

Geosintéticos en Vías Férreas

Jesús De La Fuente Cardona, Ingeniero Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

RESUMEN

Este artículo presenta casos de estudio y experiencias que se han trabajado en conjunto con la empresa Kansas City Southern de México. Al usar la geomalla, han estabilizado con éxito las capas de balasto y sub-balasto bajo una amplia gama de suelo y condiciones de carga a lo largo de sus vías ferroviarias. El principal obstáculo que enfrenta la compañía es que la mayoría de se encuentran sobre suelos blandos. Esto se debe en parte a la ubicación en las áreas de cultivo. La geomalla ha contribuido en varios aspectos. Por ejemplo, para mejorar el rendimiento y la productividad operativa. Además, extiende la vida útil del componente mecánico de la línea ferroviaria causado por el asentamiento del balasto y el desplazamiento lateral. Dentro de los casos, hay uno en particular llamado la línea "L" que va de San Luis Potosí a Tampico. En este caso, uno ve un problema con el asentamiento, mal drenaje y movimiento lateral del balasto.

ABSTRACT

This article brings forth case studies and experiences that have transpired while working in conjunction with Kansas City Southern of Mexico. Upon using the geogrid, they have successfully stabilized ballast and sub-ballast layers under a wide range of soil and loading conditions along their railway tracks. The primary obstacle that company faces, is having soft soil in their railway tracks. This in part is due to the location in the cultivation areas. The geogrid has contributed in various aspects. For example, in improving performance and operational productivity. In addition, it extends the life of mechanical rail line component by causing ballast settlement and lateral creep. Within the cases, there is one in particular termed the "L" line which runs from San Luis Potosí to Tampico. In this case, one sees problem with settlement, bad drainage and lateral movement of ballast.

Palabras Claves: Vías Férreas, Vía "L", Geomalla Multiaxial, KCSM

Antecedentes

Los inicios del ferrocarril en México se remontan a mediados del siglo XIX, cuando fue construida en 1850 la primera línea de ferrocarril, la cual tenía como propósito unir la capital del país con el principal puerto: Veracruz, con una longitud de 471 km de longitud.

Siendo el presidente Porfirio Díaz (1876 – 1910) que más tiempo, esfuerzo y dinero destino a la ampliación de la red ferroviaria mexicana, que al final de su mandato se tenía una longitud de 19,280 km de vía, año en que estallo la Revolución Mexicana, en donde fue el medio de transporte más eficaz durante este evento.

En la actualidad el Sistema Ferroviario Mexicano (SFM) está compuesto por una longitud de 26,914 km de vías férreas (2018), de los cuales en los últimos años ha crecido solamente 236 km de vías nuevas, siendo principalmente le crecimiento en vías principales y secundarias (Concesionada).

Es de destacar que el 72% de la red ferroviaria mexicana actual fue construida durante el periodo del Porfiriato (1876 – 1910) casi 4 décadas, mientras que en un siglo creció solamente 7,634 km que representa un 28%.

En el periodo 2008 – 2018, el tonelaje de carga transportada se ha incrementado 28.4% pasando de transportar 99.7 millones de toneladas en 2008 a 128 millones de toneladas en 2018,



Figura 1 – Mapa del Sistema Ferroviario Mexicano
(Fuente: Anuario Estadístico Ferroviario 2018, SCT, ARTF, página 7)

1. Introducción

En la actualidad ante la demanda de mover más volumen de carga, se requiere que las vías existentes se encuentren en óptimas condiciones para una operación eficiente y que puedan soportar velocidades mayores que respondan a los requerimientos de competitividad en el mercado del transporte.

Este corredor de la vía "L" Km L-226+700 al Km L-678+000 se encuentra a cargo del concesionario Kansas City Southern de México (KCSM), quien ante la demanda de mayor tráfico que tendrá, ha puesto en marcha un programa de mantenimiento, con la finalidad de atender las siguientes problemáticas que presenta la vía:

- Aguachinamientos
- Asentamientos puntuales de la vía
- Desplazamiento lateral de balasto
- Mal drenaje.
- Sobrelevación de la vía

Se encuentra desplantada directamente sobre el terreno natural, el cual tiene una clasificación SUCS de arcilla de alta plasticidad (CH), considerándose como un suelo blando, de acuerdo con la inspección geotécnica realizada.

En este documento se presenta el diseño del refuerzo mecánico en el desplante de la vía férrea mediante una geomalla multiaxial de gran apertura, para el incremento de la capacidad portante

Geomallas para el mejoramiento del desplante de vía férreas

Muchas investigaciones se han realizado de cómo y porque las geomallas multiaxiales refuerzan mecánicamente las capas granulares en pavimentos, aeropuertos y ferrocarriles. Notables investigaciones demuestran que la aplicación de geomallas tiene los siguientes beneficios:

1. Prevención de la dispersión lateral del agregado granular, lo que conlleva una menor deformación vertical y ahuellamiento de la capa granular.
2. El confinamiento lateral aumenta la rigidez (modulo) de la capa granular, por lo tanto, menor tensión vertical en la capa granular.
3. Menor deformación de la subrasante por la mejoría en la distribución de esfuerzos hacia la subrasante.
4. Tensión vertical más baja al reducir el esfuerzo cortante en la subrasante.

Tabla 1. Especificación de geomalla multiaxial de gran apertura usada en el diseño

| Parámetros | Especificación | | |
|--|----------------|-----------|--------------|
| | Longitudinal | Diagonal | General |
| Espaciamiento entre costillas, mm (pulg.) | 60 (2.40) | 60 (2.40) | |
| Forma de Costilla | | | Rectangular |
| Forma de apertura | | | Triangular |
| Eficiencia en la unión, % | | | 93 |
| Relación de rigidez isotrópica | | | 0.6 |
| Rigidez a la flexión, mg-m | | | 2,000,000 |
| Rigidez radial a baja tensión, kN/m @ 0.5 % de tensión (lb/ft @ 0.5% de tensión) | | | 350 (23,989) |

2. Metodología

El manual de diseño de AREMA (2014), indica que la distribución de la carga a través de una estructura de balasto es aproximadamente la misma independientemente del espesor de la capa de sub-balasto y balasto. Por lo tanto, la profundidad combinada de sub-balasto y balasto se calcula como un solo espesor para asegurar que no exceda la presión permisible de las condiciones del terreno natural.

Basada en una serie de pruebas de laboratorio realizadas en la Universidad de Illinois Talbot (1920), desarrollo una formula empírica para determinar la presión vertical ejercida sobre el balasto debajo del centro del durmiente en su intersección con el riel y a una determinada profundidad por debajo de la superficie del durmiente:

Ecuación 1.

$$P_c = 16.80 \times (p_a / h^{1.25})$$
 Por lo tanto

$$h = (16.8 p_a / p_c)^{0.8}$$

donde:

p_c = Esfuerzo a la profundidad "h" bajo del durmiente, incluyendo factor de seguridad (psi)

p_a = Presión en la cara del durmiente (psi) = (carga aplicada / área del durmiente)

h = Espesor del Balasto + Sub-balasto abajo del durmiente

3. Vía "L" San Luis Potosí – Tampico

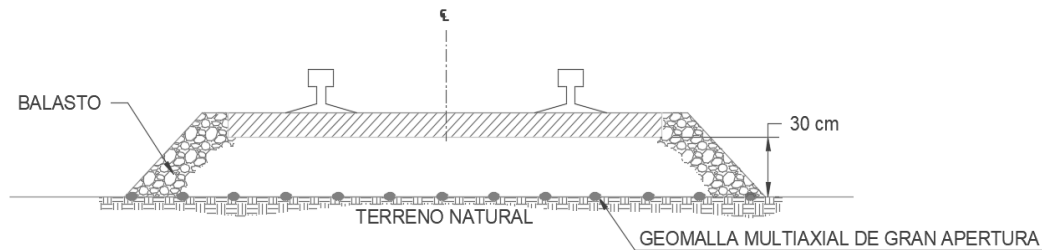
3.1 Diseño

Basado en la inspección visual e investigación geotécnica se procedió a realizar el análisis con la siguiente información:

Table 2. Parámetros de la Vía "L"

| Parámetros | Valores |
|--|--------------------------------------|
| Máxima carga de rueda, kg (lbs) | 18,160 (40,000) Cooper E-80 |
| Diámetro de rueda, mm (pulg.) | 914.4 (36) |
| Velocidad de operación, km/hr (mph) | 60 (37.28) |
| Geometría del durmiente, mm (pulg.) | 228.6 (9) x 228.6 (9) x 2743.2 (108) |
| Tamaño máximo de partícula, mm (pulg.) | 4A AREMA 63.5 (2 ½) |
| Tipo de fijación al durmiente | RNY |
| Tipo de riel | 115RE, riel soldado |
| Separación de durmientes, mm (pulg.) | 609.6 (24) |

Figura 1. Sección transversal típica reforzada con una geomalla multiaxial de gran apertura



La figura 1, representa la sección reforzada mecánicamente con la geomalla multiaxial de gran apertura, partiendo de un esfuerzo cortante no drenado del terreno natural de 119 kN/m², en donde los esfuerzos permitidos al terreno natural para la sección no reforzada fueron de 168.0 kN/m², en donde se requería 457.2 mm (18 pulg.), mientras que la sección reforzada es de 384.0 kN/m², requiriendo solamente 304.8 mm (12 pulg.), teniendo un factor de seguridad mayor a 2.0.

3.2 Construcción

Las partes viejas de la vía fueron sustituidas (riel, durmientes) y el desplante (balasto, sub-balasto) fueron removidos mediante el equipo llamado Desguarnecedora de balasto, al mismo tiempo se colocó la geomalla (con ancho de 4 m que cubría el ancho de la vía) sobre el terreno natural, posteriormente el espesor de balasto mediante góndolas que iban descargando el material directamente sobre la vía, después de ese paso se utilizó el equipo llamado Multicalzadora para la compactación del balasto, posteriormente se utilizó el equipo llamado Niveladora de balasto para dar una superficie uniforme a la capa de balasto sobre la vía. Inmediatamente al terminar el proceso de construcción se puso en operación la vía.

Figura 2. Vía “L”



Figura 3. Remoción de balasto viejo



Figura 4. Colocación de la geomalla multiaxial

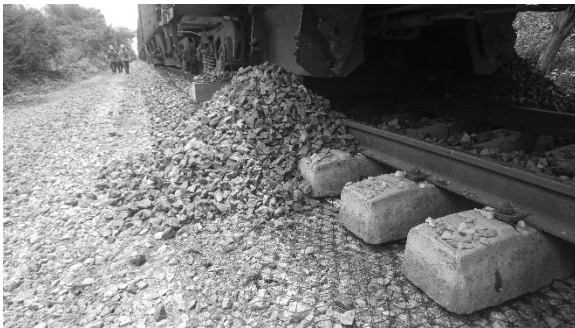


Figura 5. Colocación de Balasto



Figura 6. Balasto compactado



Figura 7. Vía en operación tras mantenimiento



Otros Casos de Estudios

4. Vía Ojo Seco – Jacuaro Michoacán

4.1. Introducción

Para este caso de Vía que se localiza en el municipio de Jacuaro, Michoacán, México, se requería colocar un ladero de 2 km de largo paralelo a la vía principal, en donde la problemática principal era estabilizar las terracerías debido a que el desplante de la vía sería sobre suelos con baja capacidad portante (suelos blandos) y controlar los asentamientos diferenciales a largo plazo causados por las condiciones de saturación y contenido de humedad en el suelo del desplante.

4.2 Metodología

En agosto del 2008, la FHWA publicó el documento NHI-07-092, “Guías de Diseño y Construcción con Geosintético”. Este manual es una actualización que incluye el diseño de carreteras reforzadas con geomallas. El manual fue preparado para permitir a diseñadores la correcta identificación y evaluación de aplicaciones potenciales de Geosintéticos como alternativa a la solución de problemas típicos de la geotecnia y como medio de reducción de costos en la construcción de proyectos de ingeniería civil.

El capítulo 5 de este documento está dedicado a aplicaciones de geosintéticos para carreteras y pavimentos. La sección 5.5 se refiere al uso de geomallas para caminos temporales y no pavimentados. La sección 5.7 se refiere al uso de geomallas para carreteras pavimentadas. En estas dos secciones se pueden encontrar las metodologías de diseño existentes recomendadas por la FHWA para el uso de geomallas como mejoramiento del terreno natural y refuerzo de base. La sección 5.5 recomienda las siguientes metodologías de diseño para el mejoramiento del terreno natural:

4.2.1. Steward et al. (1977) Modificado: Documento ETL-1110-1-189 USACE (2003)

Este documento es una metodología de diseño y una guía sobre el uso de geomallas en carreteras no pavimentadas. Tingle y Webster (2003) usaron experimentos a escala real, y basados en la experiencia en campo y laboratorio proporcionaron una metodología que incluye especificaciones para la geomalla. Esta metodología sugiere unos valores del factor de capacidad portante para los casos sin refuerzo, con geotextil o con geomallas. En el caso de la opción sin refuerzo, el factor de capacidad portante es de 2.8. Para el caso con geotextil es de 5.0 y para el caso con Geomalla es de 5.8.

4.2.2. Giroud y Hann (2004)

La metodología de diseño Giroud-Han tiene base teórica y calibración empírica. Esta metodología se basa en Giroud and Noiray (1981), la cual emplea la teoría de distribución de esfuerzos para calcular la presión vertical sobre la subrasante producida por las cargas vehiculares. Con esta presión se calcula un espesor mínimo del relleno necesario para que la subrasante pueda soportar las cargas aplicadas. Giroud-Han tienen en cuenta todas las propiedades consideradas en el método Giroud-Noiray, y adicionalmente considera las características del Módulo de Elasticidad del material de relleno, la variación del ángulo de distribución de esfuerzos con el número de pasadas de ejes equivalentes, el módulo de estabilidad de la apertura del material de refuerzo y la profundidad de ahuellamiento.

La siguiente ecuación es utilizada para calcular el espesor mínimo de relleno requerido en el mejoramiento de la subrasante:

Ecuación 2.

$$h = \frac{1.195 + (0.910 + 0.019J - 1.744J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{15} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} - 1\right)\right]} \left[\frac{P}{137 N_c \left(\frac{5}{3}\right) \left[1 - 0.9 \exp\left(-1.426 \left(\frac{r}{h}\right)^{15}\right)\right] CBR_{sg}} \right]^{-r}$$

En donde:

h = Espesor de relleno

J = Módulo de la estabilidad de la abertura

P = Carga

r = Radio de la huella de rueda equivalente

N = Número de pasadas eje equivalente

CBR_{bc} = CBR del relleno

CBR_{sg} = CBR de la subrasante

N_c = Factor de Capacidad Portante

4.3 Diseño y Construcción

El diseño que se llevó a cabo fue de colocar una capa de sub-balasto para que funcionara como capa rompedora de capilaridad y de drenaje, y que escurriera por esa capa el agua y así evitar la saturación del suelo, y para evitar que esa capa se contaminara y se incrustara sobre el terreno natural, se optó por utilizar una geomalla multiaxial colocándola sobre el terreno natural, posterior se colocó 30 cm de capa de sub-balasto y posterior a eso 30 cm de balasto sobre el que se iba a desplantar la vía férrea.

Tabla 3. Especificación de geomalla multiaxial de apertura normal usada en el diseño

| Parámetros | Especificación | | | |
|--|----------------|-------------|-------------|--------------|
| | Longitudinal | Diagonal | Transversal | General |
| Espaciamiento entre costillas, mm (pulg.) | 40 (1.60) | 40 (1.60) | | |
| Profundidad media de costilla, mm (pulg.) | | 1.60 (0.06) | 1.60 (0.06) | |
| Ancho medio de costilla, mm (pulg.) | | 1.0 (0.04) | 1.0 (0.04) | |
| Forma de Costilla | | | | Rectangular |
| Forma de apertura | | | | Triangular |
| Eficiencia en la unión, % | | | | 93 |
| Rigidez radial a baja tensión, kN/m @ 0.5 % de tensión (lb/ft @ 0.5% de tensión) | | | | 300 (20,580) |

Figura 8. Configuración de ladero reforzado mecánicamente

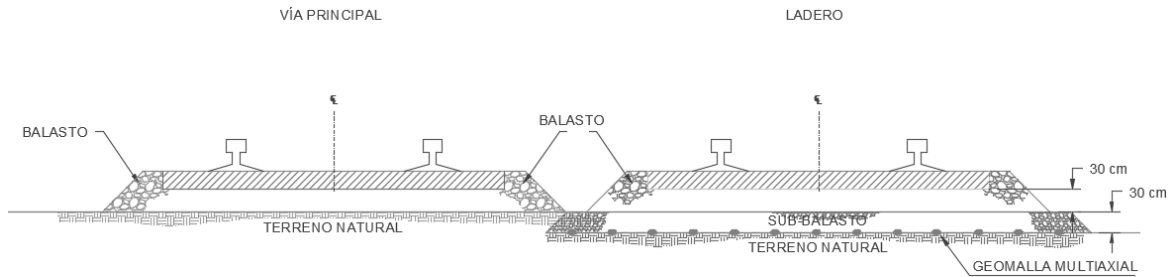


Figura 9. Colocación de geomalla multiaxial



Figura 10. Colocación de capa de sub-balasto



5. Ladero Tzurumútaró, Michoacán, México

5.1 introducción

Para este ladero que se ubica en el poblado de Tzurumútaró en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán, México, se requería la construcción de un ladero de 2 km de longitud, en donde la vía principal se encuentra sobre un terraplén con una altura máxima de 5 m de alto, en donde las condiciones del terreno natural tenía baja capacidad portante, por lo que antes de construir el terraplén para poner a nivel el ladero se requiere la estabilización del desplante de este terraplén.

5.2 Diseño y Construcción

La baja capacidad del terreno natural y al estar susceptible a posible acumulación de agua en el desplante, el diseño de la capa mecánicamente estabilizada con una geomalla multiaxial fue necesaria para darle soporte al desplante del terraplén de 5 m de alto. El proceso constructivo se llevó a cabo de la siguiente manera: después de compactar el terreno natural se coloca un geotextil no tejido de polipropileno, posterior se coloca la geomalla multiaxial de apertura normal, posteriormente se coloca una capa de material granular con tamaños

de partícula de $\frac{3}{4}$ " a $1\frac{1}{2}$ ". Ya en la parte superior de la vía se coloca debajo de la capa de balasto un geomalla multiaxial de gran apertura.

Figura 11. Sección transversal de la vía

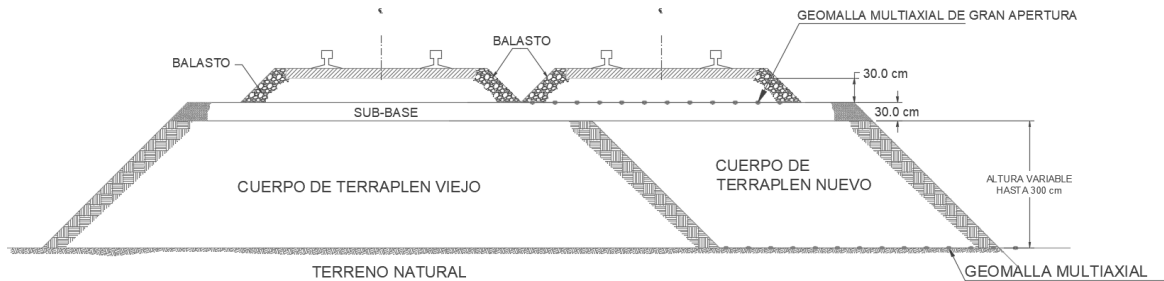


Figura 12. Colocación de gemalla multiaxial



Figura 13. Colocación de material de terraplén



6. Conclusiones

Las condiciones de los tres casos mostrados han sido muy parecidas las cuales son sobre suelos blandos y se requiere forzosamente un tipo de estabilización. Las geomallas multiaxiales son usadas en las estructuras de vías férreas, para hacer una capa mecánicamente estabilizada. El uso de esta tecnología ha sido exitoso, en nuevas y existentes vías férreas sobre condiciones de suelos pobres. Los grandes ahorros en costos de los proyectos se dan por la reducción o eliminación de sustituir capas de suelo pobres, excavaciones o el acarreo de grandes volúmenes de material

Las aplicaciones que se han demostrado en este documento han sido el mejoramiento de la capacidad portante, incremento del módulo de la capa de balasto, confinamiento y trabazón del balasto y el aumento la vida útil de la vía férrea.

7. Referencias

American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association: AREMA Manual for Railway Engineering 2014

Hay, W. W., Railroad Engineering, 2nd Edition, 1982.

Talbot, A.N., Transmission of Pressures in Ballast, Part 5, Second Progress Report, Special Committee on Stresses in Railway Track, AREA Proceedings Volume 21, pp 765-814, 1920

UFC 4-860-01FA Railroad Design and Rehabilitation (UNIFIED FACILITIES CRITERIA), U.S. Department of Defense, 2004

Bathurst R.J and Raymond G.P, Geogrid Reinforcement of Ballasted Track, Transportation Research Board 66th Annual Meeting, 1987

Brown S.F., Thom N.H. and Kwan J., Optimizing the Geogrid Reinforcement of Rail Track Ballast Rail Foundations: RailFound '06

Matharu M.S, Geogrid Cut Ballast Settlement Rate on Soft Sub-structures, Railway Gazette International, 1994

Network Rail, UK, Formation Treatments, Code of Practice RT/CE/C/039, 2003

Sharpe P., Brough M.J. and Dixon J., Geogrid Trials at Coppull Moor on the West Coast Main Line, Rail Foundations: RailFound '06

Walls J.C and Galbreath L.L, Railroad Ballast Reinforcement Using Geogrid, Geosynthetics '87 Conference Proceedings, New Orleans, LA

Portland Cement Association, E.I. DuPont literature and McCarthy, David F., Essentials of Soil Mechanics and Foundations, 1977 & Tensar 1998.

Webster, Personal Communication 2001, DCP vs. CBR Correlations

AASHTO, 1993 Guide for Design of Pavement Structures, Van Till et al. NCHRP 128

M. Havrila, R. Baslik, L. Turinic, Stiff Geogrid for Slovak Railways

Jim McHenry, P.E., Geogrid Reinforcement – Benefits for Railroad Construction Applications

L. Míca, P. Hubík, J. Mynár, L. Minár, Railway corridors constructon using rigid geogrids reinforcement in the Czech Republic

Salvador Hernández García, José Antonio Arroyo Osorno, Guillermo Torres Vargas, Evolución reciente de algunos indicadores operativos y de eficiencia del ferrocarril mexicano, Publicación Técnica No. 332, Sanfandila, Qro., 2009, Instituto Mexicano del Transporte

José de Jesús González Rodríguez, El transporte Ferroviario en México, junio de 2018, Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública

SCT, ARTF, Anuario Estadístico Ferroviario, 2018

Miguel Capula, Descubre la historia del Ferrocarril en México, 21 de noviembre de 2017 (<https://mas-mexico.com.mx/descubre-la-historia-del-ferrocarril-en-mexico/>)

Salvador Medina Ramirez, El transporte ferroviario en México, Comercio Exterior, vol. 63, Núm4, Julio y Agosto de 2013, (http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/157/2/el_transporte.pdf)

Universidad de las Americas de Puebla, Capitulo 1, Antecedentes Históricos del Ferrocarril (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/capasso_g_ag/capitulo1.pdf)