

GEOSINTÉTICOS PARA MITIGACIÓN Y PREVENCIÓN DEL RIESGO

Patrick Kabir Fuentes Andrade ¹

Omar Leonardo Torres Parada ²

¹Ingeniero Civil Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Recursos Hídricos Universidad Católica de Colombia, Ingeniero de Diseño y Especificaciones en Hidráulica y Ambiental Geomatrix S.A.S. Dirección Calle 15 72-72 Bogotá Colombia, teléfono +57-1 424 9999, correo electrónico pfuentes@geomatrix.com.co.

²Ingeniero Civil Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Geotecnia y Pavimentos Universidad Nacional de Colombia – Arizona State University. Director Técnico Geomatrix S.A.S. Dirección Calle 15 72-72 Bogotá Colombia, teléfono +57-1 424 9999, correo electrónico otorres@geomatrix.com.co.

Recibido 21 de marzo de 2014. Aceptado Agosto de 2014
Received: march 21, 2014 Accepted: August, 2014

RESUMEN

El desarrollo de obras de ingeniería bajo el concepto de riesgo se enmarca en la combinación de amenaza y vulnerabilidad, entendidas como la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso y el grado de daño que esta pueda causar a un sistema determinado [1]. En este ámbito, el uso de los geosintéticos en proyectos civiles ha evolucionado, pasando de ser una solución técnica en la construcción de pavimentos y subdrenajes, a ser elementos primordiales en la construcción de estructuras de contención, protección de taludes, protecciones y realces de orillas en ríos y en líneas costeras. Este artículo pretende resaltar la importante participación de tales materiales en obras de infraestructura, donde su desempeño, sus ventajas en los procesos constructivos y en los demás materiales requeridos, hacen posible la concepción y desarrollo de estructuras y soluciones de ingeniería encaminadas a reducir la susceptibilidad de un sistema ante determinadas amenazas naturales.

Palabras clave: Riesgo, vulnerabilidad, amenaza, susceptibilidad, geosintéticos, estructuras en suelo mecánicamente estabilizado, mantos para control de erosión, geomalla, formaletas textiles, tubos geotextil (Times New Roman 11pt).

GEOSYNTHETICS FOR RISK MITIGATION AND PREVENTION

ABSTRACT

The development of engineering works under the concept of risk is focused towards the combination of threat and vulnerability. This can be understood in the probability that an adverse event can occur and what degree of damage this event can cause on a specific

system [1]. In this scope, the use of geosynthetics in civil projects has evolved; from being a technical solution in pavement and subdrainage construction. Today, geosynthetics are being used as primordial elements in construction of retaining walls, slope protection, shore protection and enhancement of banks in rivers and coasts. This paper is intended to support the importance of these materials in infrastructure works. Its performance, advantages in construction processes and other required materials make it possible to design and develop structures and engineering solutions that aim to reduce the susceptibility of a system to a specific natural threat.

Keywords: Risk, vulnerability, threat, susceptibility, geosynthetics, mechanically stabilized earth walls, erosion control mats, geogrid, fabric form, geotextile tubes.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Riesgo

Según [1] el riesgo es la combinación de la probabilidad de que ocurra un evento de determinada magnitud, y la probabilidad de que dicho evento cause efectos negativos sobre un sistema determinado, que puede ser una obra de infraestructura o un asentamiento humano. Bajo esta definición, el riesgo sobre el sistema es entonces función de dos factores, la amenaza y la vulnerabilidad, y puede expresarse a través de la Ecuación (1).

$$Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad \quad (1)$$

Donde la amenaza es el fenómeno o condición peligrosa que puede causar daños sobre el sistema, y la vulnerabilidad son las características propias del sistema que lo hacen más o menos débil ante los efectos negativos de la amenaza.

La vulnerabilidad a su vez es función de tres factores [2], tal como está expresado en la Ecuación (2).

$$Vulnerabilidad = \frac{Exposición \times Susceptibilidad}{Resiliencia} \quad (2)$$

Donde la exposición es la desventaja del sistema o comunidad por su ubicación o localización; la susceptibilidad es el grado de fragilidad ante la amenaza, y la resiliencia es la capacidad del sistema de resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos negativos causados por una amenaza.

1.2 Geosintéticos

Los geosintéticos son materiales flexibles en forma de láminas [3], fabricados a partir de distintos polímeros (poliéster, polipropileno, polietileno de alta densidad, entre otros) diseñados para

complementar y mejorar el desempeño de los materiales térreos en la construcción de obras civiles, optimizando el uso de los recursos en los proyectos.

Los geosintéticos cumplen varios propósitos importantes, entre los cuales se destacan mejorar el desempeño de las estructuras (mayor durabilidad y mayor vida útil) y reducir los costos en comparación con soluciones tradicionales (utilización de elementos de menor especificación y mayor rendimiento de construcción).

Los primeros geosintéticos utilizados en ingeniería fueron los geotextiles para separación en estructuras de pavimentos y filtro en sistemas de subdrenaje [4]. Hoy en día existen diversos tipos de geosintéticos, cuya aplicación se ha extendido hacia la construcción de estructuras de contención en suelo mecánicamente estabilizado, y control de erosión y manejo hidráulico en ríos y costas. La Tabla 1 relaciona varios tipos de geosintéticos y las funciones que cumplen dentro de las obras de ingeniería.

Tabla 1. Relación de tipos de geosintético y sus funciones

Geosintético	Función
Geotextiles no tejidos	Filtración, separación
Geotextiles tejidos	Filtración, separación, estabilización, refuerzo, control de erosión, confinamiento
Geomallas	Refuerzo, confinamiento
Formaletas textiles	Confinamiento
Mantos para control de erosión	Control de erosión
Geocompuestos para drenaje	Drenaje
Geoceldas	Estabilización, control de erosión, confinamiento

2. LOS GEOSINTÉTICOS Y EL RIESGO

Frecuentemente se recurre al diseño de proyectos de ingeniería para reducir el riesgo de la infraestructura y las comunidades ante amenazas naturales, cuyo éxito depende de la susceptibilidad de cada elemento ante las condiciones agresivas que pueden presentarse durante la ocurrencia de un fenómeno determinado. En algunos casos, estos proyectos deben ejecutarse en sitios de difícil acceso, lo que aumenta la exigencia de las soluciones planteadas. En este panorama es propicio, en diferentes casos, la implementación de geosintéticos debido a que su aporte al desempeño de las estructuras se refleja en:

- **Aumento de la resistencia:** Uso de materiales geosintéticos de alta resistencia a tensión diseñados para refuerzo de estructuras.
- **Deformaciones tolerantes:** Los geosintéticos son elementos flexibles capaces de tolerar deformaciones sin perder la integridad.
- **Durabilidad:** Los polímeros son altamente durables gracias a su estabilidad química.

Con este aporte de los geosintéticos se reduce la susceptibilidad y se aumenta la resiliencia de las estructuras, lo que conlleva reducir la vulnerabilidad, y por tanto a reducir el riesgo de los sistemas a proteger (Ecuación (1), Ecuación (2)). A continuación se describen algunas aplicaciones y la forma en que su uso adecuado reduce el riesgo ante diversos tipos de amenazas naturales.

3. PREVENCIÓN DEL RIESGO CON GEOSINTÉTICOS ANTE EVENTOS SÍSMICOS

3.1 Estructuras de contención en suelo mecánicamente estabilizado SME

Una estructura en suelo mecánicamente estabilizado (Fotografía 1) es una masa de suelo a la cual se le incluyen elementos de refuerzo como láminas, tiras o capas con el propósito de aumentar su resistencia al corte [5]. Este aumento de resistencia está gobernado por la resistencia del material térreo de conformación (parámetros geomecánicos), la resistencia de los geosintéticos de refuerzo (resistencia a tensión por unidad de ancho) y finalmente la resistencia asociada a la interacción entre ambos elementos (la cual depende del tipo y forma del elemento de refuerzo)



Fotografía 1. Estructura en suelo reforzado con geomallas.

Existen dos mecanismos de interacción o transferencia de esfuerzos entre la masa de suelo y el elemento de refuerzo:

- La transferencia por resistencia pasiva, que se genera cuando se utilizan elementos tipo mallas con aberturas, y es básicamente el efecto de trabazón de las partículas de suelo en dichas aberturas (Figura 1).

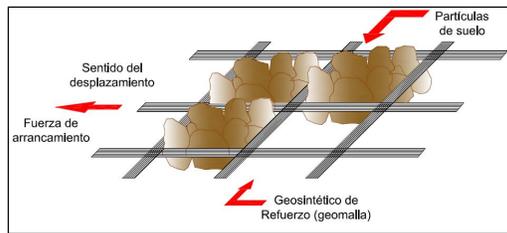


Figura 1. Transferencia de esfuerzos por resistencia pasiva

- La transferencia por fricción que ocurre entre las capas superior e inferior de suelo y el elemento de refuerzo (Figura 2).

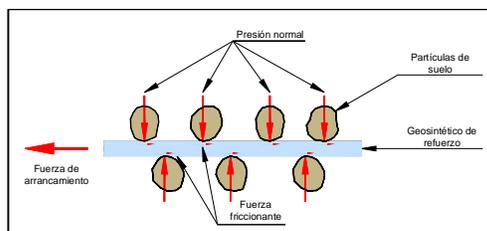


Figura 2. Transferencia de esfuerzos por fricción

Una de las ventajas de las estructuras en suelo reforzado es su flexibilidad y su capacidad de absorber las deformaciones; esta condición las hace más resistentes ante las cargas sísmicas en comparación con estructuras rígidas, tal como lo reporta la FHWA en la publicación FHWA-NHI-00-043, manteniendo la condición de servicio de una mejor forma en comparación con estructuras de alta rigidez como el concreto.

Por esta condición, al construir estructuras de contención o conformación de rellenos en suelo reforzado con geosintéticos, se reduce la susceptibilidad y se aumenta la resiliencia de las obras ante eventos sísmicos.

Como elementos de refuerzo, se utilizan principalmente geomallas uniaxiales de alta resistencia a tensión, cuya interacción con el suelo se da por resistencia pasiva y fricción. La resistencia de la geomalla a utilizar, la separación entre tiras de refuerzo y la longitud de las tiras de

refuerzo obedecen a un análisis de estabilidad interna, externa y global, para la condición específica del proyecto. La Fotografía 2 ilustra la construcción de una estructura en suelo reforzado.



Fotografía 2. Construcción de estructura en suelo reforzado con geomallas.

4. PREVENCIÓN DEL RIESGO CON GEOSINTÉTICOS ANTE CAÍDA DE MATERIAL EN TALUDES Y LADERAS

Es frecuente la existencia de estructuras cercanas a laderas con potencial desprendimiento de materiales, como el caso de las vías con sección en corte conformadas por macizos rocosos altamente fracturados o conglomerados con bloques o detritus, así como zonas urbanizadas en laderas con caída de detritus.

Una medida para reducir el riesgo ante este tipo de amenazas es el revestimiento de los taludes con elementos capaces de contener el material a desprenderse, para lo cual puede emplearse geosintéticos de alta resistencia y durabilidad ante la exposición a rayos ultravioleta. Para esta aplicación se emplean dos tipos de geosintéticos, los mantos permanentes para control de erosión y las geomallas biaxiales de alta resistencia.

4.1 Mantos permanentes para control de erosión de alta resistencia

Los productos enrollables para control de erosión están diseñados para proteger superficialmente el suelo ante la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación, sin embargo, existen mantos permanentes que además de la cobertura y tridimensionalidad, ofrecen resistencias a la tensión mayores a 40 kN/m, por tanto son elementos capaces de retener desprendimiento de detritus o pequeños bloques de material (Fotografía 3). Estos mantos, además, pueden complementarse con otros elementos, como mallas metálicas, para aumentar la capacidad de resistencia en condiciones de mayor exigencia.



Fotografía 3. Control de caída de detritus con mantos permanentes para control de erosión.

4.2 Geomallas para control de caída de detritus

Una alternativa para contener o disipar la energía de la caída de piedras en taludes rocosos fracturados es el uso de geomallas biaxiales de alta resistencia.

Cuando simplemente se requiere disipar la energía durante la caída de piedras, se emplean geomallas ancladas únicamente en la corona del talud, revistiendo el talud a manera de cortinas, de tal manera que amortigüen el descenso de bloques que se desprenden. Esta solución no implica el uso de

anclajes ya que el objetivo no es evitar el desprendimiento de los detritus o bloques, sino garantizar una caída segura (Fotografía 4). Esta solución implica un adecuado manejo del material desprendido en la pata del talud, es decir que su implementación es viable siempre y cuando se cuente con espacio suficiente en la zona inferior para recibir el material desprendido.



Fotografía 4. Geomallas biaxiales para disipación de caída de bloques.

Cuando se requiere evitar la caída de bloques, la geomalla debe anclarse al talud con anclajes adecuadamente distribuidos sobre la superficie. Para este caso, la geomalla es el elemento que funciona como una pantalla flexible de alta resistencia, capaz de transmitir la fuerza ejercida por los bloques hacia los anclajes (Fotografía 5). La solución completa debe diseñarse integralmente desde el punto de vista geotécnico, definiendo la longitud y separación de los anclajes y la resistencia mínima a tensión requerida en la geomalla.



Fotografía 5. Geomallas biaxiales para control de caída de bloques.

5. PREVENCIÓN DEL RIESGO CON GEOSINTÉTICOS ANTE INUNDACIONES Y TEMPORADAS INVERNALES PROLONGADAS

5.1 Revestimientos

El efecto de aumentos excesivos de los niveles de los cuerpos de agua durante largas temporadas invernales genera deterioro y erosión de las orillas, razón por la cual se hace importante la implementación de revestimientos o protecciones.

En este campo los geosintéticos ofrecen soluciones prácticas para este tipo de necesidad, con ventajas importantes sobre otros sistemas, principalmente por la flexibilidad y durabilidad de dichos elementos (los polímeros son inertes ante agentes químicos y biológicos de los suelos y cuerpos de agua), y la facilidad de interactuar con distintos materiales, pudiendo aprovechar los recursos disponibles en los sitios de ejecución de los proyectos.

5.1.1 Formaletas textiles

Una de las soluciones de revestimientos con geosintéticos son las formaletas textiles, que son elementos fabricados con dos capas de geotextil

intertejidos en puntos simétricamente distribuidos, conformando una bolsa que se llena con concreto fluido, para obtener revestimientos ajustados a las formas del terreno, cuya ventaja en este caso es la facilidad y agilidad de la instalación, sin requerir de elementos adicionales para la nivelación del concreto.

Estos sistemas permiten la construcción de los revestimientos en concreto de espesores homogéneos, además, su configuración genera superficies con rugosidad similar a la de rocas de cantos rodados, que favorece a la disipación de energía del flujo (Fotografía 6). Otra ventaja importante de las formaletas textiles son los puntos de intertejido que controlan el espesor del elemento durante el llenado y durante el servicio permiten el alivio de la presión hidrostática dentro del terreno (los geotextiles permiten el paso del agua a través de sus aberturas)



Fotografía 6. Protección de orillas con concreto utilizando formaletas textiles.

Los revestimientos en concreto construidos con formaletas textiles son una solución versátil para protección superficial de taludes de diques, reduciendo la susceptibilidad de las estructuras ante eventos que puedan provocar erosión y ante el descenso súbito del nivel del agua conocido como desembalse rápido.

5.1.2 Geoesteras o colchones de enrocado

Otro sistema de revestimiento que emplea geosintéticos es la conformación de colchones de enrocado contenido dentro de esteras o canastas hechas con mallas poliméricas diseñadas para tal fin. Estos revestimientos son corazas duras que protegen el terreno ante la erosión, y además son propicios para revestir y proteger estructuras sumergidas ante la socavación, ya que su principal virtud es ser altamente flexibles, capaces de tolerar deformaciones y absorber procesos de socavación.

Estos sistemas de revestimientos al ser medios porosos deben acompañarse con el uso de geotextiles para control de erosión, de tal manera que no se produzca pérdida de partículas a través del enrocado.

Estas estructuras son altamente costo eficientes en lugares donde puede aprovecharse el material del sitio para su llenado, como en orillas donde existen depósitos aluviales cercanos; su llenado es artesanal, permitiendo aprovechar mano de obra local, sin requerir el uso de equipos sofisticados, pudiendo llevarse a cabo la actividad en zonas de difícil acceso (Fotografía 7).



Fotografía 7. Protección de orillas con colchones de enrocado confiando con mallas poliméricas.

La durabilidad de las mallas poliméricas es vital para la vida útil de la estructura, ventaja importante

que ofrecen los geosintéticos ante otro tipo de sistemas al no sufrir deterioro por corrosión, como es el caso del poliéster que es resistente en ambientes naturales agresivos, permitiendo la implementación de estas soluciones en orillas costeras (Fotografía 8).



Fotografía 8. Protección de orillas costeras con colchones de enrocado confiando con geomallas de poliéster.

Los colchones de enrocado confinados con mallas poliméricas son los revestimientos que mejor se ajustan a la condición dinámica de los ríos desarrollados y meándricos, ya que debido a su flexibilidad, mantienen la integridad de la protección mientras soportan procesos de socavación. Su naturaleza porosa permite su rápida integración al entorno, ya que normalmente sedimentos ricos en nutrientes quedan incrustados en la matriz de enrocado, permitiendo el establecimiento de la vegetación

5.2 Protección y manejo hidráulico

Los geosintéticos también participan de manera importante en la construcción de obras para manejo hidráulico, como estructuras invasivas a los cuerpos de agua y estructuras marginales de realce, que comúnmente se construyen para orientar el cauce y controlar los fenómenos erosivos.

5.2.1 Tubos geotextiles

Los tubos geotextiles son elementos ensamblados con geotextiles de alta resistencia [6], que conforman un contenedor de gran tamaño (perímetros de hasta 13.0 m) que se llenan con arena por medios hidráulicos para conformar núcleos de estructuras. Los tubos geotextil se diseñan según la altura a alcanzar, normalmente la altura de un solo elemento varía entre 1.0 m y 2.0 m, pero se combina en estructuras tipo pirámide para lograr las alturas requeridas (Fotografía 9). El diseño del elemento consiste en la verificación de la resistencia requerida en el geotextil para la altura proyectada.



Fotografía 9. Tubos geotextiles para protección de orillas.

Los tubos geotextiles son estructuras altamente estables dada la geometría que se obtiene en el llenado, su relación alto/ancho siempre es inferior a 0.7.

Este tipo de elemento resulta altamente eficiente para la conformación de núcleo de las estructuras de manejo hidráulico (tales como barreras para protección de orillas, espigones y diques para relace de orillas, como se ilustra en la Fotografía 10) en lugares donde se puede aprovechar el material del lecho del cuerpo de agua (en ríos desarrollados o en zonas costeras).



Fotografía 10. Espigones para encauzamiento conformados con tubos geotextil.

Dado que un tubo geotextil es básicamente material tipo arena encapsulado en geotextil de alta resistencia, este encapsulamiento es vulnerable a daños mecánicos que pueden ser generados por impactos de material arrastrado por las corrientes o por actividades humanas, por lo cual debe complementarse con sistemas de revestimiento que generen una coraza dura capaz de resistir estas condiciones. Este sistema de revestimiento puede construirse con geosintéticos, como con el uso de formaletas textiles (Fotografía 11) o colchones de enrocado confinado con hidromallas, o simplemente enrocado suelto.



Fotografía 11. Revestimiento de tubos geotextil con formaletas textiles llenas con concreto.

5.2.2 Diques en suelo reforzado

Los geosintéticos son también una alternativa para la construcción de estructuras de realce y control de inundaciones como diques, pudiendo reducir la pendiente de los taludes, optimizando el espacio disponible para las estructuras, y aumentando la resistencia del cuerpo de la estructura ante erosión o socavación.



Foto dique en suelo reforzado

Estas estructuras pueden construirse con geomallas o geotextiles como elementos de refuerzo. Durante el diseño debe definirse cuidadosamente el sistema de cierre de las capas tanto para la cara húmeda como para la cara seca, de acuerdo con las condiciones a las que la estructura será sometida durante su periodo de servicio.

Cuando se utilizan geomallas como elementos de refuerzo, en la cara húmeda debe incluirse en cada capa una franja de geotextil de filtro que controle la erosión de las partículas que conforman la estructura. Cuando la estructura se construye utilizando geotextiles como refuerzo, cada capa de geotextil sirve como cierre tipo "wrap around".

Para reducir la susceptibilidad de la estructura, puede proyectarse un revestimiento adicional en la cara húmeda, que puede servir como protección ante impactos mecánicos o ante actividades

humanas, como por ejemplo atraque de pequeñas embarcaciones.

La cara seca puede revestirse con mantos para control de erosión para favorecer el crecimiento de pastos sobre la fachada.

6. CONCLUSIONES

En síntesis, el aporte de resistencia, el incremento de durabilidad, la tolerancia a sobre esfuerzos y deformaciones, hacen de los geosintéticos materiales de amplia utilización en estructuras fundamentales en las que el concepto de riesgo es un aspecto determinante en el diseño y funcionalidad.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7.1 Reportes técnicos:

[1] Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas UNISDR, Terminología sobre Reducción de Riesgo de Desastres para los conceptos de Amenaza, vulnerabilidad y riesgo, 2009.

7.2 Trabajos disponibles en internet:

[2] Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño CIIFEN, *Definición de Riesgo*, http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es

6.2 Libros:

[3] Holtz, Robert D. Christopher, Barry R. Berg, Ryan R. *Geosynthetic Engineering*, First Printing, 1997.

[4] Koerner, Robert M, *Designin with Geosynthetics*, Fifth Edition, 2005.

[5] US Department of Transportation Federal Highway Administration FHWA, *Publication No.FHWA-NHI-00-*

043 Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design & Construction Guidelines, March 2001.

6.5 Ponencias en congresos:

[6] Espinosa, Carlos E. Torres, Omar L., *Tubos Geotextil, características, conceptos, materiales y aspectos de análisis*. XV Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana, Sociedad Colombiana de Ingenieros, Bogotá.