



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/20827
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/20827>



RESEARCH ARTICLE

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA Y ANÁLISIS GEOTÉCNICO EN ESTABILIDAD DE TALUDES PARA CANALIZACIONES

José Ramón López
Profesor en Geotécnica.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 17 February 2025

Final Accepted: 20 March 2025

Published: April 2025

Key words:-

Slope Stability, Geotechnical Analysis,
Gabions

Abstract

This article addresses a project located in the southern region of Guatemala City, specifically in Villanueva, aimed at protecting a new infrastructure intended for an industrial park. The initiative integrates hydraulic and geotechnical aspects, focusing on the stability and sustainability of gabion structures for managing flows from the Platanitos River and soil recovery. The impact of stone particle size and the application of polymeric coatings on the gabions was analyzed, using digital tools for hydraulic design and slope stability evaluation. The methodology included a detailed hydraulic analysis, followed by a slope stability design that considered safety factors and the interaction of water in the channel. A pseudo-static analysis was conducted to verify the structure's resistance under dynamic conditions, highlighting the importance of evaluating stability in the presence of water. This technical-geotechnical approach allowed for the proper alignment of design requirements with ground conditions, ensuring the infrastructure's resilience and durability. The study emphasizes the need to specify materials accurately and address multiple technical aspects to guarantee long-term sustainability, in harmony with the surrounding geotechnical and environmental context. The results underscore the relevance of integrating hydraulic and geotechnical analyses in the planning of channeling works, ensuring their functionality and stability under critical conditions.

"© 2025 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

La estabilidad de taludes y el manejo de suelos son aspectos fundamentales en proyectos de infraestructura, especialmente en áreas con condiciones geotécnicas e hidráulicas desafiantes, como es el caso de la región sur de la ciudad de Guatemala. Este estudio se enfoca en la protección de un parque industrial en Villanueva, donde se integran estructuras de gaviones para controlar los afluentes del río Platanitos y recuperar suelos. Además, se incorporan elementos internos como geosintéticos, específicamente geogrillas mono-orientadas de poliéster forradas en PVC, para complementar la estabilidad y mejorar el desempeño de las estructuras. La importancia de un análisis geotécnico riguroso y el diseño de estructuras sostenibles se ha destacado en investigaciones recientes. Por ejemplo, Phan et al. (2025) resaltan que la estabilidad de taludes depende en gran medida de las propiedades del suelo y las condiciones hidráulicas, mientras que Ramli et al. (2013) enfatizan el papel de los gaviones como solución eficaz para el control de erosión y la estabilización de suelos. Asimismo,

Malik y Mishra (2023) destacan que el uso de geogrillas en combinación con estructuras tradicionales, como gaviones, incrementa la resistencia al deslizamiento y mejora la distribución de cargas en suelos complejos. Este trabajo busca aportar una metodología integral que combine análisis hidráulicos, geotécnicos y el uso de geosintéticos, asegurando la durabilidad y resiliencia de las estructuras en entornos complejos.



Figura 1. Ejecución del muro mecánicamente estabilizados añadidos enrocados para la fundación. Aplicación de geosintéticos para la mejora de estabilidad de suelo de relleno. En proyectos de canalización y recuperación de suelos, el uso de geosintéticos, como geogrillas mono-orientadas de poliéster revestidas en PVC, es fundamental para garantizar la estabilidad de suelos de relleno. Estas estructuras resultan especialmente eficaces en la rehabilitación de suelos degradados y en zonas con presencia de agua, como en el caso del río Platanitos. Para optimizar su desempeño, en la figura 1 se muestra, lo crucial al seleccionar adecuadamente tanto las geogrillas como el material de relleno. Según Morsy et al. (2024), la combinación de geogrillas con materiales y recubrimientos adecuados mejora significativamente su rendimiento. Asimismo, la elección del suelo de relleno es un factor clave, recomendándose materiales con un índice de plasticidad inferior a 6 y un porcentaje de finos no mayor al 15%. Estas características favorecen la interacción entre el suelo y el refuerzo, incrementando la capacidad de carga y minimizando el riesgo de asentamientos diferenciales. Además, la correcta especificación de materiales es esencial para garantizar la durabilidad de las obras de canalización. Las geogrillas no solo mejoran la estabilidad de los taludes, sino que también contribuyen a una distribución uniforme de las cargas, reduciendo la presión sobre el suelo y previniendo fallas por deslizamiento o erosión interna. Obras de canalización y la importancia en la especificación de materiales. El desempeño de los gaviones a lo largo del tiempo depende de la correcta selección de materiales y de su interacción con el entorno geotécnico e hidráulico. Estudios como el de Thompson et al. (2016) han demostrado que, si bien estas estructuras pueden ser efectivas en la estabilización de cauces, su deterioro por corrosión, abrasión y erosión progresiva puede comprometer su funcionalidad, ocasionando fallas estructurales y modificaciones en la morfología del terreno. Por ello, se han investigado mejoras en su diseño, incluyendo el uso de materiales más resistentes y la implementación de técnicas innovadoras. Kang et al. (2024) proponen la incorporación de nuevos polímeros en los gaviones, lo que ha demostrado aumentar su estabilidad estructural y resistencia a la abrasión, además de minimizar los efectos de la contaminación derivadas por los cuerpos de agua. Estas innovaciones buscan optimizar el desempeño de los gaviones en entornos adversos, garantizando su durabilidad y eficacia en el control de erosión y la estabilización de suelos (Maccaferri, 2025). Importancia del tamaño de partícula de piedras en la estabilidad y comportamiento hidráulico de los gaviones. El tamaño de partícula de la piedra utilizada en los gaviones es un factor determinante en su estabilidad y comportamiento hidráulico. La norma ASTM D422-63 (ASTM, 2007) establece métodos para analizar la distribución granulométrica de los materiales, facilitando la selección de un tamaño de piedra adecuado. Si las piedras son demasiado pequeñas, pueden obstruir los espacios entre las mallas, reduciendo la capacidad de drenaje y aumentando el riesgo de falla por flujo interno. Por el contrario, un tamaño excesivo puede afectar la integridad estructural del gavión y comprometer su permeabilidad.

Metodología

Para llevar a cabo este estudio, se adoptó un enfoque de investigación cuantitativa, siguiendo las directrices establecidas por Sampieri (2018), el cual permitió analizar de manera objetiva y medible la influencia de factores clave como el tamaño de partícula de piedra, el espesor del alambre de la malla metálica y el recubrimiento de polímeros en la estabilidad y comportamiento hidráulico de las estructuras de gaviones. Este enfoque se complementó con un análisis cualitativo de los aspectos técnicos y operativos relacionados con la canalización y contención de la fracción del río Platanitos que circula en el perímetro del proyecto. El desempeño de las estructuras de gaviones se analizó considerando parámetros clave como el tamaño de partícula de la piedra de relleno y el espesor del alambre de la malla metálica. Estos factores fueron seleccionados debido a su influencia directa en la resistencia, estabilidad y capacidad de retención de las piedras dentro del gavión. Además, se incluyó el recubrimiento de polímeros como un parámetro crítico, dada su eficacia en la protección contra la abrasión y la corrosión, tal como lo han demostrado estudios previos (Yang et al., 2024). Para profundizar en estos aspectos, se desarrolló un modelo de elementos discretos que incorpora partículas irregulares y triturables de relleno, junto

con una malla metálica flexible. Este modelo fue validado mediante pruebas de perforación estática y ensayos dinámicos de impacto con péndulo, demostrando su capacidad para capturar deformaciones plásticas irreversibles y fuerzas de impacto durante eventos sucesivos. Los resultados destacaron que la fricción es el mecanismo dominante de disipación de energía, superando a la colisión o trituración de partículas, y que la fuerza de impacto varía significativamente con la energía aplicada y el número de impactos (Kang et al., 2024; Yang et al., 2024). Estos hallazgos proporcionan información valiosa para el diseño de barreras rígidas protegidas por gaviones, optimizando su eficacia en la mitigación de riesgos en ingeniería geotécnica. Para el análisis hidráulico y de diseño, se utilizó la herramienta digital (FHWA, 2025) HydraulicToolboxProgram, la cual permite realizar cálculos detallados de hidrología y diseño hidráulico, facilitando la evaluación de diferentes escenarios y la generación de resultados precisos y confiables. En el caso de estudio, se diseñó una canalización de 800 metros de longitud para gestionar de manera adecuada el flujo del río Platanitos, el cual bordea el área del proyecto. La zona crítica para estabilizar presentaba una altura de 13 metros y un área aproximada de 2562 m². Para mejorar la estabilidad del suelo de relleno controlado, se incorporaron geosintéticos como elementos de refuerzo interno, mientras que en la base se implementó una estructura de gaviones con el fin de optimizar el flujo hidráulico. Esta obra de canalización y contención tuvo como objetivo principal garantizar la conducción segura del agua, reduciendo el riesgo de inundaciones y protegiendo las áreas adyacentes. Adicionalmente, se llevó a cabo una modelación numérica mediante un software especializado para evaluar diversos escenarios y factores de seguridad, asegurando la protección y mejora del suelo de relleno. En la figura adjunta se muestra la simulación de los escenarios analizados, resaltando la interacción entre los componentes geotécnicos, hidráulicos y estructurales. Este enfoque integral permitió validar el diseño y garantizar la eficacia de las soluciones implementadas mostrados en la figura 2.

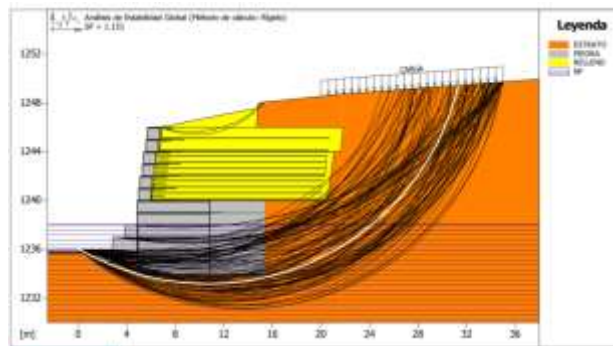


Figura 2:- Análisis y evaluación estabilidad global.

La selección de los parámetros de diseño y la metodología aplicada se basaron en la necesidad de asegurar la eficiencia y durabilidad de las estructuras de gaviones, particularmente en condiciones hidráulicas críticas, donde las velocidades de flujo pueden alcanzar valores significativos. Este enfoque permitió abordar los desafíos técnicos asociados a la estabilidad y funcionalidad de las estructuras en entornos dinámicos.

Resultados

Los parámetros utilizados en el análisis incluyeron un tamaño de partícula D50 de 400 mm, un peso específico de la piedra de 25 kN/m³ y una porosidad del 30%. Se consideró una malla metálica con un espesor de 2.4 mm, recubierta con un polímero para proteger tanto el zinc como el alma de acero. El software permitió evaluar la geometría curva de la canalización, junto con otros parámetros clave, como una relación R/T superior a 10 y un factor de curvatura de radio de 1 m. La interpretación de los resultados se enfocó en el comportamiento hidráulico, la estabilidad y la resistencia de las estructuras de gaviones. Se analizaron las variaciones en parámetros clave como la profundidad del flujo, el área de flujo, la velocidad y la profundidad crítica a lo largo de la canalización. Estos datos proporcionaron una comprensión integral del sistema, permitiendo validar el diseño y garantizar su eficacia en condiciones operativas reales.

$$\tau = 0.0091 (\gamma - \gamma_s)(MT + MTC) \quad [1]$$

τ = esfuerzo cortante permisible del gavión.

γ = peso específico del gavión (kN/m³).

γ_s = peso específico del agua (kN/m³).

MT = altura de la caja de gaviones (m).

MTC = constante de grosor, 1.24 metros (m).

La interpretación de los resultados se enfocó en el comportamiento hidráulico, la estabilidad y la resistencia de las estructuras de gaviones. Para ello, se utilizó la herramienta FHWA HydraulicToolboxProgram, que permitió evaluar la

eficiencia de la canalización bajo una pendiente del 1%, asegurando que la velocidad del flujo se mantuviera dentro de los rangos óptimos.

Los análisis incluyeron la evaluación del bendshear, un factor crítico para la estabilidad de las estructuras de gaviones, el cual fue examinado en detalle mediante el software. Se analizaron las variaciones en parámetros clave como la profundidad del flujo, el área de flujo, la velocidad y la profundidad crítica a lo largo de la canalización. Estos datos proporcionaron una comprensión integral del sistema, permitiendo validar el diseño y garantizar su eficacia en condiciones operativas reales, visualizado en la tabla 1.

Tabla 1:- Resultados de los análisis de la canalización.

Tamaño de la piedra	Rango	Esfuerzo cortante sobre el canal	Factor de seguridad	h
	[mm]	[kPa]		[m]
D50	400 mm	0.39	1.5	5 m

En la discusión de resultados, se consideraron investigaciones previas que abordan aspectos clave en el diseño de estructuras de gaviones. Estudios recientes han destacado la influencia de la geometría de la canalización en el comportamiento hidráulico, así como la relevancia del recubrimiento de polímeros para proteger contra la abrasión en condiciones fluviales, asegurando la durabilidad de las obras. La rugosidad del canal se determinó mediante ecuaciones establecidas por la FHWA para canales abiertos, obteniendo un coeficiente de Manning (n) de 0.0538. Este parámetro, fundamental para caracterizar el flujo, varía en función del tamaño de partícula del suelo, lo que permite calcular con precisión el caudal y evaluar las condiciones hidráulicas del sistema. Las gráficas 3 y 4, generadas a partir de este análisis, ofrecen una representación visual clara de la relación entre la profundidad del flujo y otros parámetros hidráulicos relevantes. Esto facilita una evaluación detallada del desempeño de la canalización y proporciona una base sólida para la toma de decisiones en proyectos futuros con características similares.

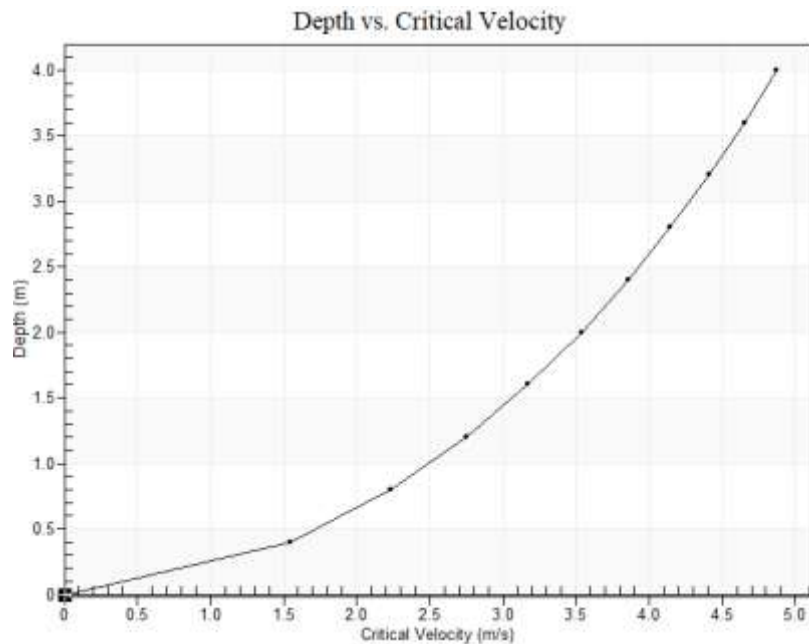


Figura 3:- Relación de profundidad y velocidad del flujo.

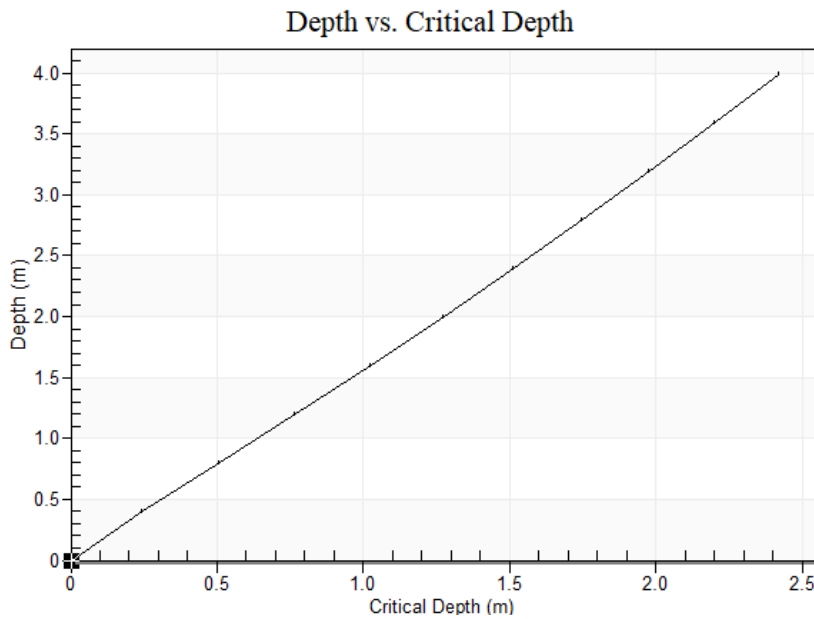


Figura 4:- Relación de profundidad del canal y profundidad crítica.

Conclusiones

Importancia de los materiales en la estabilidad y durabilidad: Los resultados demuestran que el tamaño de partícula de la piedra y el recubrimiento de polímeros son factores determinantes en la estabilidad, durabilidad y comportamiento hidráulico de las estructuras de gaviones. Sin embargo, el análisis no debe limitarse únicamente a las características físicas del material, sino integrarse con los factores de seguridad exigidos por la normativa aplicable al proyecto. Estos factores deben garantizar tanto la ejecución adecuada como la operatividad de la estructura, contemplando condiciones tanto sísmicas como estáticas como parte complementaria de la evaluación.

Herramientas digitales para la optimización del diseño: El empleo de herramientas como el FHWA HydraulicToolboxProgram permitió realizar análisis hidráulicos precisos y evaluar múltiples escenarios, facilitando un diseño más eficiente y adaptable a las condiciones específicas del proyecto.

Integración de aspectos hidráulicos y geotécnicos: La metodología aplicada refuerza la necesidad de abordar el diseño de obras de canalización desde un enfoque integral, combinando criterios hidráulicos y geotécnicos para asegurar un desempeño óptimo bajo diversas cargas ambientales y operacionales.



Figura 5:- Perspectiva de la obra de contención.

Discusión:-

Especificación precisa de materiales: Se recomienda establecer criterios técnicos detallados para la selección de materiales, con especial atención al tamaño de partícula de la piedra y las características del recubrimiento de polímeros. Estos parámetros deben cumplir con los requerimientos de resistencia y durabilidad, considerando factores de seguridad mínimos de 1.5 para condiciones estáticas y 1.10 para condiciones pseudoestáticas, según los estándares geotécnicos aplicables.

Uso de herramientas computacionales avanzadas: Es fundamental emplear software especializado (como el FHWA HydraulicToolboxProgram) para optimizar el diseño, evaluar escenarios complejos y verificar el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones de flujo y complementarlo con otras herramientas de análisis geotécnico. Con ello se tendrán evaluaciones y análisis más precisos en todas las etapas del proyecto.

Enfoque integral en el diseño: El proceso de diseño debe integrar desde su fase inicial los aspectos hidráulicos y geotécnicos, garantizando que la estructura sea segura y funcional tanto en condiciones normales como bajo solicitaciones sísmicas o hidrodinámicas. Esta integración multidisciplinaria mejora la eficiencia y reduce riesgos durante la construcción y operación.



Figura 6:- Vista área del proyecto y el área de influencia de la estabilización con geosintéticos.

Agradecimientos

Agradecemos al equipo de Maccaferri de Guatemala por su apoyo técnico y seguimiento continuo durante la ejecución de este proyecto. Su experiencia y dedicación fueron elementos clave para el éxito de esta iniciativa. Asimismo, reconocemos y agradecemos a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto, cuya colaboración fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

Referencias:-

1. Yang, G. C., Qiao, F., Lu, Y., Yao, Q. H., & Kwok, C. Y. (2024). Discrete element modeling of rock-filled gabions under successive boulder impacts. *Computers and Geotechnics*.
2. Kang, M. W., Moon, D. H., Roh, H. S., & Jeo, (2024). Innovative upcycling gabions with coal bottom ash for nonpoint source pollution control against climate change. *Journal of Cleaner Production*.
3. Thompson, D. M., Pukin, L. S., & Marshall, A. E. (2016). The long-term impact of channel stabilization using gabion structures on Zealand River, New Hampshire. *Ecological Engineering*.
4. ASTM International. (2007). ASTM D422-63: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM International.
5. Morsey, M. S., Elhanahy, A. M., Fatheibab, S. S., & Ahmed. (2024). Effect of oxidative ageing on stiffness improvement factor for HDPE and PET geogrids. *Geosynthetics International*.
6. Phan, T. N., Leung, A. K., & Nguyen, T. (2025). Modelling root decomposition effects on root reinforcement and slope stability. *Computers and Geotechnics*.
7. Ramil, M., Karasu, T. J. R., & Dawood, E. T. (2013). The stability of gabion walls for earth retaining structures. *Alexandria Engineering Journal*.
8. Malik, P., & Mishra, S. K. (2023). A comprehensive review of soil strength improvement using geosynthetics. *Materials Today: Proceedings*.
9. González, J., & Martínez, L. (2021). Geometric effects of channel curvature on the flow field upstream of a groyne. *Water Science and Technology*, 83(2), 321-331.
10. United States Department of Transportation Federal Highway Administration. (2019). *HydraulicToolboxProgramUser's Manual*. Federal Highway Administration.