

Introducción y resumen de un nuevo

**Método de diseño para Carreteras no pavimentadas
Reforzadas con Geomallas Tensar**

Desarrollado por el Dr. J.P. Giroud y el Dr. Jie Han

Preparado por Steve Valero y Andy Anderson, Diciembre de 2001

Antecedentes:

Hasta hace muy poco tiempo, se venían usando dos métodos de diseño para determinar el espesor de la capa base en caminos no pavimentados y plataformas de trabajo de relleno granular. Giroud y Noiray (1981) desarrollaron el primero de estos métodos “clásicos”. Tensar Corporation (1986) desarrolló el otro. Ambos métodos emplean la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante ejercida por las cargas de rodadura en la superficie del camino. Se calcula el espesor básico del agregado que hace falta para reducir la presión vertical impartida a la subrasante a un valor igual a su capacidad de carga estimada. El Método de Giroud y Noiray (G&N) supone que la presión del neumático se aplica sobre un área rectangular en la superficie y se distribuye de manera uniforme sobre áreas rectangulares progresivamente mayores con la profundidad. Las áreas de distribución están definidas por líneas que descienden alejándose de los cuatro bordes de la carga superficial. La pendiente de estas líneas, desde la posición vertical, se llama ángulo de distribución de esfuerzos. El Método Tensar utiliza la teoría de distribución de esfuerzos de Boussinesq para calcular el esfuerzo vertical máximo bajo el centro de un área de carga circular. Ambos métodos consideran la carga por rueda, la presión del neumático y el esfuerzo de corte de la subrasante en los cálculos. Ambos también suponen que el refuerzo geosintético aumenta efectivamente la capacidad de carga disponible de la subrasante, cambiando el modo de falla de capacidad de carga “local” a “general” Además, el método G&N considera el número de aplicaciones de carga y la profundidad de ahuellamiento aceptable.

Sin embargo, ninguno de los dos métodos considera otros factores de manifiesta importancia, tales como las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo. Desde principios hasta mediados de la década de 1980, había muy poca data de investigación y de campo para facilitar la calibración y la verificación de modelos más complejos que incorporaran estos parámetros. Aunque Giroud y Noiray, así como Tensar, estaban conscientes de la importancia de las propiedades de los materiales de la capa base y el refuerzo, ninguno de ellos tenía suficiente data de investigación y de campo para permitir su incorporación en los modelos respectivos. En consecuencia, los diseñadores empleaban ambos métodos, aplicando un importante

grado de cautela en la selección de los parámetros introducidos. Este enfoque lleva a un desempeño eficaz pero no produce el diseño más eficiente.

A lo largo de las dos últimas décadas, el uso de geomallas en las aplicaciones para mejorar subrasantes se ha difundido ampliamente. Han sido estudiados en varios programas de investigación. Por lo tanto, hoy por hoy existe un conjunto de información mucho más amplio del que había en la década de 1980. Esta nueva información permitió a los doctores Giroud y Han desarrollar y verificar un método de diseño mejorado. El Método Giroud-Han incorpora la resistencia y el módulo del material básico, variaciones de los ángulos de distribución de esfuerzos a través de la capa de apoyo y la propiedad del módulo de estabilidad de la abertura (rigidez) del refuerzo geosintético, además de todos los parámetros adicionales considerados por el Método G&N. En consecuencia, este método mejorado permite a los diseñadores introducir parámetros más precisos para predecir mejor su comportamiento. A su vez esto lleva a un uso más eficiente de los recursos de agregado, equipos de construcción, mano de obra y tiempo

Fundamento del Método Giroud-Han:

Al igual que los métodos clásicos de diseño de carreteras reforzadas, el Método Giroud-Han se basa en un modelo teórico. Sin embargo, Giroud y Han calibraron el modelo utilizando los resultados de un programa de investigación especialmente desarrollado (Gabr, 2001) y realizado en North Carolina State University. Este programa de investigación incorporó un número significativo de pruebas de carga de placas cíclicas a gran escala utilizando refuerzo con geomallas Tensar BX1100 y BX1200. La investigación proveyó datos en cuanto a la presión inducida en la subrasante y la deformación de la superficie como función del número de ciclos de carga para combinaciones múltiples del espesor de la base y el refuerzo. Se utilizaron estos datos para calcular el ángulo de distribución de la presión y para cuantificar los efectos del refuerzo y el espesor de la base, tanto en el ángulo de distribución de esfuerzos inicial como en los cambios de ángulo con aplicaciones de cargas continuadas. Tras la calibración, se verificó el método utilizando los

resultados de otros datos de investigación y de campo. Al final de este documento se proporciona una bibliografía completa de las referencias e investigaciones utilizadas para desarrollar el método.

Resumen Derivado del Método Giroud-Han:

El Método Giroud-Han supone un área de contacto circular equivalente de la rueda y un área de presión circular en la subrasante. Por lo tanto, la superficie de distribución de esfuerzos forma un cono en lugar del trapecoide supuesto por el Método G&N. La presión, p , a cualquier profundidad, h , es entonces

$$p = \frac{P}{\pi(r + h \tan \alpha)^2}$$

donde P = carga por rueda, r = radio de la huella de rueda equivalente, α = ángulo de distribución de esfuerzos.

La profundidad requerida para distribuir la carga por rueda a una presión igual a la capacidad de carga de la subrasante, $q = m c_u N_c$ es

$$h = \frac{1}{\tan \alpha} \left(\sqrt{\frac{P}{\pi m c_u N_c}} - r \right)$$

donde c_u = esfuerzo de corte no drenado de la subrasante, N_c = factor de capacidad de carga de la subrasante y m = coeficiente de movilización de la capacidad de carga. N_c se toma como 3.3 para capas base no reforzadas, 5.14 para las capas base reforzadas con productos geotextiles y 5.71 para capas base reforzadas con geomallas Tensor. La selección de los valores de N_c se basa en la teoría clásica de la capacidad de carga para cimientos superficiales que sugiere que: 1) $N_c = 2.4$ para una falla de capacidad de carga “local” (modificado a 3.3 basado en resultados de pruebas de campo en capas base no reforzadas);

2) $N_c = 5.14$ para un fallo de capacidad de carga “general” donde hay una interfaz lisa (i.e., geotextil) entre el apoyo de la cimentación y el suelo; 3) $N_c = 5.71$ para una falla de capacidad de carga “general” donde hay una interfaz áspera (i.e., geomalla Tensar) entre el apoyo de la cimentación y el suelo. El coeficiente de movilización de la capacidad de carga (m) da cuenta del hecho de que sólo parte de la capacidad de carga completa se desarrolla en cualquier profundidad de ahuellamiento especificada. Este coeficiente es una función de “ r/h ” y “ s ”, la profundidad de ahuellamiento. “ m ” varía desde casi 1.0 para bases de agregado relativamente delgadas con una profundidad de ahuellamiento de 3 pulgadas. Es menos de 1.0 para bases de agregado gruesas y/o profundidades de ahuellamiento menores de 3 pulgadas. Se calibra la función utilizando datos de pruebas.

El ángulo de distribución de esfuerzos es mayor a través de una capa base de alto módulo que a través de un material de menor módulo. Giroud y Han relacionaron empíricamente el ángulo de distribución del esfuerzo inicial, α_1 , a través de una base rígida encima de una subrasante más blanda con el ángulo de distribución de esfuerzos, α_0 , a través de un material homogéneo y con la relación de los módulos (o CBR) de la base y la subrasante de la siguiente manera.

$$\tan \alpha_1 = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{E_{bc}}{E_{sg}} - 1 \right) \right] = \tan \alpha_0 \left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1 \right) \right]$$

donde E_{bc} y E_{sg} = módulo de la capa base y la subrasante, respectivamente, y CBR_{bc} y CBR_{sg} = CBR de la capa base y la subrasante, respectivamente. Se utilizaron datos del programa de investigación de North Carolina State University para correlacionar el ángulo de distribución de esfuerzos con el número de ciclos de carga, N , lo cual produjo:

$$\tan \alpha = \frac{\tan \alpha_1}{1 + k \log N}$$

donde k es una constante derivada empíricamente según el espesor de la capa base y la propiedad de refuerzo de la geomalla J, el módulo de estabilidad de la apertura.

Se calibró el coeficiente de movilización de la capacidad de carga y se combinaron las ecuaciones para llegar a la siguiente ecuación de diseño para el mínimo espesor requerido de la capa base:

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{1.5} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left(\frac{P}{\sqrt{13.7 N_c \left(\frac{s}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left\{\frac{r}{h}\right\}^{1.5}\right)\right]} CBR_{sg}} - r \right)$$

donde “s” es igual a profundidad de ahuellamiento en pulgadas, “P” es en libras, “h” y “r” son en pulgadas, $N_c = 3.3$, $J = 0$ para la capa base no reforzada; $N_c = 5.14$, $J = 0$ para la capa base con refuerzo geotextil; $N_c = 5.71$, $J = 0.32$ m-N/grado para la capa base reforzada con Tensar BX1100; y $N_c = 5.71$, $J = 0.65$ m-N/grado para la capa base reforzada con Tensar BX1200.

Basado en un estudio de campo de bases no reforzadas, en la aplicación del método Giroud-Han actualmente se sugiere limitar la relación E_{bc}/E_{sg} del módulo a un valor máximo de 5.0 para dar cuenta de la incapacidad para compactar el material de la capa base eficazmente sobre subrasantes muy blandas. Esto da el término $3.48 CBR_{br}^{0.3} / CBR_{sg} \leq 5.0$. Sin embargo, existe evidencia (Webster, 1996) que sugiere que la introducción de un refuerzo rígido de geomallas permite una mejor compactación del material de la capa base.

Actualmente los autores están evaluando este fenómeno para determinar si se puede aumentar el límite de la relación del módulo en el caso del refuerzo con geomallas.

Aplicabilidad del Método Giroud-Han:

En teoría, el Método Giroud-Han se puede usar con todos los materiales geosintéticos en las aplicaciones para mejorar subrasantes. La validación con otras investigaciones y el desempeño en el campo indican que el método predice con precisión el desempeño de materiales geotextiles y geomallas cuyas propiedades tienen valores que están dentro de la gama utilizada para la calibración del método. No obstante, hay que aplicar una medida de cautela a los resultados obtenidos mediante la aplicación del método a las geomallas cuyas propiedades tienen valores que están fuera de los límites de calibración. Los siguientes párrafos proporcionan pautas en cuanto a propiedades importantes de las geomallas y la gama de valores representada por las geomallas Tensar utilizados en la calibración del modelo.

La eficacia de la geomalla en las aplicaciones para mejorar subrasantes depende de varios factores. La geomalla debe tener la capacidad de distribuir cargas eficazmente sobre la subrasante (i.e., de manera amplia y pareja). Esto entraña una interacción compleja de geomalla, suelo y base. Mediante una experiencia extensa con esta aplicación y el examen de la investigación pasada (Webster, 1992), Tensar ha llegado a la conclusión de que las siguientes propiedades tienen un impacto en la capacidad de la geomalla para mejorar la esubrasante:

Propiedad de la geomalla	Observación	Gama de validación del Método Giroud-Han
Tipo de geomalla	Las geomallas de capa simple (extruidas y tejidas) se colocan fácilmente sin dañar las uniones ni separarse en capas. Los productos de capa simple tienen mejor desempeño que los productos de capas múltiples o tiras soldadas. Los productos de capas múltiples tienden a separarse durante la colocación. Las tiras soldadas tienden a separarse en las uniones durante la colocación.	El Método Giroud-Han fue validado con productos de capa simple.
Módulo de estabilidad de la abertura	La investigación indica fuertemente que esta propiedad captura eficazmente la interacción compleja del módulo de tracción inicial, la rigidez, el confinamiento y la estabilidad. Las geomallas con mayor estabilidad de abertura tienen mejor desempeño.	El Método Giroud-Han ha sido validado para valores de hasta 6.5 cm-kg/grado.
Forma de las costillas	Las costillas cuadradas o rectangulares proporcionan mejor interacción con el suelo y la subbase. Los productos con costillas cuadradas y rectangulares tienen mejor desempeño que los que tienen costillas redondeadas.	El Método Giroud-Han fue validado con productos que tienen costillas rectangulares.
Espesor de las costillas	Las costillas más gruesas proporcionan mejor interacción con el suelo y la base. Los productos con costillas más gruesas tienen mejor desempeño que los que tienen costillas más angostas.	El Método Giroud-Han fue validado con productos con un espesor de costilla igual o mayor a 0.03 pulgadas.
Tamaño de las aberturas	Las aberturas de las geomallas deben ser lo suficientemente grandes como para permitir que los agregados y el suelo penetren a través de ellas, pero lo suficientemente pequeñas como para proporcionar una trabazón eficaz. La investigación indica que una abertura de entre 0.9 y 1.5 pulgadas tiene el mejor desempeño con la mayor parte de las combinaciones de agregados y suelo de las bases para carreteras.	El Método Giroud-Han fue validado con productos cuyas aberturas tenían dimensiones de 0.9 a 1.5 pulgadas en ambos sentidos (Maquina = MD y Transversal = CM)
Eficiencia de las uniones	La investigación indica que las uniones de las geomallas deben ser lo suficientemente fuertes como para confinar las partículas de la base eficazmente. Las geomallas con mayor eficiencia de unión tienen mejor desempeño.	El Método Giroud-Han fue validado con productos con una eficiencia de unión igual o mayor al 90% de la resistencia máxima a la tracción.

Resumen:

El método Giroud-Han tiene base teórica y calibración empírica. Se prevé que producirá predicciones precisas del desempeño en el campo para condiciones de carga y propiedades de base y subrasante similares, así como para las geomallas específicas utilizadas en la calibración y validación del modelo. Actualmente Giroud y Han están finalizando un documento técnico detallado sobre el desarrollo y la calibración de este nuevo método. El documento será presentado para su publicación en una revista técnica en el futuro cercano.

Bibliografía:

- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures [*Guía para el diseño de estructuras pavimentadas*] (1993), 589 págs.
- Barber, V.C., Odom, E.C. y Patrick, R.W. (1978). The deterioration and reliability of pavements [*El deterioro y la confiabilidad de los pavimentos*]. Informe técnico S-78-8, United States Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio.
- Bauer, G.E. (1994). “The control of settlement using geogrids” [*Control del asentamiento usando geomallas*]. Actas de Settlement’94, College Station, Texas, USA, 491-501.
- Burmister, D.M. (1958). “Evaluation of pavement systems of the WASHO road test by layered systems method” [*Evaluación de los sistemas de pavimentación de la prueba de carretera de WASHO mediante el método de sistemas estratificados*]. Boletín 177, Highway Research Board, 26-54.
- Collin, J.G., Kinney, T.C. y Fu, X. (1996). “Full scale highway load test of flexible pavement systems with geogrid reinforced base courses” [*Prueba de carga para carreteras a escala completa de sistemas de pavimentación flexible con capa Base reforzada con geomallas*]. Geosynthetics International, 3(4), 537-549.
- De Groot, M., Janse, E., Maagdenberg, T.A.C., Van den Berg, C. (1986). “Design method and guidelines for geotextile application in road construction” [*Método y pautas de diseño para la aplicación de productos geotextiles en la construcción de carreteras*]. Actas de la 3rd. Int. Conf. on Geotextiles, Viena Vol. 3, 741-746.
- Fannin, R.J. y Sigurdsson, O. (1996). “Field observations on stabilization of unpaved roads with geosynthetics” [*Observaciones de campo sobre la estabilización de carreteras no pavimentadas con geomallas*]. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, 122(7), 544-553.
- Gabr, M. y R.E. Dodson (1998). “Stress distribution in geogrid reinforced foundations” [*Distribución del esfuerzo en cimientos reforzados con geomallas*]. Actas de Geo-Congress’98, Geotechnical Special Publication No. 76, 62-76.

- Gabr, M. (2001). Cyclic Plate Loading Tests on Geogrid Reinforced Roads [*Pruebas de carga de placas cíclicas en carreteras reforzadas con geomallas*]. Informe de investigación para Tensar Earth Technologies, Inc., NC State University, 43 págs.
- Geosynthetic Materials Association (2000). Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base/Subbase Courses of Pavement Structures [*Refuerzo geosintético de las capas de agregado en Base/Subbase de estructuras pavimentadas*]. Documento oficial de GMA II, preparado para el Comité 4E de AASHTO, 176 págs.
- Giroud, J.P. y Noiray, L. (1981). “Geotextiles-reinforced unpaved road design” [*Diseño de carreteras no pavimentadas reforzados con geotextiles*]. ASCE, Journal of Geotechnical Engineering, 107(9), 1233-1253.
- Giroud, J.P., Ah-Line, C. y Bonaparte, R. (1985). “Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids” [*Diseño de carreteras no pavimentadas y áreas transitadas con geomallas*]. Polymer Grid Reinforcement [*Refuerzo de mallas de polímeros*], Thomas Telford Limited, London, 116-127.
- Hammitt, G. M. (1970). “Thickness requirement for unsurfaced roads and airfields, bare base support, Project 3782-65” [*Espesor requerido para carreteras y pistas de aterrizaje no pavimentados, soporte de base descubierta, Proyecto 3782-65*]. Informe técnico S-70-5, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss., 135p.
- Heukelom, W. and Klomp, A.J.G. (1962). “Dynamic testing as a means of controlling pavements during and after construction” [*Pruebas dinámicas como medio para controlar los pavimentos durante y después de la construcción*]. Actas de la First International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, 667-679.
- Huang, Y.H. (1993). Pavement Analysis and Design [*Análisis y diseño de pavimentos*]. Prentice Hall, 805 págs.
- Knapton, J. y Austin, R.A. (1996). “Laboratory testing of reinforced unpaved roads” [*Pruebas de laboratorio de carreteras reforzadas no pavimentadas*]. Earth Reinforcement [*Refuerzo de tierra*], Ochiai, Yasufuku y Omine (eds), Balkema, Rotterdam, 615-618.
- Kinney, T.C. (2000). “Standard test method for determining the ‘Aperture Stability Modulus’ of a geogrid” [*Método de prueba estándar para determinar el ‘módulo de estabilidad de abertura’ de una geomalla*]. Shannon & Wilson, Inc., WA. 9 págs.
- Lawton, E.C. (1996). “Section 5A: Nongrouting Techniques” [*Sección 5A: Técnicas sin enlechado*]. Practical Foundation Engineering Handbook [*Manual de ingeniería práctica para cimientos*], editor principal R.W. Brown, McGraw-Hill, 992 págs.
- McGown, A. y Andrawes, K. (1977). “The influence of nonwoven fabric inclusions on the stress strain behavior of a soil mass” [*La influencia de inclusiones de geotextiles no tejidos en el comportamiento del esfuerzo y la deformación de una masa de suelo*]. Actas de la International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics, Paris, 161-166.

- Milligan, G.W.E., Jewell, R.A., Houlsby, G.T. y Burd, H.J. (1989a). “A new approach to the design of unpaved roads –Part I” [*Un nuevo enfoque para el diseño de carreteras no pavimentadas – Parte I*]. Ground Engineering, Abril, 25-29.
- Milligan, G.W.E., Jewell, R.A., Houlsby, G.T. y Burd, H.J. (1989b). “A new approach to the design of unpaved roads – Part II” [*Un nuevo enfoque para el diseño de carreteras no pavimentadas – Parte II*]. Ground Engineering, Noviembre, 37-42.
- Milligan, G.W.E y Fannin, J. (1986). “Model and full-scale tests of granular layers reinforced with a geogrid” [*Pruebas de modelos y a escala completa de capas granulares reforzadas con geomallas*]. Actas de la 3rd International Conference on Geotextiles, Viena, Austria, 61-66.
- Perkins, S.W. (1999). Geosynthetic Reinforcement of Flexible Pavements: Laboratory Based Pavement Test Sections [*Refuerzo de Pavimentos Flexibles con Geosintéticos: Secciones de pruebas de pavimento basadas en el laboratorio*]. Informe final, FHWA/MT-99-001/8138, 140 págs.
- Raymond y Hayden (1983). Effect of Reinforcement on Sand Overlying Bases of Different Compressibilities Subject to Repeated Loading [*Efecto del refuerzo en arena sobre bases de distintas compresibilidades sujetas a cargas repetidas*]. Informe de investigación de C.E. No. 79, Departamento de Ingeniería Civil, Queens University, Kingston, Ontario, Nov., 120 págs.
- Sigurdsson, O. (1991). Geosynthetic Stabilization of Unpaved Roads on Soft Ground: a Field Evaluation [*Estabilización geosintética de carreteras no pavimentadas en suelo blando: una evaluación de campo*]. Tesis de MS, University of British Columbia, 149 págs.
- Steward, J.E., Williamson, R. y Mohny, J. (1977). Guidelines for Use of Fabrics in Construction of Low-Volume Roads [*Pautas para el uso de geotextiles en la construcción de carreteras de bajo volumen*]. Informe No. FHWA-TS-78-205, Pacific Northwest Region Forest Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA, 172 págs.
- The Tensar Corporation (1986). Design Guideline for Subgrade Improvement under Dynamic Loading with Tensar Geogrids [*Guía de Diseño para Mejoramiento de Subrasante bajo cargas dinámicas con geomembranas Tensar*]. Nota técnica de Tensar (TTN:BR5), 30 págs.
- The Tensar Corporation (1996). Design Guideline for Flexible Pavement with Tensar Geogrid Reinforced Base courses [*Guía de diseño para pavimento flexible con capas de Base reforzadas con geomallas Tensar*]. Nota técnica de Tensar (TTN:BR96), 77 págs.
- The Tensar Corporation (1998). A Review of Geosynthetic Functions and Applications in Paved and Unpaved Roads [*Revisión de las funciones y aplicaciones geosintéticas en carreteras pavimentadas y no pavimentadas*]. Nota técnica de Tensar (TTN:BR11), 45 págs.

- Wayne, M.H., Han, J., Akins, K. (1998). "The design of geosynthetic reinforced foundations" [*Diseño de cimientos reforzados con geosintéticos*]. Actas del Geo-Congress'98, Geotechnical Special Publication No. 76, 1-18.
- Webster, S.L. y Watkins, J.E. (1977). "Investigation of construction techniques for tactical bridge approach roads across soft ground" [*Investigación de técnicas de construcción para carreteras tácticas de acceso a puentes sobre suelo blando*]. Informe técnico S-77-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., 75 págs.
- Webster, S.L. y Alford, S.J. (1978). "Investigation of construction concepts for pavements across soft ground" [*Investigación de conceptos de construcción para pavimentos sobre suelo blando*]. Informe técnico S-78-6, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss., Julio, 82 págs.
- Webster, S.L. (1992). Geogrid Reinforced Base Courses for Flexible Pavements for Light Aircraft: Test Section Construction, Behavior under Traffic, Laboratory Tests, and Design Criteria [*Capas Base reforzadas con geomallas para pavimentos flexibles para aeronaves livianas: construcción de secciones de prueba, comportamiento en tráfico, pruebas de laboratorio y criterios de diseño*], informe final, DOT/FAA/RD-92/25, U.S. Department of Transportation and Federal Aviation Administration, 91 págs.
- Webster, S.L. (1996). Personal communications with Anderson, R.B. [*Comunicaciones personales con Anderson, R.B.*].
- Yoder, E.J. y Witczak, M.W. (1975). Principles of Pavement Design, Second Edition [*Principios de diseño de pavimento, segunda edición*], John Wiley & Sons, Inc., 711 págs.