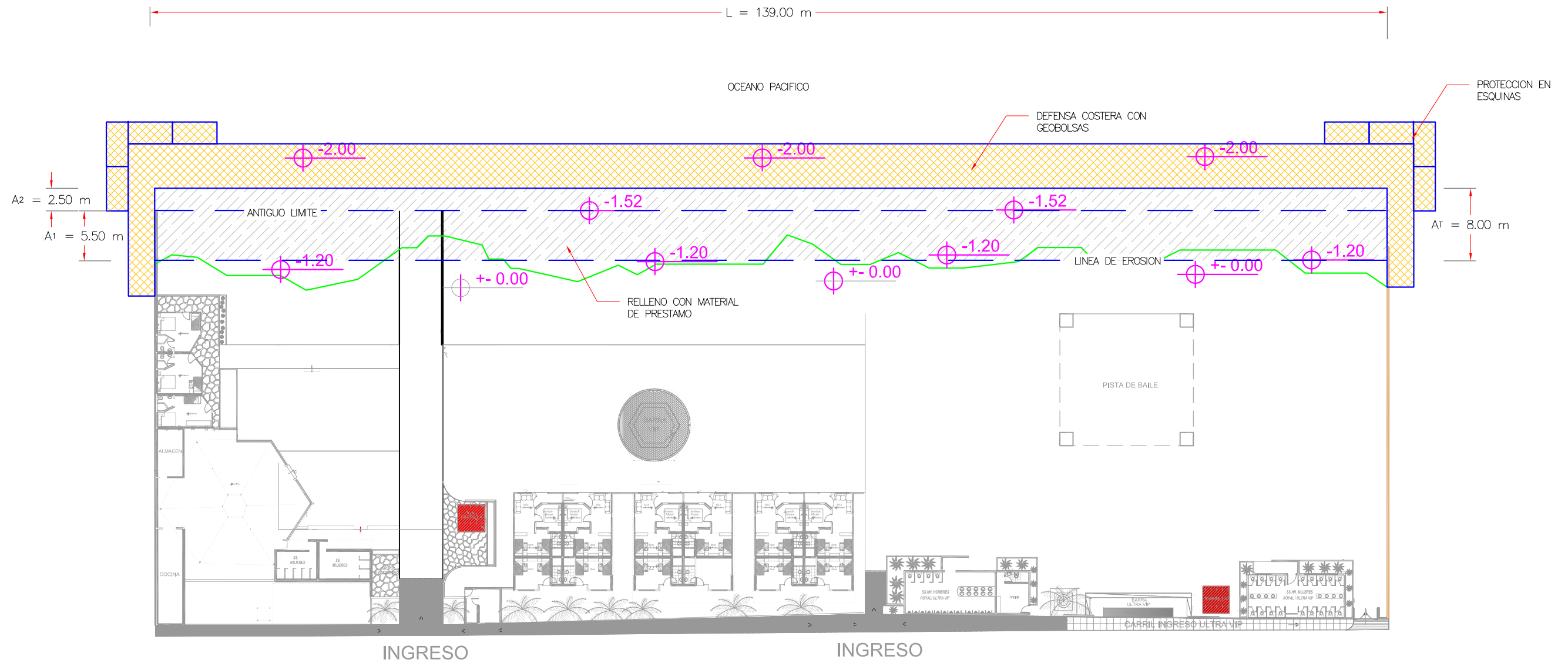
Figura A.2. Especificaciones técnicas geotextil tejido-geobolsas

Anexo B

Planos de diseño



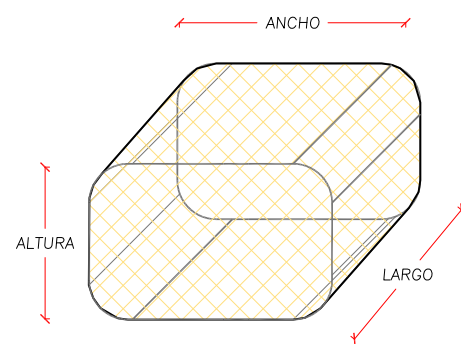
04							CONSULTORA		CLIENTE	PROYECTO:	PROTECCION COSTERA LOCAL COMERCIAL PROMOTORA TONY'S					
03	PRELIMINAR 03	OCT 2016	ROL	SGR	SGR	DCC			TONY'S PROMOTORA	PLANO:	DETALLES Y SECCIONES - GEOBOLSAS		PLANO	RD-01		
02	PRELIMINAR 02	SEP 2016	ROL	SGR	SGR	DCC				REVISIÓN N°:			FECHA:	OCT 2016	ARCHIVO CAD:	
01	PRELIMINAR	SEP 2016	ROL	SGR	SGR	DCC				REVISADO:	DCC	ESCALA:	INDICADA			
REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO POR	DISEÑO POR	REV. DIBUJO	REV. DISEÑO										



VISTA EN PLANTA DE LA DEFENSA COSTERA
 PROTECCION CON GEOBOLSAS
 ESC: 1/500

ESPECIFICACIONES
 GEOTEXTIL DE ENVOLTURA ANDEX-108T

DETALLE
 GEOBOLSAS



DIMENSIONES DE GEOBOLSA				
TIPO	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ALTO (m)	VOLUMEN (m ³)
ANDEX-GB1200	5.00	2.45	1.00	12.0

- NOTAS
1. La solución plantea responde a un esquema conceptual, para un correcto dimensionamiento es necesario contar con información topográfica, estudio de suelos y datos hidráulicos.
 2. El material de relleno para las geobolsas sera arenoso y puede tomarse del lugar de trabajo.
 3. Las geobolsa se apilaran formando un talud, se estima 1.50H:1V.
 4. Se recomienda el uso de pavimentos flexibles y estructuras ligeras en las zonas adyacentes a la defensa costera.

PROPIEDAD INDICE	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR MINIMO PROMEDIO
Mecánicas		
Resistencia a la Tensión Última		
MD	ASTM D4595	108.0 kN/m
XMD		108.0 kN/m
Resistencia al Rasgado Trapezoidal		
MD	ASTM D4533	> 1234 N
XMD		> 1234 N
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D4833	> 1500 N
Hidráulicas		
Permisividad	ASTM D4491	< 0.008 s-1
Permeabilidad	ASTM D4491	< 0.0004 cm/s
Tasa de Flujo	ASTM D4491	< 25 l/min/m2
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	< 0.075 mm

REV.	DESCRIPCION	FECHA	DIBUJO POR	DISENO POR	REV. DIBUJO	REV. DISENO
04						
03	PRELIMINAR 03	OCT 2016	ROL	SGR	SGR	DCC
02	PRELIMINAR 02	SEP 2016	ROL	SGR	SGR	DCC
01	PRELIMINAR	SEP 2016	ROL	SGR	SGR	DCC

CONSULTORA

CLIENTE

TONY'S PROMOTORA

PROYECTO: PROTECCION COSTERA LOCAL COMERCIAL PROMOTORA TONY'S				
PLANO: PLANTA - GEOBOLSAS			PLANO: RD-02	
DISEÑO: SGR			REVISIÓN N°:	
DIBUJO CAD: ROL		REVISADO: DCC		FECHA: OCT 2016
ESCALA: INDICADA		ARCHIVO CAD:		

Anexo C

Ilustración fotográfica del procedimiento constructivo

Secuencia de actividades en la colocación de geobolsas

1) Excavación, perfilado y nivelado del terreno



Fotografía C1. Actividades de excavación, perfilado y nivelación del terreno

2) Colocación del geotextil no tejido



Fotografía C2. Extensión y colocación del geotextil no tejido sobre el terreno y el talud

3) Colocación del encofrado



Fotografía C3. Colocación del molde metálico de encofrado mediante izaje con la excavadora

4) Habilidad de geobolsa



Fotografía C4. Habilidad y colocación de geobolsa dentro del encofrado

5) Llenado de geobolsa



Fotografía C5. Llenado de geobolsas con excavadora. La cuadrilla de 5 peones sujeta la geobolsa durante el proceso

6) Cierre de geobolsa



Fotografía C6. Cierre de geobolsas con cosedora manual especial

7) Desencofrado de geobolsa



Fotografía C7. Desencofrado de geobolsa por izaje utilizando la cuchara de la excavadora

Fotografías del revestimiento flexible con geobolsas



Figura C1. Ubicación de las fotografías una vez terminada la implementación de la defensa



Fotografía C8. Geobolsas en esquina norte del local Costa-Bonita.



Fotografía C9. Geobolsas en esquina norte del local.



Fotografía C10. Vista frontal de estructura



Fotografía C11. Vista longitudinal del revestimiento



Fotografía C12. Geobolsas en esquina sur del local.

Anexo D

Comportamiento de estructura ante condiciones climáticas del Niño Costero

Comportamiento de la estructura ante condiciones climáticas del Niño Costero

Transcurridos dos meses después de la implementación de la defensa con geobolsas en la playa de Colán en el departamento de Piura, esta estructura estuvo expuesta a las condiciones climáticas producidas por el Fenómeno El Niño costero, fenómeno caracterizado por el calentamiento anómalo del mar focalizado en las costas del Perú y Ecuador. Este calentamiento produce humedad que desencadena fuertes lluvias causando desbordes e inundaciones.

La estructura se ha visto forzada a trabajar en solicitudes extremas que exceden las consideraciones previstas en su diseño. A continuación se presentan fotografías de la defensa costera en una visita de campo dos meses después de su implementación.

Después de colocadas la defensa con geobolsas y para la reconstrucción del local, se construyó adicionalmente un muro de contención a base de concreto armado para la colocación de la plataforma conformada por adoquines de concreto, como se aprecia en la fotografía D1. El geotextil no tejido quedó en contacto con el muro en toda su longitud y tendido sobre el último nivel de geobolsas.



Fotografía D1. Vista externa e interna del muro de contención

Como se observa en la fotografía D2, se ha producido el lavado de los finos que conforman la base de la plataforma de adoquines de concreto del local. Esto se debe al mal funcionamiento del geotextil no tejido, posiblemente por una mala colocación o longitud insuficiente del mismo. También se produjo el colapso del muro de contención (Ver

fotografía D3), el cual sufrió daños en toda su longitud debido a la fuerza y al impacto del oleaje, facilitando el ingreso de agua y el lavado del hormigón de la base de la plataforma.



Fotografía D2. Vista plataforma del local Costa Bonita



Fotografía D3. Colpaso del muro de contención

También sufrieron daños las esquinas del local, en donde la fuerza del oleaje superó la defensa del refuerzo adicional que se realizó en estas zonas en base al diseño. Se observa en la fotografía D4, las grietas y el debilitamiento del muro de contención ubicado en la esquina sur del local.



Fotografía D4. Vista esquina sur del local Costa Bonita

Una de las recomendaciones para el procedimiento constructivo descritas en la presente tesis, es la de tener especial cuidado con el cierre de las geobolsas, ya que representan puntos críticos de falla que pueden ocasionar la pérdida de material. Se observa en la fotografía D5, la pérdida de una geobolsa debido al lavado completo de su contenido de arena, esto debido posiblemente a una mala práctica en el proceso constructivo.



Fotografía D5. Vista esquina norte del local Costa Bonita

Ahora bien, es posible entonces visualizar los daños generados en la plataforma cuando una pieza del sistema de defensa falla como en este caso. Se aprecia en la fotografía D6, como el oleaje se infiltra con total libertad por debajo del muro de contención, originando daños mucho más grandes en la estructura ya que el lavado de finos se realiza sin ningún impedimento y sin reducción de la fuerza del oleaje.



Fotografía D6. Vista interna de la plataforma en la zona donde se produjo la pérdida de la geobolsa.