

Título:

RECIENTES DESARROLLOS EN GEOGRILLAS PARA REFUERZO DE SUELOS

Autores:

André Estêvão F. da Silva – Huesker Ltda, andre@huesker.com.br

Flávio Teixeira Montez – Huesker Ltda, huesker@huesker.com.br

Carlos Alberto Rodríguez – Coripa S.A., car@coripa.com.ar

Resumen:

En proyectos de muros y taludes, terraplenes sobre suelos blandos, terraplenes ferroviarios y viales, y infraestructura civil, así como de pavimentación que incluyan refuerzos con geosintéticos, debe tenerse siempre en cuenta los parámetros de comportamiento mecánico de tales materiales. Parámetros de módulo de largo plazo (resistencia de largo plazo a niveles de deformación compatibles) y de interacción del material de refuerzo con el medio confinante (adherencia e interacción) son características de las geogrillas siempre relevantes en cualquiera de las nombradas aplicaciones.

Diversos factores definen e influyen en los parámetros característicos de los materiales poliméricos. Entre ellos podemos citar como principales: la materia prima, el proceso de fabricación y la estructura física del material. Este trabajo tiene como objetivo discutir tales aspectos, definir los parámetros relevantes de los materiales aplicados como refuerzo de obras geotécnicas y la influencia de los diversos factores sobre los citados parámetros. Se presentan los recientes desarrollos de la industria de geosintéticos para refuerzo de suelo, incluidas las geogrillas con resistencia de hasta 1.600 kN/m y módulos de rigidez que superan los 30.000kN/m, además de las aplicaciones de proyectos desarrollados en ambientes de alta agresividad química.

Abstract:

In projects of walls and slopes, embankments on soft soils, railway and road embankments and civil infrastructure in general, as well as of paving works that include geosynthetic reinforcements, it is always important the consideration of the parameters of mechanical behavior of such materials. Parameters like long term modulus (long term tensile strength at compatible strain levels) and interaction between the reinforcement material and the confining material (adhesion and interaction) are remarkable characteristics of geogrids in each of those applications.

Many factors define and influence the characteristic parameters of the polymeric materials. Some of them may be distinguished: raw material, manufacture process and physical structure of the product. This work aims to discuss such aspects, pointing which are the relevant geosynthetic parameters as reinforcement materials in each application and the influence of some factors on the mentioned parameters. Recent developments of the geosynthetic industry in the reinforcement segment are presented, including geogrids with tensile strength up to 1,600 kN/m and stiffness modulus greater than 30,000 kN/m, as well as projects involving chemically aggressive environments.

Palabras clave: geosintéticos, parámetros mecánicos, refuerzo, terraplenes.

1. GEOGRILLAS: DEFINICIÓN E HISTORIA

La norma brasileña de terminología (NBR 15553 2002) define a la geogrilla como un elemento cuya principal función es la de refuerzo, y que cuenta con una estructura en forma de grilla con aberturas que le permiten interactuar con el medio en la cual se encuentra confinada.

Básicamente existen dos tipos de geogrilla disponibles en el mercado mundial: las geogrillas extrudidas, cuya fabricación, como su nombre lo indica, consiste en un proceso de extrusión del film plástico con estiramiento en una o en dos direcciones a fin de mejorar sus características mecánicas, y las geogrillas tejidas (que incluyen las tricotadas), cuyo proceso de fabricación es esencialmente textil a partir de filamentos de polímeros con características mecánicas controladas.

Según Koerner (1998) las geogrillas pasaron a tener proyección comercial y fabricación en escala industrial a partir del inicio de la década de 1980, primero en Europa. El desarrollo de ambos los tipos, las extrudidas y tejidas, ocurrió prácticamente en paralelo, impulsado principalmente por fabricantes con destacada actuación en el mercado de geosintéticos.

En diversas situaciones de obras geotécnicas donde actúan como materiales de refuerzo del suelo, las geogrillas trabajan sobre dos mecanismos de funcionamiento: desarrollo de la resistencia a la tracción (definida por una curva característica propia versus deformación específica unidireccional) y anclaje al medio confinante definido por su capacidad de interacción con el medio donde esta insertada y la presión que este ejerce sobre ella).

De esta forma, se identifican dos líneas de propiedades que tienen fundamentalmente importancia para el buen desempeño de las geogrillas:

- Propiedades mecánicas: resistencia a la tracción y deformabilidad (parámetros que definen el módulo de rigidez a la tracción); en este caso, para el buen desempeño como refuerzo de suelo, una geogrilla debe presentar, por parte de sus miembros traccionados, capacidad de desarrollo de valores de resistencia a la tracción elevados sin pérdida significativa de esta propiedad ante solicitación duradera, a niveles limitados de deformación.
- Propiedades de interacción con el medio confinante: definen este parámetro los llamados coeficientes de interacción y de deslizamiento; valores elevados para estos coeficientes, unido a una condición estable de su estructura física (resistencia de los miembros de anclaje y de los nodos), confieren una buena capacidad de anclaje de la geogrilla en el suelo que la confina.

La Fig. 1 presenta esquemáticamente los mecanismos de movilización de las propiedades de una geogrilla.

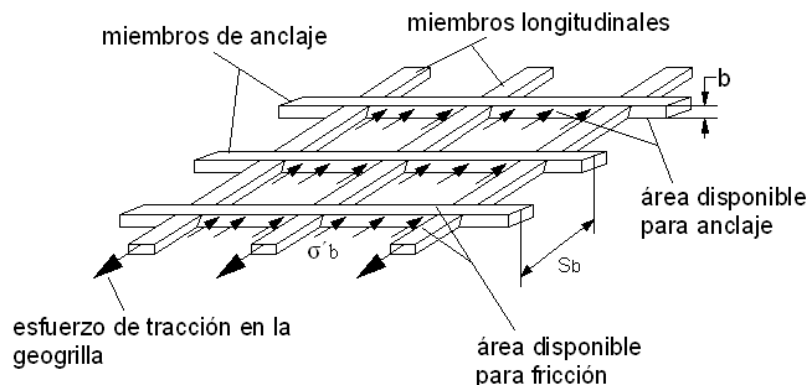


Figura 1. Esquematación de una geogrilla, con detalles para aspectos físicos y mecanismos de movilización (Palmeira, 1999).

2. GEOGRILLAS: PROPIEDADES Y PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

Los parámetros que definen el buen desempeño de las geogrillas lo hacen a partir de algunas características del material en sí, y por condicionantes de fabricación (Silva y Montez 2003).

Un condicionante de fabricación es exactamente el proceso de fabricación que clasifica las geogrillas en extrudidas o tejidas. Pero con el alto nivel tecnológico actualmente empleado en la producción, no se observa ninguna diferencia entre materiales de buena calidad en relación al proceso de fabricación.

Uno de los factores de mayor importancia en la diferenciación entre geogrillas es la materia prima a partir de la cual cada producto se fabrica. Los polímeros más comúnmente empleados en la fabricación son (Silva 2003): polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (PEAD) y poliéster (PET).

Las geogrillas extrudidas se fabrican exclusivamente a partir de film de polipropileno o de polietileno. Las tejidas son comúnmente fabricadas a partir de hilos o filamentos de poliéster, y en menor escala, de polipropileno.

Dos son los aspectos mas importantes en la diferenciación entre las distintas materias primas (Jones 1985, Koerner 1998):

- Susceptibilidad a agentes químicos y ambientales: las poliolefinas (PP y PEAD), en general, presentan menos resistencia a la oxidación y a altas temperaturas a la exposición a los rayos ultravioletas; mientras que el poliéster muestra una gran vulnerabilidad a la degradación en medios excesivamente alcalinos, así como a la hidrólisis (FHWA 1999).
- Fluencia: las poliolefinas presentan mucho mayor susceptibilidad a la fluencia (deformación continua bajo sollicitación permanente) que el poliéster, consecuentemente, su pérdida de resistencia es mucho más importante en obras donde el refuerzo se encuentra sometido a una sollicitación permanente a largo plazo. La Fig. 2 presenta comparativamente la pérdida de resistencia a la tracción por fluencia a largo plazo de geogrillas de poliolefinas y de poliéster cuando son sometidas a sollicitaciones permanentes.

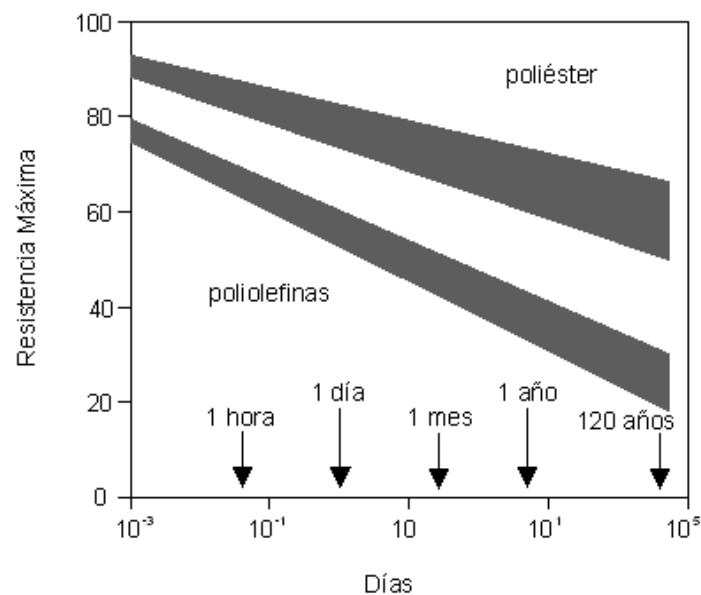


Figura 2. Ilustración de curvas de resistencia de referencia de geosintéticos de poliéster (PET) y de poliolefinas (PE y PP) (Castro *et al.* 2003)

Más recientemente, otros dos polímeros vienen siendo aplicados en la fabricación en pequeña escala de geogrillas especiales: poliamida aromática (ARAMIDA) y polivinil alcohol (PVA).

3. NUEVAS MATERIAS PRIMAS: NUEVAS GEOGRILLAS

Por impulso del desarrollo tecnológico, de los avances en las metodologías de cálculo y de los crecientes desafíos de la ingeniería, constantemente se ha promovido la búsqueda de geogrillas de más alta resistencia, con mayor módulo de rigidez y superior resistencia química.

Dos polímeros, la ARAMIDA y el PVA, vienen siendo utilizados en la fabricación de geogrillas, normalmente con especificaciones técnicas exclusivas (o fuera de la línea estándar de producción) para el empleo de determinados proyectos donde estos productos se justifican por sus características (Alexiew *et al.* 2000). Ambos presentan propiedades mecánicas superiores a los polímeros tradicionales, debido a que se tratan de polímeros que posibilitan la fabricación de filamentos de mayor tenacidad, alcanzan elevada resistencia a la tracción y presentan niveles de deformación en rotura más bajos.

La Fig. 3 presenta las curvas resistencia - deformación para ensayos de corto plazo (conforme NBR 12.824 1993) para geogrillas Fortrac fabricadas por Huesker a partir de cuatro diferentes materias primas.

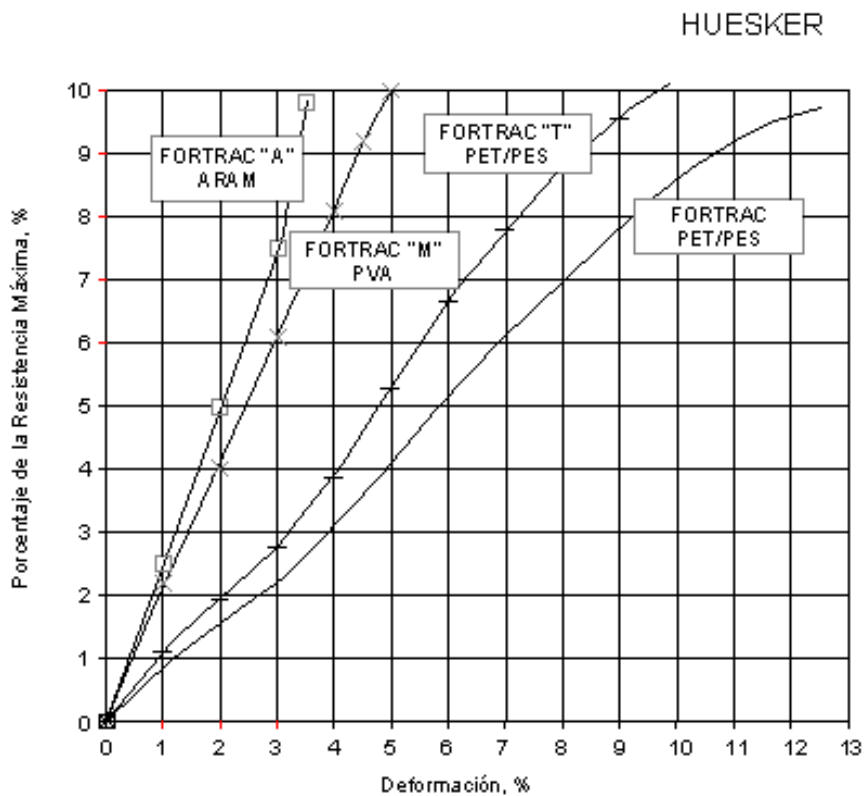


Figura 3. Curvas resistencia - deformación de cuatro geogrillas tejidas de distintos polímeros.

Como se presenta claramente en la Figura 3, si se comparan productos de la misma resistencia nominal, las geogrillas de PVA y de ARAMIDA presentan valores de módulo de rigidez en rotura superiores a los de las geogrillas fabricadas a partir de filamentos de PET.

En lo referente a los parámetros de resistencia a largo plazo, se puede decir que los comportamientos de las geogrillas de PVA y de ARAMIDA se asemejan bastante a las del poliéster.

Estos tres polímeros poseen grados de susceptibilidad a fluencia y solicitaciones ambientales (temperatura y UV) muy similares (Lothspeich y Thornton 2000).

Otro aspecto interesante en el caso del PVA, es la elevada resistencia de este polímero a solicitaciones químicas. A diferencia de otros polímeros, el PVA presenta una elevada estabilidad y durabilidad aún en ambientes excesivamente alcalinos.

4. NUEVOS CONCEPTOS DE PROYECTO

La llegada de geogrillas de mayor módulo viene al encuentro de otra tendencia actual de la ingeniería geotécnica mundial: análisis y dimensionamiento por performance, al contrario del tradicional concepto de análisis por equilibrio límite. El exceso de conservadorismo (en la mayoría de los métodos tradicionales) así como la falta de respuestas a cuestiones tales como deformaciones y comportamiento de las estructuras justifican esta afirmación (Bathurst *et al.* 2004).

Las aplicaciones más comunes de la geogrilla como refuerzo de suelos, tienen como metodología de análisis y dimensionamiento más consagrada y utilizada la basada en conceptos de equilibrio límite, donde el refuerzo es dimensionado para trabajar en su punto de rotura, como así también el suelo. Tales métodos fallan, principalmente en lo referente al aspecto de compatibilidad de deformaciones, y, un análisis efectuado en base a tal concepto no ofrece nada en términos de previsión de comportamiento de la estructura (Han *et al.* 2002).

La primera alternativa en el sentido de minimizar las limitaciones de análisis por equilibrio límite consiste en el concepto de análisis de las condiciones de servicio de la estructura. Se trata todavía de un análisis por equilibrio límite, pero efectuado para una condición de deformación limitada de los materiales (en este caso, fundamentalmente, suelo y refuerzo). Diversos países ya adoptan este concepto en sus normas y recomendaciones de análisis. Para citar dos ejemplos, esta el caso de la Norma Inglesa para Análisis de Estructuras Geotécnicas Reforzadas (BS 8006 1995) y el Manual Americano para el Dimensionamiento de Muros de Contención en Terraplenes Reforzados con cara vista de Bloques (NCMA 1997).

Actualmente, para algunas aplicaciones, existen propuestas de métodos ampliamente utilizados para el dimensionamiento de las geogrillas como refuerzo de suelo que, a pesar de incluir el análisis de equilibrio, esencialmente ofrecen respuestas para previsión de desempeño (cálculo de deformaciones y de desvíos). Corresponden, por ejemplo, a los métodos de Hewlett y Randolph (1998) para el dimensionamiento de refuerzos de terraplenes sobre pilotes y de Giroud *et al.* (2000) para dimensionamiento de geogrillas para refuerzo de base de terraplenes en áreas sometidas a la aparición de cárcavas.

Más recientemente, se han propuesto métodos de dimensionamiento analíticos basados en el módulo de rigidez de los materiales, más que en la resistencia. En Brasil, ya se utiliza para el dimensionamiento de estructuras en suelo reforzado para composición de muros de contención, el método de Ehrlich e Mitchel (1994) que se basa en esta filosofía. La Ecuación 1 representa la principal del referido método.

$$S_i = \frac{E_r A_r}{k P_a S_v S_h} \quad (1)$$

Por la Ecuación 1 se obtiene la llamada rigidez relativa entre suelo y refuerzo (S_i) en una estructura de suelo reforzado. El factor del numerador E_r (módulo de elasticidad del refuerzo) y A_r (área del corte transversal del refuerzo) se traduce por el módulo de rigidez del refuerzo (J). Los otros parámetros son: k , módulo tangente inicial del suelo, P_a , presión atmosférica, S_v y S_h , respectivamente, las separaciones vertical y horizontal entre capas de refuerzo.

En publicaciones recientes Bathurst *et al.* (2004) también presenta la propuesta del método de análisis para la estabilidad y dimensionamiento de muros de contención en suelo reforzado cuyo parámetro de entrada de materiales es el módulo de rigidez. La Ecuación 2 representa la central del método de cálculo propuesto.

$$T_{\max}^i = \frac{1}{2}k\gamma(H + S)S_v^i D_{t\max} \Theta_g \Theta_{local} \Theta_{fs} \Theta_{fb} \quad (2)$$

Por la Ecuación 2 se obtiene la resistencia nominal necesaria de una capa “i” de refuerzo (T_{\max}^i) en una estructura de suelo reforzado. Este parámetro se obtiene por el módulo de rigidez (J) de los refuerzos disponibles, lo que está embutido en los parámetros Θ_g y Θ_{local} . Los demás adimensionales (Θ_{fs} y Θ_{fb}) se refieren al tipo de elemento utilizado como paramento frontal. K es el coeficiente de empuje lateral y γ es el peso específico del suelo. H es la altura total de la estructura, S se refiere a la sobrecarga, S_v es la distancia vertical entre refuerzos y $D_{t\max}$ se refiere a un factor relativo de distribución de esfuerzos entre capas de refuerzo.

Al mismo tiempo, cada vez se utilizan más las herramientas de análisis basadas en principios de diferencias finitas y elementos finitos, que no sólo traen respuesta a las condiciones de estabilidad de las estructuras, sino también a los comportamientos y desempeño. También en estos casos, más importante que la resistencia de los materiales y la rigidez de estos.

El análisis por tales herramientas, y el dimensionado de las geogrietas basados en los resultados de los mismos, posibilita, en general, optimización de proyectos utilizando geogrietas de mayor módulo. Lo anterior ha sido de gran importancia para el impulso de la búsqueda para nuevos polímeros para la fabricación de geogrietas.

5. CASOS DE OBRAS RECIENTES

Amigot (2002) describe tres obras alemanas, con terraplenes altos de hasta 25m en algunos casos y taludes de elevada pendiente, donde se utilizaron materiales reciclados de alta agresividad para la ejecución de los mismos (residuos de construcción civil o suelo cal, ambos con pH elevado), lo que impulsó a la opción de geogrietas de PVA como refuerzo para su estabilización.

Asimismo se han ejecutado diferentes obras en diversos países a partir de la década de 1990, donde fueron utilizadas las geogrietas de ARAMIDA o de PVA a fin de permitir proyectos ejecutables y económicos. Dentro de las mismas pueden citarse:

- En Inglaterra, la ejecución de un terraplén elevado para el acceso a un puente exigió la utilización de geogrietas de PVA con resistencia nominal de hasta 1.600kN/m (Wood *et al.* 2004).
- En los Estados Unidos, ha sido cada vez más frecuente la utilización de geogrietas de PVA en la ejecución de muros de contención reforzados con cara vista de bloques (denominados muros segmentados), especialmente para garantizar menores niveles de desvío de la cara en obras de mayor porte.
- En Brasil, existen casos de utilización de geogrietas de PVA con gran resistencia a sollicitaciones químicas, especialmente en obras de elevación de barrancas y de recuperación de áreas llenas de residuos de alta alcalinidad.

En las próximas líneas ilustrase un proyecto con todos los aspectos acá discutidos: la necesidad de nuevas materias-primas para la fabricación de materiales de refuerzo más resistentes y más resistentes, así como herramientas metodológicas más sofisticadas de diseño para aplicación en un grande proyecto.

En Alemania, la implantación de un área de cruce de vías férreas exigió el uso de geogrillas de ARAMIDA con 1200 kN/m de resistencia nominal, para refuerzo bidireccional de terraplenes construidos sobre terrenos sujetos a asentamientos (Leitner *et al.* 2002). Trata-se del proyecto denominado Groebers, que tendría la finalidad de constituirse como un área de transposición de líneas férreas.

Por distintas razones, para la implantación de la obra se eligió una región dónde en el pasado había actividad de minería, por esto, muy sujeta a asentamientos y colapsos de tierra. Con el objetivo de mantenerse la actividad de las líneas mismo cuando de la ocurrencia de desmontes localizados (la estimativa era por potenciales huecos de hasta 4m de diámetro) fue hecho un proyecto de balastro cementado estructurado con geogrillas de alta rigidez, coligada a un sistema de alarma. El sistema tendría la finalidad de alarme la ocurrencia de hueco y soportar la carga del terraplén sobre el mismo hasta la manutención (inyección de cemento) fuera terminada. El período de proyecto para cada manutención fue establecida como 1 mes. En este período, la deformación relativa sentida por la ferrovía no podría exceder a 3,0mm en 1.500m de distancia entre líneas. La Figura 4 ilustra el perfil típico del sistema proyectado.

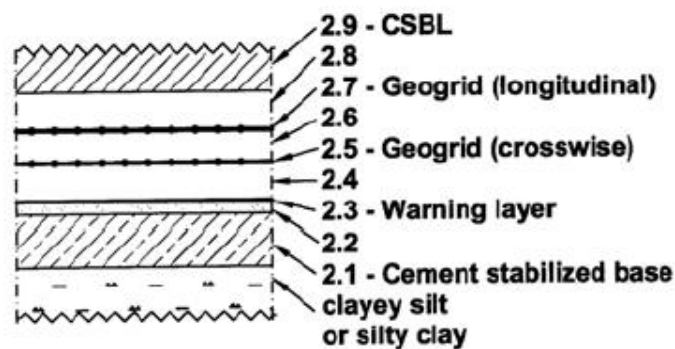


Figura 4. Perfil típico del sistema de base del terraplén del proyecto Groebers (Leitner *et al.* 2002).

En la Figura 4, desde abajo para arriba se puede describir:

- ✓ Camada 2.1: base de suelo estabilizada con cemento.
- ✓ Camada 2.2: 0,10m de piedra para nivelación.
- ✓ Camada 2.3: sistema de alarma compuesto por una trama de hilos eléctricos construida sobre un no tejido.
- ✓ Camada 2.4: sobrecarga del sistema de alarma (0,3m).
- ✓ Camada 2.5: primera capa de geogrilla (Fortrac R 1200/100-10 AM), en el sentido transversal al eje de la obra.
- ✓ Camada 2.6: piedra de separación de las dos capas de geogrilla (0,25m).
- ✓ Camada 2.7: Segunda capa de geogrilla (Fortrac R 1200/100-10 AM), en el sentido longitudinal al eje de la obra.
- ✓ Camada 2.8: 0,3m de una camada de material granular.
- ✓ Camada 2.9: camada rígida de soporte de las cargas verticales (composición de suelo y suelo estabilizado con cemento).

La tabla 1 presenta la especificación de la geogrilla utilizada, el Fortrac R 1200/100-10 AM.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de la geogrilla utilizada en el proyecto Groebers.

Propiedad	Sentido	Valor
Materia-prima	longitudinal	ARAMIDA
	transversal	PVA
Resistencia nominal (máxima)	longitudinal	≥ 1.200 kN/m
	transversal	≥ 100 kN/m
Deformación nominal (rotura)	longitudinal	$2,5 \% \pm 0,5\%$
	transversal	$5,0 \% \pm 1,0\%$
Resistencia de proyecto	longitudinal	≥ 500 kN/m @ 1,7% def.
Deformación por fluencia (1 mes de carga)	longitudinal	$\leq 0,5\%$
Aumento de la deformación elástica por 10^5 ciclos de cargamento (500±100 kNm)	longitudinal	$\leq 0,2\%$
Apertura de malla	ambos	≥ 10 mm

Basicamente, el diseño de la geogrilla, así como de todo el sistema, fue hecho con base en cálculos y estudios por herramientas de análisis por principios de elementos finitos. La ejecución se dió entre los años de 2001 y 2002, y fue precedida por la inyección de cemento en los huecos previamente detectados. Hasta el momento no hay reporte de que haya ocurrido la apertura de huecos en el presente período de servicio, sino que durante la ejecución de la obra algunos casos ocurrieron (hasta accidentes con equipos) y que fueran prontamente corregidos.

6. COMENTARIOS FINALES

El avance tecnológico ha permitido, actualmente, proyectar obras geotécnicas previendo el uso de geogrillas con niveles de resistencia superiores a 1.500 kN/m y módulo de rigidez superiores a 30.000 kN/m. Y el desarrollo de las metodologías de cálculo más usadas y confiables, ha colaborado bastante con el uso de estos materiales de alto desempeño.

Se destaca en este proceso la llegada de nuevas materias primas utilizadas en la fabricación de geogrillas, la ARAMIDA y el PVA, permitiendo de esta forma no sólo nuevas soluciones para los desafíos de la ingeniería, sino la enorme ampliación del campo de aplicación de geogrillas en el ámbito de las obras geotécnicas y de infraestructura. Justifican esta tendencia, dos aspectos importantes:

- Geogrillas de menor deformabilidad ofrecen a la estructura una mejor condición de servicio.
- Las características de los nuevos polímeros utilizados en la fabricación de geogrillas ha permitido considerar el uso de tales materiales en determinados proyectos a costa de otras soluciones, ya sea por consideraciones técnicas o económicas.

Las geogrillas son ciertamente hoy en día, uno de los geosintéticos para los cuales se han realizado mayores inversiones en su desarrollo, aplicabilidad y tecnología de producción. Diversos fabricantes e investigadores en varias partes del mundo han trabajado en este sentido, lo que también ha redundado significativamente en el desarrollo y la calidad de los productos. Así como el trabajo de los investigadores y de los profesionales de proyecto ha colaborado mucho en el rápido desarrollo de los conceptos, de las técnicas y de las herramientas de análisis y de proyecto.

La utilización de los nuevos polímeros en la fabricación de geogrillas tiene un importante papel en este proceso.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXIEW, D, SOBOLEWSKI, J., POHLMANN, H. 2000. Projects and optimized engineering with geogrids from “non-usual” polymers. En: A. Cancelli, D. Cazuffi, C. Soccodato (eds) Proceedings of 2nd European Geosynthetics Conference, Bologna, Italy, pp. 239-244.
- AMIGOT, I., 2002. Geomallas de alta durabilidad en ambientes agresivos. IngeoPress, No. 111, España.
- BATHURST, R. J., ALLEN, T., WALTERS, D., 2004. Reinforcement loads in geosynthetic walls and the case for a new working stress design method. En: R. Floss, G. Bräu, M. Nußbaumer, K. Laackmann (eds) 3th European Conference on Geosynthetics (Eurogeo 3), Munich, Germany, vol. 1, pp. 19-32.
- BS 8006., 1995. Code of practice for strengthened / reinforced soils and other fills. British Standard, Gran Bretaña.
- CASTRO, G. R., ABRAMENTO, M., CAMPOS, S. J. A. M., 2003. Estabilidade no Curto e Longo Prazo de Aterros sobre Solos Moles Reforçados com Geossintéticos. In: IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Porto Alegre.
- EHRlich, M. e MITCHELL, J. K., 1994. Working stress design method for reinforced soil walls. J. Geot. Engrg. (12) 4, pp 625-645.
- FHWA, 1999. Testing Protocols for Oxidation and Hydrolysis of Geosynthetics, Federal Highway Administration – US Department of Transportation, Georgetown, USA, July.
- GIROUD, J. P.; BONAPARTE, R.; BEECH, J. F. & GROSS B. A., 2000. Design of Soil-Layer-Geosynthetic Systems Overlying Voids. Geotextiles and Geomembranes 9, Elsevier Science Publishers, London, pp. 11-50.
- HAN J., LESHCHINSKY, D., SHAO, Y., 2002. Influence of tensile stiffness of geosynthetic reinforcements on performance of reinforced slopes, En: P. Delmas, J. P. Giroud, H. Girard (eds) 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, France, pp. 197-200.
- HEWLETT W.J., RANDOLPH M.F., 1988. Analysis of piled embankments. Ground Engineering, Vol. 21, No. 3. April
- JONES C. J. F. P, 1985. Earth Reinforcement and Soil Structures, Butterworths, London.
- KOERNER, R. M., 1998. Designing with geosynthetics. 4^a Edição, Prentice Hall, New Jersey, USA
- LEITNER, B., SOBOLEWSKI, J., AST, W., HANGEN, H., 2002. A geosynthetic overbridging system in the base of a railway embankment located on area prone to subsidence at Groebers: construction experience. En: P. Delmas, J. P. Giroud, H. Girard (eds) 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, France, vol. 1, pp 349-354.
- LOTHSPEICH, S. E., THORNTON, J. S., 2000. Comparison of Different Long Term Reduction Factors for Geosynthetic Reinforcing Materials. En: A. Cancelli, D. Cazuffi, C. Soccodato (eds) 2th European Conference on Geosynthetics, Bologna, Italia.
- NBR 12824., 1993. Geotêxteis – Determinação da resistência à tração não-confinada: Ensaio de tração de faixa larga. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- NBR 12553., 2002. Geossintéticos: Terminologia (revisão da norma). Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- PALMEIRA, E. M., 1999. Aspectos relacionados à interação solos-geossintéticos. En: III Simpósio Brasileiro De Geossintéticos E I Simpósio Sul-Americano De Geossintéticos, Rio de Janeiro, vol. 1, p. 83-90.
- SILVA, A. E. F., MONTEZ, F. T., 2003. Aterros Reforçados: Parâmetros de Projeto Relevantes da Geogrelha. En: E. Azambuja, F. B. Martins (eds) IV Simpósio Brasileiro de Geossintéticos, Porto Alegre, CDROOM.
- SILVA, A. E. F., 2003. Análise de Estabilidade à Ruptura Global de Aterros sobre Solos Moles Reforçados com Geossintéticos Considerando os Efeitos do Tempo. Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

WOOD, H., HORGAN, G., PEDLEY, M., 2004. A63 Selby Bypass – Design and construction of a 1.6km geosynthetic reinforced piled embankment. En: R. Floss, G. Bräu, M. Nußbaumer, K. Laackmann (eds) 3rd European Conference on Geosynthetics, Munich, Germany, pp. 299-304.