

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“SISTEMAS DE CONFINAMIENTO CON GEOSINTÉTICOS PARA
EL CONTROL DE EROSIÓN - CASO ESTUDIO: DEFENSA
COSTERA EN COLÁN-PIURA Y REVEGETACIÓN
AUTOSOSTENIBLE EN ASIA- LIMA”**

Presentado por:

BACH. BEATRIZ LISSET FERNÁNDEZ ESPINOZA

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

Lima – Perú

2017

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Erosión	3
3.2. Geosintéticos	4
3.3. Sistemas de Confinamiento.....	9
IV. DESARROLLO DEL TEMA	12
4.1. Antecedentes	12
4.2. Caso de Estudio I: Defensa Costera en Colan.....	12
4.3. Caso de Estudio II: Revegetación Autosostenible en Asia	26
V. DISCUSIONES	40
VI. CONCLUSIONES	42
VII. RECOMENDACIONES	43
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	44
IX. ANEXOS	45
9.1. Plano de detalle y sección de Geobolsas – RD - 01	46
9.2. Especificaciones Técnicas de Geobolsas.....	47
9.3. Plano de detalle y sección de Geoceldas – CE - 01	48
9.4. Especificaciones Técnicas de Geoceldas.....	49

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Dimensiones de Geobolsas.....	6
Cuadro 2: Características del tipo de estructura.....	19
Cuadro 3: Factores de reducción para el Geotextil.....	21
Cuadro 4: Proceso constructivo del sistema de Geobolsas.....	24
Cuadro 5: Principales actividades en un Muro de Geobolsas.....	25
Cuadro 6: Características del Talud.....	31
Cuadro 7: Datos considerados para el diseño.....	31
Cuadro 8: Tipo de Geocelda a utilizar en el diseño.....	34
Cuadro 9: Datos considerados para el diseño.....	35
Cuadro 10: Proceso constructivo del sistema de Geoceldas.....	38
Cuadro 11: Principales actividades de Revegetación de Talud.....	39
Cuadro 12: Comparativo de Ventajas de los Sistemas para Protección Costera y Ribereña....	40
Cuadro 13: Comparativo de Desventajas de los Sistemas para Protección Costera y Ribereña	40
Cuadro 14: Comparativo de Ventajas de los Sistemas para Revegetación de Taludes.....	41
Cuadro 15: Comparativo de Desventajas de los Sistemas para Revegetación de Taludes.....	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fotografías de los tipos de erosión.....	3
Figura 2: Muestra de Geotextil Tejido – Geobolsa.....	6
Figura 3: Muestra de las tiras que forman las Geoceldas.....	7
Figura 4: Dimensiones de Geoceldas	8
Figura 5: Relleno de material in situ	10
Figura 6: Principales componentes del Sistema con Geoceldas.....	11
Figura 7: Mapa de Ubicación del área de estudio - Colán	13
Figura 8: Vista Panorámica de la Defensa Costera – Piura.....	14
Figura 9: Problema de Erosión Costera – Colán.....	15
Figura 10: Contacto de las Olas con edificaciones.....	15
Figura 11: Fotografía del Balneario de Colán.....	16
Figura 12: Esquema de solución con Geobolsas.....	22
Figura 13: Llenado de Geobolsas con material in situ	23
Figura 14: Vista de la solución planteada en Colán	23
Figura 15: Mapa de Ubicación del área de estudio – Asia.....	23
Figura 16: Vista Panorámica del área de estudio a revegetar.....	27
Figura 17: Vista de Perfil izquierdo del Talud	28
Figura 18: Problema de Erosión en Talud.....	28
Figura 19: Vista Panorámica de la zona de estudio	29
Figura 20: Sistemas Típicos de anclajes de Geoceldas.....	30
Figura 21: Estabilidad del Sistema de Geoceldas para la protección de Taludes.....	32
Figura 22: Profundidad mínima de celda.....	33
Figura 23: Detalle de anclaje	34
Figura 24: Esquema de Solución con Geocelda Esquema de Solución con Geocelda.....	35
Figura 25: Talud antes de la instalación de Geoceldas.....	36
Figura 26: Talud revegetado con suelo orgánico	36

RESUMEN

El presente trabajo muestra dos tipos de soluciones de ingeniería como protección contra la erosión mediante la utilización de geosintéticos en dos zonas costeras del Perú; los revestimientos: las geobolsas y las geoceldas con relleno de material in situ y suelo orgánico respectivamente.

Con el propósito de difundir alternativas de solución no convencionales, se plantean dos casos para el control de erosión, el primero como Defensa Costera en Colán utilizando el sistema de confinamiento con Geobolsas y el segundo como sistema de Revegetación Autosostenible con Geoceldas en Asia - Cañete.

En ambos casos se realiza un planteamiento del problema, se evalúan las condiciones y soluciones con el objetivo de mostrar los criterios generales que influyen en la concepción y diseño de estas estructuras, comparando con otras soluciones de ingeniería como medida ante el control de erosión.

Se concluye que los sistemas de geobolsas y geoceldas son los recubrimientos adecuados en cada caso planteado de control de erosión, se recomienda el uso conjunto de estos recubrimientos como parte de una solución integral en proyectos de ingeniería.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo pretende dar a conocer soluciones no convencionales de ingeniería a los problemas típicos de erosión que sufren las zonas costeras de Colán y Asia, que afecta a la naturaleza y el hombre. Estos procesos erosivos, cuyo incremento se produce por causas antrópicas, son uno de los principales problemas ambientales en todo el mundo. Es importante señalar, que estos problemas erosivos generan importantes daños económicos e incluso sociales de manera directa o indirectamente.

En los últimos años se han utilizado nuevas tecnologías que proporcionan mejoras sostenibles en el tiempo, amigables con el ambiente y además resulten rentables económicamente. La aplicación de los geosintéticos en la ingeniería surge como una alternativa viable puesto que permiten resolver todos los problemas mencionados anteriormente. Asimismo, se obtienen ventajas entre las que se pueden mencionar: facilidad de colocación, ahorro en los tiempos de ejecución, utilización de mano de obra no calificada para su instalación, entre otras.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Mostrar la aplicación de nuevas tecnologías basadas en geosintéticos orientadas a la estabilización de taludes y control de erosión de los suelos.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar dos casos de estudio como sistemas de confinamiento con geosintéticos: Defensa Ribereña en Colán y Revegetación de Talud en Asia.
- Identificar las ventajas del uso y beneficios de geobolsas y geoceldas para el control de erosión en proyectos de ingeniería.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1.EROSIÓN

La erosión es uno de los procesos que mayor daño ha causado al medio ambiente tropical. La erosión y sedimentación de nuestros ríos, las avalanchas producto del mal manejo del suelo, la desaparición acelerada de los suelos orgánicos, producto de la deforestación, amenazan con acabar la reserva ecológica más importante de la tierra (Suarez, 2011).

3.1.1. Conceptos generales

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento; puede ser generada tanto por el agua como por el viento. Existen dos clases de erosión: natural (agua, viento, cambios climáticos) y antrópica; dentro de ellos las más comunes son: erosión laminar, por surco, cárcavas, eólica, fluvial, costera, etc. A continuación se mencionará los tipos de erosión más comunes, etc.



Fuente: Andex del Norte 2016

Figura 1: Fotografías de los tipos de erosión

La erosión es un proceso que se puede dividir en tres fases. La primera es el desprendimiento de partículas, este desprendimiento se produce habitualmente por la acción de la gravedad o con la ayuda de fuerzas como la acción del viento, del agua o del hielo; mientras que la rotura

de agregados del suelo se produce por el impacto de las gotas de lluvia o granizo. En una segunda fase, estas porciones y partículas desprendidas son transportadas por la acción de los agentes erosivos, principalmente por la gravedad, el agua y el viento. Durante su transporte, las partículas pueden actuar a su vez como agentes abrasivos que al impactar sobre la roca o el suelo provoca el desprendimiento de nuevas partículas. Por último, en la tercera fase, se produce la deposición de las partículas cuando la energía de los agentes de transporte no es suficiente para seguir arrastrándolas o cuando éstas son retenidas en las irregularidades del terreno o por la vegetación (Suarez, 2011).

3.1.2. El fenómeno de la erosión y los revestimiento

Los factores que determinan este fenómeno son muy complejos y no dependen únicamente de la interacción simple entre el flujo y el lecho, se puede mencionar que las variables generales que participan son las siguientes: las características geológicas, el tipo de suelo, la hidrología, la topografía de la zona de análisis, las variables hidráulicas, los sedimentos del flujo y las alteraciones de origen antrópico (Díaz, 2011).

Se considera que la erosión inicia con el desprendimiento de las partículas en el perímetro del cauce por acción de la fuerza tractiva (t_a) cuando esta es mayor que la fuerza tractiva crítica (t_c) de los sedimentos del lecho (Chow, 1994). Mientras que los revestimientos son estructuras de refuerzo que se utilizan para proteger la base o superficie, sobre la que se apoyan, de los esfuerzo tractivos producidos por el fluido circulante. De manera general, se puede definir un revestimiento por la composición de los siguientes elementos: armadura o manto superficial de protección, filtro o base protectora contra la erosión debajo de la armadura, protección contra la socavación en el pie del talud revestido y protección o anclaje del revestimiento en la cresta del revestimiento (Suarez, 2001).

3.2. GEOSINTÉTICOS

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno, polipropileno, poliéster y pvc (policloruro de vinilo). Los geosintéticos han sido

utilizados desde hace varios años en diferentes de obras de ingeniería civil cumpliendo las funciones de refuerzo, filtración, drenaje, separación, barrera de fluidos, etc.

Los geosintéticos presentan además ventajas sobre los métodos tradicionales de construcción por su facilidad de colocación, durabilidad, rentabilidad a largo plazo. Entre los diversos tipos de materiales Geosintéticos, destacan productos como los Geotextiles, Geocompuestos, Geomembranas Geomallas, Georredes, Geoceldas, Geobolsas, Geomantas, entre otros; que tienen la función de servir como un sistema de control de erosión en taludes, que normalmente carecen de vegetación (Díaz, 2009).

Los geosintéticos generalmente se colocan en combinación con otros geosintéticos (llamados geocompuestos), o con otros productos. En ocasiones cumplen un objetivo específico como por ejemplo servir de separadores entre capas de materiales o proteger contra la erosión en forma temporal durante el período de construcción (Suarez, 2001).

3.2.1. Geobolsas

Las geobolsas están fabricadas de Geotextil Tejido (PET) de poliéster de alta resistencia, alto peso molecular, alta tenacidad y baja fluencia de acuerdo a Normas Técnicas Internacionales (ASTM). Poseen resistencia de 108KN/m, una permeabilidad menor o igual a 0.008 s⁻¹ y tamaño de apertura aparente menor o igual 0.075 mm.

Ofrecen alto módulo con baja deformación, ya que tienen una 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 (Andex del Norte, 2016).

Los Geotextiles tienen gran resistencia a la degradación por Rayos UV y al ataque biológico y químico, en estructuras de refuerzo a mediano y largo plazo (ver Anexo).



Fuente: Andex del Norte 2016

Figura 2: Muestra de Geotextil Tejido – Geobolsa

3.2.1.1. Dimensiones de las Geobolsas

Las Geobolsas dependerán del diseño específico propuesto según los datos proporcionados por el proyectista, asimismo estas presentan distintos tipos de dimensiones y capacidades, entre las medidas más convencionales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 1: Dimensiones de Geobolsas

Tipo	Dimensiones	Capacidad
GB-1200	5 x 2.4 x 1	12 m ³
GB-600	5 x 1.2 x 1	6 m ³
GB-1000	1 x 2.5 x 4	10 m ³
GB-25	0.5 x 0.5 x 1	0.25 ³

Fuente: Elaboración propia

a) Configuración de Geobolsas

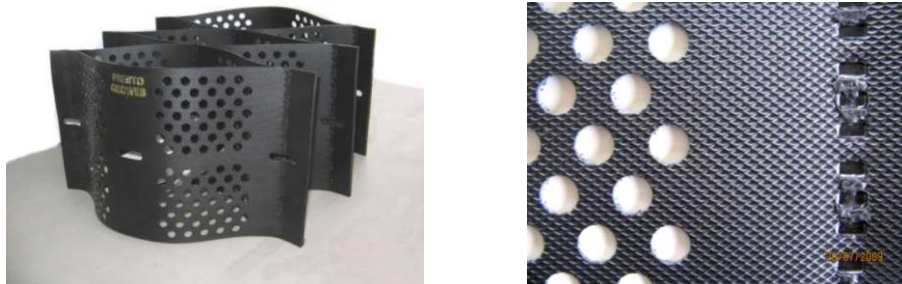
Las geobolsas pueden tener diversas configuraciones al ser instaladas en las defensas costeras o ribereñas, esto depende del diseño de ingeniería siempre y cuando cumplan las necesidades del proyecto (Andex del Norte, 2016).

b) **Aplicaciones con Geobolsas**

- Diques de protección
- Espigones, embalses
- Obras Hidráulicas
- Obras Marítimas y Fluviales
- Control de Sedimentos
- Contención de suelos

3.2.2. **Geoceldas**

Las geoceldas son geosintéticos que fueron utilizados inicialmente para mejorar las condiciones del suelo, originalmente fueron desarrolladas por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE por sus siglas en inglés). Consisten en celdas formadas mediante tiras laminares de Polietileno de alta densidad (HDPE) o Polietileno (PE) unidas mediante soldadura ultrasónica en los anchos de las tiras (Presto, 2000). Existen diversas concepciones del sistema de geoceldas como se muestra en la figura y especificación técnica de la geocelda (ver Anexo).



Fuente: Presto, 2000

Figura 3: Muestra de las tiras que forman las Geoceldas

c) **Materiales de relleno selecto**

Se requiere de una serie de materiales de relleno para dar soluciones específicas a los problemas que se presentan. Estos materiales incluyen:

- Tierra vegetal con varios tipos de vegetación
- Agregados, incluyendo arena, grava y piedra

- Concreto de diversas resistencias y acabados
- Combinaciones de los anteriores aplicables a condiciones especiales

d) **Características**

- Las geoceldas texturizadas con indentaciones romboidales y patrón de perforado.
- Flexibilidad: forma de secciones y tipo de material se adecúa a la topografía de terreno.
- Durabilidad y resistencia a las uniones a largo plazo (ensayo a las 10,000 horas).
- Alturas de cada geocelda desde 7.5 cm hasta los 20 cm y dimensiones 20V, 30V y 40V.
- Cuenta con accesorios para uniones entre secciones de geoceldas y cintillos de fijación.

En seguida se muestran las dimensiones y alturas de cada tipo de geocelda.



Fuente: Presto, 2000

Figura 4: Dimensiones de Geoceldas

e) **Performance**

- Cuenta con accesorios para uniones entre secciones de geoceldas y cintillos de fijación.
- Alta rentabilidad en la ejecución de obra.
- Aplicaciones de más de 13 años en el Perú y más de 800,000 m² instalados.

- Certificado de calidad de todas y cada una de las especificaciones técnicas.

3.3. SISTEMAS DE CONFINAMIENTO

La geoceldas y geobolsas son recubrimientos que se utilizan como revestimiento superficial para proteger los taludes y las márgenes de los ríos contra la erosión respectivamente.

Los sistemas de confinamiento con geosintéticos permiten contener y sostener mecánicamente suelo con fines de revegetación como medio de protección ante posibles problemas de erosión, estos sistemas innovadores proporcionan una gran durabilidad a lo largo del tiempo, que genera a una ventaja económica en comparación con los otros sistemas convencionales que actualmente se siguen aplicando.

La vegetación es la mejor arma para controlar la erosión de los taludes; sin embargo, cuando estos están degradados necesitan de un medio orgánico para lograr su revegetación, y cuando los taludes son muy escarpados, es necesario combinar la estabilización mecánica, química y biológica para la revegetación de los taludes, utilizando sistemas de confinamiento con Geoceldas y en el caso de defensas ribereñas y costeras con Geobolsas.

Por otra parte, existen otros sistemas complementarios que ayudan a la protección de suelos, en este caso los mantos de control de erosión, cada uno de ellos y los mencionados anteriormente se adecua de acuerdo las condiciones del terreno y el acabado que requiera la solución del proyecto (Andex del Norte, 2016).

3.3.1. Geobolsas como sistema de confinamiento

Hay regiones donde es típica la ausencia de canteras de material pétreo cercanas para la elaboración de enrocados, o agregados y producción de cemento para elaboración de obras de concreto. A la inversa, las arenas y sedimentos, son los más abundantes.

En diferentes regiones, la arena, y en general el suelo, es el recurso de mayor disponibilidad; su adecuado confinamiento puede ser de gran economía para el control de erosión. Debido al confinamiento de la arena con agua dio como resultado el relleno de material en las geobolsas, como se observa en la figura.



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 5: Relleno de material in situ

a) *Ventajas y Usos de las Geobolsas*

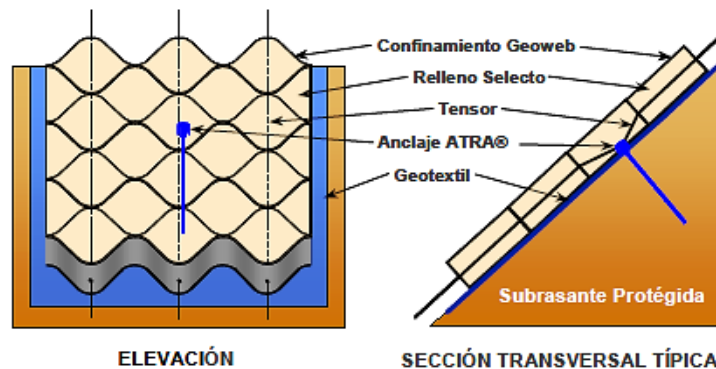
- Emular la roca en un medio donde no abunda
- Permitir controlar la erosión costera y de riberas
- Resistir empujes y esfuerzos de corte hidráulicos
- Dotar de flexibilidad para adaptarse a socavaciones y asentamientos
- Como solución para el control de sedimentos

3.3.2. Geoceldas como sistema de confinamiento

El Sistema de confinamiento con Geoceldas ofrece una amplia gama de tratamientos para la protección de la superficie de taludes sometidos a fuerzas erosivas. La flexibilidad característica del sistema, combinada con una serie de técnicas sencillas pero eficientes de anclaje, permite el revestimiento de los taludes empinados con materiales tanto duros como vegetales.

Al asegurar la estabilidad y eficiencia a largo plazo de los materiales de revestimiento del talud, se puede garantizar la estructura de los suelos subyacentes, cumpliendo a la vez con las normas adecuadas de estética. Por otra parte, el sistema de geoceldas proporciona un método para

recubrir completamente con vegetación taludes que en otra forma no permitirían el crecimiento de plantas.



Fuente: Presto, 2000

Figura 6: Principales componentes del Sistema con Geoceldas

a) **Ventajas del Confinamiento de las Geoceldas**

- Las paredes de las celdas que contienen el relleno de tierra vegetal, forman una serie de pequeñas presas de detención a lo largo del talud protegido. Se impide así la formación de grietas que suele ocurrir cuando un flujo concentrado penetra en el suelo, ya que el flujo es continuamente redireccionado hacia la superficie. Este mecanismo retarda también la velocidad del flujo, y por ende la fuerza erosiva de la escorrentía.
- Cada celda contiene y protege un espesor determinado de tierra vegetal así como el conjunto de raíces que se están desarrollando. Las raíces penetran fácilmente dentro de las capas de geotextil no tejido del subsuelo, formando de esa forma una cubierta de refuerzo en toda el área del talud.
- En regiones áridas, se ha observado que las celdas pueden mejorar el desarrollo de la vegetación nativa.

IV. DESARROLLO DEL TEMA

4.1. ANTECEDENTES

En los últimos años se han venido innovando las soluciones de ingeniería mediante la utilización de geosintéticos a lo largo de todo el Perú, para ello se utilizan revestimientos de diversos materiales y características, entre ellos se encuentran los sistemas de confinamiento revestido de Geoceldas y Geobolsas.

Así mismo, es necesario reconocer la importancia de los revestimientos contra la erosión en las obras ribereñas y protección de taludes, debido a que la erosión y/o socavación es la principal causa de falla de estas obras, es por esto que ante la necesidad de una nueva opción de revestimiento de las defensas costeras y protección de taludes, se plantea el uso de las geobolsas relleno con material de la zona y geoceldas relleno con suelo orgánico para la revegetación.

4.2. CASO DE ESTUDIO I: DEFENSA COSTERA EN COLAN

4.2.1. Ubicación y Accesibilidad

La Defensa Costera como protección contra la erosión ante el oleaje se encuentra ubicada en el distrito de Colán, provincia de Paita, departamento de Piura; pertenece a una empresa privada. Se localiza a 72 km de la ciudad de Piura y a 15 km de la vía Paita - Sullana, con fácil accesibilidad a la zona de proyecto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Mapa de Ubicación del área de estudio - Colán

4.2.2. Características geográficas

El balneario de Colán debido a la situación geográfica posee un clima cálido y húmedo durante todo el año y su temperatura promedio anual es de 25 °C. Su litología es de rocas metamórfica desde pizarras hasta esquistos micáceos y cuarcitas que se extiende hasta el casco urbano de la ciudad.

El verano va de diciembre a abril, es muy caluroso y más húmedo que el resto de meses, las lluvias son comunes durante esta época, especialmente durante las noches. La temperatura baja de junio a agosto.

La variedad y fusión climática otorgan características únicas a esta región, se debe principalmente al choque de dos corrientes: la fría Corriente de Humboldt, con el cálido Fenómeno El Niño. Estas corrientes chocan a la altura de la bahía de Sechura al sur de la ciudad de Piura y otorgan a la Región de Piura una característica única en sur América, mitad desierto, mitad trópico.



Fuente: Google Earth, 2017

Figura 8: Vista Panorámica de la Defensa Costera – Piura

4.2.3. Requerimiento y Diagnóstico

Se requiere realizar una defensa costera como protección ante la erosión en el Balneario de Colán – Piura, esta protección debe soportar el impacto de las olas y proteger las edificaciones cercanas; asimismo, evitar que el agua se lleve consigo los finos que ayudan a la cohesión del material granular que los conforma. Por otro lado, se busca la estabilización del sistema en conjunto de acuerdo a las condiciones topográficas del terreno.

Para realizar una propuesta de estabilización en la defensa costera de Colán, es muy importante tener conocimiento de cómo ocurren los mecanismos de erosión y de cómo actúan las fuerzas, en las estructuras de protección a proponer. El conocimiento inadecuado, de los procesos de erosión activos y potenciales en un sitio específico, pueden conducir a la falla del sistema de protección.

El revestimiento en el área de trabajo es una forma de enchape o protección colocada sobre la superficie del talud construido para estabilizarlo y protegerlo contra la erosión producida por las corrientes de agua u oleaje. El control de erosión en este caso puede realizarse mediante la construcción de una estructura revestida con materiales o elementos que tengan una alta resistencia a la erosión como son las geobolsas elaboradas a base de geotextil tejido.

En este caso, se requiere proteger 118 metros lineales aproximadamente, según la visita a campo e información proporcionada por la empresa (Andex del Norte, 2016).



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 9: Problema de Erosión Costera – Colán



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 10: Contacto de las Olas con edificaciones



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 11: Fotografía del Balneario de Colán

4.2.4. Criterios de Selección

El criterio para diseñar un defensa costera se da a través del peso del material de relleno y que esté protegido con un revestimiento de alta resistencia. Este peso representa, en proporción, la fuerza resistente de la defensa ante el efecto desestabilizador del oleaje. Dentro de los métodos más utilizados a nivel mundial encontramos las fórmulas estructurales de Hudson y Van der Meer.

En primer lugar, se deben conocer las características del clima marítimo en aguas profundas y a través de procesos de propagación de este, determinar dichas características a pie de obra, según la disponibilidad de datos y particularidades del entorno (parámetros hidráulicos y geotécnicos).

Conocidas las solicitaciones relacionadas al clima marítimo (cargas externas), se procede a diseñar estructuralmente la construcción que mejor se adapte al proyecto. Este dimensionamiento debe garantizar la estabilidad de toda la estructura de protección resistente ante las cargas (Van der Meer, 1984). De igual manera, se enfatiza el clima marítimo y sus características:

a) Oceanografía

En la ingeniería marítima y de acuerdo al alcance de este caso de estudio, los parámetros oceanográficos más representativos e importantes son: el oleaje, la marea y el transporte de sedimentos, por ser los más influyentes en el diseño de defensas costeras.

b) Obras de protección marítima

Para controlar la erosión ocasionada por el oleaje, la cual puede destruir construcciones viales o puertos, la ingeniería ha orientado sus esfuerzos a la estabilización de la costa con diferentes obras entre los procesos y la forma en que actúan tenemos: espigones, diques, rompeolas y geobolsas.

c) Altura de Ola

Para obtener la altura de ola de diseño, es decir, aquella que golpea la defensa costera, es necesario un análisis de las propiedades de la zona generadora de oleaje o bien contar con un registro amplio de observaciones en alta mar y así poder determinar el clima marítimo en aguas profundas.

d) Características del Geotextil Tejido

El geotextil tejido es la materia principal para el diseño de las Geobolsas; ya que de sus características técnicas dependerá la geometría, construcción y comportamiento de la estructura; es por ello que muestran las fichas técnicas (ver Anexo IV), las cuales contienen las especificaciones del material, amparadas en ensayos estandarizados y certificadas a nivel internacional.

e) Resistencia a la tensión del Geotextil

Es una de las propiedades más importantes, para el geotextil propuesto se tiene una resistencia máxima o última a la tensión de 108 KN/m, la cual se consigue con una elongación máxima de

10%. Asimismo, para la construcción de las Geobolsas y el Geotextil tejido a utilizar en condiciones de trabajo; es necesario aplicar factores de reducción a la resistencia máxima del geotextil tejido, según la ecuación:

$$T_{\text{PERM}} = \frac{T_{\text{ULT}}}{FS_{\text{DI}} \times FS_{\text{DQ}} \times FS_{\text{DB}} \times FS_{\text{RF}} \times FS_{\text{RCU}}}$$

Donde:

T_{PERM} = Resistencia a la tensión del geotextil permitida a largo plazo (KN/m).

T_{ULT} = Resistencia a la tensión última del geotextil, basada en valores de MARV (KN/m).

f) Factores de Reducción del Geotextil

La utilidad de los factores de reducción, permite dar una seguridad adicional al diseño, ya que el geotextil puede verse modificado o alterado en el momento de la confección o construcción, por el ataque de agentes externos; o también durante el tiempo que funciona la estructura (Saldaña, 2017). Mencionamos:

- **FS_{DI} (Daños de instalación):** Se refiere a un aumento accidental de la presión de bombeo, por lo que podría ser definido como un seguro ante variaciones inesperadas de presión.
- **FS_{DQ} (Daños químicos):** Son inertes a este tipo de daños, se producen por el relleno a utilizar, también puede ser causada externamente por la exposición directa del geotextil al sol (radiación ultravioleta - UV), se recomienda un valor preliminar mínimo de $FS_{\text{DQ}} = 1.0$
- **FS_{DB} (Daños biológicos):** La degradación biológica no parece ser un problema en la mayoría de los casos dónde se usan los geotextiles; por tanto se recomienda un valor preliminar de $FS_{\text{DB}} = 1.0$.
- **FS_{RF} (Daños por Creep):** Se utiliza para la reducción de resistencia última del geotextil al final del periodo de servicio de la estructura. El valor mínimo de FS_{RF} , depende del tipo de polímero; se recomienda que el valor preliminar mínimo sea mayor o igual a 1.5.

- **FS_{RCU} (Reducción de resistencia a la costura):** La eficiencia de las costuras puede ser bastante baja para geotextiles tejidos de alto módulo. Se recomienda un valor preliminar mínimo de 2.0.

4.2.5. Diseño de la Estructura y Análisis

La metodología de diseño para Geobolsas todavía se encuentra en desarrollo, la mayoría de métodos se basan en modelos y verificaciones en campo, que han probado ser exitosas (Cáceres, 2013).

a) Análisis de Diseño para el rompeolas

Para disipar la energía de los trenes de olas que inciden en forma casi paralela a la costa; se conformará un rompeolas, en dirección casi perpendicular a la dirección de olas en la zona del proyecto.

La selección de una estructura con unas determinadas características, será el resultado de un proceso de selección progresivo que adecue el diseño a los requerimientos funcionales y económicos; es por ello que se ha planteado la solución con la estructura principal de Geobolsas de Geotextil tejido.

Cuadro 2: Características del tipo de estructura

Características de la Estructura	Tipo
Talud	Inclinado - Rompeolas
Rugosidad de la superficie	Medianamente rugoso
Permeabilidad	Medianamente permeable
Rebasabilidad	Sumergido
Situación respecto a la Costa	Casi paralelo
Rigidez de la estructura	Flexible, se acomoda al terreno
Porosidad	Discreta, pequeñas aberturas

Fuente: Elaboración propia

Es conveniente conformar la estructura en varios tramos hasta alcanzar la altura requerida. La posible distribución de las Geobolsas consiste en cuatro niveles de 1.0 m cada uno.

b) Análisis de Estabilidad de la estructura

Para el análisis de estabilidad de la estructura propuesta, se ha considerado las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas del impacto, fruto del oleaje. La defensa propuesta estará orientada aproximadamente en forma paralela a la costa, con el fin de disipar el oleaje que incide en la zona de aplicación y por ende la energía del mismo.

Para el lastre se recomienda una altura de aproximadamente 30 cm, aunque esto dependerá del criterio del diseñador. De cualquier modo, se han reportado lastres longitudinales de 1.20 m de perímetro, que han resistido adecuadamente las olas en caso de tormentas. Es recomendable que este manto antisocavante, se coloque a lo largo de la estructura de Geobolsas y a ambos lados de la misma, ya que cuando se llena la estructura, el agua escurre y escapa por todos lados, pudiendo erosionar el suelo alterando los niveles iniciales del terreno, haciendo que ruede, se deforme o colapse la estructura.

c) Análisis de Estabilidad con Geobolsas

Las Geobolsas son estructuras de Geotextil Tejido, rellenas con material arenoso; las cuales tienen volúmenes entre 0.5 a 12 m³. Como la estructura total a conformar es de 4.0 m de altura, esta altura se puede alcanzar con 4 niveles de Geobolsas de 1.0 m de altura cada una. El ancho y largo de las geobolsas serán de 2.4 m y 5.0 m respectivamente; las cuales pueden ser llenadas en la tolva de un volquete o excavadora, para su colocación; haciendo un volumen total de 12 m³, que está dentro del rango para estas estructuras.

d) Diseño del Tipo de Geotextil y Tamaño de Abertura Aparente

De acuerdo al tipo de Geotextil a usar, la ejecución del proyecto y a las condiciones a las que estará expuesta la estructura; se tomarán en cuenta los factores de reducción, detallados en el Cuadro 3:

Cuadro 3: Factores de Reducción para el Geotextil

Aplicación	Rango de Factores de Reducción (FR)			
	FS _{DI}	FS _{DQ}	FS _{DB}	FS _{FR}
Geobolsas	1.3	1.05		1.5

Fuente: Elaboración propia

Normalmente el Geotextil que encapsula el relleno tiene que funcionar también como filtro, es decir, permitir que el agua en el suelo encapsulado escape a través del geotextil debido al gradiente hidráulico y densidad del suelo, mientras que las partículas sólidas son retenidas. Para ello el Geotextil debe poseer dos propiedades esenciales, ser permeable y al mismo tiempo retener los sólidos.

El tamaño de abertura aparente de un geotextil que formará la Geobolsa no es un parámetro importante para predecir su capacidad de filtración, especialmente cuando el relleno es arena. Para este caso se tiene un tamaño aparente < 0.075 mm, según la hoja técnica utilizada.

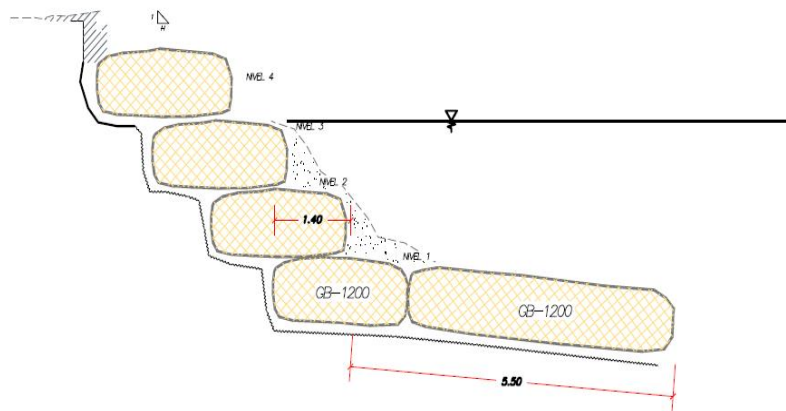
e) Resistencia a las costuras

En la confección y el diseño de las Geobolsas, uno de los factores crítico es la determinación de la posición más débil de la estructura, la cual es la zona donde se pierde la homogeneidad circunferencial. Por este motivo la unión entre tramos de geotextil es realizada con el uso de hilo y máquinas de costura, cuyas propiedades son de suma importancia para alcanzar la eficiencia necesaria.

4.2.6. Solución Planteada y Discusiones

De acuerdo a la información considerada y los análisis de diseño desarrollados en el ítem anterior, se plantea el uso de una estructura como defensa compuesta por un sistema de Geobolsas GB-1200 de dimensiones 5m x 2.4m x 1m, brindando un factor de seguridad adecuado para la protección de la plataforma, rellenas con material in situ con una capacidad de 12 m³, según se muestra en el detalle de la figura. Este sistema, controlará la erosión y fuerzas provocadas por el flujo de agua.

Debido a la escases de roca en la zona, el cual involucraba un gasto económico mucho mayor, se planteó la tecnología de Geobolsas, que confina el mismo material de la zona para generar la defensa Costera, teniendo eficiencias y altas practicidad de instalación de los mismos; el Sistema de Geobolsas es factible por tener una tecnología económicamente rentable a diferencia soluciones para conformación de muro convencionales.



Fuente: Elaboración propia

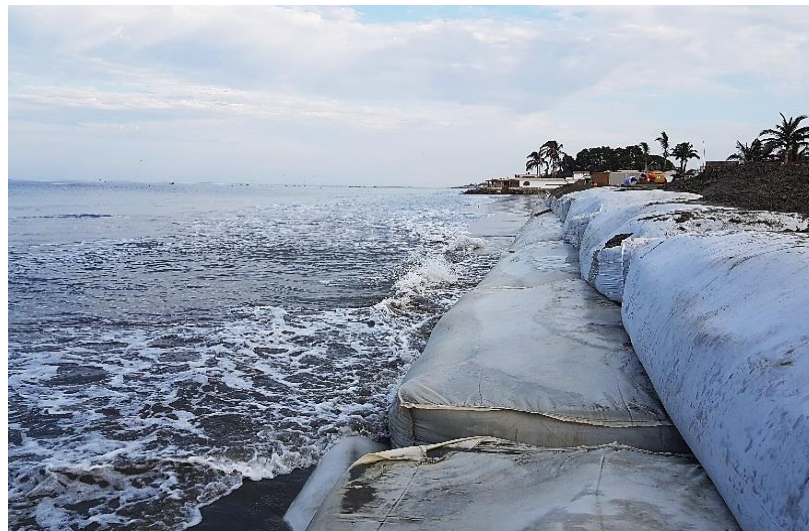
Figura 12: Esquema de solución con Geobolsas

La propuesta incluye materiales adicionales como el Geotextil no tejido de 300 gr. por detrás de los sistemas de Geobolsas. En la lámina RD-01, se muestra con mayor detalle la conceptualización de esta alternativa.



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 13: Llenado de Geobolsas con material in situ



Fuente: Andex del Norte, 2016

Figura 14: Vista de la solución planteada en Colán

4.2.7. Instalación de Geobolsas

Se plantea para este proyecto el sistema de Geobolsas, a continuación se detallará el proceso constructivo de la instalación de la estructura diseñada en base a Geotextil tejido.

Cuadro 4: Proceso constructivo del Sistema de Geobolsas

	<p><i>Cosido de Geobolsas:</i> Se realiza mediante la utilización de la máquina de coser con un hilo de alta resistencia de características similares a la geobolsas.</p>
	<p><i>Colocación de manto antisocavante:</i> Elaboración del manto antisocavante teniendo consideración en la longitud necesaria del manto y la adecuada costura del lastre.</p>
	<p><i>Encofrado y llenado de Geobolsas:</i> Consiste en la colocación de 3 lados con planchas de madera y el cuarto lado con la misma arena de la playa. El llenado se realiza con una máquina excavadora.</p>
	<p><i>Costura de la tapa de la Geobolsa:</i> Antes de iniciar con la costura de la tapa, debe quedar libre 10 cm para la costura, con esto aseguramos las dimensiones requeridas de la geobolsa y la adecuada costura de la tapa.</p>



Fuente: Elaboración propia

4.2.8. Costo del proyecto

Las principales partidas que implica la ejecución de este tipo de obra son las siguientes:

Cuadro 5: Principales actividades en un Muro de Geobolsas

TIPO DE OBRA: MURO DE GEOBOLSAS						
ACTIVIDADES		METRADOS		COSTOS S/.		
Cod	Descripción	Und	Cantidad	Unitario	Parcial	Total
1.00 ACTIVIDADES PRELIMINARES						
1.01	Movilización y desmovilización de equipos	Glb	1	S/. 1,200.00	S/. 1,200	S/. 1,200
2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
2.01	Limpieza de terreno	m2	600	S/. 0.86	S/. 516	S/. 516
2.02	Corte y remoción de mat. Local	m3	480	S/. 2.30	S/. 1,104	S/. 1,104
2.03	Conformación de Terraplen	m3	950	S/. 3.99	S/. 3,791	S/. 3,791
3.00 COLOCACIÓN DE GEOBOLSAS						
3.01	Suministro e instalación de Geobolsas	und	120	S/. 700.96	S/. 84,115	S/. 84,115
3.02	Suministro e Instalación de Geotextil Tejido	m2	2,000	S/. 15.08	S/. 30,154	S/. 30,154
4.00 MURO DE PROTECCIÓN POSTERIOR						
4.01	Encofrado y desencofrado	m2	300	S/. 120.86	S/. 36,258	S/. 36,258
4.02	Acero corrugado fy = 4200 kg/cm2 grado 60	kg	1,000	S/. 4.02	S/. 4,020	S/. 4,020
4.03	Concreto f'c = 175 kg/cm2	m3	120	S/. 327.16	S/. 39,259	S/. 79,537
TOTAL DE COSTO DIRECTO S/.						S/. 240,695

Fuente: Elaboración propia

4.3. CASO DE ESTUDIO II: REVEGETACIÓN AUTOSOSTENIBLE EN ASIA

4.3.1. Ubicación y Accesibilidad

El proyecto Alto del Prado se encuentra ubicado en el distrito de Asia, provincia de Cañete, departamento de Lima; pertenece a una empresa privada. Cuenta con una ruta de acceso principal por la carretera Panamericana Sur en el km 104 aproximadamente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Mapa de Ubicación del área de estudio - Asia

4.3.2. Características Geográficas y Geotécnicas

El distrito de Asia por su ubicación geográfica próxima a la región Yunga es del tipo muy seco y semicálido, por lo que la temperatura media mensual varía entre 23°C y 16°C para los meses de Febrero y Agosto respectivamente, la humedad relativa tiene una variación de 78 % en verano a 81% en invierno y en la precipitación total promedio anual 26.6 mm.

La Dirección predominante de los vientos es de Sur - Oeste con una velocidad de 7 a 12 km/h con brisas ligeras en verano, invierno y primavera y de 2 a 6 km/h con viento débil en otoño. La evaporación total anual promedio es 1,232 mm.

En el área del proyecto Alto del Prado se realizaron tres calicatas (C1 al C3) que representan un suelo granular (arena limosa, arena pobremente graduada con limo y arena) hasta una profundidad variable de 0.3 m, subyaciendo material denominado caliche, cementado por sales.

El contenido de sulfatos, sales solubles totales y cloruros en el suelo se encuentran dentro de los niveles permitidos, en ese sentido no existirá problemas relacionados a la pérdida de resistencia del suelo por proceso de lixiviación o problemas de corrosión en relación al contenido de sulfato, por lo tanto el nivel de agresión al concreto se denota como leve.



Fuente: Google Earth, 2017

Figura 16: Vista Panorámica del área de estudio a revegetar

4.3.3. Requerimiento y Diagnóstico

El proyecto Alto del Prado requiere implementar un sistema que permita controlar la erosión en los taludes del proyecto, a su vez realizar una mejora paisajística y revegetación autosostenible, considerando las características topográficas de la zona.

La zona de proyecto posee un talud empinado $> 60^\circ$ con problema de caída de piedras en la parte superior y un talud menos empinado con potencial de contener suelo orgánico en Geoceldas para la revegetación.

Asimismo, se distingue la necesidad de controlar los procesos erosivos en la superficie de los taludes, en donde se generará efectos negativos de desestabilización en su superficie. Se necesita un sistema que contribuya a mejorar las condiciones actuales y futuras del terreno existente. El área total a revegetar en el talud inferior es 1 718 m² aproximadamente, de acuerdo a los planos proporcionados por la empresa.



Fuente: Andex del Norte, 2017

Figura 17: Vista de Perfil izquierdo del Talud



Fuente: Andex del Norte, 2017

Figura 18: Problema de Erosión en Talud



Fuente: Andex del Norte, 2017

Figura 19: Vista Panorámica de la zona de estudio

4.3.4. Criterios de Selección

Los criterios de diseño de las geoceldas son muy diversos, no solo dependen del tipo de patente con el que se trabaja, sino, también de las condiciones de los proyectos juegan un papel sumamente importante. Es por esto, que la existencia de una guía de diseño estricta no puede ser posible en el caso de las geoceldas (Aguilar, 2016). La elección de la geocelda adecuada es muy importante para evitar los problemas más comunes que ese puedan presentar como:

- Impacto de lluvias y escorrentías
- Filtración de agua superficial
- Revestimiento de taludes con pendiente fuerte

a) Consideraciones del material de relleno

El material de relleno que se utiliza en las geoceldas depende de las condiciones a las que será expuesto dicho material para un proyecto determinado. En ese sentido, se debe tener en cuenta los siguientes criterios recomendados para la selección del material de relleno basados en la tecnología Geoweb (Presto, 2000): Velocidades de flujo máximas, fuerzas de arrastre actuantes

máximas, tiempo de exposición a las condiciones máximas, inclinación del talud y ángulo de fricción interna del material, factibilidad económica del uso del material.

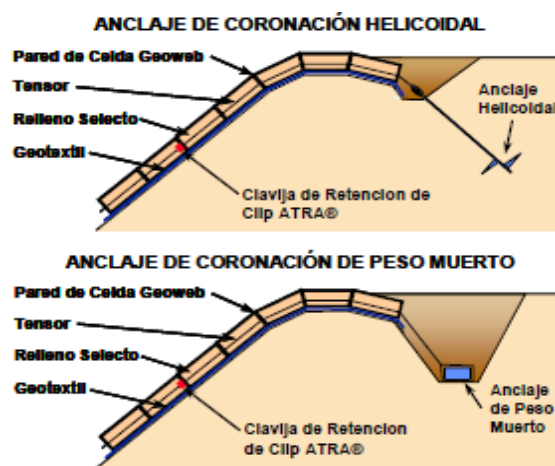
b) Dimensionamiento de las geoceldas

Una vez seleccionado el material de relleno adecuado, la dimensión de las celdas debe ser determinada considerando la variación de las propiedades del sistema. Las consideraciones que intervienen en la selección de las dimensiones del revestimiento son las siguientes:

- Inclinación del talud y ángulo de fricción interna del material.
- Las características hidrodinámicas del flujo.
- El uso de los elementos de resistencia de las cargas de gravedad y de arrastre.
- Verificación del comportamiento de flexibilidad y estabilidad del sistema.

c) Estabilidad para el cálculo de anclajes

Los anclajes deben ser evaluados para las condiciones más desfavorables que afronta el sistema de geoceldas. Los sistemas de protección de taludes pueden fijarse con una serie de anclajes de superficie o con un sistema de anclaje de coronación, que se adapten a los requerimientos del diseño y a las condiciones de subrasante.



Fuente: Presto, 2000

Figura 20: Sistemas Típicos de anclajes de Geoceldas

4.3.5. Diseño de la Estructura y Análisis

Conforme a los planos topográficos y estudio de mecánica de suelos proporcionados por la empresa contratante, se consideran los siguientes datos de diseño:

Cuadro 6: Características del Talud

Características del Talud	
Altura promedio de talud	12.20 m
Inclinación máxima	1V:1.66H

Fuente: Elaboración propia

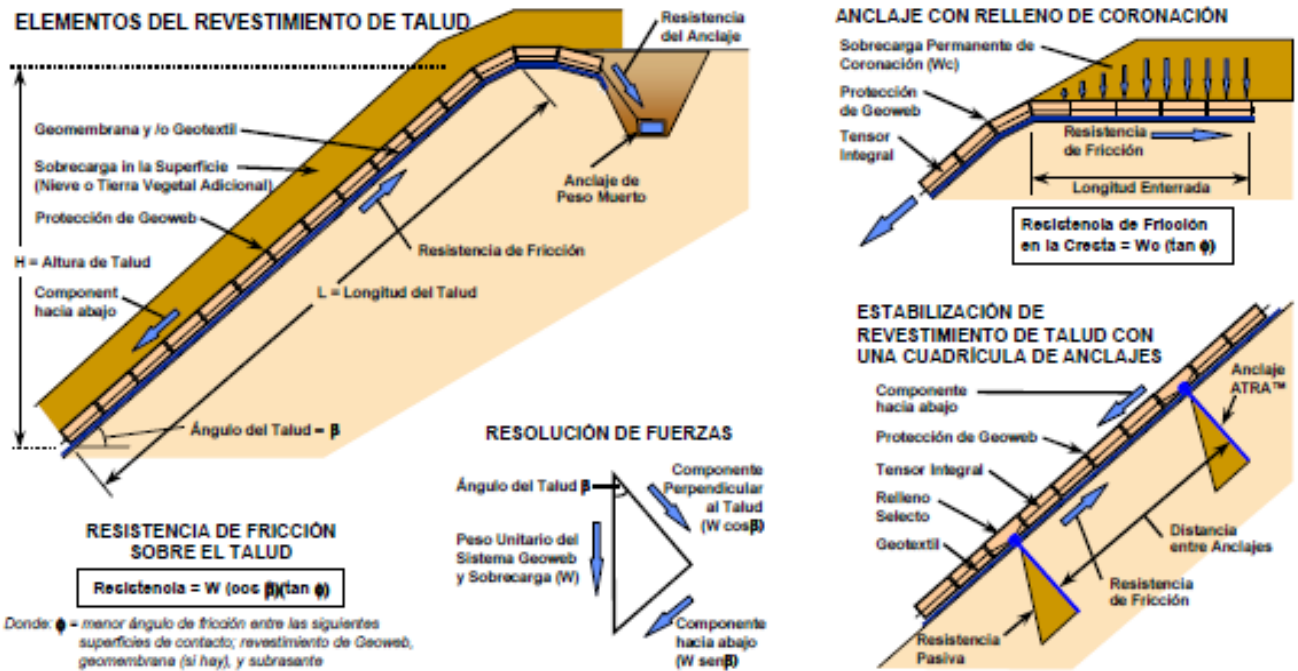
Cuadro 7: Datos considerados para el diseño

Características Geotécnicas	
<i>Material de Fundación</i>	
Tipo de suelo	SP - SM
Peso específico del suelo (γ)	15.60 kN/m ³ (1.59 gr/cm ³)
Ángulo de fricción (ϕ)	34.2°
Cohesión (c).	1.96 kN/m ² (0.02 kg/cm ²)
<i>Material de Relleno</i>	
Peso volumétrico (saturado) (γ)	17 N/m ³

Fuente: Elaboración propia

a) Análisis de Estabilidad del Revestimiento de Talud

La resistencia de fricción en la superficie de contacto del sistema con el suelo de subrasante se opone a la tendencia natural de la capa protectora de revestimiento a deslizarse hacia abajo. La resistencia al deslizamiento de los sistemas compuestos, que incorporan una geomalla de subcapa, puede verse limitada por los coeficientes de fricción relativamente bajos de estos materiales geosintéticos. Se puede utilizar diversos sistemas de anclajes de coronación, incluyendo anclajes de peso muerto y material de sobrecarga sobre el sistema de Geoceldas.



Fuente: Presto, 2000

Figura 21: Estabilidad del Sistema de Geoceldas para la protección de Taludes

a) Selección de Relleno de tierra y vegetación

Se puede esperar que las celdas se vacíen parcialmente cuando el material de relleno se consolida en forma natural o si se satura antes del desarrollo de la vegetación.

En el caso que se presenten escorrentías superficiales intermitentes, de intensidad moderada, y de duración relativamente corta (<24 horas). Pueden soportar velocidades máximas de 6 m/s (20 pie/s) por períodos cortos cuando la cubierta vegetal está bien establecida (Presto, 2000).

b) Selección del Tamaño de Celda

Los factores más importantes en la selección del tamaño de celda son la pendiente del talud, la intensidad de la escorrentía superficial, y el ángulo de reposo mínimo previsto para el material de relleno. Normalmente conviene utilizar el Geocelda de celdas GW40V para los rellenos de tierra con vegetación cuando la pendiente del taludes menor 60° y se espera escorrentías de intensidad moderada, como es el caso estudio presentado.

La profundidad normal de celda para la protección de la vegetación es de 75 mm (3 pulg), siempre que el subsuelo permita el desarrollo de raíces y que la pendiente del talud sea menor de 60° como es el caso de estudio (Presto, 2000).

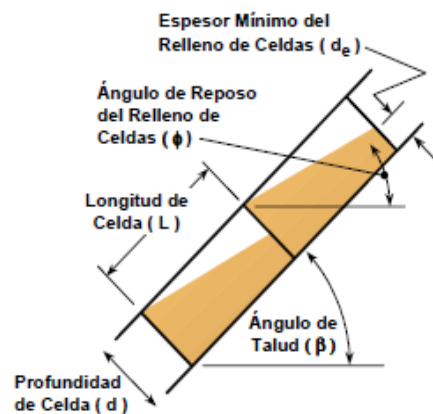
La acción hidráulica que se produzca antes de que la vegetación esté completamente desarrollada dentro de las celdas puede ocasionar pérdida, asentamiento o cambio de forma de los suelos de relleno. La relación entre las variables geométricas puede expresarse como:

$$\phi = \beta - \arctan\left(\frac{d - d_e}{L}\right) \text{ ó}$$
$$d = L \tan(\beta - \phi) + d_e$$

Donde:

- ϕ : Ángulo mínimo de reposo del material de relleno
- β : Ángulo de la pendiente
- d : Profundidad de la celda (mm)
- L : Longitud de la celda (mm)
- d_e : Espesor mínimo aceptable (mm) del material de relleno

El espesor mínimo de recomendado es de $\frac{1}{2} d$.



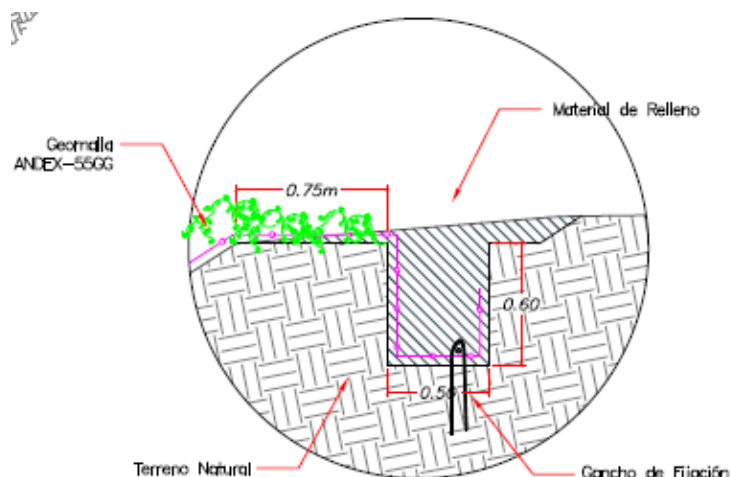
Fuente: Presto, 2000

Figura 22: Profundidad mínima de celda

c) *Análisis de Anclaje de Superficie*

Los anclajes de coronación pueden utilizarse en los casos en que no se puede utilizar anclajes que sobresalgan del talud.

En este caso estudio la zanja diseñada es de 0.50 m de ancho y 0.60 m de profundidad, los cuales estarán sujetos a un gancho de fijación (Presto, 2000).



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Detalle de anclaje

d) *Cálculo de Densidades*

Este sistema incluye accesorios, como geomalla y elementos de sujeción, distribuidos adecuadamente por diseño; siendo estos, elementos que proporcionarán estabilidad al sistema. Para ello se realizó el cálculo de densidades si se usa Geomalla.

Cuadro 8: Tipo de geocelda a utilizar en el diseño

Tipo de Geocelda	Long (m)	Ancho (m)
GW40V	0.475	0.508

Fuente: Elaboración propia

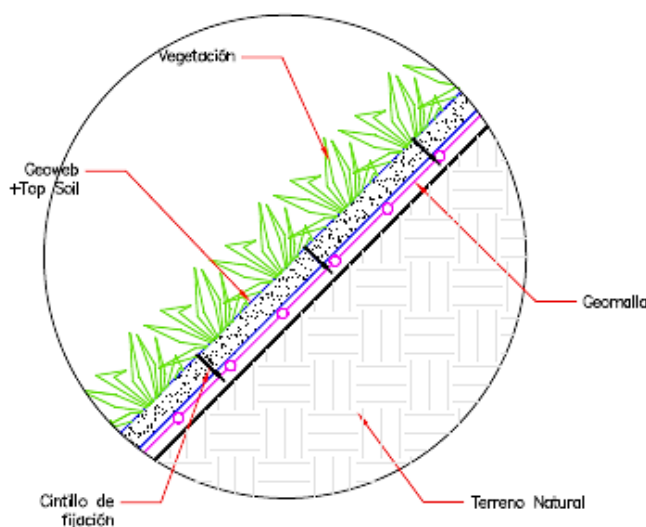
Cuadro 9: Datos considerados para el diseño

Tipo de Geoweb	GW40V
Numero de Cintillo por Celda	2
Área Por Celda	0.241
Cintillo/M2	8.29
Atra Key/M2	0.97

Fuente: Elaboración propia

4.3.6. Solución Planteada y Discusiones

Ante la necesidad del proyecto y de acuerdo a las condiciones de terreno, se realizó una evaluación de probables alternativas de solución, donde se recomendó el uso del Sistema de Revegetación Autosostenible con Geoceldas para el control de erosión de los taludes, puesto que ofrece importantes ventajas técnicas y económicas en comparación de soluciones convencionales reduciendo sobrecostos (García, 2004). El sistema de confinamiento con Geoceldas ofrece una amplia gama de tratamientos para la protección de la superficie de taludes sometidos a fuerzas erosivas. La flexibilidad característica del sistema, combinada con una serie de técnicas sencillas pero eficientes de anclaje, permite el revestimiento de los taludes empinados con materiales tanto duros como vegetales.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Esquema de Solución con Geocelda

El sistema sugerido contempla la utilización de geoceldas GW40V3, donde cada celda tiene 75mm de altura $\pm 5\%$; el cual se adecúa más a las condiciones de diseño, para la colocación de un elemento de relleno, como es el caso de suelo orgánico para la revegetación.

El sistema a su vez requiere de una zanja anclaje en la corona o parte alta del talud, para su soporte total, ésta es especificada en la lámina CE-01, en esta lámina se muestra con mayor detalle la conceptualización de esta alternativa.



Fuente: Andex del Norte, 2017

Figura 25: Talud antes de la instalación de Geoceldas



Fuente: Andex del Norte, 2017

Figura 26: Talud revegetado con suelo orgánico



4.3.7. Instalación del Geoceldas

En taludes empinados, el relleno con tierra vegetal debe generalmente proceder de arriba hacia abajo. Se debe evitar tanto un relleno excesivo como la colocación de grandes trozos de tierra dentro de las celdas. Se recomienda compactar el relleno a fin de remover el exceso de vacíos de aire de la tierra vegetal. Una compactación excesiva del relleno puede retrasar el desarrollo de la vegetación.

Debe procederse al sembrado y a la colocación de un revestimiento contra la erosión inmediatamente después de colocar el relleno. A continuación se mostrará el proceso constructivo del sistema de revegetación autosostenible con geocelda:

Cuadro 10: Proceso constructivo del Sistema con Geoceldas

 A photograph showing a long, narrow trench being excavated in a field. The trench is filled with soil, and there are some plants growing along its edges. The background shows a hilly landscape under a cloudy sky.	<p><i>Excavación de Zanja:</i> Determinada por diseño, contribuye a la estabilidad del diseño.</p>
 A close-up photograph of a black geocell mat being laid out on a sandy surface. A white tube is being inserted into one of the cells of the mat.	<p><i>Colocación del tubo para muerto de anclaje:</i> Contribuye en la disipación de esfuerzos (se pueden emplear otros elementos).</p>
 A close-up photograph of a geocell mat being secured to the ground with wooden stakes. The mat is being filled with soil, and the stakes are being driven into the ground to hold it in place.	<p><i>Cintillos y relleno de zanja:</i> Con los cintillos de fijación se une la geomalla con geocelda, una vez realizado el amarre y anclaje se rellenará y compactará la zanja.</p>

	<p>Colocación del suelo orgánico: Es necesario el empleo de equipos (excavadoras, cargador frontal, etc.) acorde al volumen de diseño.</p>
	<p>Revegetación: Siembra manual o hidrosiembra, determinada por diseño; de ser necesario se protegerá el sistema con mantos de control de erosión.</p>

Fuente: Elaboración propia

4.3.8. Costo del proyecto

Las principales partidas que implica la ejecución de este tipo de obra son:

Cuadro 11: Principales actividades en Revegetación de Talud

TIPO DE OBRA: PROTECCIÓN DE TALUD						
ACTIVIDADES		METRADOS		COSTOS S/.		
Cod	Descripción	Und	Cantidad	Unitario	Parcial	Total
1.00 ACTIVIDADES PRELIMINARES						
1.01	Movilización y desmovilización de equipos	Glb	1	S/. 4,260.17	S/. 4,260	S/. 4,260
2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS						
2.01	Limpieza de terreno	m2	1,650	S/. 0.86	S/. 1,419	S/. 1,419
3.00 ACTIVIDADES EN EL TALUD						
3.01	Excavación manual en terreno	m3	50	S/. 104.68	S/. 5,234	S/. 5,234
3.02	Suministro de Geoceldas y Geomallas	m2	1,700	S/. 20.33	S/. 34,558	S/. 34,558
3.03	Instalación de Geomallas	m2	2,000	S/. 1.95	S/. 3,894	S/. 3,894
3.04	Instalación de Geoceldas	m2	1,750	S/. 4.19	S/. 7,334	S/. 7,334
3.05	Fijación de Geoceldas y Geomallas	m2	1,750	S/. 1.06	S/. 1,848	S/. 1,848
3.06	Relleno con material propio	m3	50	S/. 66.92	S/. 3,346	S/. 3,346
4.00 JARDINERÍA						
4.01	Suministro de Tierra de Chacra	m3	150	S/. 155.17	S/. 23,275	S/. 23,275
4.02	Relleno con Tierra de Chacra	m3	150	S/. 26.33	S/. 3,950	S/. 3,950
4.03	Colocación de semillas	m2	1,750	S/. 2.24	S/. 3,927	S/. 3,927
TOTAL DE COSTO DIRECTO S/.						S/. 93,045

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIONES

En el campo de la ingeniería se encuentran distintas soluciones ante problemas que se puedan presentar en el medio ambiente, en el caso de la construcción de defensas costeras y ribereñas donde no solo se puede utilizar las Geobolsas, sino también el enrocado, muro de concreto o gaviones.

La elección del mejor sistema de solución dependerá del material que se encuentra en la zona a proteger, así minimizar costos de transporte y uso de maquinarias, entre otros.

Cuadro 12: Comparativo de las Ventajas de los Sistemas para la Protección Costera y Ribereña

GEOBOLSAS	ENROCADO	GAVIONES
Alta permeabilidad para facilitar el paso del agua en la geobolsa.	Resiste altas fuerzas de tractividad por su gran peso.	Permite el crecimiento de plantas, origina la formación de un bloque sólido.
Retención de partículas mientras se permite el flujo del agua.	En gran parte de la obra es necesario el uso de maquinaria pesada.	Llenado con piedras para formar una estructura flexible, permeable monolítica.
Alta resistencia a la tensión.	Permite el crecimiento de vegetación.	Facilidad de armado y estético.
Permite trabajar con material de la zona (material fino, arenas).	Utilizado en zonas donde hay infiltración y el flujo de agua.	Adicionalmente poseen revestimiento de pvc que mejora su durabilidad.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 13: Comparativo de las Desventajas de los Sistemas para la Protección Costera y Ribereña

GEOBOLSAS	ENROCADO	GAVIONES
Baja resistencia a Rayos UV, depende del ataque del medio ambiente.	Agrietamiento, desintegración y laminación de bloques de rocas	No se utiliza en lugares donde existe material arenoso o de menor tamaño.
No se utiliza en lugares donde existe material de grava o de mayor tamaño.	Eleva los costos debido a las actividades de movimiento de tierras	Necesita de geosintéticos para estabilizar taludes y reforzar la estructura.
Dañado por vandalismo en la zona.	Difícil acceso de maquinaria a la zona.	Sufre corrosión si no se protege con pvc.

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en el segundo caso también se comparan dos Sistemas para la Revegetación de Taludes, principalmente dependerá de la zona de proyecto y características del terreno, con un adecuado diseño se evaluará que solución es la más apropiada al problema planteado.

Cuadro 14: Comparativo de las Ventajas de los Sistemas para Revegetación de Taludes

GEOELDAS	HIDRODIEMBRA
Permite adaptarse a la superficie del talud debido a su forma y textura.	Permite fijar la vegetación de manera rápida a través de una máquina especial.
Las perforaciones del material permite mayor arraigamiento de las plantas	Mino costos y tiempo de revegetación debido a su fácil uso y mezcla
Existen distintas dimensiones que permite diseñar la opción más adecuada de acuerdo a las características del terreno	Con las características del terreno diseñar la formula correcta que permitirá un mejor desarrollo de la vegetación.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15: Comparativo de las Desventajas de los Sistemas para Revegetación de Taludes

GEOELDAS	HIDRODIEMBRA
Al ser una solución completa, eficiente y duradera, los costos del material son elevados.	No es ideal en zonas lluviosas debido al lavado del terreno que no permitirá la fijación de la semilla.
Debe protegerse con mantos biodegradables las semillas implantadas en cada celda y completar el proceso.	Es necesaria la protección del talud con mantos biodegradables para permitir la revegetación.

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

- Se demostró que la aplicación de tecnologías con geosintéticos permite obtener soluciones de manera rápida en la estabilización de taludes y control de erosión de suelos, lo cual ayudó a mitigar el problema y así evitar daños materiales.
- Se verificó dos casos de estudio en la costa peruana: Defensa Ribereña en Colán y Revegetación de Talud en Asia, donde se estableció el motivo por el cual utilizar los geosintéticos como sistema de confinamiento.
- La ventaja de las Geobolsas y Geoceldas es la adaptación a cualquier configuración del terreno, lo cual asegura la estabilidad del sistema; acomodándose debido a su flexibilidad ante asentamientos y procesos de socavación.
- Es importante la utilización de Geobolsas en la defensa costera en Colán permitió reducir costos en transporte de material de relleno, puesto que empleó material de la zona y fue de fácil acceso al lugar.
- El texturado y perforado de Geoceldas en el proyecto de revegetación en Asia contribuyó un mejor afianzamiento del sistema en contacto con el suelo orgánico, lo cual benefició el crecimiento radicular, y por ende el desarrollo de la vegetación en el talud.

VII. RECOMENDACIONES

- Adecuar el terreno mediante el perfilado de los taludes a proteger hasta nivelarlo sin que cambie la pendiente original, el cual deberá ser evaluado por un ingeniero en campo.
- Considerar un sistema de drenaje superficial al pie de los taludes para la captación y evacuación de los flujos existentes luego de la instalación del sistema de confinamiento con geoceldas.
- Colocar cubiertas degradables o biomantos contra la erosión para proteger la tierra vegetal y las semillas, permitiendo un rápido desarrollo de la vegetación mientras se desarrolla el material vegetal.
- Monitorear permanentemente el estado del geotextil tejido que queda expuesto y cuidar que no sea deteriorado por vandalismo o por el contrario generar una protección permanente.
- La orientación de las geobolsas juega un rol fundamental en la estabilidad y resistencia frente al impacto de las olas, por ello se recomienda una colocación paralela a la línea de la costa.
- En base a la experiencia, se recomienda utilizar los geosintéticos como control de erosión en otras zonas del Perú, para ello se deberá tener en cuenta las condiciones geográficas y corroborar su fácil adecuación.

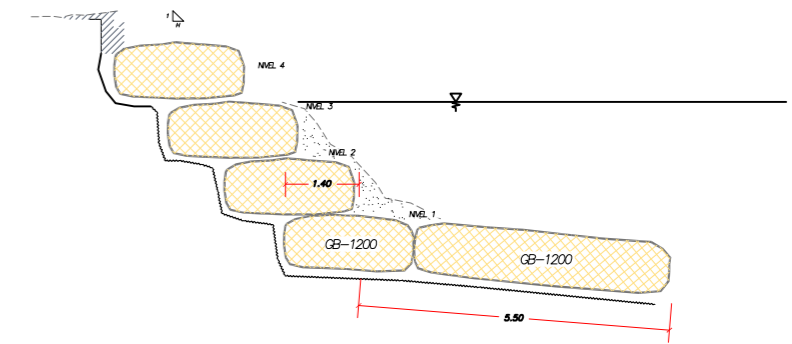
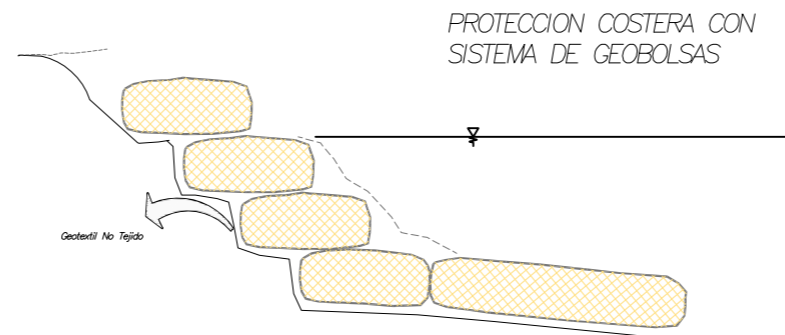
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Aguilar Aguinaga, D. (2016). PUCP. *Comparación Técnica entre el uso de Gaviones y Geoceldas como estructuras de Defensa Ribereña*. Lima, PE. p 1-96.
2. Andex del Norte. (2016). Revestimientos de ríos mediante geobolsas y geoceldas con relleno de concreto, registro fotográfico.
3. Cáceres Pérez, E. (2013). UNI. *Estudios para el Diseño de Geocontenedores de Geotextil Tejido como Aplicación de Rompeolas para la Formación de la Playa*. Lima, PE. pp 1-199.
4. Chow, V. T. (1994). En M. Suarez (ed.), *Hidráulica de canales abiertos*. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, Editorial Nomos.
5. Díaz J, Escobar O, Olivo E. (2009). UES. *Aplicación de los Geosintéticos en en la estructuras de los Pavimentos y en Obras de Drenaje para carreteras*. San Salvador, SV. pp 35-345.
6. Díaz Mendoza C. (2011). UACM. *Alternativas para el Control de la Erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización*. Vol. 31 n°3. Ciudad de México, MX. pp 80-90.
7. García Fayos P. (2004). Ministerio del Medio Ambiente, EGRAF. Cap. II – *Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica*. Madrid, ES. pp 309-334
8. Presto. (2000). Consideraciones generales de diseño. El sistema GeoWeb de protección de canales.
9. Saldaña del Río, L. (2017). PUCP. *Diseño de un Dique de Escollera para Protección de la Vía Costa Verde Tramo Callao*. Lima, PE. pp 1-144
10. Suárez, J. (2001). Revestimiento con bloques de concreto. *Control de erosión en zonas tropicales*, pp. 424-432. Bucaramanga-Colombia: Instituto de investigaciones sobre erosión y deslizamientos.
11. Van der Meer, J y Pilarczyk, K. Stability of rubble mound breackwaters under random wave attack. Delft Hydraulics. 1984.

IX. ANEXOS

ESPECIFICACIONES PARA GEOBOLSAS

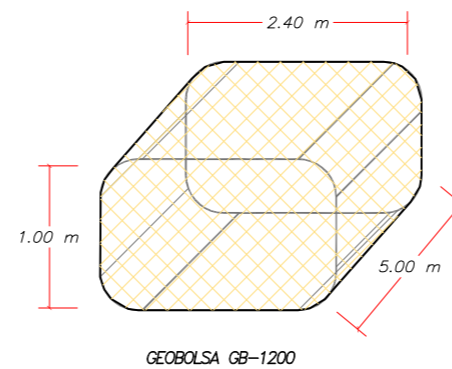
PROPIEDADES INDICES	MÉTODO DE ENSAYO	VALOR MINIMO PROMEDIO POR ROLLO
Mecánicas		
Resistencia a la Tensión Última	ASTM D4595	108.0 kN/m (11.1%)
MD (Elongación)		108.0 kN/m (11.5%)
XMD (Elongación)	ASTM D4595	20.2 kN/m
Resistencia a la Tensión al 2% de Elongación		20.2 kN/m
MD	ASTMD4595	45.4 kN/m
XMD		44.1 kN/m
Resistencia a la Tensión al 5% de Elongación	ASTM D4533	1140 N
MD		1140 N
Resistencia al Punzonamiento	ASTM D4833	1060 N
Resistencias a Altas Temperaturas (Punto de Ablandamiento)	Medido	240 °C
Estabilidad UV (% Retención @ 500 hrs.)	ASTM D4355	>70 %
Material	De fábrica	Poliéster
Hidráulicas		
Tamaño de Abertura Aparente	ASTM D4751	0.425 mm
Permitividad	ASTM D 4491	2.21 seg ¹
Permeabilidad	ASTM D4491	0.270 cm/seg
Tasa de Flujo	ASTM D4491	2960 l/min/m ²



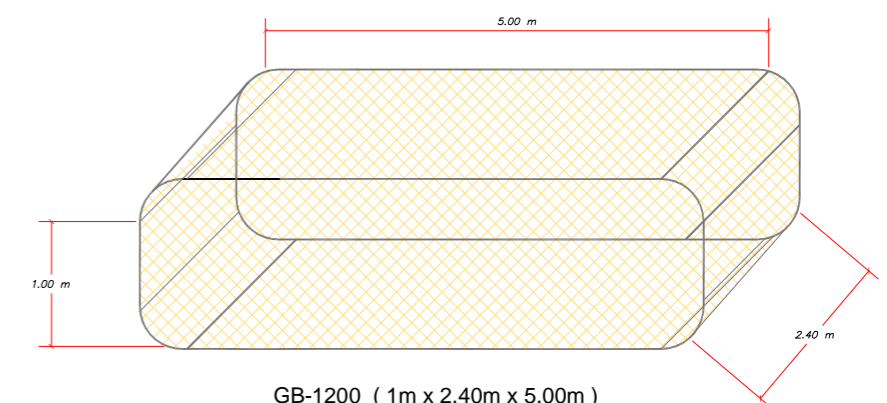
DETALLES
VISTA DEL SISTEMA GEOBOLSAS

DIMENSIONES DE LAS GEOBOLSAS

ESPECIFICACIONES	
GEOBOLSAS	
TIPO DE MATERIAL	: Poliéster Tejido.
RESISTENCIA A LA TENSION (ELONGACION)	: 108.0 x 108.0 kN/m (11.1%x11.5%). (ASTM D-4595).
RESIST. PUNZONAMIENTO	: 1060 N (ASTM D-4833).
ABERTURA APARENTE	: 0.425mm (ASTM D-4751).
PERMEABILIDAD	: 27.0 x 10 ⁻² cm/sg (ASTM D-4491).
TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE	: 0.425mm (ASTM D-4751).
RESISTENCIA UV	: 70% Retención @500hrs.(ASTM D-4355).
RESISTENCIA A ALTAS TEMPERATURAS	: 240° C (ASTM D-276).



GEOBOLSA GB-1200



GB-1200 (1m x 2.40m x 5.00m)

PROYECTO:		DEFENSA COSTERA DE COLÁN	
PLANO:	PROTECCION COSTERA - DETALLES Y ESPECIFICACIONES	PLANO	RD-01
		REVISIÓN N°:	▲
		ESCALA:	INDICADA
		FECHA:	ARCHIVO CAD:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GEOBOLSAS

Las Geobolsas son fabricadas de Geotextil Tejido de Poliéster (PET) de Alta Resistencia, Alto Peso Molecular, Alta Tenacidad y baja fluencia de acuerdo a Normas Técnicas Internacionales (ASTM). Poseen resistencia de 108KN/m, una permeabilidad menor o igual a 0.008 s-1 y tamaño de apertura aparente menor o igual 0.075 mm.

Ofrecen alto módulo de deformación, ya que tienen una 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 presentan las siguientes dimensiones y capacidad:

GB-1200	5 x 2.4 x 1	12 m ³
GB-1000	4 x 2.5 x 1	10 m ³
GB-25	0.5 x 0.5 x 1	0.25 m ³

Las Geobolsas muestran los valores de las propiedades presentadas en el siguiente cuadro que 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

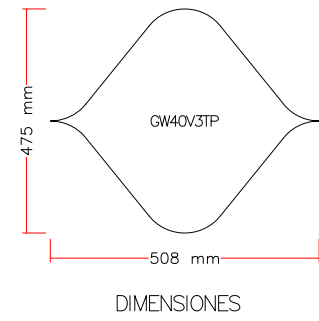
MD : Dirección de la Máquina, a lo largo de los rollos.
XMD : Dirección Transversal, a través del largo de los rollos.

Usos:

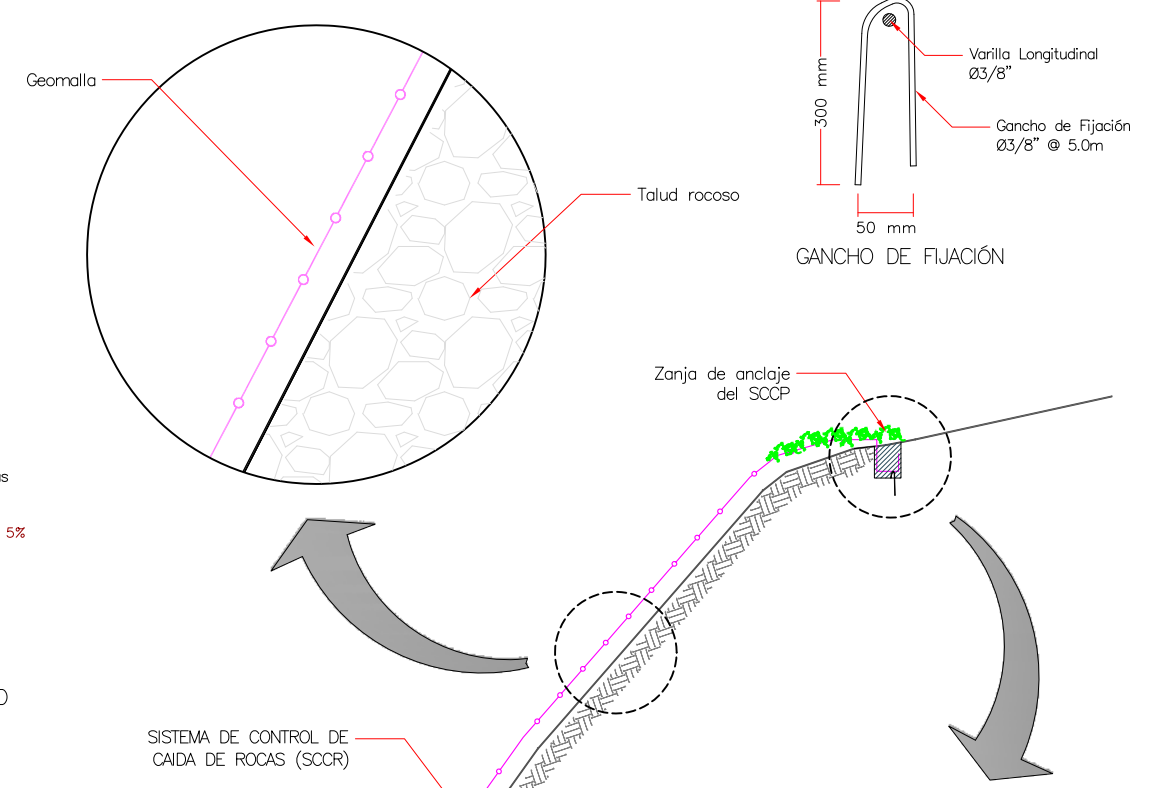
Protecciones ribereñas, costeras, embalses y control de sedimentos.

ESPECIFICACIONES GEOWEB - GW40V3TP	
GEOWEB	
• TIPO	:GW40V3TP
• MATERIAL	:Polietileno de Alta Densidad (Virgen)
• DIMENSIONES (AxL)	:475 mm x 508 mm
• ALTURA	:75 mm ± 5%
PERFORMANCE DEL TEXTURADO Y PERFORADO	
• CAPACIDAD FRICCIONANTE MINIMA DE LA TEXTURA Y PERFORADO	:85% del angulo de fricción de la arena sílica #40
• RESISTENCIA A LA EXTRACCIÓN DEL CONCRETO f'c=210 kg/cm2. (Performance del texturado y perforado para el tipo GW40V3TP)	:32.44 kN (Medido - Ensayo de Extracción)
• RESISTENCIA UNIONES A LARGO PLAZO BANDA 100mm@10,000 HORAS	:95 kg (ASTM D-2990)
• TIPO DE SOLDADURA	:Ultrasónica, 03 puntos por pulgada
• DISTANCIA DE SOLDADURAS SIN EXPANDIR	:711 mm ± 2.5 mm
• GARANTIA DEL MATERIAL	:10 años
ATRA KEY	
• RESISTENCIA	:1.2 kN

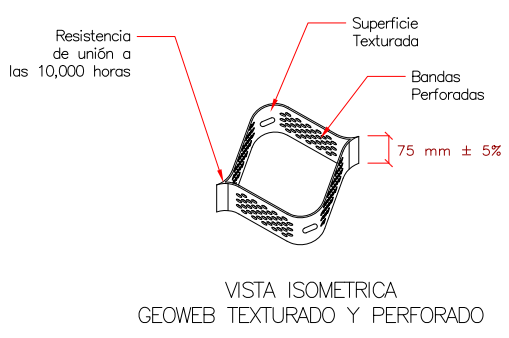
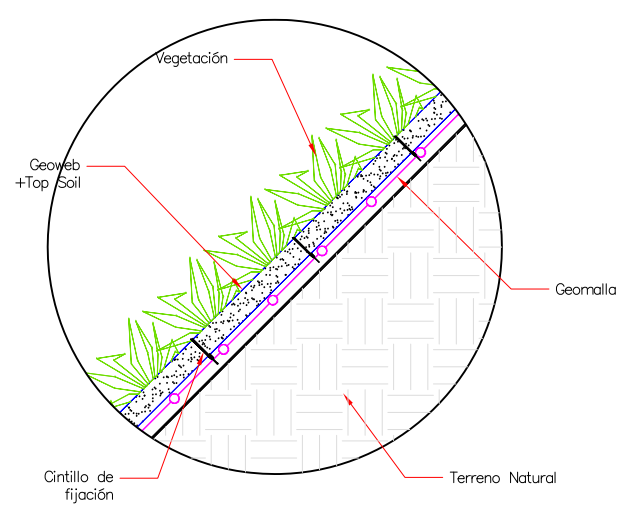
ESPECIFICACIONES GEOMALLA	
TIPO	: 55GG
MATERIAL	: Poliéster de alta Tenacidad
DIMENSIONES (A x L)	: 2.65 m x 60.0 m
RESISTENCIA ÚLTIMA	: MD - 107.0 KN/m : TD - 104.0 KN/m
MODULO DE RIGIDEZ	: 2% - 1105 KN/m
TAMAÑO DE ABERTURA	: MD - 22.4 mm : TD - 23.2 mm
CARACTERISTICAS	: Resistente a la radiación UV, Coloración de Entorno.



DETALLE 01 CONTROL DE CAIDA DE ROCAS (CCR)



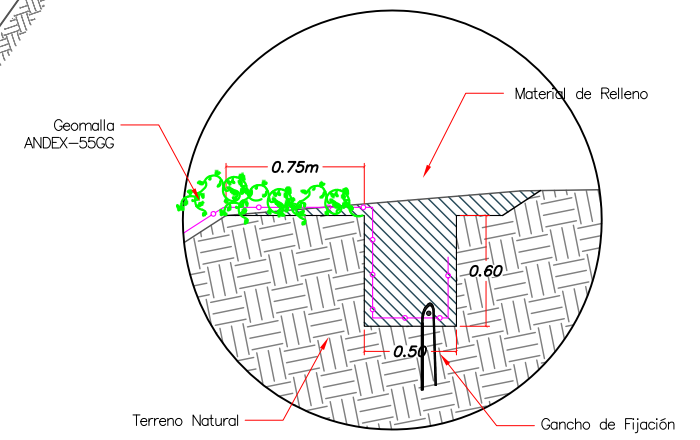
DETALLE 02 REVEGETACIÓN CON EL SISTEMA GEOWEB



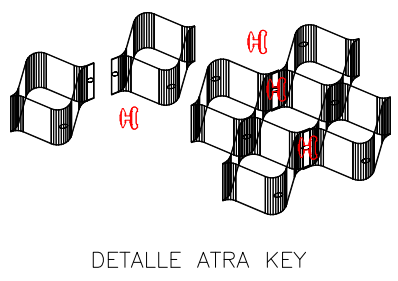
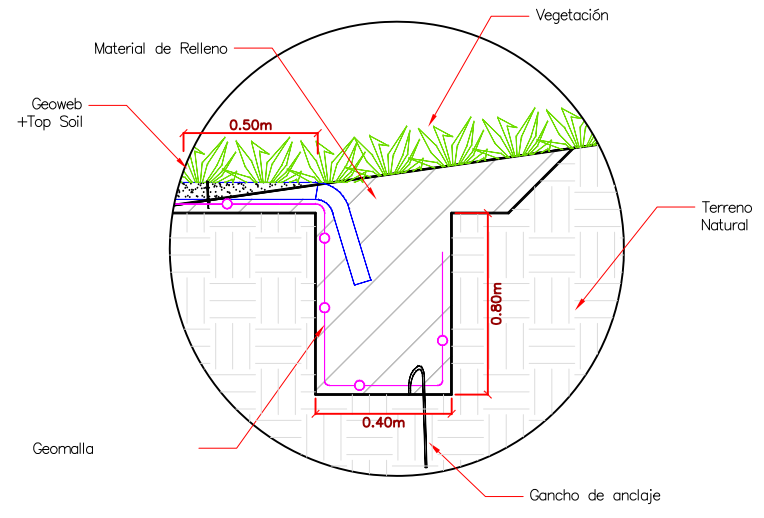
Listado de Materiales	
REVEGETACIÓN DE TALUDES CON GEOWEB	
1.	Sistema Geoweb texturado y perforado tipo GW40V3TP.
2.	Geomalla
3.	Top Soil.
4.	Atra Key.
5.	Gancho de anclaje
6.	Cintillo de fijación
CONTROL DE CAIDA DE ROCAS	
7.	Geomalla
8.	Gancho de anclaje 3/8" @ 1.00m - L=500mm

CALLE 12

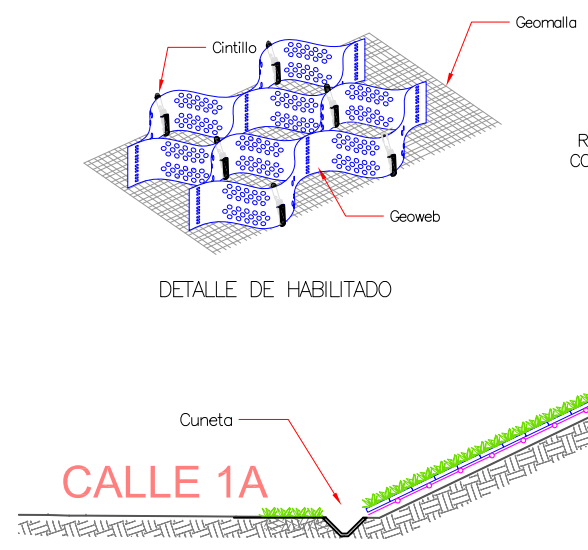
DETALLE 03 ZANJA DE ANCLAJE-CCR



DETALLE 04 ZANJA DE ANCLAJE-GEOWEB



SECCION F-F PROTECCION DE TALUDES



CALLE 1A

NOTAS

REVEGETACION DE TALUDES

- Se recomienda el estudio previo de caracterización de suelo, afín de determinar el medio donde se desarrollará la vegetación y así sugerir las especies a introducir inicialmente.
- Las características de los taludes han sido tomados en un estado final (reconformación y perfilado de taludes).

CONTROL DE CAIDA DE ROCAS

- La conformación de la Zanja de Recolección será en el terreno natural, sin ser de necesidad un revestimiento. Puede plantearse un tipo de revestimiento de acuerdo a la conveniencia del contratista.
- La Geomalla de Control de desprendimiento de Rocas, deberá ser anclada al talud en lugares puntuales; si se presentan grandes corrientes de aire que puedan hacer que la Cortina de Protección ondee. Estos anclajes pueden ser definidos en campo.
- Las inclinaciones en los taludes presentan angulos de inclinación promedio de 50°, haciéndolos variables en las distintas secciones.

PROYECTO:	PROTECCIÓN DE TALUDES - PROYECTO ALTO DEL PRADO	
PLANO:	DETALLES Y SECCION	PLANO CE-S CCP-01
REVISIÓN N°:		REVISIÓN N°: ARCHIVO CAD:
ESCALA:	INDICADA	

GEOWEB TEXTURADO Y PERFORADO - GW40V3

El Sistema GW40V3 es elaborado desde la resina inicial hasta el producto final en planta, su proceso de fabricación tiene **Certificación ISO-9001:2008**.

El Sistema GW40V3, posee un accesorio mecánico ATRA KEY, con el cual la instalación del GEOWEB es 100% manual, eliminando el uso de equipos para su instalación, e incrementando considerablemente el rendimiento de su instalación.

En el cuadro siguiente se presentan las características técnicas de mayor relevancia diseño:

PROPIEDAD	UNIDAD	VALOR	METODO DE ENSAYO
Diámetro de Perforaciones en Hileras desfasadas	mm	10	Distancia de perforaciones horizontal 12mm. Distancia de perforaciones vertical 19mm. Las perforaciones restarán 19.89% \pm 1% del área de la pared de la celda.
iSlot- Ranura para paso de accesorios (Atra key, Tendones)	mm	ranura 35mmx10mm	5 ranuras distribuidas equidistantes. Las ranuras están ubicadas en los extremos (en medio de las soldaduras) y en el centro de cada banda.
Resistencia pull-through ATRA KEY	kN	1.20	Medido
Proceso de Fabricación desde la resina inicial de la Banda de Celdas Texturadas.	-	Extrusión	Certificado ISO-9001 de Planta
Resistencia de uniones a las 10,000 horas (Resistencia a largo plazo) Banda de 100 mm de ancho	kg.	95	ASTM D2990
Resistencia a la Extracción de concreto $f' = 210 \text{ kg/cm}^2$ de celda. Para altura de celda de 75mm y Dimensiones de celda nominal expandida: Ancho 508mm x Largo 475mm	kN	32.4	Medido en Ensayo de Extracción
Capacidad friccionante mínima de texturado y perforado	%	85	85% del ángulo de fricción de la arena silícea #40 al interactuar con ella el texturado y perforado según Ensayo de Corte Directo ASTM D5321.
Tipo de soldadura de las celdas	-	Ultrasónica 03 puntos por pulgada	Medido
Distancia entre soldaduras de celdas sin expandir	mm	711 \pm 2.5	Medido

- Usos:
- Canales
 - Revegetación Autosostenible
 - Protección de Taludes
 - Soporte de Carga
 - Muros de Contención