

## Geosintéticos en Parques Eólicos – Estudio de Caso 10MW

Santiago Mullin / Leonardo Abreu / Arturo Forteza

Project Manager – Ventus Energia

Director – Insuelos

Especialista – America Tecnologia

Montevideo, Uruguay

[smullin@ventus.com.uy](mailto:smullin@ventus.com.uy)

[labreu@insuelos.com](mailto:labreu@insuelos.com)

[aforteza@adinet.com.uy](mailto:aforteza@adinet.com.uy)

### INTRODUCCION

Uruguay es un país que se encuentra en pleno desarrollo en materia energética, y una de las fuentes principales en crecimiento es la energía eólica.

Uruguay ha pasado de tener instalados menos 50MW a más de 500MW en menos de dos años, y se espera que supere los mil en menos de tres años.

El objetivo fijado es tener del orden de los 1500MW operativos en 2016.

La potencia instalada en Uruguay previo a este incremento en la eólica instalada era del orden de los 2500MW, siendo su consumo medio anual de unos 1000/1100 MWh/y.

Uruguay es un país que tiene unos 176.215 km<sup>2</sup> de superficie y una población cercana a los 3:300.000 habitantes.

En consecuencia, se espera para el 2016 disponer el equivalente de 8.5kW instalados, por km<sup>2</sup> en Uruguay, o 0,45 kW/hab.

Este desarrollo ha tenido como consecuencia, la necesidad de explorar nuevos emplazamientos, cuyas condiciones de terreno suelen requerir de soluciones no tradicionales a los efectos de viabilizar las inversiones y dar cumplimientos a plazos estrictos asumidos en los contratos.

### RESUMEN

La búsqueda de nuevos emplazamientos que permitan instalar parques eólicos en lugares con buena acceso a red, en forma rápida y eficiente, pero con condiciones en materia geotécnica no tan propicias, ha requerido la búsqueda de soluciones técnicas alternativas a las tradicionales.

El presente trabajo refiere a la implementación del Geotextil Huesker 55/55 y la Geogrilla Fortrac J400 en un emplazamiento de muy baja capacidad portante del suelo, condiciones geotécnicas desfavorables y una muy costosa disponibilidad de material para caminos y plataformas (balasto / zahorra).

## DESARROLLO

El parque eólico 18 de Julio, ubicado próximo a la Localidad de 18 de Julio, en Rocha, Uruguay, cercano al zona del Chuy, consta de 5 aerogeneradores Vestas modelo V100 de 95m de altura.

El parque se encuentra ubicado en una zona de explotación arrojera, donde los terrenos son inundados a los efectos de la explotación agrícola de los mismos.

El terreno tiene un espesor de materia orgánica o suelo vegetal, entre los 80cm y 100cm. El CBR de este material se ubica entre 0.5% y 1%, siendo que a 1m de profundidad el mismo asciende a un valor entre 3 y 5%.

Como se desprende de estos valores, a los efectos de la construcción de caminos y plataformas apropiadas para la construcción de parques eólicos, podrían requerir en el caso de soluciones tradicionales, caminos de más de 1m de espesor, y una remoción de capa vegetal de 1m. Esto implicaría la remoción de unos 10m<sup>3</sup>/ml de suelo vegetal aproximadamente y el aporte de unos 7m<sup>3</sup>/ml de zahorra.

Debido a los condiciones geológicas del emplazamiento es previsible que no se dispongan canteras en la cercanía. La cantera de zahorra más cercana, cuyo material dispone de un CBR mayor o igual a 60%, se ubica a unos 45-50km de distancia del parque eólico. Esto hace que la zahorra aportada sea extremadamente cara.

El parque tenía prevista la construcción de 2km de caminería y 5 plataformas de unos 2000m<sup>2</sup> cada una, de acuerdo a lo indicado en la figura 1.

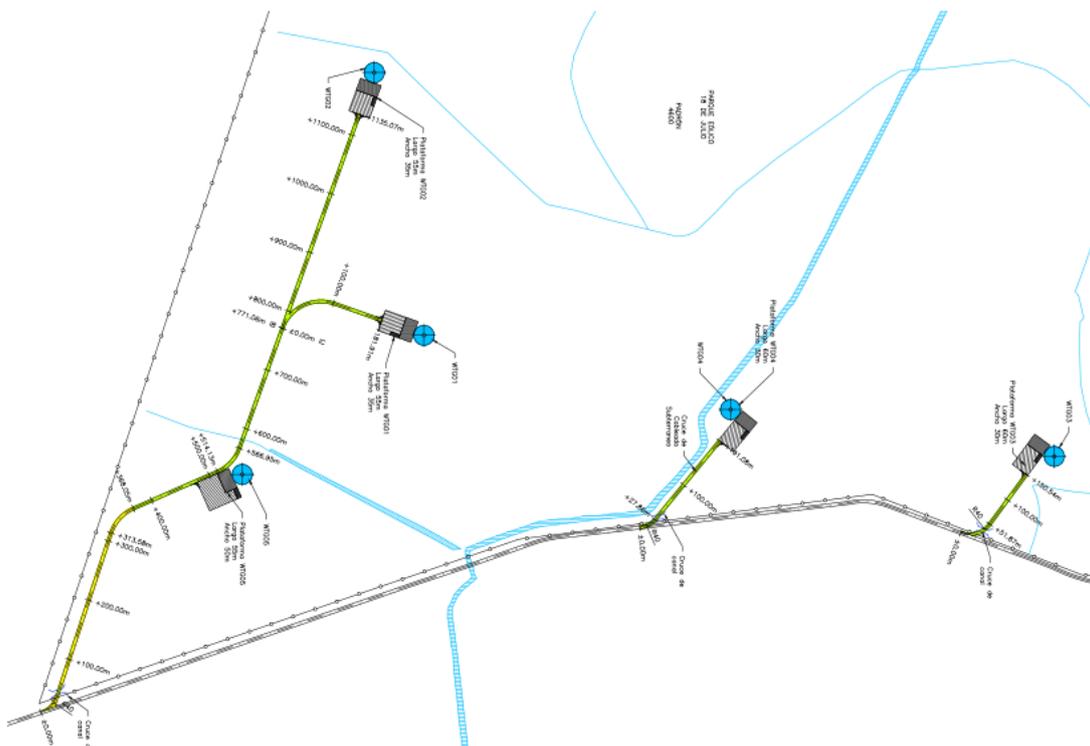


Figura 1

Se propuso entonces una alternativa que permitió la reducción tanto del material a excavar, como el requerido para la construcción de nuevos caminos.

### *Análisis y Diseño del Refuerzo de Caminos*

El uso de geosintéticos como refuerzo en estructuras de pavimento promueve la mejoría de la capacidad de soporte de la subrasante. El desempeño del conjunto: base/refuerzo/subsuelo es analizado mediante dos mecanismos. El primero se refiere al refuerzo estructural a través de la reducción de los esfuerzos de corte transmitidos al suelo subyacente. El segundo, hace referencia al efecto membrana, que considera un comportamiento en el marco de grandes deformaciones.

Según el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano (U.S. Army Corps of Engineers), dicha reducción en los esfuerzos es realizada a través de la movilización de la resistencia a la tracción del refuerzo geosintético, actuando en el sentido de restringir la deformación lateral de la capa de base, proporcionando así un mayor confinamiento al material que la constituye. Este efecto es importante durante la compactación, pues garantiza mayor eficiencia en el proceso, resultando en capas con mayor capacidad de soporte. De esta forma, el refuerzo geosintético (geomalla biaxial Fornit® y/o geotextil tejido HaTe®) actúan como una plataforma de compactación sobre suelos de baja capacidad portante.

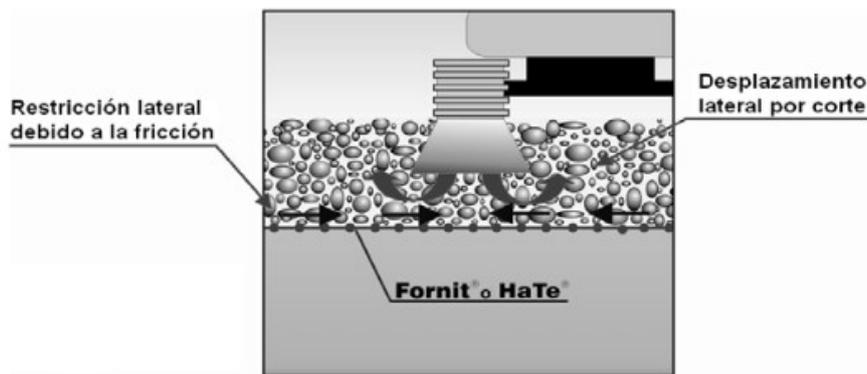


Figura 2

El denominado efecto membrana es generado por la deformación vertical del suelo de subrasante, y por la consecuente movilización de la fuerza de tracción en el refuerzo. En este sentido, la inclusión de un adecuado geosintético de refuerzo permite un aumento de la capacidad estructural del pavimento, logrando una mejor distribución de la carga vertical aplicada sobre el suelo de subrasante, especialmente en el caso de suelos de baja capacidad de soporte.

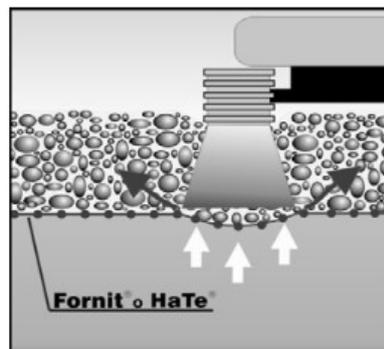


Figura 3

Igualmente, como resultado del mejoramiento estructural del conjunto obtenido de la disminución de los niveles de esfuerzos verticales inducidos, una reducción en los asentamientos es producida.

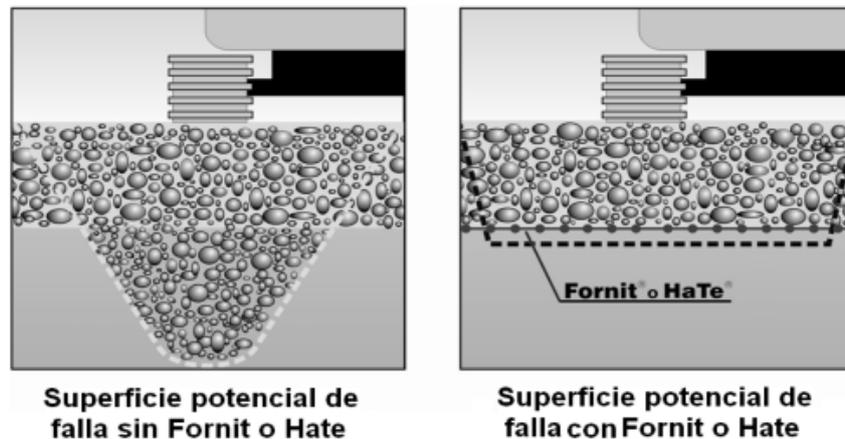


Figura 4

Para esta aplicación, el geosintético de refuerzo debe presentar elevado módulo de rigidez en ambas direcciones y adecuada resistencia a posibles daños de instalación, además de completa interacción con cualquier tipo de suelo para garantizar una buena capacidad de anclaje. Las líneas de REFUERZO HUESKER, Fornit ® y HaTe®, presentan todas las características necesarias para el desarrollo de un proyecto calificado y seguro de refuerzo de base en pavimentos.

El diseño es realizado mediante el método propuesto por Giroud y Han (2004), que establece el cálculo del espesor de pavimento necesario para que la carga aplicada no provoque la falla del suelo de subrasante. Este método fue desarrollado a partir de un análisis semiempírico, considerando la capacidad de carga del subsuelo y mediante la adopción de factores de corrección obtenidos de ensayos realizados en modelos de gran escala desarrollados en la Universidad de Carolina del Norte (Estados Unidos). El método considera como parámetros de cálculo el Índice de Soporte California (CBR) de la base y de la subrasante, el radio del área cargada, la deformación vertical admisible, el número de ciclos para el vehículo de diseño y la carga aplicada en la superficie.

El efecto dinámico de las cargas de tránsito es considerado mediante la determinación del ángulo de distribución de esfuerzos en la capa de base, adoptando una expresión empírica obtenida a partir del análisis de los resultados de ensayos cíclicos, en función del espesor de base, del radio del área solicitada, de la rigidez del refuerzo geosintético y de la relación entre los CBRs de los suelos de base y subrasante.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano recomienda la utilización de un geotextil tejido trabajando en un conjunto con una geomalla como esquema de refuerzo geosintético, para los casos en que el tamaño nominal del material de la base sea menor que la abertura de la geomalla. En adición, y a pesar de que el geotextil tiene la función primaria de separación (entre el material granular de la base y suelo blando subyacente), se han observado mejoras significativas en el desempeño mecánico del sistema en varios proyectos a nivel mundial cuando es instalado junto con la geomalla de refuerzo.

#### *Análisis y Diseño del Refuerzo de Plataformas*

Para esta aplicación, el geosintético de refuerzo debe presentar elevado módulo de rigidez en ambas direcciones, baja susceptibilidad al fenómeno de fluencia (creep), y adecuada

resistencia a posibles daños de instalación, además de completa interacción con cualquier tipo de suelo para garantizar una buena capacidad de anclaje. Las líneas de REFUERZO HUESKER, Fornit® y Hate®, presentan todas las características necesarias para el desarrollo de un proyecto calificado y seguro de refuerzo de base para plataformas de trabajo.

El dimensionamiento es realizado por el método de equilibrio límite propuesto por Jewell (1996). Este método describe el diseño de plataformas de trabajo reforzadas con geosintéticos, considerando un terraplén de material granular conformado sobre un suelo de baja capacidad de soporte. El geosintético es dispuesto entre el material de relleno y el estrato del suelo inferior.

## CAMINOS - VIALES

En el caso de los caminos se utilizó un Geotextil HaTe® 55/55, tejido biaxial de Polipropileno de alto módulo inicial y elevada resistencia a la degradación, cuyas principales funciones son el refuerzo constructivo y la separación.

Los requerimientos habituales del tecnólogo, utilizados para el diseño de los caminos son:

- Los caminos de acceso deben ser diseñados en base a una carga por eje de 12Tm,
- La capacidad portante de la camino debe ser igual o mayor a 2kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de Bulk Ev2 debe superar los 50MPa y la relación Ev2/Ev1 debe ser inferior a 3

La solución implementada en este caso, se presenta en la Figura 5.

Se realizó una remoción de 15cm de capa vegetal, se colocó el Geotextil HaTe® 55/55 y posteriormente se realizó una recarga de 50cm de zahorra de un CBR igual o mayor a 80%.

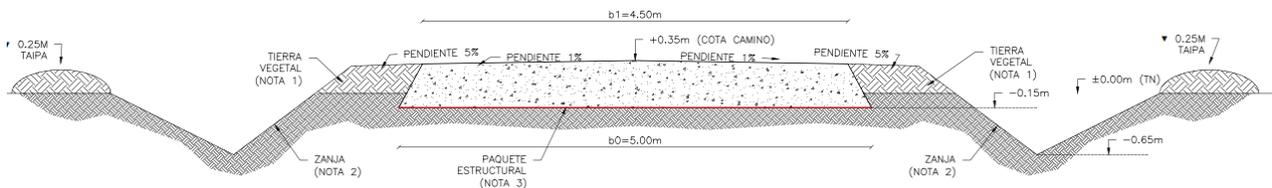


Figura 5

Se ejecutaron 9 (nueve) ensayos de carga con placa circular, en una campaña de campo de dos días de duración, a los efectos de verificar los valores solicitados por el tecnólogo.

Se utilizó la metodología de la norma DIN18134, aplicando la carga con un cilindro hidráulico de 10 ton de capacidad, sobre una placa circular de 30cm de diámetro y 2,5cm de espesor. Se realizaron registros electrónicos de carga y desplazamiento a través de célula de carga y transductor diferencial variable lineal (LVDT), respectivamente. Ver Figura 6.



Figura 6

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Ensayo N°	Ubicación	$E_{V1}$ (MPa)	$E_{V2}$ (MPa)	$E_{V2}/E_{V1}$	$P_{200kPa}$ (mm)	$R^2$
E3	próximo a WTG 01	45,0	85,6	1,90	1,0	0,99
E4	entre WTG 05 y WTG 01	91,1	144,1	1,58	0,5	0,99
E5	entrada al parque	116,3	198,2	1,70	0,5	0,99
E6	próximo a la entrada al parque	101,3	165,5	1,63	0,4	0,99
E9	entre WTG 01 y WTG 02	74,5	159,7	2,14	0,6	0,99
E12	próximo a WTG 05	59,3	99,8	1,68	0,7	0,99
E13	curva en camino de entrada	87,7	155,0	1,77	0,6	0,99
E15	próximo a WTG 03	66,9	121,7	1,82	0,7	0,99
E16	próximo a WTG 04	47,3	79,5	1,68	1,0	0,99

Los tramos de camino estudiados presentan en general una capacidad ampliamente suficiente para superar las condiciones establecidas en las especificaciones suministradas, en cuanto a comportamiento bajo tensión de trabajo y valores de módulos de deformación, por lo tanto se consideran aptos para el uso previsto desde el punto de vista de la capacidad de carga.

### PLATAFORMAS

En el caso de las plataformas se implementaron 3 soluciones diferentes para dar cumplimiento a los requerimientos del tecnólogo y a las necesidades específicas del proyecto. Ver Figura 7.

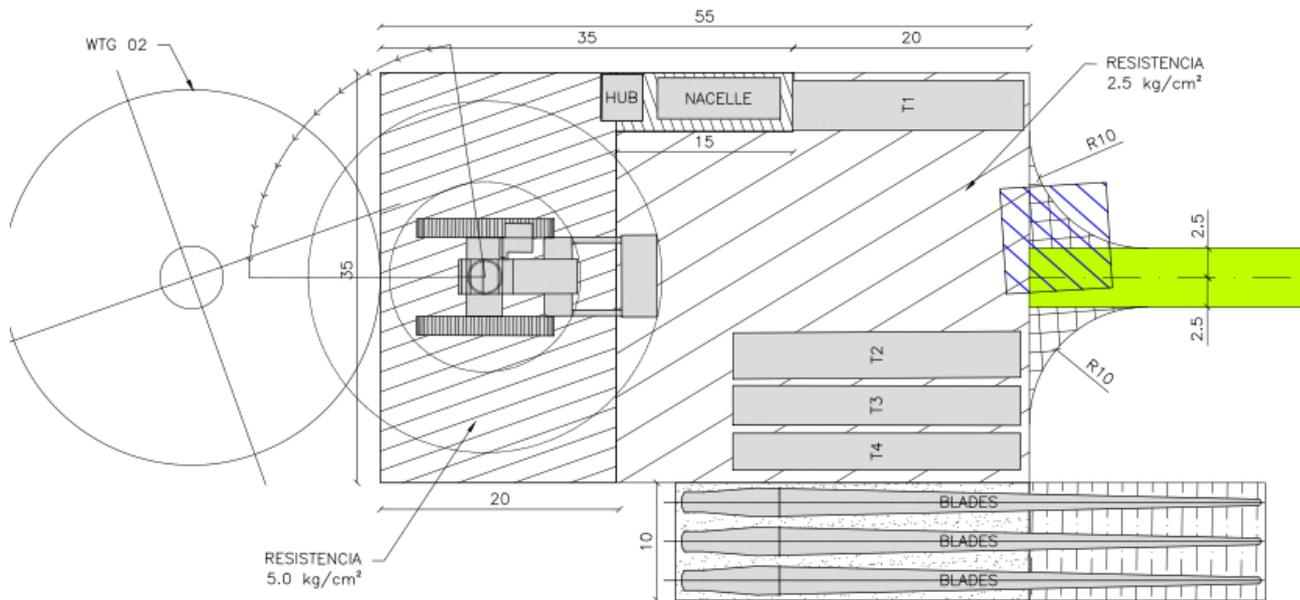


Figura 7

De acuerdo al solicitado por el tecnólogo, las plataformas deben cumplir con los siguientes requerimientos:

**AREA DE ACOPIO DE COMPONENTES:**

- La capacidad portante debe ser igual o mayor a 2kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de Bulk Ev2 debe superar los 50MPa y la relación Ev2/Ev1 debe ser inferior a 3

En esta área se implemento una solución similar a los caminos, con la salvedad que se realizo un retiro de 30cm de capa vegetal, se colocó el Geotextil HaTe® 55/55 y posteriormente se realizó una recarga de 65cm de zahorra.

**AREA DE ACOPIO DE NACELLE:**

- La capacidad portante debe ser igual o mayor a 5kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de Bulk Ev2 debe superar los 100MPa y la relación Ev2/Ev1 debe ser inferior a 2,2

En esta área se implementó una solución similar a los caminos, con la salvedad que se realizó un retiro de 30cm de capa vegetal, se colocó una primer capa de Geotextil HaTe® 55/55, posteriormente se realizó una recarga de 30cm de zahorra, se colocó una segunda capa de Geotextil HaTe® 55/55 y luego se realizó una segunda recarga de zahora de 35cm.

**AREA DE TRABAJO DE LA GRUA PRINCIPAL**

- La capacidad portante debe ser igual o mayor a 5kg/cm<sup>2</sup>
- El módulo de Bulk Ev2 debe superar los 100MPa y la relación Ev2/Ev1 debe ser inferior a 2,2

En esta área se implementó una solución diferente a los casos anteriores. Se realizó un retiro de 130cm de terreno, incluida capa vegetal, se colocó una primer capa de Geotextil HaTe® 55/55, posteriormente se realizó una recarga de 20cm de zahorra, se colocó una primer capa de Geogrila Fornit® modleo Fortac J400, luego se realizó una segunda recarga de zahora de 20cm, se colocó una primer capa de Geogrila Fornit® modleo Fortac J400 y finalmente se realizó una recarga de 125cm de zahorra.

La aplicación de la misma puede observarse en la Figura 8.

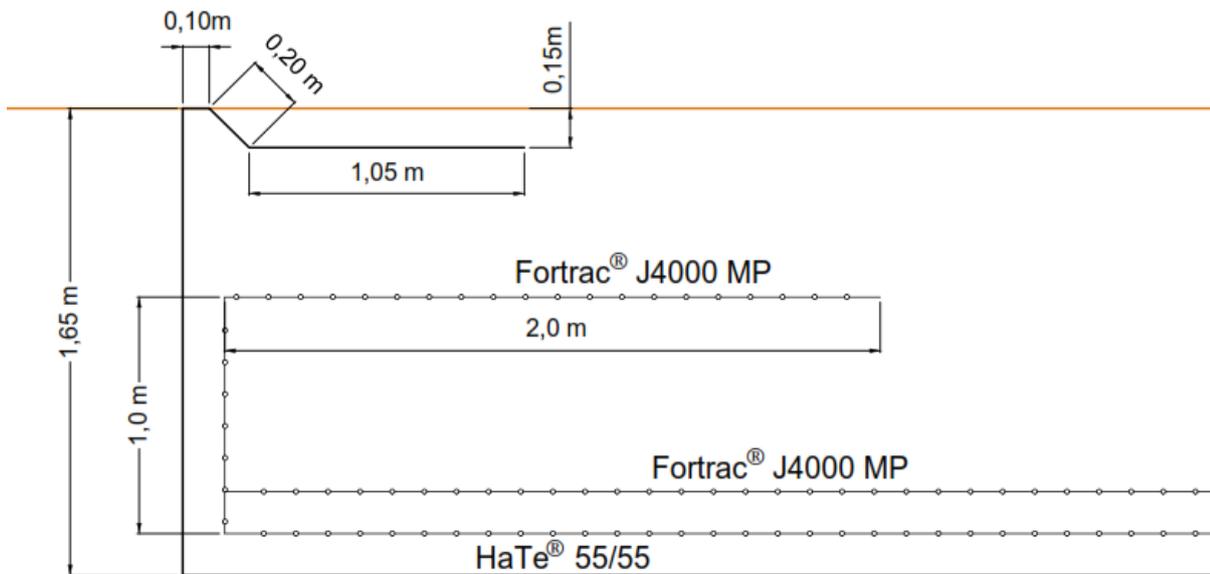


Figura 8

## CONCLUSION

El uso de geosintéticos en la construcción de camino y plataformas se presenta como una solución alternativa a los métodos constructivos habituales, que tiene como consecuencia:

- Reducción de material a ser excavado y en consecuencia dispuesto
- Reducción de la cantidad de material de aporte / zorra para la construcción de caminos y plataformas
- Mejoras en la durabilidad de los caminos
- Reducción en los tiempos de ejecución de los trabajos
- Facilidad en la recuperación de zonas luego de construido el parque

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Giroud, J. P. Han, Jie. Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads I. Development of Design Method. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2004, p.775786.

Giroud, J. P. Han, Jie. Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads II. Calibration and Applications. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2004, p.787797.

US. Army Corps of Engineers. Use of Geogrid in Pavement Construction. Technical Report: ETL 1110-1-189. Washington, D.C. 14 February 2003.

Soil reinforcement with geotextiles (SP123M) - Author(s): R A Jewell - Date: 1996 ISBN: 0-86017-425-5