

# Diseño de Pavimentos Flexibles con Refuerzo de Geomalla Triaxial Utilizando la Metodología Giroud-Han: Caso de Aplicación en Honduras

Larissa Nicole Almendarez Santos

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, [larii94@unitec.edu](mailto:larii94@unitec.edu)

Juan Carlos Reyes Zúniga

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, [juancareyes@unitec.edu](mailto:juancareyes@unitec.edu)

Mentor: Rigoberto Moncada López, M. Sc.

Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, [rigoberto.moncada@unitec.edu](mailto:rigoberto.moncada@unitec.edu)

*Abstract- There are several methods for stabilizing soils, however in many cases these techniques are costly and require a considerable amount of time. However, using a geosynthetic called triaxial geogrid can result in significant reductions of construction costs and duration.*

*This paper presents the application of a design methodology for the use of triaxial geogrids, with its respective technical specifications and the constructive procedures, for the applied design of geogrids in flexible pavements in Honduras. The design methodology will focus on the research developed by Dr. J.P. Giroud and Dr. Jie Han. They established the patented Giroud-Han method, a design method that works mainly with the interlocking principle, a confining effect generated between the geogrid and the layer of material over it. Soils subjected to tire loads tend to deform, generating rutting on the tread surface. With the presence of geogrids in the soil, this rutting is reduced exponentially due to the effect of interlocking (Giroud & Han, 2005).*

*An applied example is proposed and developed with the mentioned methodology for a base design that is reinforced with triaxial geogrid and another one without the reinforcement. As a result, the use of geogrids reduced base material thickness by 60%. Finally, it is important to consider that depending on soil characteristics, traffic and reinforcement (type of geogrid) used for each project, cost and time reduction can vary.*

*Keywords: Stabilization of soils, geosynthetics, triaxial geogrid.*

*Resumen- Existen diversos métodos para la estabilización de suelos, sin embargo, en muchas ocasiones estas técnicas resultan costosas y requieren una gran inversión de tiempo. No obstante, cuando se utiliza un geosintético llamado geomalla triaxial, el cual según el caso en cuestión puede representar disminución de costos y tiempos constructivos.*

*En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología de diseño para el uso de geomallas triaxiales, con las especificaciones técnicas y el procedimiento constructivo, para el diseño aplicado de las geomallas en pavimentos flexibles en Honduras. La metodología de diseño se centrará en las investigaciones del doctor J.P. Giroud y el doctor Jie Han, que presentan el método patentado Giroud-Han, un método de diseño que trabaja principalmente con el interlocking, un efecto de confinamiento generado, entre las geomallas y la capa de material sobre esta. Los suelos al ser sometidos a cargas de llantas tienden a deformarse, generando ahuellamiento sobre la superficie de rodadura. Con la presencia de geomallas en el suelo este ahuellamiento se reduce de manera exponencial debido al efecto del interlocking. (Giroud & Han, 2005).*

*Se plantea y desarrolla un ejemplo aplicado con la metodología mencionada, para un diseño reforzado, de una base sin pavimento, con geomalla triaxial y otro sin el refuerzo; donde el uso de geomallas implicó disminuciones de espesores con porcentajes mayores al 60%, cabe tomar en cuenta que cada caso de diseño puede variar de un proyecto a otro, dependiendo de las características del suelo, el tráfico y el refuerzo (Tipo de geomalla) utilizado.*

*Palabras Claves: Estabilización de suelos, geosintéticos, geomalla triaxial.*

## I. INTRODUCCIÓN

Las geosintéticos son polímeros que cumplen diversas funciones, como ser: Filtración, separación, refuerzo y estabilización de suelos. Dentro de estos se encuentran las geomallas, que son polímeros por excelencia para el refuerzo de suelos y son utilizados de manera principal como estabilizante en suelos para pavimentos. Las geomallas triaxiales que poseen oberturas triangulares, son un producto avanzado diseñado específicamente para superficies traficadas, sus propiedades multidireccionales aprovechan la geometría triangular, una de las formas más estables y ampliamente utilizadas de la construcción, para proporcionar un mayor nivel de rigidez.

El diseño para pavimentos con geomalla requiere una metodología de diseño diferente a los tradicionales; Honduras no contiene entre sus manuales de diseño ningún tipo de metodología que permita facilitar la aplicación de geomallas en los diseños. Uno de los principales manuales del país es el Manual de Carreteras de Honduras, dicho manual contiene diversos métodos de diseño pero ninguno de estos aplica el uso de geomallas. La importancia de una metodología de diseño es facilitar a los constructores, contratistas y consultores poder basarse en normas, pautas e instrucciones de aplicación en forma específica y determinada para el diseño, utilizando las geomallas triaxiales de forma eficiente y efectiva.

Según una encuesta aplicada (por los autores de este documento) a diversos entes dedicados al rubro de construcción de pavimentos en Honduras, al momento de cuestionar sobre la fuente metodológica que aplicaban para hacer uso de las

geomallas, un 53% de la muestra utiliza los manuales de la empresa distribuidora, un 23% lo ha hecho por medio de capacitaciones y el resto no utiliza ningún tipo de recurso. Esto refleja la falta de uniformidad existente para elaborar los diseños.

De aquí deriva al objetivo de la investigación, que es desarrollar una metodología aplicada de diseño para el uso de geomallas triaxiales, con las especificaciones técnicas y el procedimiento constructivo, para el diseño aplicado de las geomallas en pavimentos flexibles en Honduras. La importancia principal de la investigación radica en que la metodología de diseño podría servir como base para la elaboración futura de un manual estandarizado para este tipo de construcciones, lo cual significaría un gran paso en la materia.

El uso de geomallas triaxiales mejora la capacidad portante en pavimentos, esto implica la reducción de espesores de las capas de material selecto necesarias para poder soportar la carga del tráfico, en especial para suelos de baja resistencia. La reducción de espesores de la capa base trae consigo una disminución en costos de acarreo y compactación de material selecto en el tramo a construir. Aparte de las ventajas monetarias de la técnica, su fácil procedimiento constructivo disminuye el tiempo de la construcción de manera considerable.

## II. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Determinar y conocer una metodología correctamente aplicada para el diseño de pavimentos flexibles con refuerzo de geomallas triaxiales, en Honduras y Centro América.

## III. GEOSINTÉTICOS

Conocemos como geosintéticos al grupo de materiales producto de los polímeros que fueron derivados del petróleo, típicamente conocidos “plásticos” generados en forma de mallas, fibras, perfiles, entre otros. Los geosintéticos se clasifican en: geotextiles, geomembranas, geomallas, geodrenes, geo celdas, geomantas y geocompuestos de bentonita.

Dentro de las funciones de los geosintéticos mencionados sus principales aplicaciones se determinan por la **separación** que imposibilita el contacto que tendrán los estratos evitando la contaminación y permitiendo el flujo de los líquidos entre los estratos; la **filtración** es el uso de fuerzas hidrodinámicas sobre las partículas para permitir el paso de partículas; el **drenaje** es el proceso en el cual se elimina la evacuación del fluido entre las capas de suelo; el **refuerzo** es la función que tiene cada tipo de geosintéticos para mejorar las propiedades mecánicas del terreno; y la **protección** de los suelos es la función propia del geosintéticos para no deteriorarse. (Aguirre, J, 2010)

### A. Geomallas

El refuerzo de la geomalla se utiliza para prevenir o reducir el enrejado causado por el fallo de la capacidad portante de la base

o de la subrasante y por el movimiento lateral del material de la capa base o de la subrasante. Su aplicación en carreteras tiene impactos positivos en lo económico, reduciendo volúmenes de movimiento de tierras; en lo técnico, incrementando la vida útil de los pavimentos; en lo ambiental, reduciendo el impacto de la emisión de carbono en las actividades de construcción realizadas con esta tecnología.

Existe suficiente evidencia en investigación de campo y laboratorio para asegurar que los beneficios apuntados son reales y medibles. Existen metodologías de diseño aceptadas por instituciones de alta credibilidad como la AASHTO y la FHWA que sustentan su uso. En la actualidad se carece de un método racional de diseño pero existen investigaciones en curso que apuntan a definir coeficientes de rigidez del compuesto geosintéticos-agregado como la propiedad asociada al comportamiento benéfico de la inclusión de la geomalla de refuerzo y pretenden simplificar los ensayos necesarios para su determinación. (Galindo, 2017)

Para determinar las características y funciones que tienen las geomallas, se clasifican en **Geomallas Uniaxiales** típicamente revestido de poliéster, presentando alta resistencia para soportar los esfuerzos en el suelo. El uso de geomallas uniaxiales se centran en muros reforzados internamente, muros segmentados de contención, taludes y terraplenes. (TENSAR, 2017b). Dentro de la clasificación de las geomallas encontramos a las **Geomallas Biaxiales**, una de las principales ventajas de usar geomallas biaxiales es que proporciona un confinamiento lateral para aumentar la resistencia a tensión encontrada en el suelo. El uso de una geomalla biaxial en pavimentos, permite la reducción del esfuerzo y deformación cortante sobre la subrasante del pavimento, permitiendo que el esfuerzo que se encuentra entre la sub-base o la subrasante que provoca la deformación cortante disminuya. Las Geomallas biaxiales de igual forma permiten la reducción del desplazamiento lateral. Esto sucede porque la carga cortante se transmite desde la capa granular hacia la geomalla y provoca tensión entre ambas, por lo que se colocará una o varias capas de geomallas dentro de la capa base. Otros beneficios de la geomalla biaxial son el aumento de confinamiento y el mejoramiento de la distribución de esfuerzos. (Abril, 2002)

Las geomallas se han utilizado para la estabilización mecánica del suelo en más de medio millón de proyectos en todo el mundo, incluyendo carreteras, cimentaciones reforzadas y plataformas de trabajo.

### B. Geomalla Triaxial

Tras varios años de investigación, a partir del 2008, se empezó promover el uso de una geomalla multiaxial, con una abertura es triangular, con un peralte mayor en sus costillas, lo cual la hace más rígida y le permite proveer estructuras más estables al producir un mayor confinamiento por el interlocking. Estas características únicas proveen a la vez, estructuras de mayor vida útil o con mayores reducciones de espesores. Impone el nuevo reto de no sólo incrementar las investigaciones para conocer los mecanismos de aporte de la geomalla, sino además

de hacerlas más simples. (Vialidad y Transporte Latinoamérica, 2014)

Las geomallas triaxiales de Tensar International Corporation, son las únicas que presentan suficientes ensayos e investigaciones, que corroboran los coeficientes de diseño para usar con la metodología Giroud-Han; además presentan características de alta eficacia, como un alto desempeño para la reducción de los espesores de la estructura del pavimento, su diseño aumenta la vida útil del pavimento, al reducir los espesores, se reduce los costos de instalación y de mantenimiento, y gracias a su simplicidad presenta gran facilidad en su instalación.



Fig. 1 Geomalla Triaxial

Fuente: (Ecomex, 2013)

Además, las tendencias actuales apuntan a la definición de una capa mecánicamente estabilizada (MSL) cuyo aporte es caracterizado por un número estructural que varía en función de ciertas condiciones particulares del proyecto y que es incorporado al diseño según la metodología de la AASHTO 93.

La geomalla TriAx de Tensar es un producto avanzado diseñado específicamente para superficies traficadas. Las propiedades multidireccionales de la geomalla triaxial, aprovecha la geometría triangular siendo una de las formas más estables y ampliamente utilizadas de la construcción, para proporcionar un mayor nivel de rigidez en el plano. Su estructura triangular, unida a la mejora de la geometría de las costillas y de las juntas, ofrece a la industria de la construcción una alternativa mejorada a los materiales y prácticas convencionales. (TENSAR, 2017a)

La geomalla triaxial se fabrica a partir de una hoja de polipropileno perforada por el método de punzonamiento orientada en múltiples direcciones equiláteras para formar sus aberturas triangulares (ver Fig.1), dando como resultado una alta rigidez radial a lo largo de los 360 grados completos. Esta característica produce un producto más eficiente que proporciona una transferencia óptima de esfuerzos en servicio desde el agregado hasta la geomalla estabilizadora, los resultados obtenidos para investigación se determinaron por el Proyecto de DOT de Arizona Pavimentación, el uso de la información de geomalla TriAx, están protegidos por la Patente de Estados Unidos N° 7.001.112. (TENSAR, 2017)

### C. Distribución Multidireccional de la Carga

A diferencia de las geomallas biaxiales de Tensar, las geomallas triaxiales cuentan con un sistema de tres direcciones principales de rigidez, lo que produce un mayor refuerzo por la geometría rígida triangular, brindando un grado de rigidez radial en los 360 grados (ver Fig.2), lo que se conoce como un alto nivel de rigidez planar (in-plane stiffness). (Tensar, 2012)

Su distribución de carga tridimensional actúa sobre todas las capas de los agregados de forma radial, garantizando que las geomallas triaxiales de Tensar actúen como un refuerzo en una capa estabilizada mecánicamente. (Tensar, 2012)



Fig. 2 Distribución radial de las geomallas Triaxiales

Fuente: (Tensar, 2012)

### D. Geometría Triangular de la Apertura

La forma triangular de la geomalla permite que diferentes tamaños de partículas de los agregados, se traben en las aberturas de las geomallas, provocando un confinamiento; formando una capa compuesta rígida mejorando su desempeño. Las características serán reflejadas según las propiedades a las que se someta la geomalla; ya sea por la profundidad y la magnitud del área confinada.

La forma exclusiva de las costillas de la geomalla triaxiales de tensar, producen el confinamiento mencionado anteriormente, haciendo que las partículas de los agregados produzcan el interlocking entre ellas y las geomallas, gracias a su alto grado de rigidez y a la resistencia que se produce en las esquinas. Como se refleja en la Fig.3 es un efecto semejante a un triángulo de billar, que mantiene unidas todas las bolas, donde se mantienen confinadas en todos sus planos, confina las partículas de los agregados arriba, en el medio y debajo del plano de refuerzo.



Fig. 3 Confinamiento según el triángulo de billar.

Fuente: (Tensar, 2012)

### E. Contención Lateral

Las estructuras de pavimento flexible, suelen presentar fallas antes de culminar su vida útil, debido al desplazamiento lateral y vertical progresivo y al debilitamiento de la capa base de agregado. La geomalla triaxial de Tensar, mantiene unidas las partículas de la capa base de agregado. Este confinamiento permite preservar la capacidad estructural, y se ha comprobado que mejora el desempeño del sistema de pavimento (ver Fig.4)

Las geomallas de Tensar, brindan un alto grado de rigidez planar mediante la contención lateral, la contención se basa en la capacidad que tiene las geomallas triaxiales de mantener las diversas partículas del suelo, dentro del plano de la geomalla, dependiendo de la presión, el confinamiento, la rigidez. (TENSAR, 2009)



Fig. 4 Confinamiento Lateral

Fuente: (TENSAR, 2009)

### F. Capacidad Portante

Como se refleja en la Fig.5, el mejoramiento de la capacidad portante de las geomallas triaxiales de Tensar, este sistema se implementa en las superficies sin pavimentar en las que se

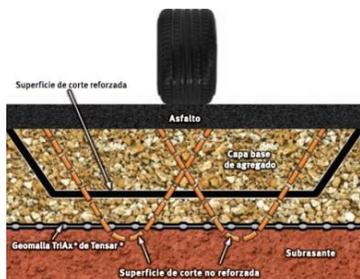


Fig. 5 Sistema de mejoramiento de la capacidad portante a partir de la inclusión de la geomalla TriAx de Tensar en la interfaz de subrasante de la capa base de agregado.

Fuente: (TENSAR, 2009)

requiere una estabilización con el fin de obtener una superficie de trabajo estable. Normalmente se utiliza en suelos blandos al reflejar grandes espesores de ranuras, es decir, ahuellamiento. Se logra una eficaz mejora de la capacidad portante de la subrasante, como consecuencia de la disipación de la presión en la interfaz de la subrasante con la geomalla. (TENSAR, 2009)

## IV. METODOLOGÍA GIROUD-HAN

Giroud-Han es un método de diseño que trabaja principalmente con el interlocking, que en otras palabras sería el confinamiento generado entre las geomallas y la capa de material que se encuentra sobre esta. Los suelos al ser sometidos a cargas de llantas tienden a deformarse, generando un ahuellamiento sobre la superficie de rodadura. Al tener un refuerzo con geomalla en el suelo este ahuellamiento se reduce de manera exponencial, esto se debe a la fricción anteriormente definida.

La relación global resultante con un número sin precedentes de parámetros relevantes, tiene como resultado un método para determinar un espesor de base por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left( \frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{S}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_c f_c CBR_{sg}} \right)^r \quad (1)$$

Ecuación 1. Espesor requerido en un Pavimento Reforzado

Fuente: (Giroud & Han, 2005)

### A. Desempeño Tridimensional de las Geomallas Triaxiales

La ecuación Giroud-Han es particularmente sensible a un parámetro denominado módulo de estabilidad de la abertura (ASM), denotado "J" en la ecuación. También conocido como rigidez torsional o estabilidad torsional, J, es una medida de la resistencia de las geomallas.

Giroud y Han afirman, que la ecuación, puede ser calibrada usando cualquier característica apropiada del geosintético a través de la constante k. Por lo tanto, el método de diseño presentado en el documento, no tiene que usarse con el módulo de estabilidad de la abertura si se puede identificar otro parámetro relevante. Efectivamente, la ecuación de Giroud-Han puede ser modificada para otros tipos de geomallas si la constante geosintética "k" está calibrada apropiadamente. Esto incluye datos de laboratorio a pequeña escala, así como pruebas de rueda móvil a gran escala que se utilizan para establecer la constante de rendimiento del producto que se está probando. En consecuencia, los fabricantes geosintéticos se ven obligados a producir estos datos de calibración antes de emplear el método de diseño Giroud-Han para su producto específico.

Entre los ensayos más reconocidos para la validación de geomallas triaxiales, encontramos el **APLT (Automated Plate Load Test)**; siendo uno de los sistemas patentado para realizar la carga mediante placas totalmente automatizadas de forma estática y repetitiva sobre el suelo, el ensayo está realizado bajo los estándares AASHTO, ASTM y normas europeas, para medir el efecto de la inclusión de la geomalla triaxial en la capa base de la pavimentación. Los resultados obtenidos por el APLT se relacionan con otros ensayos como el penetrómetro de cono dinámico (DCP) y la relación de soporte de California (CBR). De igual manera estos ensayos se relacionan con los parámetros de entrada de diseño para la comparación con la in situ. Otro de los ensayos realizados para la validación de geomallas es el uso de **Smart Rock**. Este es un método de ensayo cuyo principal objetivo es determinar el movimiento que se da en las partículas de agregado grueso (grava) ubicado sobre la geomalla triaxial. Estas rocas poseen sensores internos

capaces de modelar por medio de un programa computacional, el movimiento que se genera en las rocas al aplicarle la carga que simula el paso del tren. (Galindo, 2017)

De igual forma se puede usar el Multi-Level Shear Box Testing; para determinar curvas como ser la de resistencia al confinamiento según la profundidad de la capa analizada.

Los Ensayos Acelerados de Pavimentos (APT), son una técnica aplicada desde el siglo pasado para el análisis estructural de pavimentos. Este ensayo consiste en simular la carga debido al tráfico que actuaría sobre la vía, la carga se aplica de manera repetida, acelerada y controlada, para determinar la respuesta del mismo y evaluar el daño existente en periodos más cortos de tiempo. El APT permite determinar las deformaciones presentes en secciones de prueba, de esta manera se hace la comparación entre un suelo sin estabilizar y otro utilizando este geosintéticos.

Las comunicaciones subsecuentes con ambos autores dieron las siguientes declaraciones:

**Dr. J.P. Giroud (2005) afirma:**

"El hecho de que mencionamos la calibración realizada para estas dos geomallas en nuestro documento de 2004 no significa que esta calibración sea aplicable a todas las geomallas. La calibración debe ser específica para un: Producto dado o productos de la misma familia de productos caracterizados, en particular, por el mismo polímero, y el mismo proceso de fabricación, equipo y condiciones". . (Giroud & Han, 2005)

**Dr. Jie Han (2005) afirma:**

"Nuestro método de diseño con estas constantes calibradas fue validado con los datos disponibles de pruebas de rueda móvil de campo y laboratorio, en los que se utilizaron los mismos productos de geomalla en los estudios. Como resultado, nuestro método de diseño con estas constantes calibradas en nuestro trabajo sólo debe ser adoptado para los productos de geomalla específicos utilizados en la calibración". (Giroud & Han, 2005)

En la metodología Girou-Han, enfoca el uso de diseños con geomallas debido a sus grandes aberturas, que puede interconectarse con el agregado de la capa base si existe una relación apropiada entre el tamaño de la abertura de la geomalla y el tamaño de partícula agregado. Mientras que el grado de confinamiento depende de la relación entre el tamaño de la abertura de la geomalla y el tamaño de partícula de agregado, la efectividad del confinamiento depende de la rigidez en el plano de la geomalla y la estabilidad de las costillas y las uniones de la geomalla.

El método de diseño Giroud-Han, puede utilizarse para estructuras sin pavimentar reforzadas con geomallas triaxiales, que permite que ocurran los efectos del confinamiento en el agregado y de la rigidez axial de la geomalla en el plano. El método de diseño también se puede usar para estructuras sin pavimentar no reforzadas al descuidar el efecto del refuerzo sobre la capacidad portante de la subrasante.

**V. PARÁMETROS DE DISEÑO DE GIROUD-HAN**

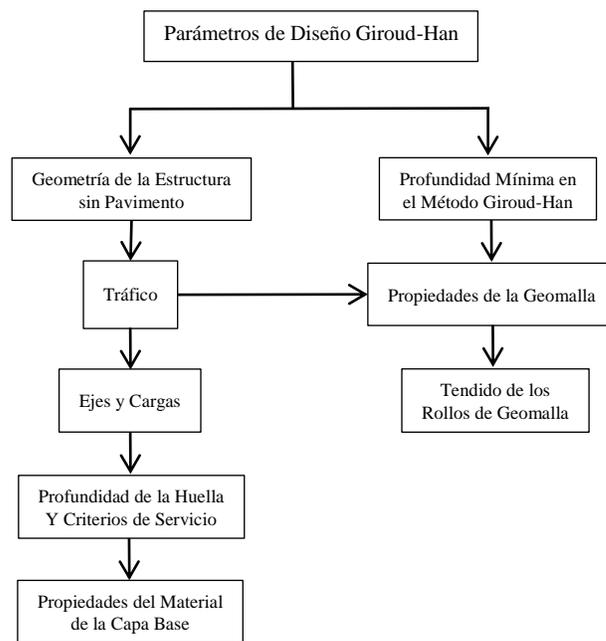


Fig. 6 Parámetros Giroud-Han

La Fig.6 presenta la esquematización de los temas que subdividen los parámetros de la metodología Giroud-Han, presentados en los incisos A la F.

*A. Geometría de la Estructura sin Pavimentar*

La base tiene un grosor uniforme, donde sólo se utiliza una capa con geomalla. Se supone que esta capa de geomalla se sitúa en la interface de suelo / subrasante. Se supone que el suelo de la subrasante es homogéneo en una profundidad suficiente para permitir el desarrollo de fallas del suelo hacia la subrasante sin ninguna influencia del suelo localizado a mayor profundidad.

La profundidad mínima en el método Giroud-Han:

- El valor de esta profundidad, estimado usando la teoría clásica de la capacidad de carga, es usualmente inferior a 1.5 m para tamaños de ruedas típicos.
- Un grosor mínimo de la capa de base es de 0,10 m en el método Giroud-Han. Este espesor mínimo es necesario para asegurar la contractibilidad del curso de base y para minimizar la perturbación del suelo de subrasante durante su vida útil.

- Para usar un espesor de base mínimo es proporcionar un anclaje suficiente para la geo- red.

### B. Tráfico

El tráfico puede ser canalizado para carreteras sin restringir el área. El tráfico canalizado se caracteriza por el número de pasadas(N), peso del eje dado durante la vida de diseño de la estructura. El tráfico sin restricciones en un área es más difícil de caracterizar y se requiere juicio por parte del diseñador, basado en las normas de diseño de la AASHTO 1993. En la mayoría de las zonas de tráfico hay lugares, tales como entradas y salidas, donde el tráfico está canalizado y puede, por lo tanto, caracterizarse por una serie de pases.

### C. Ejes y Cargas

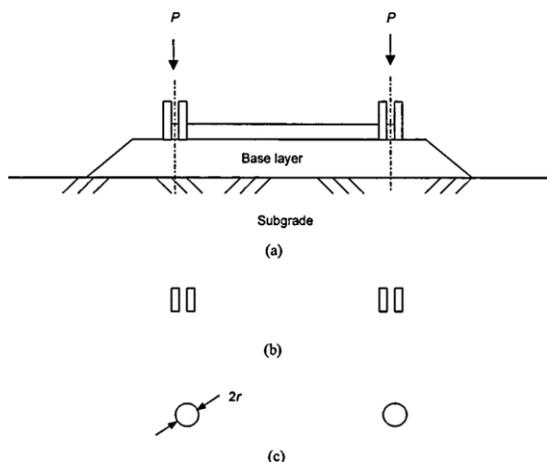


Fig. 7 Eje del vehículo y zona de contacto: (a) geometría del eje del vehículo con ruedas dobles; (b) las zonas de contacto de los neumáticos; Y (c) área de contacto equivalente utilizada en el análisis

Fuente: (Giroud & Han, 2005)

En la Fig.7, se observan los diferentes patrones de ruedas para ejes de camión simple y doble. La carga de la rueda (P), es la carga aplicada por una de las ruedas en el caso de los ejes de una rueda y la carga aplicada por un conjunto de dos ruedas en el caso de ejes de rueda dual.

El área de contacto del neumático que se muestra en el punto (b) de la Fig.7, se sustituye en este estudio teórico por un área circular denominada área de contacto equivalente del neumático. El área de contacto del neumático equivalente tiene la misma superficie que el área de contacto del neumático, y su radio es:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} \quad (2)$$

Ecuación 2. Radio de contacto del Neumático

Fuente: (Giroud & Han, 2005)

### D. Profundidad de la Huella y Criterios de Servicio

El tráfico genera ahuellamiento, que se observa en la superficie de la capa base. Cuando el tráfico está canalizado, la profundidad de la huella, es la distancia vertical entre el punto más bajo de la huella y una línea que se extiende entre los puntos altos de las superficies de la pista de base a cada lado de la ranura. Donde el tráfico no está canalizado, se desarrolla un patrón errático de rutinas. En este caso, la profundidad de la huella puede definirse como la distancia vertical máxima entre puntos altos y bajos adyacentes de la superficie del curso de base. El criterio de 75 mm, para una profundidad de orificio permisible es ampliamente utilizado en carreteras no pavimentadas, determinado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos. Para el diseño de carreteras de bajo volumen, las pautas de diseño del AASHTO 1993, consideran las profundidades permisibles de la ahuellamiento entre 13 a 75 milímetros.

En el caso de caminos de acceso sin pavimentar, a veces se usan profundidades permisibles de orificio superiores a 75 mm, como 100 mm. Es importante señalar que la profundidad de la huella admisible es un criterio de capacidad de servicio.

### E. Propiedades del Material de la Capa Base

Se supone que la calidad del material del curso de base es suficiente para evitar un fallo en el curso de base. El CBR presentado por los estudios de Tensar, es una característica importante del método Giroud-Han, debido a que las propiedades del material de la capa base no se tuvieron en cuenta en el método de diseño de carreteras no pavimentadas, en el método Giroud-Noiray. (Giroud & Han, 2005)

El CBR es un índice adimensional medido en una prueba de laboratorio estándar o en el campo. Sin embargo, el valor CBR del campo es usualmente diferente del valor CBR del laboratorio debido a la diferencia de las condiciones de prueba. En el campo, el valor de CBR de la capa base es dependiente del suelo de la subrasante. Los suelos blandos no proporcionan el soporte necesario para obtener una buena compactación del material de la base; Por lo tanto, el campo CBR del suelo blando puede ser significativamente menor que el CBR de suelo blando del laboratorio. Los valores de CBR reportados para el suelo de base y suelos de subrasante en el estudio de Hammitt (1970) se representan en la siguiente imagen. (Giroud & Han, 2005)

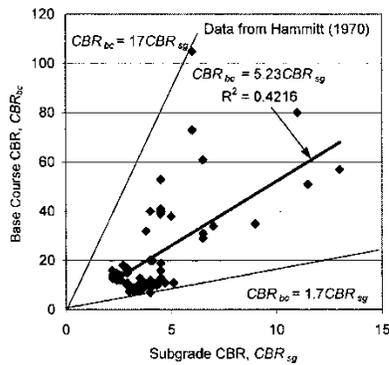


Fig. 8 Proporción de cociente de California (CBR) de suelo de base a suelo de sub-base

Fuente: (Giroud & Han, 2005)

Los estudios realizados por Hammitt, determinan la relación CBR de campo (es decir,  $CBR_{bc} / CBR_{sg}$ ) en el estudio Hammitt (1970) varió de 1,7 a 17 con una relación de 5,23 basada en la regresión lineal, como se observa en la Fig.8. Esta discusión sobre la relación CBR tiene como objetivo proporcionar una guía para estimar los valores CBR de la trayectoria básica cuando éstos no se proporcionan, mientras que los valores CBR del suelo de la sub-base son usualmente conocidos.

#### F. Propiedades de la Geomalla

En los estudios realizados por Webster (1992) y Collin (1996), demostraron que el módulo de estabilidad de las aberturas de una geomalla proporciona una buena correlación con el comportamiento medido de los caminos pavimentados que incorporan varios tipos diferentes de geomalla. El módulo de estabilidad de la abertura es una medida de la rigidez en el plano y la estabilidad de las costillas y las uniones de la geomalla. La medida del módulo de estabilidad de la abertura se presenta en un proyecto de método de ensayo por Kinney (2000). (U.S Department of Transportation & Federal Highway Administration, 2008)

Se debe mencionar que todas las propiedades de las geomallas, serán directamente referenciados por las diferentes marcas. Tensar posteriormente ha invertido y producido la calibración necesaria para modificar la ecuación Giroud-Han existente para acomodar el producto de geomallas triaxiales. El Dr. Jie Han fue comisionado por Tensar para realizar pruebas de caja a gran escala en la Universidad de Kansas para producir la información necesaria para desarrollar la constante k para su incorporación dentro de la ecuación modificada. Estos datos se verificaron más tarde en un entorno de pequeña escala utilizando un dispositivo de tráfico para simular el rutado acumulado de una carga de rueda canalizada sobre una carretera sin pavimentar. Como resultado, se ha desarrollado una ecuación única que es consistente con las recomendaciones de

los autores y se ha incorporado en las versiones actuales del software SpectraPave de Tensar.

Utilizando la fórmula:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left(\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{\frac{S}{f_s} \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{r}{h}\right)^2}\right] N_c f_c CBR_{sg}}\right)^r \quad (3)$$

Ecuación 3. Espesor Requerido

Fuente: (Giroud & Han, 2005)

Para la aplicación de la metodología de diseño del uso de geomallas en pavimentos flexibles: El cálculo del espesor de capa base con geomalla, se determinara por el espesor de la huella relacionándola con los resultados del CBR para obtener el factor de corrección para los diferentes tipos de geomallas, ver las características de la geomalla que decida usar.

A continuación se realizará un ejemplo de diseño, para demostrar la metodología, para la comparación de tiempo y costo.

## VI. EJEMPLO DE DISEÑO APLICADO GIROUD-HAN

### A. Parámetros de Diseño

Se observa que la tabla 1 contiene los parámetros preliminares para el diseño, dicha información se obtiene de ensayos o estudios preliminares de la zona a diseñar, se determinara la carga de tráfico, la profundidad de la huella o ranura, CBR y se determinará la geomalla a utilizar, para obtener los factores de capacidad determinados por el tipo y marca de geomalla. Tensar International Corporation proporciona geomallas triaxiales TX5, TX7, TX140, TX160; que varían según su espesor y el tamaño de la abertura y costillas. Como se observa en la Fig. 9



Fig. 9 Geomalla Tensar

Fuente: (TENSAR, 2017)

Tabla 1. Parámetros

<b>Carga de Trafico</b>
Carga de eje = 18 kip=80 kN
Carga de la rueda = 9 kip =40 kN
Número de pases = 100000
<b>Máxima profundidad de la huella</b>
S = 3 in = 75 mm
<b>CBR</b>
CBR de subrasante = 2
<b>Refuerzo</b>
Geomalla Triaxial (TX140 de Tensar)
<b>Factores de Capacidad</b>
Nc = 5.71 (Para pavimentos con geomalla)
Nc = 3.14 (Para pavimentos sin geomalla)

**B. Radio de Contacto**

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi p}} = \sqrt{\frac{40kN}{\pi(550kPa)}} = 0.152m = 6 \text{ pulg}$$

**C. Módulo de Proporción**

$$R_E = \frac{E_{bc}}{E_{sg}} = \frac{3.48CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} \quad (4)$$

Ecuación 4. Módulo de Proporción

Fuente: (U.S Department of Transportation & Federal Highway Administration, 2008)

$$R_E = \frac{(3.48)(40)^{0.3}}{2} = 5.26 > 5$$

Cuando el valor del módulo de proporción es mayor a 5, se toma como resultado RE=5.

**D. Revisión de la Capacidad de la Subrasante**

$$P_{h=0, \text{sin refuerzo}} = \left[ \frac{S}{f_s} \right] \pi r^2 N_c C_u = \left[ \frac{S}{f_s} \right] \pi r^2 N_c f_c CBR_{sg} \quad (5)$$

Ecuación 5. Capacidad soportante de la subrasante

Fuente: (U.S Department of Transportation & Federal Highway Administration, 2008)

Nc= Factor de carga, Cu=Fuerza de corte no drenada, fc=30kPa para CBR entre 1% y 5%, Ph=0=Capacidad soportante, S= Ahuellamiento máximo, fs= Ahuellamiento de referencia.

$$P_{h=0, \text{sin refuerzo}} = \left[ \frac{75mm}{75mm} \right] 3.14 * (0.152)^2 (3.14)(30kPa)(2) = 13.68kN$$

$$P_{h=0, \text{sin refuerzo}} = 13.68kN < 40kN$$

Por lo tanto la sub-rasante no puede soportar la carga generada por el tráfico.

**E. Factor de Corrección**

Este factor de corrección depende directamente del módulo J de las geomallas triaxiales, este valor es diferente para todas las geomallas, los proveedores o fabricantes de geomallas triaxiales son los responsables de determinar en base a ensayos calificados el valor del módulo J para sus geomallas. Con este módulo el factor de corrección se calcula fácilmente con la siguiente ecuación:

$$C_f(0.661 - 1.006J^2) \quad (6)$$

Ecuación 6. Factor de Corrección

Fuente: (U.S Department of Transportation & Federal Highway Administration, 2008)

**F. Fórmula de Diseño**

$$h = \frac{0.868 + (C_f) \left( \frac{r}{h} \right)^{1.5} \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} \left[ \sqrt{\frac{P/\pi r^2}{\left( \frac{S}{f_s} \right) \left[ 1 - 0.9e^{-\left( \frac{r}{h} \right)^2} \right] N_c f_c CBR_{sg}}} - 1 \right] r \quad (7)$$

Ecuación 7. Fórmula para el diseño de espesores

Fuente: (U.S Department of Transportation & Federal Highway Administration, 2008)

h = espesor, r = radio de contacto, N = pasadas del eje, Fs = factor de ahuellamiento, Nc = Factor de carga, Fc = cohesión de sub-rasante (30kPa para CBR entre 1% y 5%), S = Ahuellamiento permitido, P = Presión y Cf = Factor de corrección.

**G. Diseño de la Vía No Pavimentada Sin Refuerzo**

Haciendo uso de la ecuación (7), con valores Nc=3.14, determinaremos el espesor de agregado para un pavimento sin refuerzo. Sin refuerzo el módulo es igual a 0, por lo tanto el factor de corrección Cf=0.672. Para no reforzado:

$$h = \frac{0.868 + (0.672) \left( \frac{0.152}{h} \right)^{1.5} \log(100000)}{1 + 0.204(5 - 1)} \left[ \sqrt{\frac{40/\pi(0.152)^2}{\left( \frac{75}{75} \right) \left[ 1 - 0.9e^{-\left( \frac{0.152}{h} \right)^2} \right] (3.14)(30)(2)}} - 1 \right] 0.152$$

$$h = 0.366 \text{ metros}$$

Luego de iterar en repetidas ocasiones hasta obtener el valor indicado, resulta el espesor de 0.366 metros, que equivale a un espesor de 15 pulgadas o bien 40 centímetros.

**H. Diseño de la Vía No Pavimentada Con Refuerzo**

Haciendo uso de la ecuación (7) con valores  $N_c=5.71$ , determinaremos el espesor de agregado para un pavimento sin refuerzo. El factor de corrección varía para todas las geomallas, para la geomalla Tx140 Cf igual a 0.348. Para reforzado:

$$h = \frac{0.868 + (0.348) \left(\frac{0.152}{h}\right)^{1.5} \log(100000)}{1 + 0.204(5-1)} \left[ \frac{40/\pi(0.152)^2}{\left(\frac{75}{75}\right) \left[1 - 0.9e^{-\left(\frac{0.152}{h}\right)^2}\right]} - 1 \right]^{0.152}$$

$$h = 0.112 \text{ metros}$$

Luego de iterar en repetidas ocasiones hasta obtener el valor indicado, resulta el espesor de 0.112 metros, que equivale a 6 pulgadas o bien 15 centímetros.

### I. Comparación de Resultados

Tabla 2. Tabla comparativa de espesores

Vías sin pavimentar	Metros (m)	Centímetros (cm)	Pulgadas (pulg)
Sin refuerzo de Geomalla	0.366	40	15
Con refuerzo de geomalla	0.112	15	6

De manera contundente los espesores finales varían en gran medida a favor de las geomallas triaxiales, donde el espesor se ve reducido a un 30% del espesor que sería necesario si no estuviera reforzado con la geomalla triaxial. Ver Fig.10

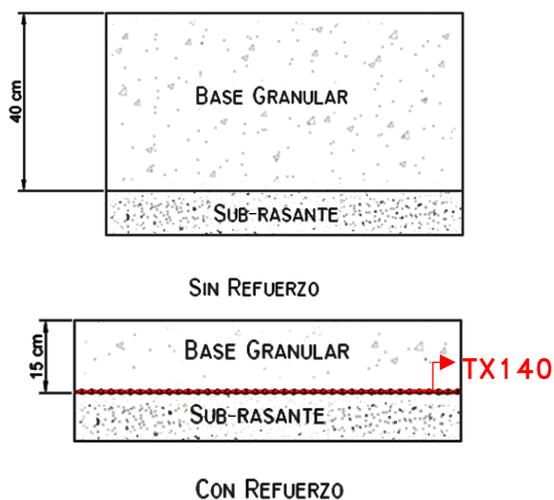


Fig. 10 Esquema comparativo de espesores

### VII. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

La técnica se usa para minimizar los requerimientos de relleno agregado, reducir o eliminar el socavado, mejorar la compactación, servir como plataforma de construcción y extender la vida útil. Este es un sistema que facilita la construcción y acceso, las geomallas se transportan en rollos que facilitan su manipulación al distribuirse sin inconvenientes en el sitio de trabajo y reduciendo la cantidad de desperdicios

En la Fig. 11 se representa de manera general el procedimiento de instalación de las geomallas. Antes de comenzar la instalación se lleva a cabo la preparación inicial donde se consulta con especialistas, se inspecciona el sitio y se hace el pedido de geomalla conforme al proyecto.

Una vez en campo se prepara el sitio; es decir la consolidación de la subrasante en cuanto a niveles y limpieza del sitio, con el fin de tener una zona adecuada para colocar la geomalla; se tienden los rollos de material que posteriormente serán tensados y fijados por medio de anclajes para evitar el desprendimiento y ondulaciones del material; Al momento de colocar las geomallas se determinará un traslape según el CBR usando como mínimo 30cm.

Una vez se han llevado a cabo estos procedimientos, se procede a la etapa de consolidación de la capa base, donde se tiende el material triturado a lo largo de todo el tramo con los espesores determinados por el diseño y posteriormente se compacta con la humedad y el equipo adecuado para el trabajo.

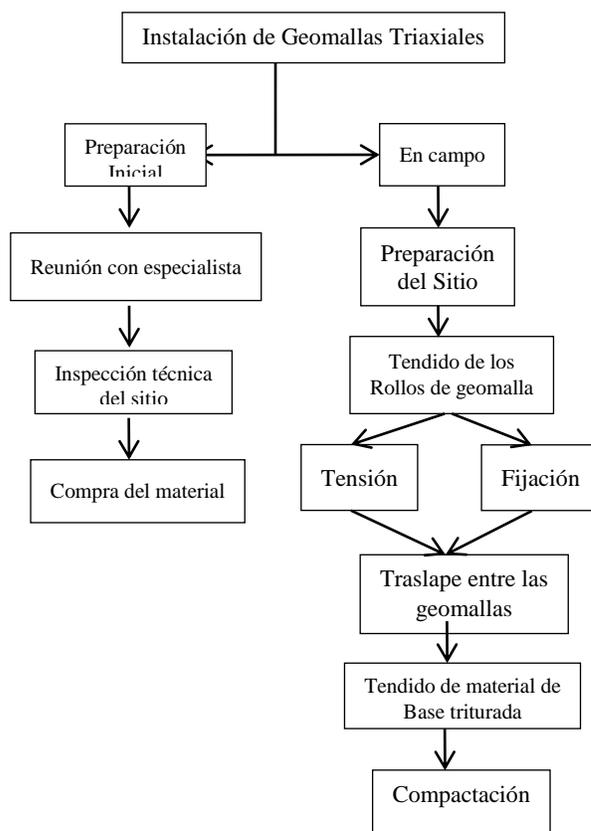


Fig. 11 Procedimiento constructivo.

### VIII. CONCLUSIONES

Este documento es un avance preliminar, sobre la adaptación de una metodología de refuerzo con geomallas triaxiales, en pavimentos flexibles tomando en cuenta los códigos constructivos utilizados en Honduras. Por lo anterior, se

recomienda, ser utilizado para investigaciones futuras en este mismo tema.

El método Giroud-Han se basa en el confinamiento producido por las geomallas para elaborar el diseño del pavimento, el método se centra en las deformaciones o ahuellamiento sufridos por el pavimento y es el interlocking el responsable de disminuir estas deformaciones.

Es necesario establecer una correcta metodología de diseño para pavimentos flexibles, así se evita la ambigüedad con la que diseñan mejoramientos de suelo, por lo que el documento presente servirá como borrador preliminar para globalizar una metodología aplicable en Honduras y Centro América.

La geomalla no trabaja como lo haría el refuerzo de acero en una estructura de concreto, su comportamiento depende del tipo de geomalla y el tipo de capa granular con la que va a interactuar.

El método Giroud-Han mostró una considerable reducción del espesor de la capa granular para la vía con geomalla triaxial, donde se redujo el espesor más del 60%. Con este resultado fácilmente se puede deducir el ahorro económico que implica la disminución de los espesores en cuestión de acarreo y compra de material selecto. En especial con los suelos con un CBR relativamente reducido y con costos significativos para el material selecto para la base

La fabricación de geomallas triaxiales no está estandarizada de manera global, esto implica que cada producto varía dependiendo del fabricante por lo que es recomendable que cada uno debería validar los productos con ensayos de laboratorio o registros históricos.

## IX. RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la empresa hondureña ICA Inversiones, S. de RL. De igual forma se agradece el apoyo otorgado por parte del Jefe Académico de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), el ingeniero con M. Sc. Rigoberto Moncada, se agradece el apoyo y asesoría de los ingenieros Alex Galindo, representante de ICA Inversiones y de la ingeniera Luz Marina Funes, asesora temática.

## X. REFERENCIAS

- [1] AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement structures 1993. Washington, D.C.
- [2] AASHTO. (2017). AASHTO R 50-09 - Recommended Practice for Geosynthetic. Recuperado el 21 de febrero de 2017, a partir de <http://www.standardsdownload.com.au/aashto-c-3/aashto-r-5009-recommended-practice-for-geosynthetic-reinforce-p-362.html>
- [3] Abril, L. (2002). REFUERZO EN VÍAS CON GEOMALLAS BIAXIALES COEXTRUÍDAS. Recuperado el 20 de febrero de 2017, a partir de [https://www.academia.edu/22755542/CAP%C3%8DTULO\\_6\\_REFUERZO\\_EN\\_V%C3%8DAS\\_CON\\_GEOMALLAS\\_BIAXIALES\\_COEXTRU%C3%8DDAS\\_6.1\\_GENERALIDADES](https://www.academia.edu/22755542/CAP%C3%8DTULO_6_REFUERZO_EN_V%C3%8DAS_CON_GEOMALLAS_BIAXIALES_COEXTRU%C3%8DDAS_6.1_GENERALIDADES)
- [4] Aguirre, J. (2010). Geosintéticos [Educación]. Recuperado el 16 de febrero de 2017, a partir de <http://es.slideshare.net/jhonatan207/geosinteticos-1>

- [5] Bermúdez, J. D., & Vásquez, O. A. (2016). VALIDACIÓN DEL MÉTODO DE DCP APLICADO EN CAMPO EN RELACION AL ENSAYO CBR EN LABORATORIO (Investigación). Universidad Tecnológica Centroamericana, Tegucigalpa, Honduras.
- [6] Ecomex. (2013). ECOMEX, Soluciones Ecológicas. Recuperado a partir de <http://www.ecomex.com.mx/>
- [7] Galindo, A. (27 de enero de 2017). Geomallas Triaxiales. (J. C. Reyes, & L. Almendarez, Entrevistadores)
- [8] Giroud, J. P., & Han, J. (2005). "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads." By Dr. J. P. Giroud and Dr. Jie Han. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(8), 775-786-797.
- [9] ICA Inversiones, S de R.L. (2016). Instalación de Geomalla Triaxial Como Refuerzo de Base. Corredor Agrícola, Sección V.
- [10] TENSAR. (2009). SPECTRA.
- [11] TENSAR. (2017a). Geogrid Designs and Systems for Areas with Traffic by Tensar Corp | Tensar International. Recuperado el 20 de febrero de 2017, a partir de <http://www.tensarcorp.com/Systems-and-Products/Tensar-geogrids/Tensar-Triax-geogrid>
- [12] TENSAR. (2017b). Tensar Biaxial BX geogrids | Tensar International. Recuperado el 20 de febrero de 2017, a partir de <http://www.tensarcorp.com/Systems-and-Products/Tensar-geogrids/Tensar-Biaxial-BX-geogrids>
- [13] U.S Department of Transportation, & Federal Highway Administration. (2008). Geosynthetic Design & Construction Guidelines, Reference Manual.
- [14] Vialidad y Transporte Latinoamérica. (2014). Importancia de las geomallas en la construcción de carreteras. Recuperado a partir de <http://vialidadytransporte.com/noticia/15-importancia-geomallas-construccion-carreteras>
- [15] Wayne, M. H. (2016). Tensar Meeting - Lima, Peru\_MHWayne.

## XI. AUTORIZACIÓN Y EXTENSIÓN DE RESPONSABILIDADES

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el artículo en las memorias de la Conferencia. LACCEI o los editores no son responsables por contenido, ni por las implicaciones de lo que se expresa en el documento.

## XII. NOTACIÓN

- $h$  = espesor de la base del agregado
- $r$  = radio del área de contacto del neumático
- $N$  = número de pasadas del eje
- $CBR_{bc}$  = CBR de la capa base
- $F_s$  = factor igual a 75 mm de profundidad de la huella
- $N_c$  = factor de capacidad de carga
- $F_c$  = factor de cohesión de la subrasante y CBR
- $S$  = profundidad permisible de la huella
- $CBR_{sg}$  = CBR de la subrasante
- $P$  = carga de la rueda
- $J$  = módulo de estabilidad de la abertura