



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

## INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/19394

DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/19394>



### RESEARCH ARTICLE

#### MODELACION NUMERICA EN DOS DIMENSIONES PARA ANALISIS DE MUROS MECANICAMENTE ESTABILIZADOS UTILIZANDO MACSTARS

**Jose Ramon Lopez Lopez**

Ingeniero Civil, Profesor de Ingeniería Geotécnica.

#### Manuscript Info

##### Manuscript History

Received: 28 June 2024

Final Accepted: 30 July 2024

Published: August 2024

##### Key words:-

Equilibrium Limit, Geomechanics,  
Double Twist, Numerical Modelling,  
Pseudo-Statics

#### Abstract

For the modeling of mechanically stabilized walls, it involves performing a two-dimensional analysis through numerical methods, given the complexity of variables for their evaluation. One methodology frequently used in the field of geotechnical engineering is that of limit equilibrium, describing in the article the Macstars computer code, this allows to introduce the geometry of the wall, the main reinforcements, the type of front facing, the geomechanical properties of the different soil layers that make up the area to be evaluated, the phreatic layer, the earthquake and the way in which the voussoirs are divided according to the geometry of the slope. It becomes a complementary computational tool, in the determination of stress-strain values, where the introduction of the collected data is focused on the sequence, selection and iteration, to obtain with it, the safety factor that satisfies the conditions for the evaluation of the critical failure surface.

Copyright, IJAR, 2024., All rights reserved.

#### Introduction:-

En ingeniería geotécnica, los métodos de análisis para la evaluación de muros mecánicamente estabilizados se clasifican en dos grupos: a) método de cálculo en deformaciones y b) métodos de equilibrio límite. Tomando como línea base un estado de deformación plana y su validación real, está es relacionada con una superficie de falla. Para su evaluación mediante el uso computacional que se distribuyen de uso libre, se usará un modelo en dos dimensiones, que se fundamenta en el método de equilibrio límite (Almohd et al., 2014a; Wu, 2017), en que suponen que la resistencia al cortante de los suelos se moviliza en su totalidad, teniendo un desplazamiento a lo largo de la superficie de corte. En gran parte de los casos, la geometría de la superficie de rotura no es posible una solución de los problemas aplicando ecuaciones de estática, por lo que ha de hacerse una suposición que apruebe su resolución con el método de dovelas.

#### Desarrollo del estudio

El programa computacional Macstars, para el análisis de los refuerzos de suelos en taludes y terraplenes, mediante un modelo en dos dimensiones, fue introducido a finales de los años noventa por la empresa Maccaferri, con la colaboración de Studio Geotécnico Italiano y la empresa que desarrollo el algoritmo Autosoft (Claret & Portela, 2017), fundamentándose en la teoría del equilibrio de una masa potencialmente inestable, haciendo su comparación de las fuerzas tendentes al movimiento versus las fuerzas resistentes que van contrarias al mismo, estableciendo ecuaciones del equilibrio para su resolución. Entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las opuestas,

**Corresponding Author:- Jose Ramon Lopez Lopez**

Address:- Ingeniero Civil, Profesor de Ingeniería Geotécnica.

basándose en la selección de una superficie teórica de rotura del talud, aplicando con ello, el criterio de Mohr-Coulomb, deriva como resultados, una definición de coeficiente de seguridad para la superficie examinada.

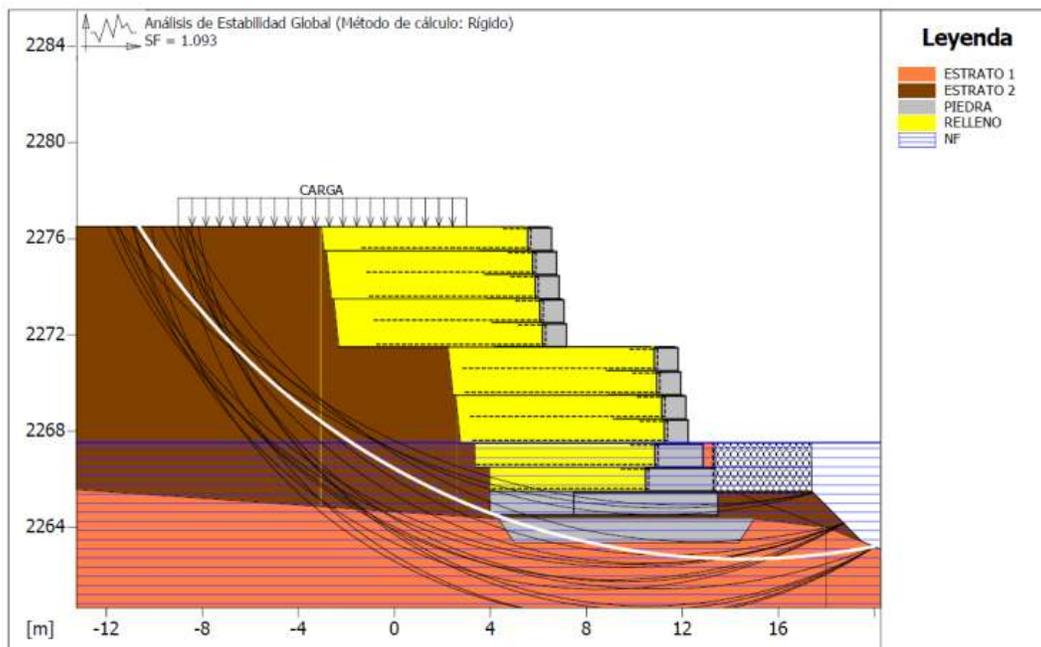
Para el ingeniero civil o geotecnista, con experiencia en diseños de muros mecánicamente estabilizados, este programa es una herramienta digital en que podrá definir los materiales de refuerzo como las características del paramento, ajustándose correctamente las estructuras hasta ese estado límite, en condiciones estáticas y pseudoestáticas, en las que deberán satisfacer las condiciones reales para cada proyecto (AGIES, 2018).

Para el análisis de muros mecánicamente estabilizados aplicando el Macstars, se dimensiono una estructura, ubicándola en una región al Occidente de la ciudad de Guatemala, en que su topografía presenta una depresión causada por efectos de erosión y las características cualitativas de los suelos, son arenas limosas de color café claro; para conformar el muro se empleó como refuerzo primario, geomallas uniaxiales de poliéster, como refuerzo secundario, mallas de tipo hexagonal a doble torsión forradas con policloruro de vinilo, que servirán a su vez para la conformación del paramento frontal y gaviones en la base, para aumentar las condiciones de capacidad portante (González de Vallejo, 2004).

La utilización de este tipo de soluciones garantiza un refuerzo continuo sobre el plano horizontal, en la que la interacción suelo de relleno y malla, no solo es por fricción, sino que se añade los beneficios de corte y trabazón mecánica, entre las partículas de suelos en conjunto con las mallas, cuya clasificación por su refuerzo es de tipo extensible, dado a la geometría de fabricación, aunque está sea metálico (Berg, Christopher, & Samtani, 2009).

### Resultados Obtenidos:-

Como un primer punto para proceder con la modelación aplicando el Macstars y derivar los resultados para satisfacer las condiciones de estabilidad en taludes, es fundamental parametrizar los siguientes elementos: geometría de los muros, las características geomecánicas de la zona a evaluar y con ello definir los distintos estratos que está conformada la masa de suelo que se estabilizará, a través del uso de tecnologías de mallas de doble torsión empleadas como paramento frontal y mallas uniaxiales en poliéster como refuerzo primario (Derksen et al., 2022; Javdanian & Gohari, 2023; Kiersnowska et al., 2023).



**Figura 1:-** Estabilidad de Talud con mallas en doble torsión, como paramento frontal y geomallas uniaxiales.  
Fuente: elaboración propia, aplicando el programa Macstar (Maccaferri, 2024). Macstar W-Rel 4.0

Dado a la irregularidad y pendiente pronunciada que se tiene para el área de estudio, según lo observado en la figura 1 se procedió con el dimensionamiento del muro mecánicamente estabilizado, la altura propuesta es de 13 m en la que se dividió esa geometría en dos segmentos de muro, para con ello optimizar las longitudes de refuerzos.

La estabilización de la base del muro se realizó con la conformación por medio de gaviones, estimando su figura de tipo piramidal, iniciando con un ancho de 9 m, paso siguiente se inició la conformación del siguiente terraplén reforzado con un ancho de sección de 7.00 m, validando la ventaja de los geosintéticos de poliéster, la cual permite tener mayores espaciamientos entre capas de refuerzo.

**Tabla I:-** Parámetros geomecánicos de los suelos.

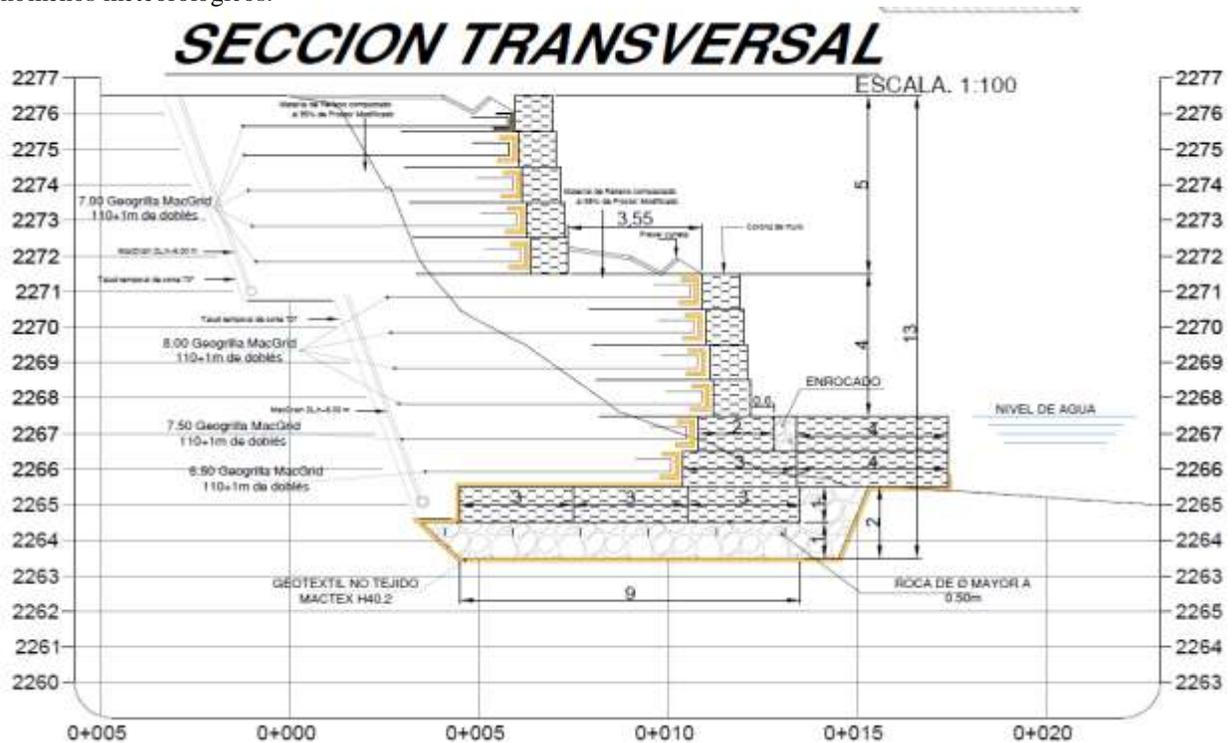
DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS DE SUELOS		
	1	2	3
Estrato	1	2	3
Cohesión (kPa)	6.37	14.12	18.33
Ángulo de fricción (°)	28	29	30
Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	20.79	20.79	20.79

Fuente: elaboración propia.

### Discusión de Resultados:-

Para determinar el análisis del talud y evaluar la posibilidad de ocurrencia a un deslizamiento se aplicó el modelo de cálculo de Bishop (Pasole et al., 2020), el cual supone una superficie de falla tipo circular, en el que fragmenta en un número la masa deslizante en fajas verticales, determinándose así a través de varias iteraciones el factor seguridad mínimo que satisface las condiciones de estabilidad.

En este tipo de estructuras, es fundamental cumplir con los factores de estabilidad global, externa e interna. Además, se debe considerar la inclusión de obras de subdrenaje mediante el uso de georedes, lo que permitirá mitigar las condiciones de infiltración excesiva en los suelos. La planificación de estas geometrías no solo debe contemplar las condiciones del talud, sino también la protección contra excavaciones en la base, procesos de meteorización y fenómenos meteorológicos.



**Figura 2:-** Esquema para la representación de un muro en suelo reforzado con geosintéticos.

Fuente: elaboración propia, aplicando el programa Macstar (Maccaferri, 2024). Macstar W-Rel 4.0

### Conclusiones:-

1. El análisis en dos dimensiones del modelo computacional, establece las condiciones de equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y resistentes, en que se analizan círculos con diferentes centros y radios hasta encontrar el coeficiente de seguridad.

2. El uso de geomallas uniaxiales a emplearse como refuerzo primario, deberá establecerse los factores de seguridad de diseño que permitan determinar la resistencia admisible de acuerdo a las características de cada proyecto.
3. Una masa de suelo tiende a romperse de diferentes formas, debido a su heterogeneidad a lo largo de los diferentes estratos del perfil del terreno, la existencia de estas capas define principalmente la geometría de los muros mecánicamente estabilizados.
4. Para la protección del paramento frontal, el uso de mallas en doble torsión, se integra con la superficie de la masa de suelo compactada teniendo como beneficio un aumento en las propiedades mecánicas por interlocking, entre la malla metálica y el relleno estructural.

### Recomendaciones:-

1. El programa presenta la ventaja de analizar las numerosas superficies de falla, en la que cuenta con proporcionar un informe técnico completo de los parámetros establecidos para generar el modelo.
2. Para el empleo de las geomallas uniaxiales, se debe realizar el cálculo, teniendo en cuenta el espesor de capa de refuerzo, el ángulo de rozamiento del geosintético con el suelo, la altura e inclinación del muro.
3. Es importante tener la resistencia de los suelos y los estudios geotécnicos respectivos del área de estudio, mismos que sirven para determinar las condiciones de estabilidad para un talud artificial, de los distintos estratos que componen la masa de suelo.
4. El uso de mallas metálicas como paramento garantizan la permeabilidad de la cara frontal de los muros, flexibilidad y una reducción en el impacto ambiental, siendo evaluado por las instituciones AASHTO y FHWA para un periodo de diseño promedio de 120 años.

### Referencias Bibliográficas:-

1. AGIES. (2018). Demandas estructurales y condiciones de sitio. Guatemala: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
2. Almohd, I., Nusier, O. K., Ashteyat, A. M., & Yamin, M. M. (2014). Design of geogrid reinforced earth walls: Transition of limits and critical surfaces. *Design of Geogrid Reinforced Earth Walls: Transition of Limits and Critical Surfaces*. [https://www.researchgate.net/publication/270647210\\_Design\\_of\\_Geogrid\\_Reinforced\\_Earth\\_Walls\\_Transition\\_of\\_Limits\\_and\\_Critical\\_Surfaces](https://www.researchgate.net/publication/270647210_Design_of_Geogrid_Reinforced_Earth_Walls_Transition_of_Limits_and_Critical_Surfaces)
3. Berg, R. R., Christopher, B. R., & Samtani, N. C. (2009). Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes. Washington, D.C.: FHWA NHI.
4. Claret, N. F., & Portela, J. C. (Febrero de 2017). 20 años de cálculo de estructuras de terreno reforzado: MACSTARS. (Interempresasmedia, Ed.) INGEOPRES, 34-39.
5. Derksen, J., Fuentes, R., & Ziegler, M. (2022). Geogrid-soil interaction: Experimental analysis of factors influencing load transfer. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering*. <https://doi.org/10.1680/JGEIN.21.00110>
6. Gerscovich, D. (2015). Estabilidad de taludes. (M. G. López, Trad.) Bogotá: Lemoine Editores.
7. González de Vallejo, L. (2004). Ingeniería geológica. Madrid: Pearson Educación.
8. Javdanian, H., & Gohari, A. (2023). Seismic behavior analysis of geogrid-reinforced soil slopes. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 48(2), 999–1008. <https://doi.org/10.1007/S40996-023-01218-3/METRICS>
9. Kiersnowska, J., Zi, A., Trach, Z., Abrowska, J. D., Kiersnowska, A., Zi, Eba, Z., & Trach, Y. (2023). Sustainability of geosynthetics-based solutions. *Environments*, 10(4), 64. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONMENTS10040064>
10. Pasole, D., Patanduk, J., & Wong, I. L. K. (2020). Analisis stabilitas lereng disposal menggunakan metode Bishop, Janbu, dan Ordinary. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(3), 144–153. <https://doi.org/10.52722/pcej.v2i3.148>
11. Wu, X. Z. (2017). Discussion of “Quantifying the cross-correlation between effective cohesion and friction angle of soil from limited site-specific data” by Wang and Akeju (2016). *Soils and Foundations*, 57(4), 679–680. <https://doi.org/10.1016/J.SANDF.2017.02.001>