



DOI: <https://doi.org/10.46296/yc.v6i11edespsep.0221>

MODELACIÓN COMPUTACIONAL PARA LA ESTABILIZACIÓN DE UN TERRAPLÉN REFORZADO CON GEOMALLAS

COMPUTATIONAL MODELING FOR THE REINFORCED EMBANKMENT STABILIZATION WITH GEOGRIDS

Jimbo-Yépez Ronald ¹; Mesa-Lavista Milena ²

¹Estudiante de la Maestría en Ingeniería Civil Mención Vialidad. Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí (UTM). Portoviejo, Ecuador. Correo: ronald_jimbo@outlook.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7124-7014>.

²Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Docente de la Facultad de Ingeniería Civil. Nuevo León, México. Correo: mmesal@uanl.edu.mx. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6966-1590>.

Resumen

El uso de geomallas como refuerzo en los terraplenes ofrece grandes ventajas desde el punto de vista técnico y económico. Las Geomallas aumentan la estabilidad de la estructura, favorece la reducción de desplazamientos horizontales y homogenizan los asentamientos diferenciales. En el presente artículo se desarrolla un modelo para la estabilización de un terraplén construido en la ciudad de Guayaquil, en el km 12 de la vía a Daule. Para la implementación del modelo se realizó la topografía del terreno y se realizó un estudio del suelo, determinándose los parámetros necesarios para el diseño y análisis computacional. A partir de ello, fue posible evaluar el modelo definitivo con la inclusión de geomallas para el reforzamiento y estabilización del mismo.

Palabras claves: estabilidad, terraplén, geomallas.

Abstract

The use of geogrids as reinforcement in embankments offers great advantages from technical and economic points of view. Geogrids increase the stability of the structure, inducing the reduction of horizontal displacements and homogenizing the differential settlements. In this article a model for an embankment stabilization is developed, that was built in Guayaquil city, km 12 of Vía a Daule. The topography and a soil study were carried out for the model implementation to determine the necessary parameters for the design and computational analysis. From that studies, it was possible to evaluate the final model with the geogrids inclusions for the embankment reinforcement and stabilization.

Keywords: stability, embankment, geogrids.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 06 de junio de 2022.

Fecha de aceptación: 26 de agosto de 2022.

Fecha de publicación: 08 de septiembre de 2022.



1. Introducción

Es frecuente que en los sitios de construcción se encuentren suelos que no son adecuados para el tipo de obra a desplantarse, lo cual hace necesarias las técnicas de mejoramiento de suelos. Cuando se refuerza con algún material (en este caso el suelo), el material de refuerzo debe ser aquel que contenga un conjunto de propiedades deseadas para mejorar el material original, o de tenerlas sean en un grado mayor al requerido.

Dentro de los métodos de mejoramiento de suelos, el concepto tradicional de reforzar el suelo va ligado a la inclusión de geosintéticos, como son los geotextiles o geomallas, que permitan crear un nuevo material, que consiste en una matriz (suelo reforzado) (Esmaeili et al., 2018).

El concepto de suelo reforzado es muy utilizado, ya que presenta grandes ahorros y beneficios. Se ha estimado que el costo de las estructuras creadas mediante esta técnica puede ser muy bajo, en el orden de la mitad del costo real en muros de retención convencionales.

Los muros de tierra mecánicamente estabilizada con geosintéticos son los más económicos de todos (Karmakar et al., 2021).

Lo expresado anteriormente, conlleva a que las propiedades mecánicas de la masa de suelo sean mejoradas por el refuerzo colocado paralelamente a la dirección principal de deformación para compensar la falta de resistencia a tensión del suelo. Las propiedades a tensión mejoradas son el resultado de la interacción entre el refuerzo y el suelo. Este tipo de estructuras consiste en garantizar la estabilidad de todos los componentes durante el período de construcción a lo largo de su vida útil. Como resultado del análisis, se deberá seleccionar el geosintético de refuerzo más apropiado para que los requerimientos de proyecto sean alcanzados (Sieira et al., 2009).

Existen varios software para la modelación de estructuras de suelo, uno de ellos es el software GeoStudio, que cuenta con varios módulos para modelar los terraplenes. En este trabajo se utilizó el SLOPE/W, módulo para determinar el factor de seguridad de las estructuras del suelo. El software



ofrece cinco métodos para determinar el factor de seguridad en taludes de terraplenes, siendo cuatro métodos de equilibrio límite (Fellenius, Bishop, Janbu y Morgensten-Price), y el método de elementos finitos. (Milena et al., 2021).

El análisis y diseño de estabilización del terraplén están basados en métodos de cálculo por equilibrio límite (EL), y de manera general, la extensión de estos métodos para considerar la presencia del refuerzo como una fuerza estabilizadora adicional en los cálculos de estabilidad.

Los modelos de equilibrio límite se basan en leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de la masa de terreno potencialmente inestable y permite modelar geometrías complejas fiables de las superficies de rotura más probables con alto grado de confianza. Consisten en dividir la masa del suelo potencialmente inestable en rebanadas verticales, calcula el equilibrio de ellas y analiza el equilibrio global hasta obtener un factor de seguridad (FS) que se define como la relación entre fuerzas/momentos resistentes y

fuerzas/momentos equilibrantes. (Milena et al., 2013).

El presente artículo se enfoca en el análisis de estabilidad y reforzamiento de un terraplén, el cual se encuentra ubicado en el km 12 vía a Daule de la ciudad de Guayaquil. En la parte posterior de la urbanización Colinas Del Sol. Por sus características actuales, el objeto de obra, representa un gran riesgo para los habitantes de la urbanización. Al no conocer el grado de seguridad y estabilidad del mismo, surge la necesidad de realizar el presente trabajo, en el cual se brinda una solución al problema al proponer una estabilización del mismo con geomallas.

2. Caso en estudio

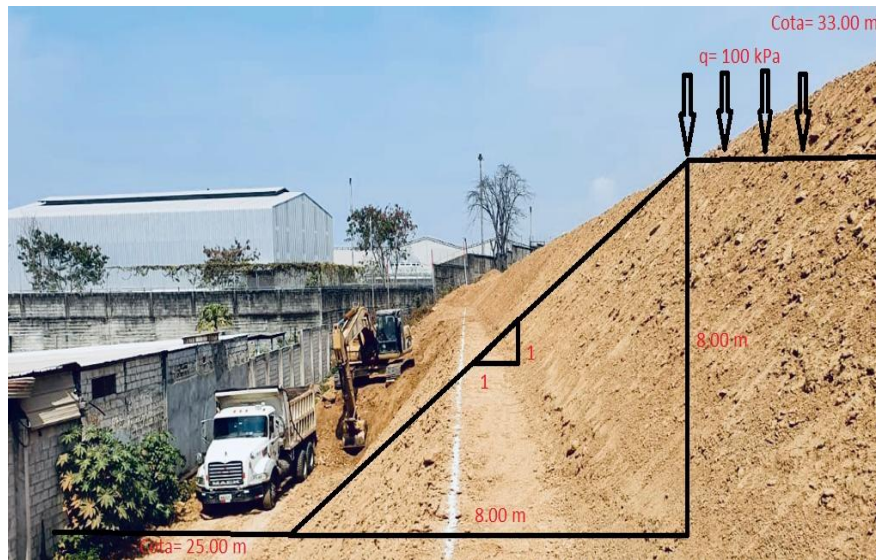
2.1. Geometría analizada

En el presente estudio se consideró el terraplén localizado en la Ciudad de Guayaquil. El segmento del terraplén se ubica en la Plataforma 2 en la abscisa 0+300. La figura 1 muestra la zona de estudio del proyecto, correspondiente a una geometría de 8 metros de altura, una

longitud de 124.36 metros y una pendiente del talud 1H:1V. Para el

estudio fue considerada una sobrecarga vehicular de 100 kPa.

Figura 1. Zona del proyecto en estudio.



2.2. Estudio geotécnico

Para la correcta caracterización del suelo del sitio, se procedió a la ejecución de los trabajos de campo correspondientes, para lo cual se empleó la normativa (NEC-2015 - Geotecnia y Cimentaciones). Fueron realizados dos sondeos exploratorios cuya profundidad fue de 8 metros.

Se efectuaron toma de muestras alteradas a diferentes profundidades con ensayos de penetración estándar SPT, según la norma ASTM-D-1586. A las muestras obtenidas se les realizó los siguientes índices de laboratorio:

Clasificación de los suelos (ASTM-D-2487), Límites de Atterberg (ASTM-D-4318), Humedades (ASTM-2216 Y 2974), Material menor que el tamiz N° 200 (ASTM-D-1140). Los resultados de estos ensayos se muestran en las figuras 2 y 3.

En la figura 2, se muestra lo encontrado en la Perforación 1, que pertenece al suelo que conforma el terraplén. En general es un estado de Grava arcillosa de plasticidad baja (GC), color amarillo, el cual tiene un espesor de 8 metros.

En la figura 3 se muestra lo encontrado en la Perforación 2, perteneciente al suelo de fundación. En este caso se encontró un primer

estrato de Arcilla de baja compresibilidad (GL), color café, el cual tiene un espesor de 6 metros.

IP: Índice de plasticidad

Y: Peso específico

Simbología:

4 %: Porcentaje que pasa el tamiz

4

W: Porcentaje de humedad

200 %: Porcentaje que pasa el tamiz # 200

LL: Límite líquido

N: Número de golpes

LP: Límite plástico

Figura 2. Estudio geotécnico - Terraplén

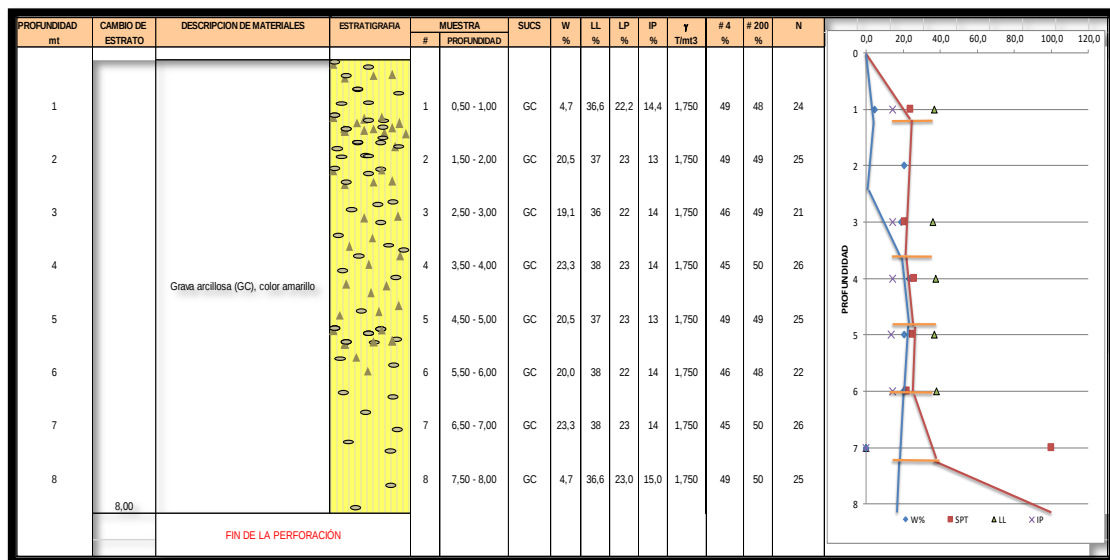
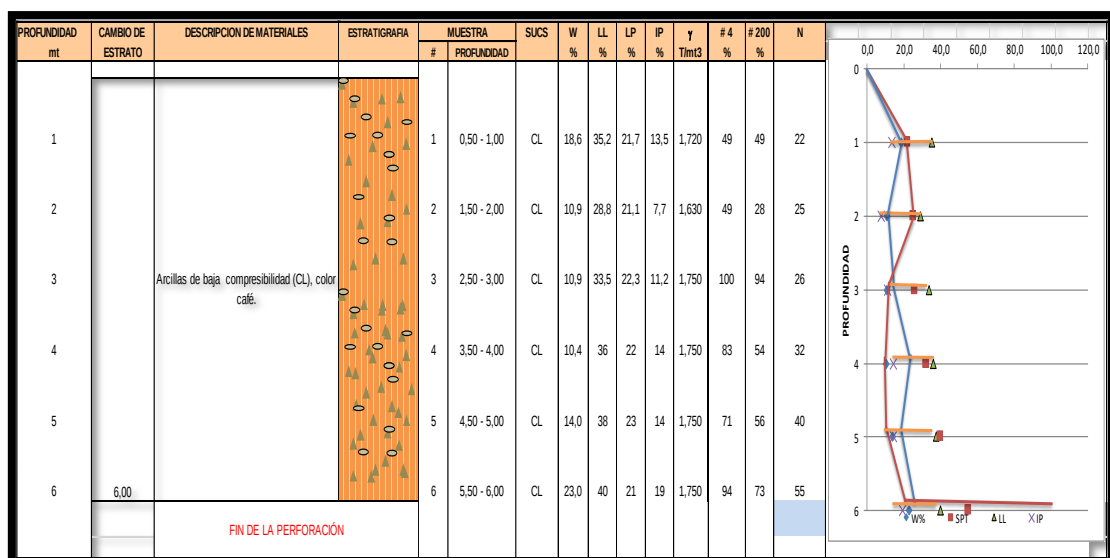


Figura 3. Estudio geotécnico – Suelo de fundación.



2.3. Propiedades de los Materiales

La obtención de estos parámetros de resistencia del suelo, como son el ángulo de rozamiento interno y la cohesión, se obtuvieron de las investigaciones realizadas por (Hunt et al., 1984) y (Terzaghi y Peck et al.,

1978) que se asemejan al tipo del suelo del área en donde se localiza el terraplén del proyecto.

En la tabla 1 se reflejan los parámetros geotécnicos asumido para la zona de estudio considerados para las simulaciones.

Tabla 1. Parámetros geotécnicos considerados.

Tipo de suelo	Cohesión (kPa)	Peso Específico kN/m ³	Ø Ángulo de fricción interna
Grava arcillosa (Terraplén)	14	17	30
Arcilla blanda (Suelo de fundación)	0.5	22	28

2.4. Aceleración sísmica

El terraplén a analizar está localizado en la Ciudad de Guayaquil, de acuerdo al Mapa de Diseño Sísmico de la Norma

Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), se encuentra en la zona sísmica V como se muestra en la (tabla 2). El coeficiente de aceleración horizontal fue calculado como se muestra en la ecuación 1.

Tabla 2. Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015).

Ciudad	Zona sísmica	Factor	Riesgo
Guayaquil	5	0,40	Alta

$$ah = Ac/2g \quad (1)$$

ah: Aceleración horizontal

Ac: Aceleración de cálculo (m2/seg)

Donde:

$$ah = \frac{0.40g}{2g} = 0.20$$

$$av = \frac{1}{3} * 0.20 = 0.066$$



3. Modelación numérica

El método analítico a utilizar en el presente estudio para la obtención del factor de seguridad es “Morgestern-Price”, debido a que brinda valores similares al de Fellenius y Bishop, y al no diferir en más de un 5% se optó por este método. El FS obtenido deberá ser mayor o igual al factor de seguridad

mínimo normado. De acuerdo a las normativas aplicadas para talud de terraplenes (ver tabla 3) se establece que el talud analizado es estable Cuando su FS es mayor que 1.33 para el caso estático y 1.1 para el caso dinámico según AASTHO LRFD. En caso contrario, habrá que intervenir mejorando o reforzar el talud para mejorar su estabilidad.

Tabla 3. Normativas y factores de seguridad.

Normativa	Talud temporal		Talud permanente	
	Estática	Dinámica.	Estática	Dinámica.
AASHTO LRFD	1.33 - 1.53	1.1	1.33 - 1.53	1.1
NAVFAC-DM 7	1.30 - 1.25	1.20 - 1.15	1.50	1.20 - 1.15
FHWA-NHI-11-032	-	1.1	-	1.1
CE.020	-	-	1.50	1.25

Para realizar el análisis y diseño de la estabilidad del terraplén, empleando la modelación numérica se tuvo en cuenta los parámetros geotécnicos reflejados en la tabla 1. Su comportamiento mecánico fue asumido como isotrópico elasto-plástico perfecto, con superficie de fluencia fija y regla de flujo no asociado (modelo constitutivo Mohr-Coulomb). La carga fue simulada con una condición de contorno como se muestra en la figura 1.

El procedimiento usual para tomar en cuenta la sobrecarga uniforme es transformarla en una porción de suelo equivalente de altura H_s (ver ecuación 2), con peso específico similar al del suelo del relleno (γ). La altura H_s , se coloca por encima del suelo de la corona del talud.

$$H_s = q/\gamma \quad (2)$$

La normativa AASHTO 2005 LRFD establece valores de relleno equivalentes a sobrecarga vehicular que varía con la altura del muro o

terraplén, estos valores se proporcionan en la tabla 4.

Tabla 4. Altura de relleno equivalente a sobrecarga

Altura del muro	Hs
≤1.53 m (5 pies)	1.68 m (5.5 pies)
3.05 m (5 pies)	1.22 m (4.0 pies)
6.10 m (5 pies)	0.76 m (2.5 pies)
≥ 9,15 m (5 pies)	0.61 m (2.0 pies)

La metodología seguida para la modelación numérica y el análisis del caso de estudio fue la siguiente:

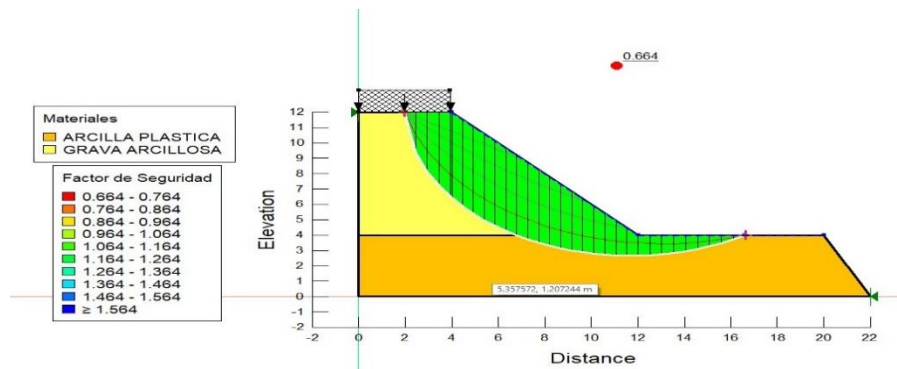
1. Análisis de la estabilidad del terraplén utilizando el software GEOESTUDIO, por medio del método general de equilibrio límite de Morgestern-Price”. En este caso se aplicó el módulo del cálculo del FS SLOPE/W.
2. Reforzamiento del talud del terraplén de estudio con el software de GEOMATRIX. Se utilizaron geomallas biaxiales, sus especificaciones se muestran más adelante.
3. Comprobación de la estabilidad del talud del terraplén

reforzando con la geomalla, utilizando nuevamente el módulo SLOPE/W del software de GEOESTUDIO.

3.1. Análisis del terraplén estático

Una vez realizada la simulación para la obtención del FS, se puede observar en la figura 4 que el factor de seguridad obtenido es de 0,664. Para el análisis estático, el FS es inferior al FS mínimo de acuerdo a la normativa AASHTO LRFD (1.33 – 1.53) (ver tabla 6). Por lo anterior planteado, se llega a la conclusión de que el terraplén del estudio no es estable.

Figura 4. Análisis de terraplén estático.

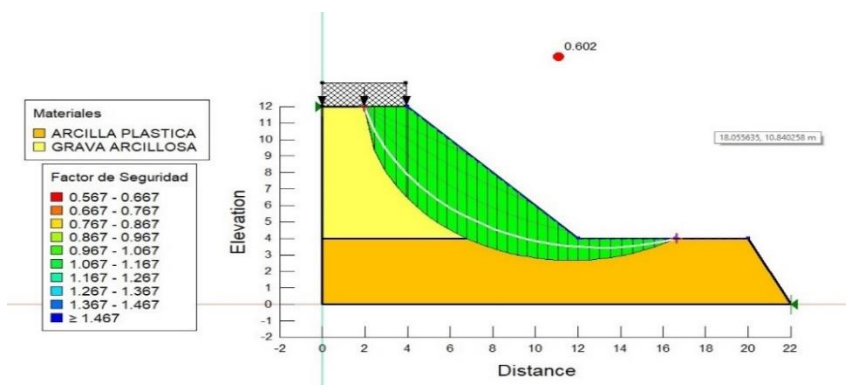


3.2. Análisis del terraplén dinámico

Para el análisis dinámico se ingresaron los valores de cargas sísmicas en el software que son representados por la aceleración horizontal y vertical obtenidos

anteriormente. El FS obtenido fue de 0,602 (ver figura 5), que para el análisis dinámico es inferior al FS mínimo de 1,1 de acuerdo a la normativa AASHTO LRFD, lo que, como era de esperar el Terraplén seleccionado tampoco es estable.

Figura 5. Análisis de terraplén dinámico.



3.3. Diseño reforzado con geoamallas

Para evaluar la estabilidad de probables mecanismos de deslizamiento entre el terraplén y la superficie superior del refuerzo, se deberá estimar la fuerza de tracción

necesaria en la geomalla para resistir el empuje exterior generado por el material del terraplén (ver figura 6).

De igual forma, es necesario calcular la longitud mínima de adherencia para el refuerzo, requerida para

prevenir tal deslizamiento horizontal. Para ello, se asume que la fuerza máxima en la geomalla ocurre en la frontera definida por el extremo

superior del talud, y se consideran de nuevo los parámetros geotécnicos y la geometría ya conocida.

Figura 6. Análisis de estabilidad interna

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD INTERNA				
Nº de capa	z[m]	σ_{HT} [kPa]	Tipo de Geosintético	Verificación
1	0.5	27.86	FORTGRID BX-50	OK
2	1.0	30.40	FORTGRID BX-50	OK
3	1.5	32.93	FORTGRID BX-50	OK
4	2.0	35.46	FORTGRID BX-50	OK
5	2.5	38.00	FORTGRID UX-100	OK
6	3.0	40.53	FORTGRID UX-100	OK
7	3.5	43.06	FORTGRID UX-100	OK
8	4.0	45.60	FORTGRID UX-100	OK
9	4.5	48.13	FORTGRID UX-100	OK
10	5.0	50.66	FORTGRID UX-100	OK
11	5.5	53.20	FORTGRID UX-100	OK
12	6.0	55.73	FORTGRID UX-100	OK
13	6.5	58.26	FORTGRID UX-100	OK
14	7.0	60.80	FORTGRID UX-100	OK
15	7.5	63.33	FORTGRID UX-100	OK
16	8.0	65.86	FORTGRID UX-100	OK
17	8.5	68.40	FORTGRID UX-100	OK

3.4. Especificaciones de la geomalla

En el presente estudio se emplearon geomallas biaxiales Fortgrid® BX 50 y Fortgrid® BX 100, elaboradas con correas o costillas hechas con fibras de multifilamentos de poliéster de alta tenacidad (PET).

Las propiedades de las geomallas en valores mínimos promedios por rollo (VMPR), corresponde al valor promedio de los registros estadísticos del fabricante menos dos veces la desviación estándar. La geomalla deberá cumplir con las propiedades mecánicas mínimas en VMPR que se presentan en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Propiedades de la geomalla biaxial Fortgrid® BX 50 (VMPR).

Propiedad	Norma	Unidad	Fortgrid® BX 50
Resistencia mínima al 2% de la deformación	ASTM D 6637	kN/m	12
Resistencia mínima al 5% de la deformación		kN/m	21
Resistencia última mínima		kN/m	55
Deformación última máxima		%	12
Módulo mínimo secante al 2% de la deformación		kN/m	600
Factor de reducción por plastodeformación (creep) a 75 años	ASTM D 5262 ASTM D 6992	--	1.58
Resistencia disponible por plastodeformación (creep) RF_{CR} a 75 años	ASTM D 5262 ASTM D 6992	kN/m	35

Tabla 8. Propiedades de la geomalla biaxial Fortgrid® BX 100 (VMPR)

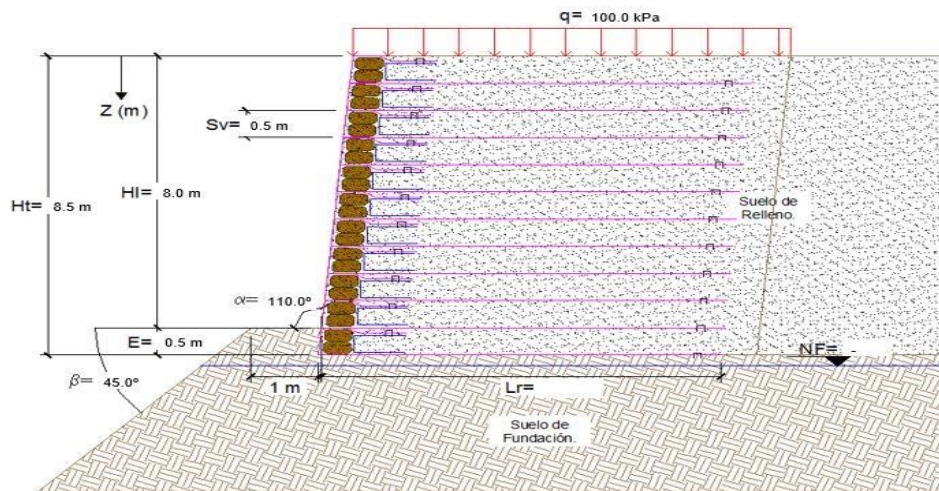
Propiedad	Norma	Unidad	Fortgrid® BX 100
Resistencia mínima al 2% de la deformación	ASTM D 6637	kN/m	22
Resistencia mínima al 5% de la deformación		kN/m	37
Resistencia última mínima		kN/m	106
Deformación última máxima		%	12
Módulo mínimo secante al 2% de la deformación		kN/m	1100
Factor de reducción por plastodeformación (creep) a 75 años	ASTM D 5262 ASTM D 6992	--	1.58
Resistencia disponible por plastodeformación (creep) RF_{CR} a 75 años	ASTM D 5262 ASTM D 6992	kN/m	67

3.5. Terraplén reforzado

Una vez obtenidos los refuerzos necesarios para la estabilización el terraplén de estudio, se establece el modelo definitivo para su simulación

mediante el software de GEOMATRIX, el reforzamiento empleado se muestra en la figura 9.

Figura 9. Modelo del terraplén reforzado.

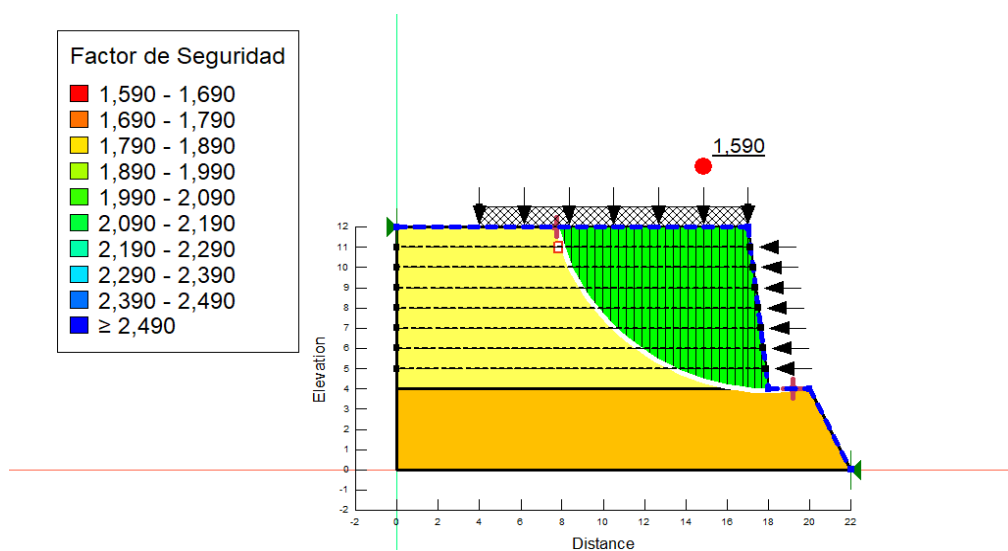


3.6. Comprobación de estabilidad

Con la implementación de las geomallas aplicadas al terraplén de estudio, se realizó la comprobación por medio del software de GEOESTUDIO como se muestra en la figura 10. Se colocaron geomallas cada 50 centímetros a lo largo del

tramo del terraplén, colocando la resistencia última y la resistencia disponible de los geosintéticos ya conocidas en las figuras 7 y 8, obteniendo un factor de seguridad de 1,590 para análisis estático y 1,651 para el análisis dinámico. Estos valores son superiores a los valores mínimos establecidos en la normativa AASHTO LRFD.

Figura 10. Comprobación con GEOESTUDIO





4. Análisis de resultados

Una vez simulado el objeto de estudio mediante los softwares GEOSTUDIO y GEOMATRIX, se pudo determinar que el terraplén localizado en la Ciudad de Guayaquil tal y como está construido no es estable. En ese sentido, fue reforzado con geomallas biaxiales, FORTGRID UX-50 y FORTGRID UX-100. Una vez analizada la estabilidad del talud con el empleo de geomallas, se determinó que cumple con los FS mínimos establecidos en las normas, por lo que se debe reforzar el terraplén con las geomallas indicadas en el presente estudio.

4.1. Recomendaciones constructivas

- La superficie debe estar limpia antes de extender la geomalla, en ningún caso pueden quedar vacíos o zonas huecas bajo la geomalla que impidan el contacto con la superficie inferior.
- El material de relleno se colocará en capas de espesor no mayor a 25 cm y se deberá compactar como mínimo hasta lograr un peso unitario mayor o igual al 98% del máximo obtenido en la prueba de compactación Proctor.
- Se colocará la geomalla cuando la superficie de cada capa del terraplén alcance el grado de compactación exigido y los niveles sean los adecuados.
- El extendido de la geomalla se la ejecutara con un equipo de trabajo que mantenga el rollo levantado a medida que se desplace y facilite su tensionamiento.
- La geomalla se deberá extender transversalmente a la dirección del alineamiento del terraplén, directamente sobre la superficie preparada, sin arrugas o dobleces.
- Si es necesario colocar rollos adyacentes de geomalla, se deberán traslapar mínimo quince centímetros (0.15 m).
- En el extremo de cada franja se recomienda la colocación de grapas metálicas en forma de U de 10x10x10 cm hechas con varilla de acero corrugada de 12 mm de diámetro, con el fin de ajustar mecánicamente la

geomalla al suelo y poderla tensionar.

- Una vez extendida la geomalla, el frente de la capa se conformará con sacos de fique o yute llenos con suelo orgánico fertilizado y con semillas de especies nativas. Los sacos se colocarán uno sobre el otro para dar confinamiento al material de conformación del terraplén.

5. Conclusiones

- Se establecieron diferentes análisis al terraplén de estudio a través de simulaciones por medio del software GEOSTUDIO y GEOMATRIX.
- Se comprobó por medio del software de GEOESTUDIO, que el talud del terraplén actualmente construido no satisface las condiciones de seguridad, ya que el FS obtenido fue menor que el mínimo establecido en la norma ASSTHO.
- Integrando las geomallas al terraplén de estudio para su reforzamiento se comprobó que es una solución óptima, ya que, al ser un terraplén mecánicamente estabilizado, le otorga muchos beneficios a la estructura en seguridad y estabilidad.
- Se determinó que al incluir la geomalla en el terraplén, demostró ser una buena solución para reforzar y mejorar la estabilidad del mismo.

Bibliografía

- Esmaeili, M., Naderi, B., Neyestanaki, H. K., & Khodaverdian, A. (2018). Investigating the effect of geogrid on stabilization of high railway embankments. *Soils and Foundations*, 58(2), 319-332. Doi: 10.1016/j.sandf.2018.02.005
- Karmakar, A., Nishat Afsar, M., & Pal, S. (2021). Slope Stability Analysis Under Critical Conditions of Geogrid Reinforced Canal Embankment. In *Advances in Water Resources Management for Sustainable Use* (pp. 3-10). Springer, Singapore. Doi: 10.1007/978-981-33-6412-7_1
- Sieira, A. C. C., Gerscovich, D. M., & Sayão, A. S. (2009). Displacement and load transfer mechanisms of geogrids under pullout condition. *Geotextiles and Geomembranes*, 27(4), 241-



253. Doi:
10.1016/j.geotexmem.2008.1
1.012

Talebi, Parisa & Barkhordari, Kazem.
(2019). Dynamic Analysis of
Embankments Reinforced
with Micro-Piles. Journal of
Aalytical and Numerical
Methods in Mining
Engineering. 8. 53-61.
10.29252/anm.8.17.53.

Milena Mesa-Lavista, José Álvarez-
Pérez, EduardoTejeda-
Piusseaut, Francisco Lamas-
Fernández, (2021). Safety-
factor dataset for high
embankments determined
with different analytical
methods, Data in Brief,
Volume 38, 2021,107315,
ISSN 2352-3409,
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107315>.(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340921005990>)

Mesa Lavista, Milena. (2013).
Métodos empírico-
mecanicista empleados para
el cálculo del factor de
seguridad para la estabilidad
de taludes.