

Bolsas gigantes de geotextil, aplicación en la ingeniería de obras de infraestructura en Colombia

Giant geotextile bags, application in infrastructure engineering in Colombia

Lucio G Cruz-Velasco¹  Jaime R Obando-Ante¹  Joshua Schamalbach-Triana² 

¹Universidad del Cauca, Departamento de Geotecnia, Popayán, Colombia.

² Soil Protection S.A.S, Cartagena, Colombia.

Resumen

Dentro de las estructuras de retención o contención, usadas ampliamente en la infraestructura vial, existe una gama amplia de posibilidades, como son las estructuras de gravedad convencionales (gaviones, criba, etc.), reforzadas, embebidas, anclajes, suelo estabilizado mecánicamente, entre otras. Dentro de ellas también, se encuentran las bolsas gigantes de geotextil, las cuales funcionan por gravedad usando material de relleno del sitio y demostrando un buen rendimiento ante la protección contra la erosión fluvial, marítima y en obras de protección o de contención para vías. Este artículo presenta la versatilidad de las bolsas gigantes de geotextil en la infraestructura vial, en la estabilización de terraplenes, taludes; y control de erosión fluvial y costera. Se presenta como estudio de caso a la zona de Bengala (kilómetro 21 de la vía Garzón – Neiva) y Túnel de Crespo (Cartagena – Colombia). La metodología utilizada para evaluar la evolución de la mejora con la intervención de bolsas gigantes de geotextil se realiza mediante el reporte de diseño, ejecución, seguimiento y control de la geometría del sitio de estudio. Las zonas intervenidas con bolsas de geotextil gigante presentan un comportamiento efectivo en la estabilidad del terreno, en el control de erosión y en la recuperación geométrica. A nivel cualitativo se logra evidenciar el proceso de restauración y estabilización de la costa y talud afectados, gracias a la intervención con bolsas de geotextil gigantes. A nivel cuantitativo se aprecia la estabilidad a largo plazo y la recuperación geométrica de las zonas intervenidas.

Abstract

Between retaining structures, widely used in road infrastructure, there is a wide range of possibilities: conventional gravity structures (gabions, screens, etc.), reinforced, embedded, anchors, mechanically stabilized soil, among others. Among them, there is also the giant geotextile bags, which work by gravity using fill material from the site and demonstrating good performance against fluvial and maritime erosion, and road protection or containment. This article presents the versatility of giant geotextile bags in road infrastructure, embankment or slope stabilization; and river and coastal erosion control. As a case study, the Bengala (kilometer 21 of the Garzón - Neiva road) and Crespo Tunnel (Cartagena - Colombia) are presented. The methodology used to evaluate the evolution of the improvement with the intervention of giant geotextile bags is done through the report of design, execution, follow-up and control of the geometry of the intervened site. The areas intervened with giant geotextile bags show an effective behavior in soil stability, erosion control and geometric recovery. At a qualitative level, the process of restoration and stabilization of the affected coast and slope is evident, thanks to the intervention with giant geotextile bags. At a quantitative level, the long-term stability and geometric recovery of the intervened areas can be appreciated.

Palabras clave: bolsa gigante, Geotextil, Estabilización, Talud, Erosión.

Keywords: giant bag, Geotextile, Stabilization, Slope, Erosion.

¿Cómo citar?

Cruz-Velasco, L.G., Obando-Ante, J.R., Schamalbach-Triana, J. Giant geotextile bags, application in infrastructure engineering in Colombia. Ingeniería y Competitividad, 2024, 26(1)e-21113256.

<https://doi.org/10.25100/iyv.26i1.13256>

Recibido: 27-09-23

Aceptado: 12-02-24

Correspondencia:

jaimeobando@unicauca.edu.co

Este trabajo está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-No Comercial-CompartirIgual4.0.



Conflicto de intereses: ninguno declarado



¿Por qué se llevó a cabo?

Este artículo presenta la versatilidad de las bolsas geotextiles gigantes en infraestructura vial, estabilización de terraplenes o taludes y control de la erosión costera y de ríos como una inversión y una solución rentable.

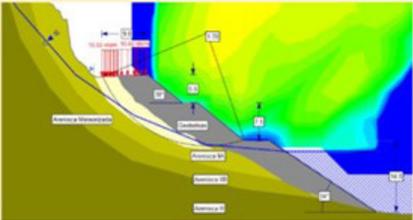
¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

Las áreas intervenidas con bolsas geotextiles gigantes muestran un comportamiento efectivo en la estabilidad del suelo, control de la erosión y recuperación geométrica. A nivel cualitativo, se evidencia el proceso de restauración y estabilización de la costa y vertiente afectada, gracias a la intervención con bolsas geotextiles gigantes. A nivel cuantitativo se puede apreciar la estabilidad a largo plazo y la recuperación geométrica de las zonas intervenidas.

¿Qué aportan estos resultados?

A partir de trabajos reales con bolsas gigantes de geotextiles, se demostró el proceso de restauración, estabilización de costas o taludes, así como exhibir las posibilidades de utilización de materiales locales y su aprovechamiento práctico con presencia de agua. Los sacos geotextiles gigantes demuestran su estabilidad a largo plazo, su recuperación geométrica de las áreas necesarias y el menor tiempo de ejecución que en las estructuras convencionales. Por ello, los Geotextiles Gigantes, al contar con un diseño geotécnico e hidráulico acorde al proyecto, se consideran una alternativa confiable y solución de infraestructura.

Graphical Abstract

OBJETIVOS	METODOLOGÍA	RESULTADOS
<p>Este artículo presenta la versatilidad de las bolsas gigantes de geotextil en la infraestructura vial, en la estabilización de terraplenes, taludes y control de erosión fluvial y costera.</p> 	 <p>La metodología utilizada para evaluar la evolución de la mejora con la intervención de bolsas gigantes de geotextil se realiza mediante el reporte de diseño, ejecución, seguimiento y control de la geometría del sitio intervenido</p>	<p>Las zonas intervenidas con bolsas de geotextil gigante presentan un comportamiento efectivo en la estabilidad del terreno, en el control de erosión y en la recuperación geométrica.</p> 

Introducción

La infraestructura vial es la principal carta para el desarrollo de un país (1), y ha de ser prioridad en cuanto a inversión de recursos (2). En (3) se menciona que las vías cumplen un rol social, económico e incluso geoestratégico. Sus métodos de construcción han ido cambiando con los años y de igual forma las dimensiones y retos en la ingeniería, junto a esto las consecuencias del cambio climático, falta de planificación y uso inadecuado del territorio, han hecho que este tipo de infraestructura sea vulnerable ante movimientos en masa, erosiones o inundaciones, que al quedar destruidas o estar parcialmente bloqueadas generan diversidad de problemas sociales, económicos y de movilidad; cuando ocurren este tipo de eventos las soluciones tradicionales, no logran mitigar la emergencia en un corto tiempo.

Las bolsas gigantes de geotextil se definen de acuerdo con especificaciones (4), como "poliedros de gran formato, para ser rellenos con suelo, fabricadas con geosintéticos de alto módulo, elaboradas con polipropileno, poliéster o mezclas de al menos dos (2) polímeros sintéticos de alta resistencia y tenacidad, con tratamiento UV de alta resistencia a sustancias químicas, e inertes biológicamente".

También es posible encontrarlas con otros nombres como Megabags, Soilbags, Jumbobag, geocontenedores, entre otros. Según el proveedor pueden variar en especificaciones geométricas, uso y aplicación. En los años setenta aparece el concepto de los geocontenedores de arena (Geotextile Sand Containers) como una alternativa de estructuras de defensa costera. Este concepto nace en los Países Bajos donde se utilizaron bolsas de arena para la construcción de un dique en Pluimpot (5).

De (5, 6) se puede definir el geotextil como un tipo de geosintéticos, que en su totalidad están elaborados con polímeros con apariencia de fibras o hilos utilizadas en contacto con el suelo o la roca. Algunas propiedades de los geotextiles se describen en (5).

Estudios de características físicas y mecánicas

Se ha demostrado que el ángulo de fricción está relacionado directamente con la resistencia de la bolsa contra la carga externa (7). De igual forma en el estudio de (8) y Xu et al. (9) la bolsa de suelo presenta una alta resistencia (aumenta su capacidad de carga) bajo cargas externas, esto se puede atribuir a las fuerzas de tracción en las bolsas. Este tipo de estructuras tienen una "alta tensión de confinamiento que limita el desplazamiento lateral y reduce el asentamiento de los cimientos" (9).

Por otro lado, en Ansari et al. (10), se presenta un modelo de elementos finitos para analizar el comportamiento bajo compresión vertical y cizallamiento. De igual forma, en Cheng et al. (11) se comenta que la capacidad de carga se ve aumentada al envolver los suelos granulares en bolsas de geotextil debido a la restricción efectiva de la dilatación del suelo. La forma de la superficie deslizante tiene influencia en la resistencia a la fricción entre capas de las bolsas de suelo Fan et al. (12). En el estudio de Fan et al. (13) donde se construyó un muro de contención para analizar la estabilidad al deslizamiento, llegaron a un resultado en el que se menciona "que la presión de tierra activa que actúa sobre el muro de contención construido con sacos de tierra en el estado final no es lineal, pero se puede calcular a partir del equilibrio de fuerzas de un elemento diferencial". En un sistema de bolsas de geotextil, la disposición de unidades en sus capas intermedias y las propiedades del material de relleno están relacionados con las características de corte de las bolsas (12).

Investigaciones sobre aplicaciones

Se han desarrollado estudios entorno al uso de las bolsas de suelo para la reducción de vibraciones y disipación de energía, por ejemplo, el resultado de la simulación numérica realizada en Wang (14) muestra que el "el porcentaje de bolsa de suelo total y el consumo de energía de sus partículas internas exhiben una forma ondulada obvia que fluctúa con la carga y descarga; el porcentaje de la misma supera el 75% de la energía total; esto significa que la bolsa de suelo puede tener un buen efecto en la disipación de energía" (14).

La investigación de Wang (15) encontró que la presión de expansión lateral sobre muros de contención en suelos expansivos se puede reducir de manera efectiva mediante la inclusión de bolsas de suelo.

Otro estudio, desarrollado por Li et al. (16), destaca la prevención de heladas en canales tratados con bolsas de suelo, esto debido a que el efecto preventivo de las bolsas de suelo se "consiguió inhibiendo el ascenso del agua capilar y de la película de agua, además de introducir un efecto de refuerzo".

Antón (5) menciona diversas aplicaciones de las estructuras de geotextil, entre las cuales están los revestimientos, muros, protección contra deslizamiento de laderas, protección contra la socavación, protección de pie de dunas, espigones, diques exentos o arrecifes.

Hay evidencia de uso de bolsas de geotextil en la construcción de presas de cenizas para almacenar cenizas volantes, que son el subproducto de la combustión de carbones. En el trabajo de Li et al. (17) se muestra que los sacos rellenos con cenizas o arena tienen alta resistencia a la compresión, "y que la presa principal construida con sacos de tierra puede retener eficazmente la ceniza de relleno y la presa de apilamiento reforzada con sacos de tierra puede permanecer estable incluso con una pendiente de 1:1.5" (17).

El sistema de geobolsas "tiene la capacidad de simular funciones de rocas, elementos de mampostería o cemento en muros de contención, entre otros. Por ello, debido a la capacidad que tienen para contener las partículas y facilitar el drenaje, ante la presencia de agua, las geobolsas tienen la posibilidad de soportar socavaciones, asentamientos, fuerzas de empuje o esfuerzos de corte hidráulico" (6).

La tecnología de bolsas de suelo también se ha usado en la construcción de presas de relaves en China, donde logra un efecto global estable al combinar un refuerzo de la cimentación con bolsas de suelo, la estabilización de la subpresa y el drenaje colaborativo (18).

En el estudio de Tang et al. (19) se resalta el uso de los sacos de arena apilados en el reforzamiento de pendientes y como cimientos de edificios debido a su alta capacidad de compresión, a lo cual se añade el resultado del estudio donde se logra evidenciar un buen rendimiento de estos sistemas contra la licuefacción.

También existe una investigación sobre la viabilidad de las bolsas de suelo como aislamiento de base, los resultados de Liu et al. (20) demuestran que las bolsas de suelo tienen una capacidad de carga importante y un comportamiento de deformación estable bajo carga cíclica.

Experiencias con bolsas de geotextil

En la tabla 1 se presentan algunas experiencias exitosas con bolsas de geotextil

Tabla 1 Experiencias con bolsas de geotextil

País	Caso	Referencia
Perú - Piura	Recuperación de 3.2 Km de carretera totalmente inundada por su proximidad con una laguna natural.	Ibañez (6)
China – Sur Norte Proyecto SNWTP	Prueba de campo real en un talud de 60 m de longitud de un canal de suelo expansivo/roca reforzada con bolsas de suelo, la prueba incluyó subidas y bajadas del nivel de agua del canal, así como las precipitaciones naturales y artificiales.	Liu et al. (21)
Bangladesh	Aplicación de las bolsas de geotextil para detener la erosión generada por el río Dharla, donde se vertieron bolsas de (250 kg) en la sección de meandros cuando el nivel del agua empezó a tocar el nivel de inundación.	Dip et al. (22)
Colombia	Bengala (kilómetro 21 de la vía Garzón – Neiva) y Túnel de Crespo (Cartagena – Colombia).	Se comenta sobre su instalación, funcionamiento y resultados en el presente artículo.

Las bolsas de geotextil gigante (BGG) “son un sistema de confinamiento de suelos para ser usado a modo de estructura hidráulica, en obras de protección o de contención para vías, zonas portuarias, costas y riberas” (4).

Las bolsas gigantes de geotextil se encuentran bajo la regulación técnica de nuevas tecnologías desarrolladas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en colaboración con la Universidad del Cauca en el marco del convenio interadministrativo 1633 del 26 de diciembre Bolsas de Geotextil Gigantes (BGG), Artículo 685 Capítulo 6 - Estructuras y drenajes del 2020.

Materiales y métodos – casos de estudio

Caso de estudio BENGALA

El primer caso de estudio se encuentra relacionado con estabilización de terraplenes y taludes, se encuentra en Bengala (Huila), donde en junio de 2019 se generó una pérdida de bancada en el kilómetro 21 de la vía Garzón Neiva (Vía nacional 45).

Situación inicial

El deslizamiento se presenta en la margen derecha de la quebrada Barrialosa iniciando en el estribo derecho del puente Barrialosa. La formación geológica sobre la que genera el deslizamiento es la formación Gigante (TGI) la cual está conformada por intercalaciones de areniscas tobáceas arcillolitas y altos niveles de piroclásticos de ceniza y lapilli. Las capas del deslizamiento son principalmente de origen volcánico y el material utilizado para la conformación de la estructura de contención. Se organiza una intervención de la estructura para poder dar tránsito en dos etapas. La primera etapa destinada a poder dar un tránsito por una calzada permitiendo que exista un flujo vehicular por un solo carril, y la segunda etapa para poder habilitar un tránsito en 15 días se autoriza el tránsito sobre en una sola calzada (23). Posteriormente, se determina la ejecución total y la apertura al tránsito en ambos sentidos esto se contempla en un tiempo de ejecución de cuatro meses (23), ver figura 1.



Figura 1. Situación inicial caso de estudio Bengala (23)

En este periodo se realizó la reconformación de ambas calzadas y la estabilización por completo del talud sobre la quebrada Barrialosa. La tecnología implementada fue fundamental para poder realizar el trabajo en el menor tiempo posible, las bolsas de geotextil gigante de la marca Megabags utilizadas para este proyecto contaban con un ángulo de fricción superior a los 45 grados y su reducido tamaño de poro aparente es el que permite que el material contenido de cenizas no se erosione.

Diseño

El diseño se realiza con los materiales del sitio y Megabolsas, los parámetros establecidos se presentan en la tabla 2 se establece con los siguientes parámetros:

Tabla 2. Consideraciones del material utilizado para la modelación de las BGG (Megabags)

Material	$\gamma \left(\frac{kN}{m^3} \right)$	$c' \text{ (kPa)}$	$\phi \text{ (}^\circ\text{)}$
BGG (Megabags)	20	20	24

INGETEC (24)

De esto se destaca que el ángulo de fricción utilizado para las unidades de Megabags es de 24 grados (conservadoramente), aunque su valor de acuerdo con resultados de laboratorio por parte del fabricante puede llegar hasta 45 grados. Garantizando un factor de seguridad adicional durante el proceso de instalación.

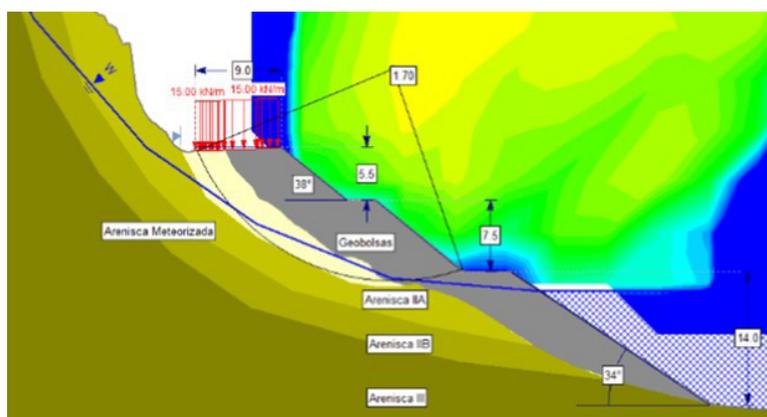


Figura 2. Modelación software SOLIDE (24)

En la figura 2 podemos observar la modelación mediante el software de Slide el cual permite evaluar a través de distintos métodos la estabilidad global de la estructura por equilibrio límite. De esta forma a través del método de Fellenius se puede determinar un factor de seguridad de

1.73, en este caso se modelan las unidades como si se tratasen de un suelo con comportamiento homogéneo con las características antes mencionadas. Es importante destacar que una modelación más cercana de estos elementos es colocando las interfaces de geotextil y generando los ángulos de fricción respectivos. El suelo en la parte interna de la unidad se encuentra en reposo y confinado por lo que su comportamiento no es activo si no pasivo para las distintas modelaciones a realizar con este software.

Proceso constructivo

Durante la primera fase de obra se instalaron las bolsas por lanzamiento para garantizar una zona de operación desde la cual se pudiese trabajar y operar cómodamente las unidades. Cuando se logró una plataforma en la parte inferior desde la cual pudiesen operar los equipos se procedió a descender las excavadoras a la plataforma y desde esta empezar el llenado de las unidades con formaleta y no con volqueta como se realizó inicialmente. De esta forma se logró completar de manera óptima el proceso de instalación. La primera fase donde se restableció el tránsito vehicular por un solo carril tuvo un tiempo de 14 días (25), ver figura 3.



Figura 3. Primera fase Bengala (26)

Instalación por lanzamiento (figura A y B), instalación con formaleta (figura C)

La segunda fase, figura 4, inició cuando la represa bajó sus niveles. En seco se realizó la conformación completa de la estructura hidráulica, de esta manera se logra realizar la reconformación de toda la estructura. La obra total tiene una duración de 6 meses debido a que se finaliza durante la pandemia, esta fue de las únicas obras que permaneció activa al inicio de la pandemia.



Figura 4. Fase 2 Bengala (27)

Caso de estudio muro sumergido de CRESPO (CARTAGENA)

Situación inicial

El muro sumergido entre los espolones del proyecto anillo Vial de Crespo hizo parte integral de las obras para la construcción de la Autopista al Mar. Uno de los puntos fundamentales era poder estabilizar la playa seca y húmeda frente al túnel de Crespo. En un ancho 140 metros, se construye un muro marginal de protección de 1670 metros de longitud, que une los siete (7) espolones.

En este sector existe una corriente fuerte que impide la retención de arenas, estas eran erosionadas rápidamente por el mar. Para lograr que la playa fuera estable en el tiempo se utilizó la tecnología Megabag. De esta manera se implementa una estructura aguas afuera que soporte la energía de la ola y genere un rompimiento de la ola en la parte exterior de la misma. De igual manera, se produce el sello de los espolones en enrocado, se considera que por su alta porosidad generan corrientes de succión que pueden ser contraproducentes para los bañistas.

Diseño

Para el diseño de la estructura sumergida se considera la corriente de mayor retorno y el oleaje máximo reportado. De igual manera, se considera la variación de mareas histórico de los últimos 50 años reportado por la DIMAR. Se considera una vida útil de 25 años para la estructura.

Es importante destacar que la cota mínima permisible para que la estructura funcione es de 1.44 m por debajo del MSNM esto permite generar una tolerancia de 1.5 a 1 metros por debajo del MSNM. En la zona cercana a los espolones se ha decidido aumentar la barrera para que se impida la formación de corrientes de succión cercanos a esto y se redujo la altura de los entre los 1.25m y 0.75 m., ver figura 5.

El delta de mareas es de 0.5 m lo que implica una variación significativa entre la marea baja y la marea alta. Dado que la marea más perjudicial para la estructura es la de menor nivel del mar se estableció utilizar un NMM 0.35 m superior al NMM típico. De esta forma y con las modelaciones hechas para la arena utilizada se puede determinar el siguiente perfil de playa. Es importante resaltar que dentro de los cálculos de diseño y la modelación se aprecia que se generará siempre un resalto hidráulico que además de mantener la estructura de la playa presenta un gran delta de profundidades. Esto lo podemos apreciar claramente en la figura 6.

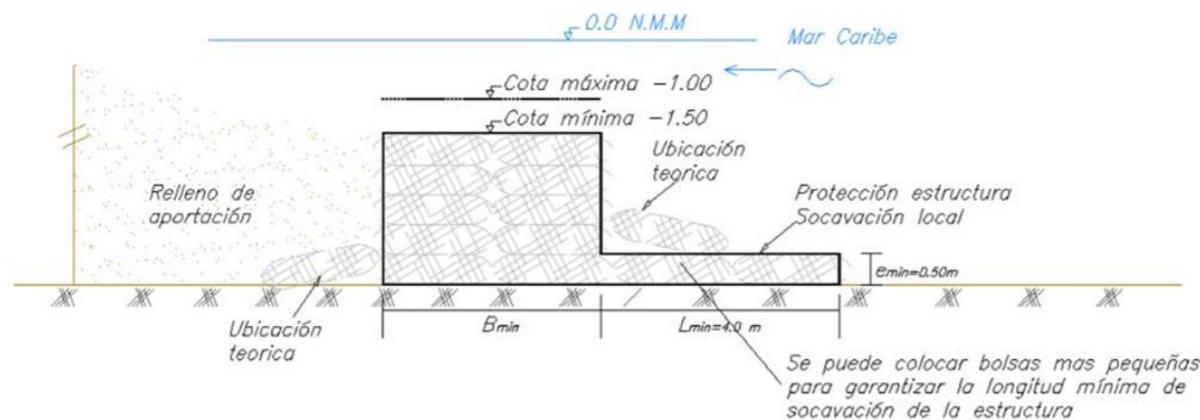


Figura 5. Corte transversal de la estructura de muro sumergido (28)

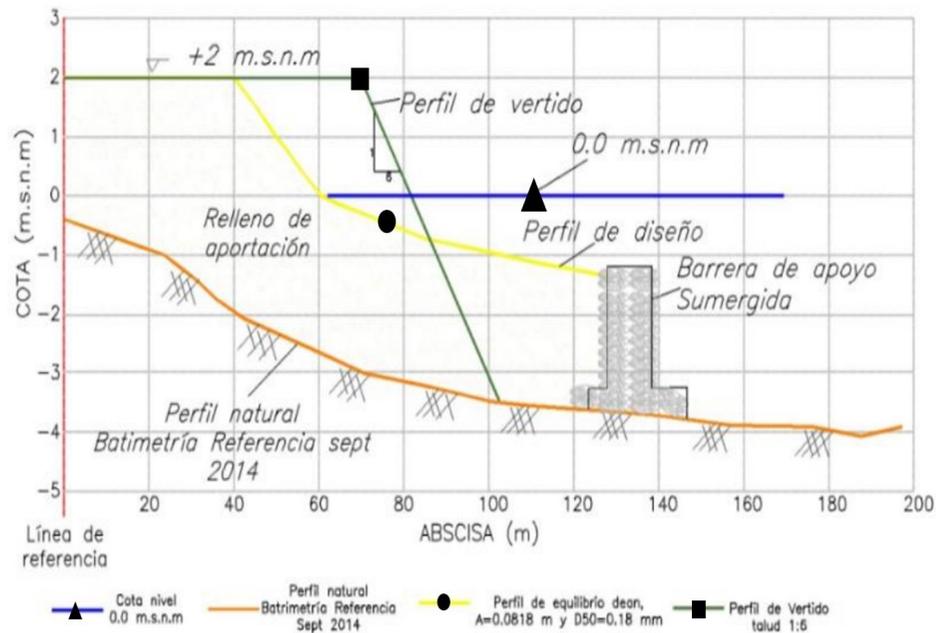


Figura 6. Perfil de diseño de playa húmeda y playa seca con variación de mareas. (28)

Para diagnosticar la estabilidad de la estructura se determinan las fuerzas desestabilizadoras sobre las estabilizadoras acordando el factor de seguridad de la estructura. Para ello se deben considerar cada uno de los distintos empujes, estos son los empujes de la arena, las fuerzas hidrostáticas generadas por el nivel del mar y los empujes que se producirán por el delta de presiones dinámicas que genera la barrera a ambos lados. El cambio de momentum que produce el impacto de la ola y su velocidad debe ser considerada en este punto y se determinará el empuje total que deberá soportar la estructura.

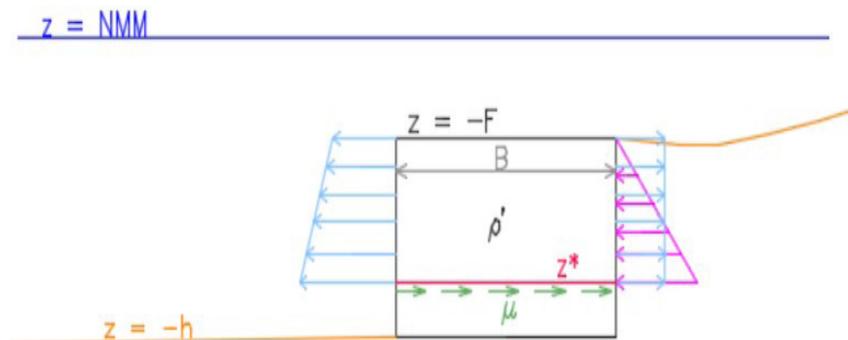


Figura 7. Esquema de esfuerzos en la estructura

Se consideran los siguientes parámetros, tabla 3, para establecer los anchos mínimos requeridos: la densidad de las BGG de 1.6 T/m³, las profundidades de operación de 3, 3.5 y 4 metros, la isóbata establecida previamente y un factor de seguridad al deslizamiento no menor a 1.2.

Tabla 3. Ancho mínimo de la estructura en BGG (Megabag)

Profundidad	Francobordo	
	F=1.0 m	F=0.5 m
3.0 m	2.9 m	3.5 m
3.5 m	3.4 m	4.1 m
4.0 m	4.0 m	1.6 m

Proceso constructivo

El proceso constructivo del muro sumergido de Crespo se realiza por lanzado en todo el proyecto (figura 8). Se realiza con técnicos especializados en lanzado de unidades que dirigen a las volquetas que lanzarán las unidades. Posteriormente, la excavadora colocará las unidades en caso de requerirse en el punto exacto de trabajo. Las unidades son llenadas con arena y posteriormente selladas con máquina de coser de doble aguja con dos pasadas garantizando un sellado idóneo de la unidad, esto debido a que estarán expuestas a los elementos durante la vida útil del proyecto.

Como se puede ver en la figura 8, podemos observar que para poder realizar la construcción de la estructura es fundamental transitar sobre la misma, debido a esto es que se deben cortar las unidades superiores después de instalada la totalidad de la barrera para garantizar la isóbata establecida en el diseño.



Figura 8. Proceso constructivo muro sumergido (A y B)

Resultados y discusión

En el caso de Bengala la estructura conformada con Megabags tuvo un asentamiento reportado de 8 cm medidos mediante sonda hasta el día octubre 20 de 2021 desde su instalación este se considera un asentamiento aceptable y la funcionalidad de la vía se encuentra en buen estado. El terraplén construido en material 50% subbase granular y 50% material no seleccionado, tiene un asentamiento total de 15 cm lo cual se encuentra a la vez dentro de un rango aceptable. La estructura durante su operación ha soportado la subida y bajada de niveles 4 veces desde su construcción y al momento se considera que la estructura se encuentra en un estado estable de construcción. El talud se encuentra completamente vegetado y las únicas unidades actualmente expuestas son las del sector donde inicia el puente de la quebrada Barrialosa.

Para el caso del muro sumergido de Crespo, el desempeño se puede observar en la siguiente serie de imágenes; se detalla todo el proceso de construcción de la defensa de la protección del túnel de Crespo y la generación de una playa húmeda y seca que posibilite la protección marítima de la infraestructura vial, ver figura 10 a figura 13.

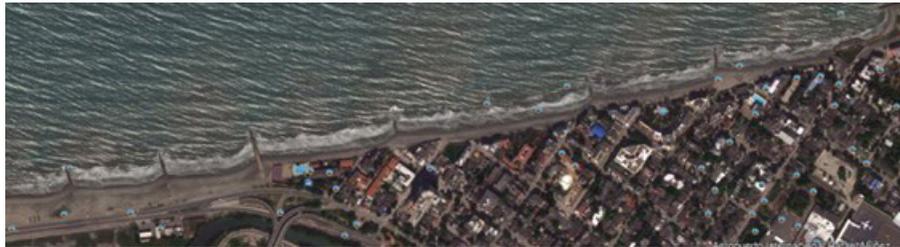


Figura 9. Imágenes satelitales de zona de obra diciembre 2009 inicio de obra (29)



Figura 10. Imágenes satelitales de zona de obra febrero 2012 construcción de primeros 4 espolones (30)

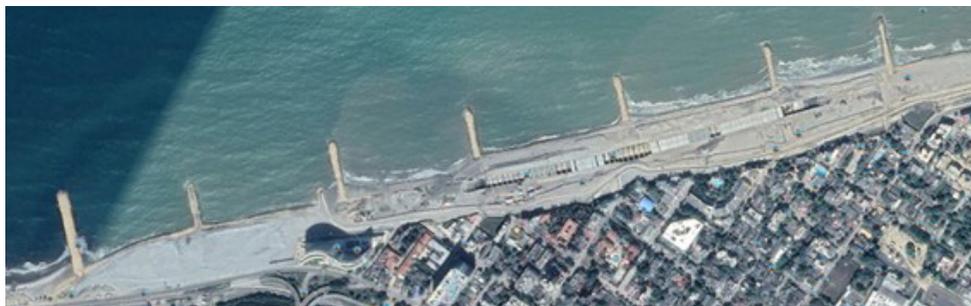


Figura 11. Imágenes satelitales de zona de obra diciembre 2013 finalización de los espolones (31)



Figura 12. Imágenes satelitales de zona de obra Julio 2014 se coloca arena de protección por evidencia de erosión (32)



Figura 13. Imágenes satelitales de zona de obra marzo 2015 inicio de muro sumergido (33)

Se intenta estabilizar la playa únicamente con los espolones, pero se empieza a generar una fuerte erosión especialmente entre el primer y segundo espolón comprometiendo el túnel y se decide proteger la estructura con la barrera marginal con BGG (Megabags), ver figura 14 a figura 17.



Figura 14. Imágenes satelitales de zona de obra noviembre 2015 finalización de la estructura de muro sumergido (33)



Figura 15. Imágenes satelitales de zona de obra enero 2016 movimiento de línea de playa seca (34)

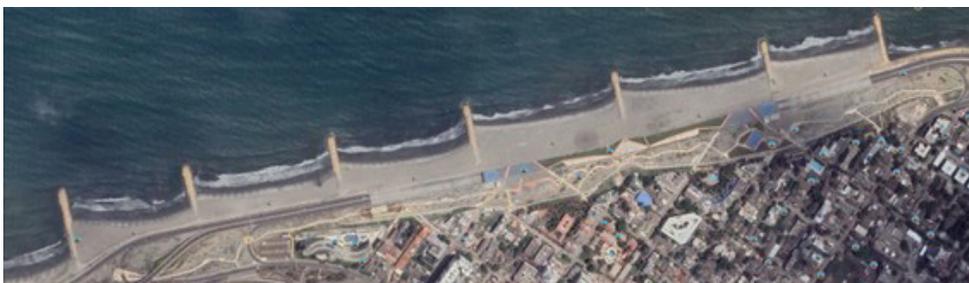


Figura 16. Imágenes satelitales de zona de obra julio 2016 (34)



Figura 17. Imágenes satelitales de zona de obra enero 2017 (35)

En las imágenes se aprecia cómo cambia la dinámica costera y se produce un rompimiento de la ola en el punto de instalación del muro, esto propicia la formación de la playa. Después de la construcción inicial se realiza un aporte importante de arenas para contribuir a una sedimentación mayor en la primera etapa del proceso, ver figura 18 y figura 19.

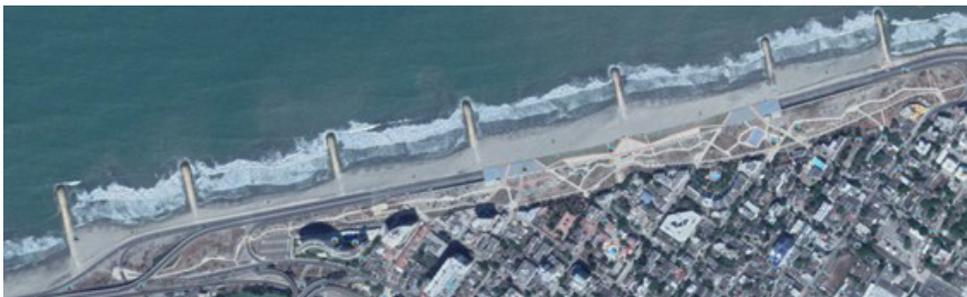


Figura 18. Imágenes satelitales de zona de obra febrero 2018 (36)

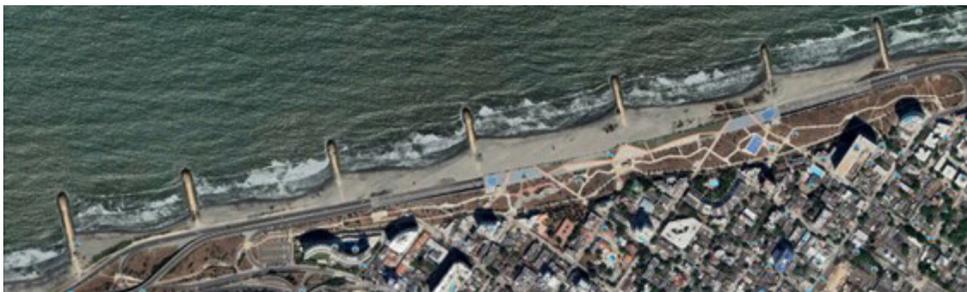


Figura 19. Imágenes satelitales de zona de obra febrero 2022 (37)

Se puede apreciar que la línea de playa húmeda y seca se mantiene estable en el tiempo sin presentar mayores movimientos y permitiendo que la infraestructura vial se encuentre protegida, ver figura 20 a figura 23.



Figura 20. Imágenes satelitales Espolones 2 y 3 abril 2015 (33)

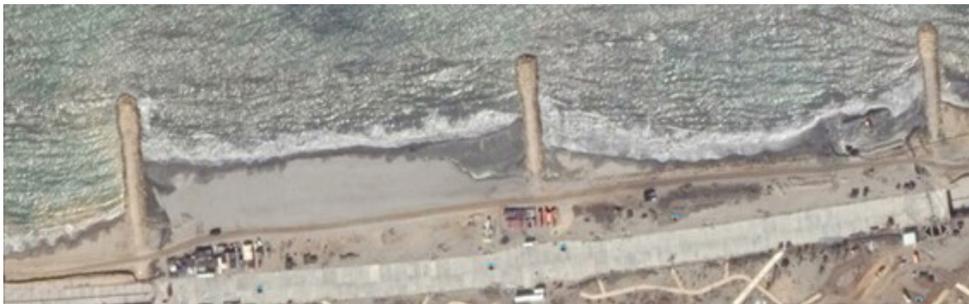


Figura 21. Imágenes Satelitales Espolones 2 y 3 noviembre 2015 (33)

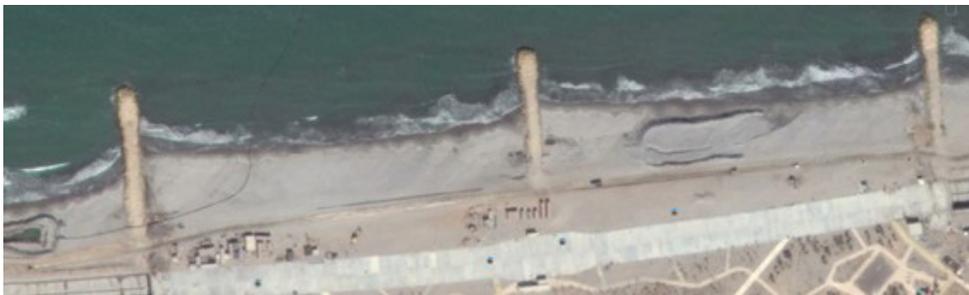


Figura 22. Imágenes Satelitales Espolones 2 y 3 enero 2016 (34)

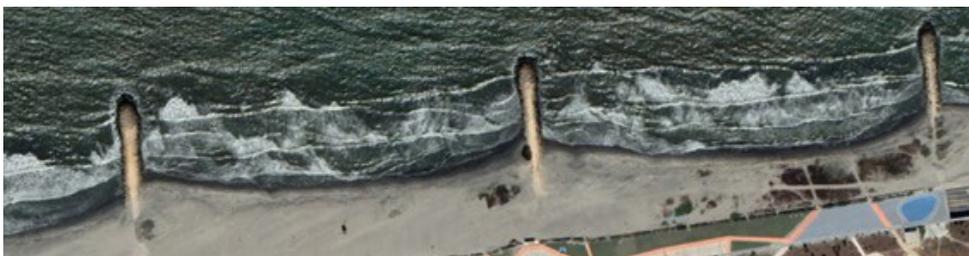


Figura 23. Imágenes Satelitales Espolones 2 y 3 febrero 2022 (37)

Se puede apreciar claramente cómo el muro sumergido produce una sedimentación y mantiene la playa estable en el tiempo.

El muro sumergido de crespo en su situación final se puede apreciar una estructura estable en el tiempo que permite tener una estructura lo suficientemente longeva para un diseño de 25 años

de vida útil. Es importante resaltar que, si bien la estructura genera la protección adecuada y definitiva del túnel de Crespo propiciando una playa seca y húmeda adecuada, la estructura como se contempla en los diseños produce un resalto hidráulico en la ola induciendo una liberación de la energía de la ola aguas afuera y reduciendo la energía con la que llega a la playa. Esto produce que exista un oleaje importante y se induzcan corrientes significativas, además de tener un delta de alturas en el momento que se sale de la zona de protección del muro sumergido. Es importante destacar que una buena práctica sería alejar un poco más la estructura de muro sumergido de la orilla y profundizarlo más garantizando que no se genere una sensación de seguridad por la poca profundidad y de un momento a otro se profundice drásticamente generando zonas de riesgo para los bañistas.

De los resultados del trabajo se puede apreciar que para infraestructuras costeras (Túnel de Crespo) el uso de bolsas gigantes de geotextil funciona de manera satisfactoria para el control de erosión, lo cual coincide con la investigación de Antón (5). Además, el tiempo de ejecución requerido es menor al de estructuras convencionales, con posibilidad de usar materiales de la zona y factibilidad de aplicación en presencia de agua, que concuerda con los estudios de Antón (5) e Ibañez (6).

También se encontró que, para el caso de Bengala, la estructura durante su operación ha soportado la subida y bajada de niveles de agua en repetidas ocasiones (4 veces) y al momento se encuentra en estado estable, con lo cual se puede demostrar su eficacia en la estabilidad del talud, que concuerda con el estudio desarrollado por Dip et al. (22). Por otro lado, en este mismo sitio se presentó un asentamiento de 8 cm, los cuales se consideran como un asentamiento aceptable, sin embargo, lo reportado en Ibañez (6), las deformaciones se han reportado inclusive menores.

Conclusiones

El estudio y seguimiento realizado demostró la versatilidad de las bolsas de geotextil gigante en la aplicación de la ingeniería de obras, a nivel cualitativo se logra evidenciar el proceso de restauración, estabilización de la costa y taludes afectados, posibilidad de usar materiales de la zona y factibilidad de aplicación en presencia de agua gracias a la intervención con bolsas de geotextil gigantes. A nivel cuantitativo se aprecia la estabilidad a largo plazo, la recuperación geométrica de las zonas intervenidas y registro de tiempo de ejecución menor a estructuras convencionales. Por lo anterior se considera que esta alternativa es confiable con los respectivos diseños geotécnicos e hidráulicos de acuerdo al proyecto.

Referencias

1. Ospina G. El papel de las vías secundarias y los caminos vecinales en el desarrollo de Colombia. Revista de Ingeniería [Internet]. 2016 [citado 1 abr 2023]; (44): 20-27. Disponible en: <https://acortar.link/Yf1CHg>
2. Bolívar S, Quintero C. Análisis del estado de las vías secundarias en Colombia y la oportunidad de la ingeniería civil para su construcción y mantenimiento [tesis pregrado en Internet]. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia; 2019 [citada 1 abr 2023]. 128 p. Disponible en: <https://acortar.link/9ARjWr>
3. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Caminos rurales: vías claves para la producción, la conectividad y el desarrollo territorial. 2020 [citado 1 abr 2023]. Boletín 377. Disponible en: <https://acortar.link/Tx5jvR>
4. Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Bolsas de geotextil gigantes (BGG). 2022. Capítulo 6-Estructuras y drenajes, artículo 685. Disponible en: <https://acortar.link/rTxbq7>
5. Antón A. Lugares adecuados para la utilización de nuevos materiales y formas con geotextiles en la gestión integral de la zona litoral como protección ambiental [tesis doctoral en internet]. Universidad Politécnica de Madrid; 2016 [citada 1 abr 2023]. 546 p. Disponible en: <https://oa.upm.es/39190/>

6. Ibañez A, Macalupu R. Recuperación de transitabilidad vial utilizando tecnología de geobolsas en caso de inundaciones [tesis de pregrado en internet]. Piura: Universidad de Piura; 2020 [citada 1 abr 2023]. 124 p. Disponible en: <https://acortar.link/E2Rmxz>
7. Haddad A, Bahrehdar. M. (2012). Numerical and experimental evaluation of soilbags deformation under vertical loading. 5th European Geosynthetics Congress; 2012 [citado 1 abr 2023]; Valencia. Disponible en: <https://acortar.link/XnF0hP>
8. Lakirouhani A, Bahrehdar M. Effect of Various Lateral Boundaries on Bearing Capacity of Soilbag. Geotechnical and Geological Engineering [Internet]. 2017 oct [citado 2 abr 2023]; 36: 1409-1416. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0383-9>
9. Xu Y, Huang J, Du Y, Sun D. Earth reinforcement using soilbags. Geotextiles and Geomembranes [Internet]. 2008 jun [citado 2 abr 2023]; 26 (3): 279-289. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2007.10.003>
10. Ansari Y, Merifield R, Yamamoto H, Sheng D. Numerical analysis of soilbags under compression and cyclic shear. Computers and Geotechnics [Internet]. 2011 jul [citado 2 abr 2023]; 38 (5): 659-668. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.02.002>
11. Cheng H, Yamamoto H, Thoeni K. Numerical study on stress states and fabric anisotropies in soilbags using the DEM. Computers and Geotechnics [Internet]. 2016 jun [citado 2 abril 2023]; 76: 170-183. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.03.006>
12. Fan K, Liu H, Cheng Y, Liao J. Effect of infilled materials and arrangements on shear characteristics of stacked soilbags. Geosynthetics International [Internet]. 2020 dic [citado 3 abril 2023]; 27(6): 662-670. Disponible en: <https://doi.org/10.1680/jgein.20.00019>
13. Fan K, Liu S, Cheng Y, Wang Y. Sliding stability analysis of a retaining wall constructed by soilbags. Géotechnique Letters [Internet]. 2019 sep [citado 4 abril 2023]; 9(3): 211-217. Disponible en: <https://doi.org/10.1680/jgele.19.00002>
14. Wang Y, Wang L. Numerical simulation of vibration reduction and energy dissipation of soilbags. Rock and Soil Mechanics [Internet]. 2014 [citado 4 abr 2023]; 299(2): 601-608. Disponible en: <http://ytlx.whrsm.ac.cn/EN/abstract/abstract14681.shtml>
15. Wang L, Liu, S. Experimental study on the inclusion of soilbags in retaining walls constructed in expansive soils. Geotextiles and Geomembranes [Internet]. 2015 feb [citado 5 abr 2023]; 43(1): 89-96. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2014.11.002>
16. Li Z, He Y, Sheng J, Li Y. A Model-Based Experiment on the Prevention of Frost Heave in Canals using Soil-bags. Journal of Material Sciences & Engineering [Internet]. 2015 ago [citado 4 abr 2023]; 4(5): 1-8. Doi:10.4172/2169-0022.1000189. Disponible en: <https://acortar.link/02Ntja>
17. Li H, Song Y, Gao J, Li L, Zhou Y, Qi H. Construction of a Dry Ash Dam with Soilbags and Slope Stability Analysis. 5th Annual International Conference on Material Science and Engineering; 2017 oct [citado 5 abr 2023]; Xiamen. Doi: 10.1088/1757-899X/275/1/012034. Disponible en: <https://acortar.link/tDsnDc>
18. Xuan C, Shuang, L, Han-min Z, Hui C. Reinforcement Mechanism and Engineering Application of Weak Tailing Pond Beach by Soilbag Method. Geofluids [Internet]. 2022 jun [citado 6 abr 2023]; 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/4015303>
19. Tang R, Sheng T, Xiao C. Anti-liquefaction Performance of Stacked Sandbags: Shaking Table Tests and Numerical Simulations. KSCE Journal of Civil Engineering [Internet]. 2022 ago [citado 6 abr 2023]; 26: 4444-4457. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12205-022-1810-x>
20. Liu S, Fang B, Lu Y, Chen S. Behaviour of soilbags subjected to monotonic and cyclic vertical loading. Geosynthetics International [Internet]. 2023 abr [citado 6 abr 2023]; 30 (1): 81-94. Disponible en: <https://doi.org/10.1680/jgein.21.00075>
21. Liu S, Lu Y, Weng L, Bai F. Field study of treatment for expansive soil/rock channel slope with soilbags. Geotextiles and Geomembranes [Internet]. 2015 ago [citado 6 abr 2023]; 43 (4): 283-292.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.04.004>

22. Dip M, Uddin J, Hasan M. Geo-bags effects on meandering section against bank erosion: a case study of Dharla river. 6th International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development; 2022 feb [citado 6 abr 2023]; Khulna. Disponible en: <https://acortar.link/0Vsr1S>

23. Hoy se habilitará la vía Garzón – Gigante por un solo carril. Caracol Radio [Internet]. 2019. Disponible en <https://acortar.link/CaiMKz>

23. En cuatro meses se recuperaría la vía Gigante-Garzon. Diario del Huila [Internet]. 2019. Disponible en <https://diariodelhuila.com/>

24. INGETEC – Ingenieros Consultores. Diseño detallado de la alternativa 8.2 para el restablecimiento de la banca en la vía Garzon-Neiva. 2020

25. Antes de lo previsto se logró solución a emergencia vial nacional. Diario del Huila [Internet]. Disponible en <https://diariodelhuila.com/>

26. INGETEC – Ingenieros Consultores. Informe de asesoría e inspección técnica de obra de recuperación de banca en la vía Neiva – Garzón. 2020.

27. Paso vehicular por Bengala se normalizará el 4 de junio. Nuestras Noticias [Internet]. 2020. Disponible en: <https://acortar.link/bAHUwW>

28. Lora E. Aplicación de geobags para la construcción de una barrera costera sumergida para la protección del túnel de acceso a Cartagena en las playas de Crespo. XXIV Seminario nacional de hidráulica e hidrología; 2020; Barranquilla. p.530-549. Disponible en: <https://acortar.link/7GTjvx>

29. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2009 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

30. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2012 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

31. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2013 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

32. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2014 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

33. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2015 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

34. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2016 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

35. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2017 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

36. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2018 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>

37. Google Earth. Imagen Satelital Tunel de Crespo [Internet]. 2022 [consultado 10 abril 2023]. Disponible en: <https://acortar.link/eKbLB7>