



## SUELO REFORZADO

### APLICADO A OBRAS DE ESTRIBOS DE PUENTES Y VIADUCTOS

**André E. F. Silva** - Engenheiro MSc.  
*Gerente técnico Aplicaciones Geotécnicas - Huesker Ltda. - Brasil*

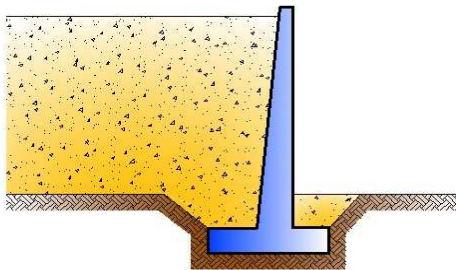
**Arturo L. Forteza** - Ingeniero Civil. Vial.  
*Asesor técnico Área de Geosintéticos - América T&S - Uruguay*

#### Introducción

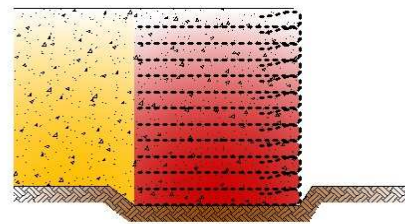
Es altamente frecuente en obras de infraestructura de transporte la necesidad de construir taludes de pendientes pronunciadas o muros de contención en lugares donde el espacio disponible para el asiento de los terraplenes es ajustado o se necesitan salvar desniveles importantes.

Tradicionalmente han sido empleados para estos fines muros de contención de gravedad o pantallas de hormigón armado. Se presenta actualmente como alternativa, aún más simple y económica, la técnica de los muros armados con suelo mecánicamente estabilizado (Mechanically Stabilized Earth - MSE). La misma consiste básicamente en la incorporación de algún elemento de refuerzo en el suelo del relleno, con el fin de obtener un material compuesto más resistente y menos deformable que el suelo aislado, que colabore en la resistencia a tracción interna por empuje de tierra y sobrecargas externas.

Se define el concepto de geo-refuerzo como la aplicación de materiales geosintéticos, constituidos por polímeros de alta tenacidad (geotextiles y geogrillas), en refuerzo de suelos. Esta solución compite con ventajas con los muros tradicionales de hormigón armado, los que debido a su alta rigidez y esbeltez no toleran asentamientos diferenciales y requieren fundaciones profundas y de alto costo. Los muros y taludes de suelo mecánicamente estabilizados se adaptan, por su elasticidad estructural intrínseca, a la utilización de prácticamente cualquier tipo de material de relleno, con fuertes pendientes (incluso vertical) y la posibilidad de apoyo sobre suelos de baja capacidad portante.



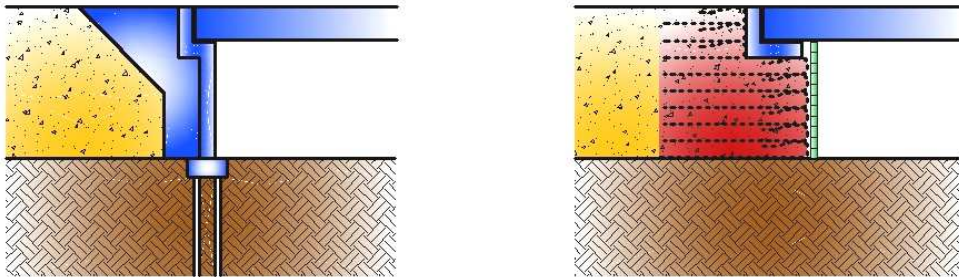
Solución tradicional



Muro reforzado con geosintéticos

Se considera la utilización de geogrillas para refuerzo de suelos en obras viales de construcción y mantenimiento de carreteras, vías férreas y aeropuertos, en estructuras de contención de terraplenes o trincheras, cuando existan restricciones en el ancho de empresa, limitaciones en la amplitud de los pies de talud, presencia de otras calzadas o estructuras próximas, en obras de duplicación de vías, rampas de intercambiadores, acceso a puentes, viaductos y pasajes a desnivel, desagües y canalizaciones, etc.

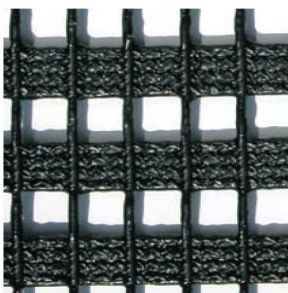
Particularmente, en los últimos años, se ha desarrollado la aplicación de muros de suelo reforzado con geogrillas en estribos de puentes, con apoyo directo del cabezal sobre su superficie, como alternativa a las estructuras tradicionales de contención frontal y muro en vuelta. Su principal ventaja consiste en que, por tratarse de una estructura flexible y deformable, se adapta muy bien a fundaciones sobre suelos blandos, incluso sujetos a sumersión. Presenta posibilidades de construcción fácil y rápida.



El paramento frontal de un MSE con geosintético puede ser terminado con una amplia variedad de opciones, como ser: revestimiento vegetal (hidrosiembra), hormigón proyectado (gunitado), paneles prefabricados, bloques autotrabantes o muro autoportante de mampostería o piedra, con total independencia estructural del relleno de contención.

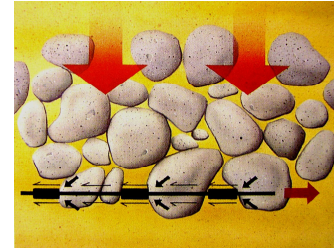
### Geogrillas

Se define una Geogrilla como un geosintético formado por una malla regular de bandas de poliéster (PET), polietileno (HDPE), polipropileno (PP), polivinil alcohol (PVA) e incluso fibras de aramida (AM), de alta tenacidad (desde 15 kN/m hasta 1000 kN/m) y baja fluencia, con estructura entrelazada o unida por extrusión y aperturas de tamaño suficiente como para lograr una trabazón efectiva con el material del relleno, piedra o suelo.



Las principales aplicaciones de las geogrietas en refuerzo de suelos se encuentran en obras de construcción y mantenimiento de carreteras, vías férreas y aeropuertos, y su uso en terraplenes sobre suelos blandos, estabilidad de taludes pronunciados, estructuras de contención y muros reforzados en general. El objetivo fundamental de la geogrieta es generar un importante incremento en la resistencia a tracción y fricción interna de la matriz del suelo, por interacción entre el agregado pétreo y el geosintético a través de sus aberturas.

La resistencia al arrancamiento de la geogrieta se produce por el efecto combinado de fricción entre la superficie de contacto de los filamentos y el suelo confinante y por trabazón de las partículas que penetran las aberturas de la grilla e impiden el deslizamiento de los miembros transversales.



### Resumen histórico

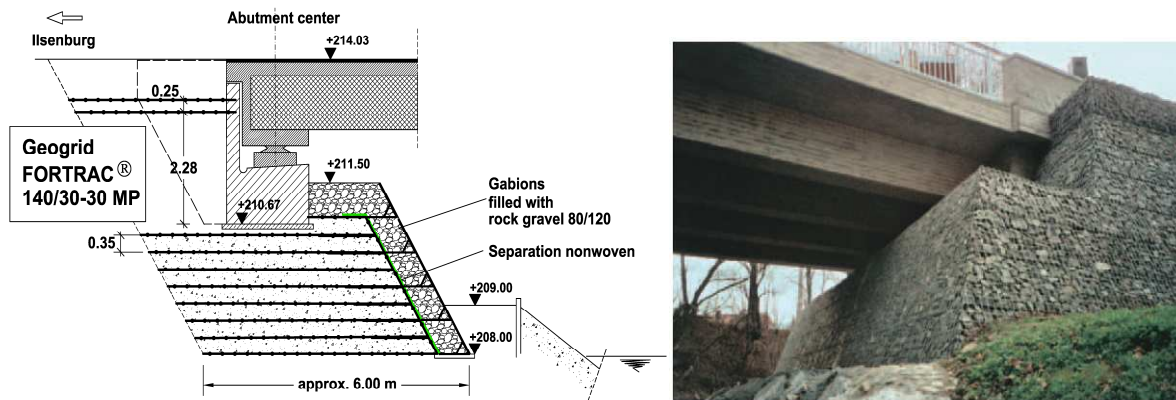
La técnica del refuerzo de rellenos sobre suelos blandos y terraplenes armados con geo-refuerzos se remonta a mediados de la década de 1970, con el desarrollo de los geotextiles no tejidos y las geogrietas. Las primeras aplicaciones específicas de suelo reforzado con geogrietas para estribos de puentes se registran desde hace unos 15 años.

Inicialmente fueron ejecutados muros de contención en las alas de los estribos, siguiendo el concepto tradicional de diseño y especificación de los refuerzos que ya se hacían antes para proyectos de terraplenes reforzados. En esa situación, básicamente la única carga actuante sobre el conjunto de refuerzos la constituía la tensión producida por empujes activos de la masa de suelo del terraplén, dado que el puente propiamente dicho era asentado sobre pilotes independientes no apoyados en el terraplén compactado. Aún así, desde el punto de vista de la condición de servicio, para que no ocurriesen desplazamientos diferenciales acentuados entre la Infra y la super-estructura en el encuentro, los refuerzos debían resistir los empujes movilizand una baja deformación.

Con la ampliación de experiencias en este tipo de soluciones y con el desarrollo de nuevos y mejores materiales de refuerzo, en los años '90 fueron concretados los primeros proyectos que aprovechan la capacidad portante de los terraplenes reforzados como apoyo directo del tablero del puente. En este caso la estructura de apoyo se proyecta con capacidad suficiente para soportar cargas verticales concentradas, con presiones del orden de 150 a 250 kN/m<sup>2</sup>, en un área limitada a menos de 2 m. de ancho, cerca de la cresta frontal del terraplén de acceso.<sup>(5)</sup> La capacidad soporte requerida es más exigente y los desplazamientos o deformaciones admitidos son mucho más limitados.







Estribo de Puente en Ilsenburg, Alemania

### Trabajos de Investigación

A principio de los 2000 dio comienzo en Coburg, Alemania un programa de investigación, desarrollado por el Prof. Pötzl, acerca del comportamiento de muros de contención en suelo reforzado en encuentros portantes de puentes.<sup>(5)</sup>

Fueron simuladas estructuras en escala real en laboratorio. Se construyeron terraplenes reforzados, de 4,5 m. de altura, en cajas de ensayo, compactados en capas de 50 cm., con una densidad relativa del orden de 95%. Los refuerzos eran constituidos por 9 capas de geogrilla Fortrac 80/30-35 M (de hilos de PVA), con 5,0 m. de longitud cada una, doblados en la cara frontal, envolviendo la propia capa de suelo. En el frente, separado unos 20 cm. del terraplén armado, se construyó un muro fijo (no estructural) simulando el acabado visual, a la vez que, desde el punto de vista pragmático para el ensayo este muro constituía la referencia fija para el monitoreo de desplazamientos horizontales.

Durante los ensayos, la estructura era cargada en ciclos de presión entre 100 hasta 250 kN/m<sup>2</sup>, sobre una viga de 1,0 m. de ancho paralela a su cresta, distante 1,0 m. de este punto, directamente apoyada sobre la masa de suelo.

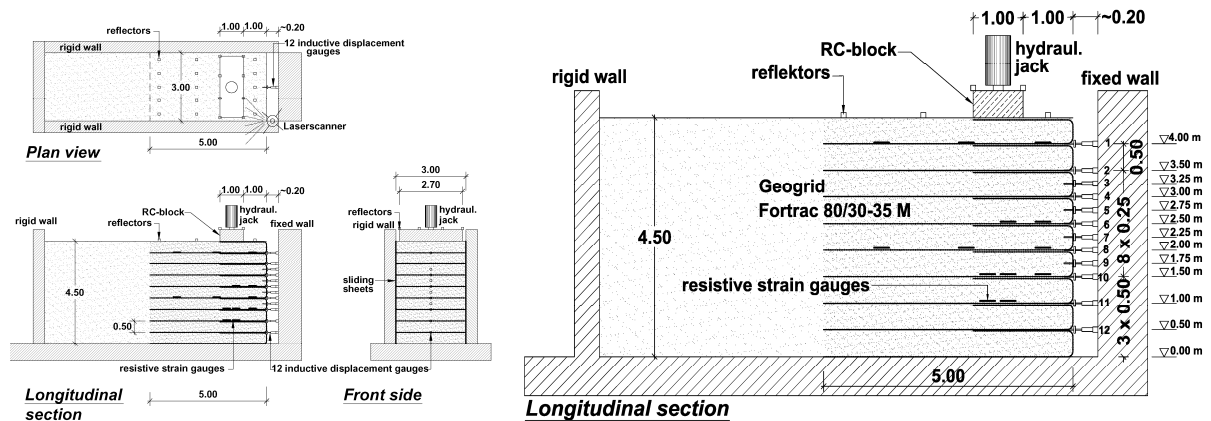
Los prototipos fueron monitoreados con dos objetivos principales:

- Análisis de la condición de servicio, por medición de desplazamientos horizontales y verticales (asentamientos) en el área cargada.
- Análisis de la condición límite, por medición de presiones resultantes sobre la estructura de suelo reforzado.

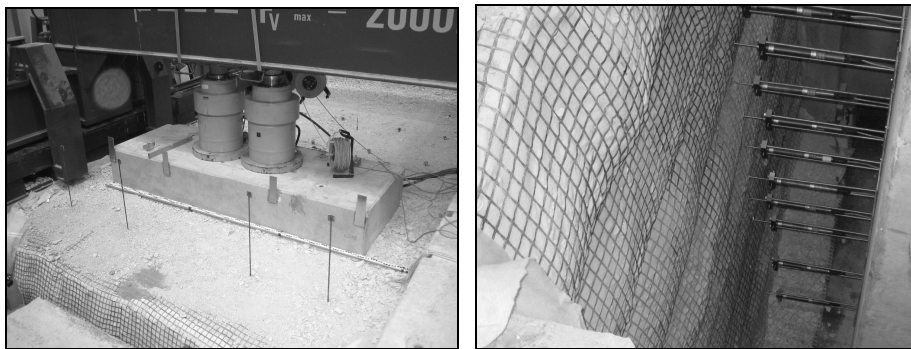
La carga vertical empleada fue medida por celdas de presión total, los asentamientos por extensómetros mecánicos, los desplazamientos horizontales por transductores de desplazamiento y las deformaciones movilizadas en las geogrillas por *strain gauges* apropiados.

Al final de la experiencia la estructura fue cargada al extremo, hasta su máximo posible, con la intención de calcular el factor de seguridad garantizado en situaciones convencionales de carga.

Las Figuras a continuación presentan, respectivamente, el esquema de montaje, el perfil tipo del prototipo, una foto detallada del sistema de carga y una foto de la cara frontal de la estructura.<sup>(5)</sup>



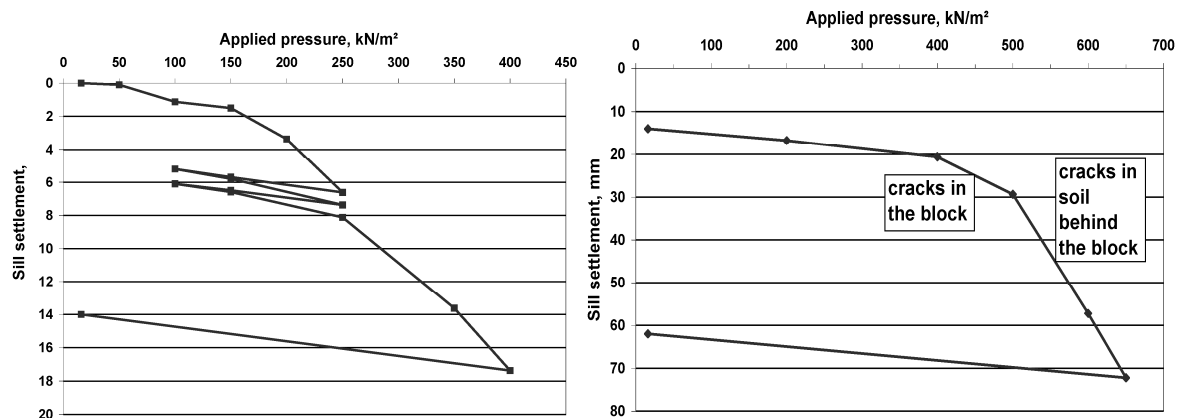
Montaje del aparato experimental y perfil tipo del prototipo.



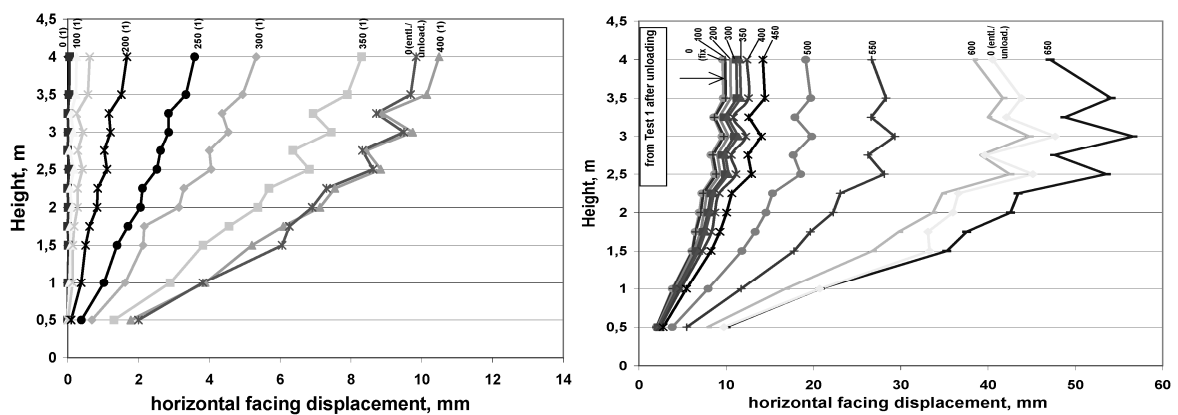
Viga de carga del prototipo y cara frontal envuelta por las geogrillas.

En primera instancia fueron empleados dos ciclos de carga, partiendo de  $100 \text{ kN/m}^2$  hasta  $250 \text{ kN/m}^2$ ; al final del segundo ciclo la presión fue llevada a los  $400 \text{ kN/m}^2$  y posteriormente el prototipo fue totalmente descargado. Se presenta en las gráficas (a) la evolución de los incrementos de carga y los asentamientos resultantes en este primer ensayo.

En un segundo ensayo, el mismo prototipo fue cargado hasta la máxima carga posible, en una tentativa de llevárselo a la rotura, lo que en definitiva no sucedió. Las gráficas (b) representan los valores medidos en este ensayo.



Asentamientos obtenidos: (a) ensayo 1, (b) ensayo 2.



Desplazamientos horizontales de la cara frontal: (a) ensayo 1, (b) ensayo 2.

En el ensayo 1, los asentamientos inicialmente medidos por el primer ciclo de carga demuestran la ocurrencia de una primera compactación de la masa de suelo, debido a que la densidad constructiva del prototipo era solamente del 95%. Luego del segundo ciclo de carga, hasta los 250 kN/m<sup>2</sup>, el paralelismo entre las curvas de descarga indica una especie de histéresis de la estructura; el asentamiento residual fue de tan sólo 2 mm. En el ensayo 2, para cargas más altas tampoco los asentamientos fueron importantes: aproximadamente 10 mm. para el doble de la carga usual (400 kN/m<sup>2</sup>) y 60 mm. para el triple de la carga (650 kN/m<sup>2</sup>) en los encuentros portantes.

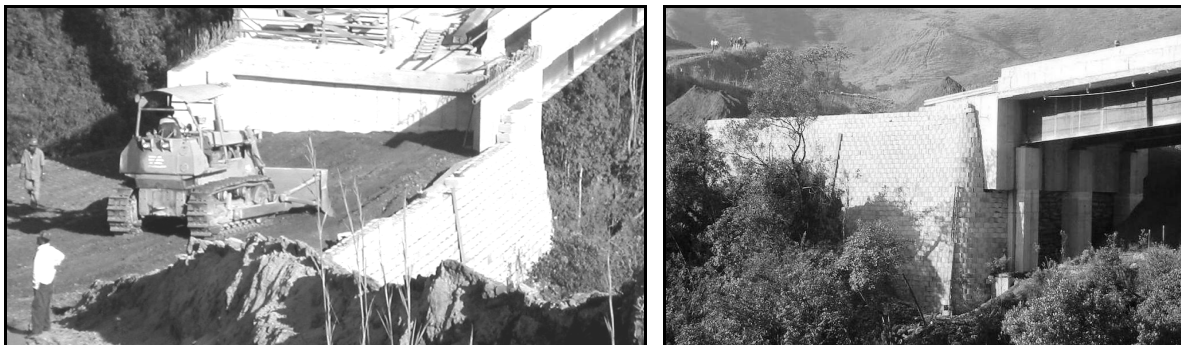
Llama la atención los resultados de medición de los desplazamientos frontales. Como consecuencia de la compactación del suelo por la aplicación del primer ciclo de carga, el desplazamiento inicial fue el más significativo. En el segundo ciclo de carga, en el ensayo 1, prácticamente no se registraron desplazamientos de la cara. Después, para el doble de la carga usual, el desplazamiento residual no pasó de los 10 mm. y para el triple, no llegó a los 45 mm. medidos en el punto de deformación máxima. Es importante destacar que este punto no coincide con la parte superior del terraplén, por efecto de la interacción de la

geogrilla de hilos de PVA, con elevado módulo de rigidez, haciendo un importante papel de confinamiento de esta parte de la estructura.

A pesar que en el ensayo 2 la intención inicial era la de exigir la estructura a la rotura, se llegó al máximo valor posible de carga sin alcanzar realmente este objetivo. A los 550 kN/m<sup>2</sup> se pudo notar una fisura detrás de la viga pero, aún así, la geogrilla trabajaba manteniendo la condición de estabilidad de la estructura. Esto se confirma en el hecho que al descargar la estructura, al final del ensayo 2, se obtuvo una recuperación de los desplazamientos del orden de los 10 mm.

### Casos de Obras

Una de las primeras obras importantes registradas en Brasil de utilización de suelo reforzado con geogrillas para estribos de puentes lo constituye el acceso a un condominio privado en la ciudad de Nova Lima, en el estado de Minas Gerais, ejecutado en el 2006.<sup>(6)</sup> La técnica constructiva utilizada fue la de suelo reforzado con geogrilla y revestimiento de bloques modulares en la cara vista. Los muros llegaban a los 8,0 m de altura con paramento prácticamente vertical. Fueron utilizadas Geogrillas Fortrac T, de 35 a 80 kN/m de resistencia a tracción, con deformación máxima del 10%. El diseño consideró criterios de deformación de trabajo limitada y de resistencia a largo plazo, de acuerdo a los requisitos de la norma BS 8006.<sup>(7)</sup> En este caso, el encuentro no era portante y la sobrecarga de utilización considerada en el diseño comprendía el equivalente al tráfico previsto. Las Figuras presentan fotos de la fase constructiva de esta obra.



Muro durante la fase constructiva y después de finalizado.

Se encuentra actualmente en obra un conjunto de muros en estribos de puentes en una de las rutas más importantes de Brasil, la Autopista Federal BR 101, en el estado de Rio Grande do Sul, principal camino de mercancías y personas entre Brasil y Uruguay. La construcción de estos muros es parte del contexto de duplicación de calzadas en este importante tramo. En total son más de 20 estribos, todos construidos con la misma técnica



de suelo reforzado con geogrilla, con bloques de cara vista (Muros Terrae®), planteados en distintas situaciones: en viaductos y pasajes en desnivel, con alturas distintas, el mayor de ellos llegando a los 12,0 m.

La opción por la aplicación en este caso de la técnica de muro reforzado, se basó en las siguientes razones:

- La posibilidad de utilizar el suelo disponible localmente, típicamente limo-arenoso.
- La flexibilidad de este proceso constructivo para adaptarse a todas las distintas situaciones geométricas de los viaductos, construidos con anticipación a los muros.
- La facilidad constructiva que ha posibilitado la ejecución de la obra sin grandes disturbios al tráfico intenso en esta ruta.
- La buena estética resultante.



Construcción de un acceso transversal a la autopista.



Construcción de un estribo en un pasaje inferior a la autopista.

También se encuentra actualmente en ejecución, en el marco del proyecto de reformulación urbana de la ciudad de Maringá, en el estado de Paraná, al sur de Brasil, una importante obra de construcción de una trinchera para aislamiento del pasaje del ferrocarril por la zona central de la ciudad, en una extensión de 3 km de vía. La trinchera tiene aproximadamente 8 m. de profundidad, dando como resultado muros de hasta 9,0 m de altura, revestidos en Muro Terrae. Han sido proyectados un total de 6 encuentros portantes, en suelo reforzado con geogrilla, para el cruce superior de calles. La estructura considera una descarga de  $200 \text{ kN/m}^2$ , en un área de 2 m. de ancho, directamente apoyada en la cresta del muro reforzado.

Con esta concepción se logra una reducción significativa en los costos de los viaductos así como también una reducción en el cronograma de obra, debido a la facilidad constructiva de la solución y el ahorro de un gran volumen de hormigón en masa.

Se presenta en la figura un perfil tipo de los viaductos portantes y de la estructura de suelo reforzado y fotos de las fases constructivas de esta obra.



Colocación de las vigas longitudinales pre-moldeadas.



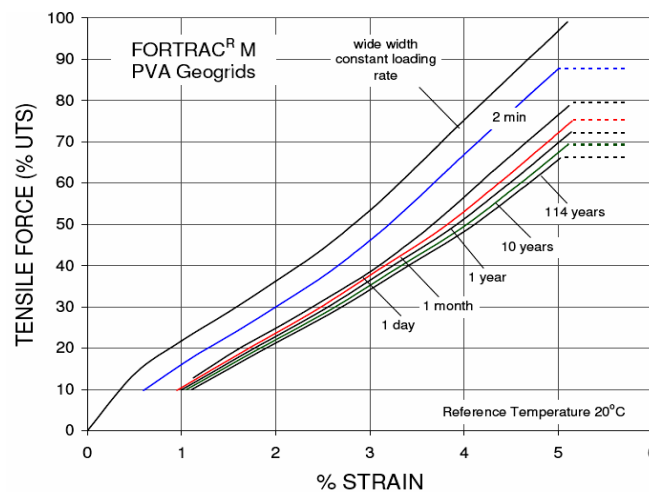
Detalle de la vigueta de apoyo sobre el muro en suelo reforzado y vista frontal del encuentro debajo del viaducto



## Aspectos de Proyecto y Constructivos

Como ya se ha expresado, una condición fundamental en este tipo de estructuras de contención y apoyo de elementos portantes, es la capacidad del refuerzo de lograr resistencia suficiente para el equilibrio sin producir deformaciones importantes, que puedan ser sensibles en la transición entre el terraplén de aproximación y el tablero. Distintas normas de proyecto (p.ej. BS 8006 - 1995) indican las máximas deformaciones de trabajo a las cuales el refuerzo debe ser especificado. Algunas no permiten deformaciones de trabajo (como referencia para la resistencia de cálculo) más altas que el 1% por parte del refuerzo en el equilibrio.

Este aspecto justifica especialmente la utilización de geogrillas de hilos de PVA (polivinil alcohol) en estructuras de contención en estribos de puentes, por ser polímeros de alta resistencia a tracción de trabajo con baja fluencia. La Figura presenta las curvas isócronas de la línea Fortrac M de geogrillas de PVA.



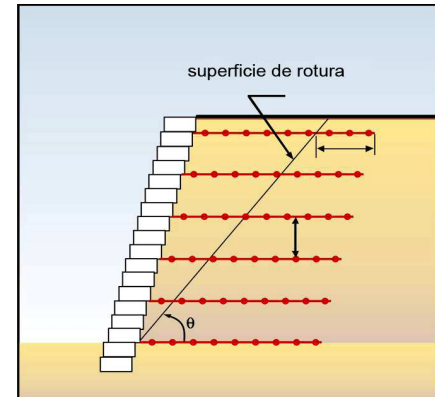
Curvas isócronas del Fortrac M, de hilos de PVA.

Se observa que las geogrillas de PVA producen deformaciones máximas de 5%, valor compatible con las deformaciones de trabajo de los suelos compactados, finos o granulares, típicamente alrededor del 2-3% o menos. Además, la deformación gradual por fluencia, representada por el desplazamiento de las distintas curvas en el gráfico, también es limitada en las grillas de PVA a lo largo de grandes periodos.

Por esta razón, para el proyecto de estructuras de contención en encuentros de puentes, se recomienda la utilización de metodologías de cálculo que dan la posibilidad de prever desplazamientos y analizar la condición de equilibrio compatibilizando las deformaciones de los distintos materiales involucrados (suelo y refuerzo). En este sentido se destaca el método de Ehrlich y Mitchell (1994)<sup>(8)</sup> que, aún siendo un método analítico, está basado en el concepto de rigidez relativa de los materiales, no de resistencia última.

## Teoría y Criterios de Dimensionado

El diseño de un muro de suelo reforzado incluye el análisis de estabilidad externa e interna. La estabilidad externa debe ser garantizada por la masa del suelo actuando como contra-peso a los empujes sobre la estructura. El diseño interno trata directamente la definición de la distribución y resistencia necesaria en los refuerzos para que la estructura se mantenga estable, aunque la cara vista sea vertical o cerca de eso.



Este análisis se determina sobre potenciales superficies de rotura que podrían resultar en el deslizamiento de la masa activa, siendo que la definición de la resistencia requerida en los refuerzos se obtiene por equilibrio de fuerzas. Existen variados métodos de análisis para este problema. Los métodos usuales de proyecto están basados en el método de equilibrio límite. El método de Ehrlich y Mitchell (1994), como se ha mencionado, trabaja el concepto de rigidez relativa suelo-refuerzo, lo que es un avance en relación con los métodos más tradicionales.

En este caso los materiales de refuerzo son geosintéticos y por eso, el primer paso, es evaluar correctamente entre los materiales disponibles, la rigidez adecuada de cada uno de ellos, ya que esto es uno de los datos de entrada al análisis.

Se define la rigidez relativa Suelo-Refuerzo ( $S_i$ ), en base al módulo de rigidez del geosintético de refuerzo ( $J$ ) y del Módulo Tangente Inicial adimensional ( $k$ ) del suelo, conforme la propuesta de Duncan et al (1980) <sup>(9)</sup>.

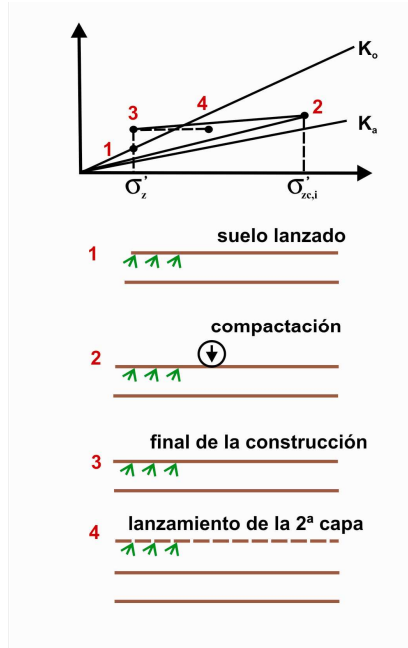
$$S_i = \frac{J}{k \times P_a \times S_v} \quad [1]$$

$$J = \frac{T_{mov}}{\varepsilon} \quad [2]$$

siendo:  $J$  = módulo de rigidez del refuerzo  
 $k$  = módulo tangente inicial del suelo  
 $P_a$  = presión atmosférica  
 $S_v$  = separación vertical entre los refuerzos  
 $T_{mov}$  = resistencia movilizada del refuerzo  
 $\varepsilon$  = deformación que moviliza  $T_{mov}$

Se presentan a continuación las ecuaciones básicas del método de Ehrlich y Mitchell (1994) <sup>(8)</sup>, en el que se considera la movilización de cargas en los refuerzos para cada etapa de construcción del terraplén reforzado, a saber: lanzamiento del suelo, compactación de cada capa y operación de la obra.





Módulo tangente inicial del suelo por el modelo hiperbólico de Duncan et al. (1980):

$$E_i = k \times P_a \times \left( \frac{\sigma_3}{P_a} \right)^n \quad [3]$$

Ecuación principal del Método Ehrlich y Mitchell (1994):

$$\frac{1}{S_i} \left( \frac{\sigma'_z}{Pa} \right)^n = \frac{(1 - v_{un}^2) [(k_r - k_{\Delta 2}) - (k_c - k_{\Delta 2}) \times OCR]}{\left( \frac{k_u}{k} \right) (k_c \times OCR - k_r) k_r^n} \quad [4]$$

siendo:

$\sigma_3 =$  tensión confinante

$\sigma'_z =$  tensión vertical en el punto de análisis

$\sigma'_{zc} =$  tensión vertical en el punto de análisis por efecto de la compactación

$OCR = \sigma'_{zc} / \sigma'_{z_i}$ ;  $OCR = 1$  si  $\sigma'_{zc} < \sigma'_z$

$k =$  módulo tangente inicial en el modelo hiperbólico (adimensional)

$k_u =$  módulo tangente inicial de descarga o recarga en el modelo hiperbólico (adimensional)

$k_0 =$  coeficiente de empuje en reposo

$k_r =$  coeficiente de empuje residual al final de la construcción

$k_c =$  coeficiente de empuje por efecto de la compactación

$k_{\Delta 2} =$  coeficiente de disminución del empuje para descarga en condición de reposo

$v_{un} =$  coeficiente de Poisson para descarga en condición de reposo

$n =$  módulo exponente en el modelo hiperbólico (adimensional)

A partir de la ecuación [4] se calcula interactivamente el coeficiente de empuje residual al final de la construcción ( $k_r$ ), a partir del cuál se puede calcular la resistencia requerida por parte del refuerzo ( $T$ ), ecuación [5]. Si este valor converge al  $T_{mov}$  considerado en la estimativa inicial de  $S_i$  (por variación del  $J$  del refuerzo), este debe ser el valor adoptado en el cálculo.

$$T = k_r \times \sigma'_z \times S_v \quad [5]$$

Para el diseño de Muros Reforzados en base al método de Ehrlich y Mitchell (1994), se dispone del software ForTerra® (Brugger et al., 2005) <sup>(10)</sup>, que realiza el análisis de estabilidad externa e interna del macizo, con muro de bloques. El software también analiza la llamada estabilidad local, que considera el riesgo de fallas en la cara del muro. Para



muros de bloques un parámetro importante a considerar es la resistencia en la conexión geogrilla-bloque.

En el caso de los estribos portantes se debe dar especial atención a la consideración de las cargas actuantes en el cálculo de diseño. Estas son en general cargas altas, concentradas cerca de la cresta del terraplén reforzado de apoyo del puente. Desde el punto de vista práctico se requieren perfiles de suelo reforzado con capas de geogrillas más resistentes, principalmente las superiores, en comparación con los terraplenes convencionales. En algunos casos se incluyen grillas actuando también detrás de la viga de apoyo del tablero, para disminución de los empujes horizontales sobre esta pieza. Desde el punto de vista constructivo no hay diferenciación entre ésta y una situación convencional de estructura de contención en suelo reforzado.

### Comentarios Finales

El trabajo presenta algunos aspectos relevantes de una solución técnica interesante para el proyecto de estribos de puentes y viaductos en suelo reforzado, con apoyo directo del cabezal del puente sobre el terraplén de acceso. Se evita, con esto, la necesidad de construir pórticos de hormigón, muros de contención tradicional y sus fundaciones.

Esta solución tiende a ser cada vez más utilizada, con las siguientes ventajas:

- Flexibilidad en los procesos constructivos, adaptándose fácilmente el tipo de estructura y su ejecución a las distintas situaciones geométricas de puentes o viaductos tradicionalmente construidos.
- Posibilidad de apoyo directo del muro-estribo sobre el suelo natural, aún con baja calidad soporte, sin necesidad de estructuras especiales de fundación o pilotes.
- Facilidad constructiva, que posibilita la ejecución de la obra sin mayores disturbios al tráfico para una ruta en operación.
- Reducción de ocupación de espacio, en el derecho de vía o cuando existan limitaciones por otras obras existentes.
- Buena estética y variadas soluciones de revestimiento.
- Costos competitivos y ahorro significativo en tiempo de ejecución.

Para el comportamiento satisfactorio de la obra de contención en suelo reforzado se presenta como esencial la adecuada selección del material de refuerzo (geogrilla). Un aspecto muy importante a observar cuando se especifica este material es que el módulo de rigidez a tracción del refuerzo trabaje adecuadamente a niveles de deformación compatibles con el suelo compactado. También importa obtener una baja susceptibilidad a la fluencia.



La disponibilidad de geogrietas de buenas características mecánicas en el mercado posibilita la idealización de proyectos desarrollados con este tipo de solución. Entre los materiales actualmente disponibles, las geogrietas de PVA se presentan como el material ideal para esta aplicación.

La posibilidad de trabajar con tecnologías específicas para el diseño de estas estructuras auto-portantes trae a la ingeniería de puentes y de suelos la ventaja de proyectar obras más baratas y de construcción más rápida. Quedan, a modo de ejemplo, algunas de las obras recientemente realizadas en Brasil, el histórico del desarrollo de esta técnica y referencias de investigación de seguimiento llevadas a cabo para el análisis de comportamiento de este tipo de estructuras.

### Referencias bibliográficas

- (1) FHWA (1998) "Geosynthetic Design and Construction Guidelines". Mechanically Stabilized Earth Retaining Walls and Abutments - *Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation*. pp. 303-336
- (2) Palmeira, E. (1999) "Solo Reforçado" - *Huesker Ltda., Brasil*
- (3) Fortrac Geogrids "Advanced construction with technical and economical advantages" - *Huesker Synthetic GmbH - Germany*
- (4) Herold, A. (2002) "The First Permanent Road-Bridge Abutment in Germany Built of Geosynthetic-Reinforced Earth" - *Proc. 7<sup>th</sup> ICG. Nice, France*. pp. 403-409.
- (5) Alexiew, D., Silva, A.E.F. (2007) "Load Tests on a 1:1 Model of a Geogrid-Reinforced Bridge Abutment" - *V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Recife, Brasil*.
- (6) Brugger, P.J. (2007) "Utilização de Muro em Solo Reforçado com Geogrelhas e Face em Blocos Segmentais para Encontro de Viaduto" - *V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos. Recife, Brasil*.
- (7) BS 8006 (1995) "Code of Practice for Strengthened and Reinforced Soils and Other Fills"- *British Standard. London, England*.
- (8) Ehrlich, M., Mitchell, J. K. (1994) "Working Stress Design Method For Reinforced Soil Walls" - *Journal of Geotechnical Engineering. ASCE*. Vol. 120, No. 4, pp. 625-647.
- (9) Duncan, J.M., Byrne, P., Wong, K.S. y Mabry, P. (1980) "Strength, stress-strain and bulk modulus parameters for finite element analyses of stresses and movements in soil masses" - *Geotechnical Eng. Res. - Rep.Nº UCB/GT/80-01, University of California, USA*
- (10) Brugger, P.J., Silva, A.E.F., Furtado, D.C. y Saramago, R.P. (2005) "ForTerraes – Programa para o Dimensionamento e o Detalhamento de Muros de Contenção e Blocos Segmentais." - *Infogeo 2005, Belo Horizonte, Brasil*.