

ESTABILIZACION CON GEOSINTÉTICOS EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS EN EL PROYECTO AVENIDA CIUDAD DE CALI DESDE LA AVENIDA BOSA HASTA LA AVENIDA SAN BERNARDINO DE LA CIUDAD DE BOGOTA

Autor: Ing. María Carolina Ibáñez Pérez
Ingeniera de Diseño – Geosistemas Pavco

Lugar: Bogotá – Colombia

RESUMEN

En el proyecto de la construcción de la Avenida Ciudad de Cali entre la Avenida Bosa hasta la Avenida San Bernardino, se detectó la presencia de suelos extremadamente blandos durante la actividad de exploración, con CBR's a nivel de subrasante menores a 1, implicando procesos constructivos complejos, con presencia de grandes ahuellamientos. En este proyecto el objetivo es optimizar el espesor de mejoramiento con Geosintéticos (Geotextil tejido, geomalla biaxial y Geoceldas de Confinamiento Celular), versus el espesor planteado inicialmente mediante una estructura convencional.

La propuesta de refuerzo con Geosintéticos se dividió en dos partes:

1. Estabilización Subrasante, plataforma necesaria para alcanzar un 3% de CBR Equivalente, Geotextil de Separación y Geomalla Biaxial
2. Refuerzo Granular con Geocelda, refuerzo sobre la plataforma para alcanzar un CBR de 6.3%.

Con la combinación de estos Geosintéticos se logró conformar la plataforma de una vía que tendrá un tránsito en un período de diseño de 10 años de $2.67E+7$ ESALs

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología de los Geosintéticos y su utilización en los campos de la ingeniería, ha introducido un nuevo concepto en las metodologías de diseño y construcción en sus diversas aplicaciones. Son muchas las teorías e investigaciones que han surgido con esta nueva tecnología, basadas en las necesidades y los requerimientos de los ingenieros diseñadores y constructores, llevando a que los Geosintéticos se utilicen cada vez más para la realización de las obras civiles.

Uno de los mayores campos de aplicación de los Geosintéticos son las vías, donde se deben considerar varios aspectos que involucran su utilización: separación, refuerzo de capas granulares, estabilización de subrasantes, filtración y drenaje. Los estudios que se han realizado en este campo y las experiencias existentes han demostrado los grandes beneficios que aportan los Geosintéticos en la construcción de vías y en su rehabilitación, mejorando el nivel de servicio y aumentando la vida útil de las mismas.

Con frecuencia encontramos suelos poco competentes para soportar cargas debido al tráfico, por lo cual el refuerzo con Geosintéticos permite mejorar el desempeño de un pavimento, disminuyendo los esfuerzos aplicados sobre la subrasante. Como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo. Geosintéticos como las Geomallas biaxiales coextruidas, los geotextiles tejidos y las Geoceldas han sido empleados como herramientas de refuerzo para incrementar la resistencia de vías (Giroud and Noiray, 1981).

2. OBJETIVO

El principal objetivo de este artículo es determinar la mejor alternativa de estabilización de la subrasante dentro del mejor concepto de estabilidad y durabilidad, cumpliendo con los requerimientos establecidos para el corredor vial.

3. LOCALIZACION DEL PROYECTO

La ampliación de la Avenida Ciudad de Cali entre al Av. Bosa y la Av. San Bernardino está ubicada al suroccidente de Bogotá, la longitud de la vía a intervenir es de 2.3 km y pretende darle continuidad a esta importante avenida con el sur de Bogotá. El proyecto contempla la construcción de 2 carriles en cada sentido, dos puentes vehiculares sobre el río Tunjuelito, una franja de mobiliario urbano, un corredor peatonal y una ciclorruta.

La localización general del proyecto puede ser observada en la figura 1,



Figura 1. Localización del Proyecto. Fuente: Informe de Pavimentos PC – AVBO – DIS – PAV – 5 – V2

4. INFORMACION PRELIMINAR DEL PROYECTO

Con base en los apiques realizados, se encontró una capa de relleno heterogéneo en espesores entre 0.20 m a 0.70 m, aproximadamente, bajo la capa de relleno, se encontraron materiales hasta una profundidad promedio de 0.95 m, conformados en su mayoría por arcillas de baja plasticidad (CL) y por gravas arcillosas (GC), arcillas de alta plasticidad (CH), arenas arcillosas (SC) y limos de alta plasticidad (MH), cuyo contenido de humedad varía entre 4.8% y 36.5%, el límite líquido varía entre el 21.0% y el 63.0% y el índice de plasticidad entre el 9.0% y el 36.0%, a profundidades entre los 0.95 m y los 1.32 m existen en su mayoría, suelos arcillosos de baja plasticidad (CL) y suelos arcillosos de alta plasticidad (CH), gravas arcillosas (GC), arenas arcillosas (SC), una grava arcillosa pobremente gradada (GP-GC) y un limo de alta plasticidad (MH), para los cuales el contenido de humedad varía entre 4.8% y 33.7%, el límite líquido varía entre el 22.0% y el 65.0% y el índice de plasticidad entre el 10.0% y el 37.0%. En términos de capacidad relativa de soporte, los suelos tienen valores de CBR en condición de inmersión entre 0.5% a 4.2%.

Los valores de CBR, encontrados en las exploraciones realizadas se presentan en la figura 2 y 3.



Si $CBR < 10$, entonces:

$$M_r (kg/cm^2) = 100 * CBR \quad \text{Ec. (1)}$$

Justificado en la ecuación 1, el valor de Módulo Resiliente de la subrasante que será utilizado para el diseño del corredor de la Avenida Ciudad de Cali, queda determinado como 70 Kg/cm^2 .

Aunque es común encontrar módulos resilientes menores de 300 kg/cm^2 , estos suelos no se deben contemplar como cimentación directa de la estructura de pavimento a diseñar por el efecto que pueden generar en las capas que la conforman; por ello, se debe realizar un tratamiento especial, para poder utilizar estos suelos como plataforma de apoyo. Para el caso particular, se recomienda realizar un mejoramiento de la subrasante con material tipo rajón y material granular en un espesor total de 1.0 m .

A partir de la formulación de IVANOV, se calcula el módulo equivalente del conjunto subrasante – mejoramiento, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \text{Tan} \left[\frac{\left(1 - \frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi} * \left(1 - \frac{1}{n^{2.5}}\right)} \right] \quad \text{Ec. (2)}$$

$$n = \left(\frac{E_{superior}}{E_{inferior}} \right)^{1/2.5}$$

Dónde:

- h_1 : Espesor de la capa analizada, cm
- a : Radio de carga, cm
- n : Relación entre los módulos de las capas inferior y superior
- $E_{inferior}$: Módulo capa inferior, kg/cm^2
- $E_{superior}$: Módulo capa superior, kg/cm^2
- $E_{equivalente}$: Módulo equivalente a la profundidad analizada, kg/cm^2

El módulo de la capa de mejoramiento se estima considerando que el material tiene un $CBR \geq 10$, a partir de la siguiente correlación:

Si $CBR \geq 10$, entonces:

$$M_r (kg/cm^2) = 130 * CBR^{0.714} \quad \text{Ec. (3)}$$

Obteniendo así un valor de módulo del material de mejoramiento igual a 673 kg/cm^2 .

Así entonces, a partir de la formulación de IVANOV, se obtienen los siguientes valores de módulo equivalente, ver tabla 1:

Tabla 1. Valor de Módulo equivalente Subrasante – Mejoramiento – Fuente: Informe de Pavimentos PC-AVBO – DIS – PAV- 5 - V2

Tramo	CBR (%)	Espesor del Mejoramiento (cm)	Mr Subrasante (Kg/cm^2)	CBR (%) Material de mejoramiento	Módulo Material de Mejoramiento (Kg/cm^2)	Mr Equivalente (Kg/cm^2)
Calzada Norte y Sur	0.7	100	70	10	673	603

Con este espesor de rajón de 1.00 m incluida la capa de sello se tiene una plataforma de trabajo la cual garantiza un CBR de 6%

5.2 Estabilización con Geosintéticos

Partiendo de la misma información con CBR de diseño de 0.7%, se procede a hacer una estabilización con geomalla biaxial coextruida, acompañada de un Geotextil de separación para obtener un CBR de 3%. Mediante la metodología de Giroud – Han se realiza el procedimiento de estabilización.

La metodología de Giroud Han (2004) para estabilización de subrasantes y plataformas de trabajo:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006 \cdot J^2) \left(\frac{r}{h}\right)^{\frac{1}{2}} \log N}{\left[1 + 0.204 \left(\frac{3.48 \cdot CBR_{BG}^{0.3}}{CBR_{SR}} - 1\right)\right]} \left[\sqrt{\frac{\frac{P}{\pi r^2}}{N_c f_c CBR_{SR}} - 1} \right] r \quad \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

h [m]=	Espesor de la capa de material granular requerido. Se recomienda como mínimo un espesor de 0.1 m.
J [m-N ^{0.5}]=	Módulo de rigidez del Geosintético.
N =	Número de repeticiones de carga
P [kN]:	Carga por rueda kN, 2P es igual a la carga del eje.
r [m]=	Radio del área de contacto de la llanta.
CBR _{SR} [%]=	CBR de la subrasante
CBR _{BG} [%]=	CBR del material granular.
s [mm]=	Ahuellamiento permitido, es un criterio de serviciabilidad que generalmente se encuentra entre 25 -100mm. Un criterio de falla de 75mm se ha usado ampliamente para esta aplicación. Para bajos volúmenes de tráfico (AASHTO 1993) considera ahuellamientos permitidos entre 13-75 mm.
fs =	Factor igual a 75mm
fc =	Factor igual a 30 kPa
Nc =	Factor de capacidad portante, igual a Nc=3.14 y J=0 en el caso sin refuerzo, 5.14 para el refuerzo con geotextiles y 5.71 en el caso de geomallas biaxiales coextruidas.

Para la realización de los cálculos, se utilizó el software Geosoft Pavco V3.0, la modelación se presenta a continuación, Figura 4, se presenta los datos de entrada:

Figura 4. Datos de entrada modelación

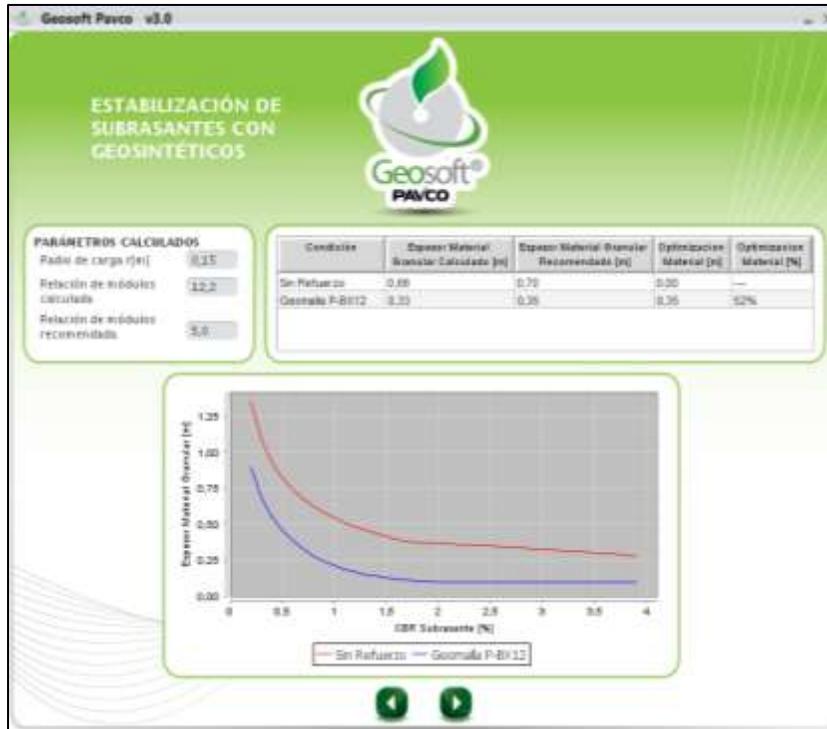


Figura 5. Resultados de la modelación.

En la figura 5, se tienen los resultados de la estabilización con Geomalla biaxial coextruida, determinando una plataforma de trabajo, buscando obtener un CBR equivalente de 3%, resulta necesario extender una Geomalla Biaxial Coextruida 30 kN/m x30 kN/m, en el fondo de la excavación con un espesor de material de granular de reemplazo de 35cm, pero también es necesario incluir un geotextil de separación para que no se contamine el material de la subrasante con el material de mejoramiento, la modelación del Geotextil de separación se observa en la figura 6.

SEPARACIÓN DE CAPAS GRANULARES Y SUBRASANTE

PARAMETROS DE DISEÑO

- Factor de seguridad global: 2.0
- Factor de seguridad parcial: 2.0
- Presión de rodado p^r: 550.0 [kPa]
- Dámetro máximo partículas de agregado (en [m]): 4.0

CRITERIOS MECÁNICOS

- Resistencia al Estirado (Módulo Elástico) requerida (kPa): 2,419.1
- Resistencia al Puncionamiento (N): 209.6
- Resistencia a la Tensión (Criterio): $F_s = \frac{T_{req}}{F_p \times p^r \times 10^{-3} (0.330)^2 \times (1.40)}$ $F_s > 1$

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE

- Arenas, arenas gravosas, arenas limosas y arenas arcillosas (menos del 50%, para tanto #20)
- Suelos arenosos mal graduados
- Suelos finos (más del 50%, para tanto #20)

Figura 6. Datos de entrada para determinar el Geotextil de Separación.



Figura 7. Resultados del Geotextil de Separación

En la figura 7, se presenta el Geotextil de separación que recomienda el Software de diseño Geosoft, es el Geotextil Tejido de resistencia de método Grab 1140N el cual cumple por supervivencia con la normatividad colombiana INVIAS para separación, sin embargo, teniendo en cuenta que se cuenta con un CBR tan bajo se contempla un geotextil de mayor resistencia y para ello se elige el Geotextil tejido de resistencia por Grab de 1870N.

Con una estructura de 35cm se obtiene un CBR de 3% como se requiere llevarlo al 6%, para ello es necesario aplicar IVANNOV.

Adicionalmente se contempla incluir la Geocelda de Confinamiento Celular, se realiza el diseño con el módulo el módulo reforzado mediante la metodología del módulo mejorado.

Al reforzar cualquier material granular con la Geocelda se provee un módulo mejorado para zonas parciales y totalmente confinadas. Para la determinación de dicho mejoramiento, se utiliza el coeficiente de mejoramiento de capa o MIF.

MIF = FACTOR DE MEJORAMIENTO DEL MODULO



El MIF afecta a la zona totalmente confinada por la Geocelda, es decir a la capa de material correspondiente a la altura de la misma, y 2cm por encima y por debajo de los límites de la Geocelda por el efecto de trabazón de agregados en el confinamiento. Por tanto, en el diseño el módulo afectado corresponde a dicha zona, tal como se observa en la siguiente gráfica.

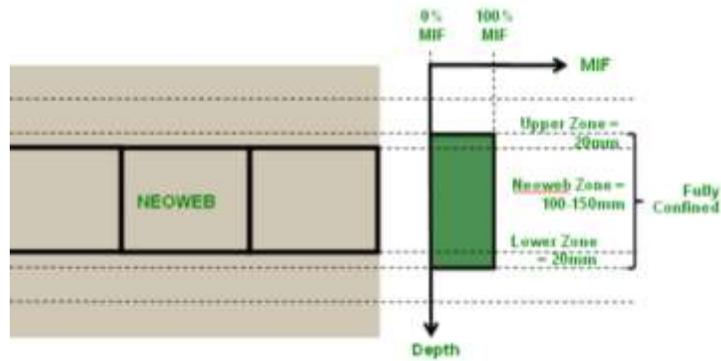
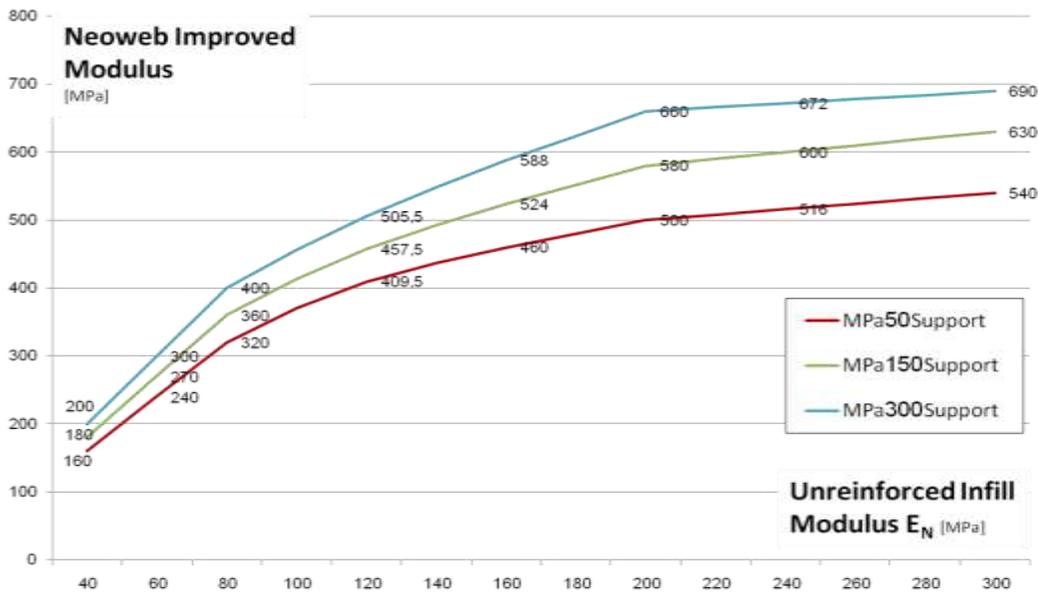


Figura 8. Zonas de Confinamiento

En la figura 8, se observa la zona parcialmente confinada, no es tenida en cuenta en los cálculos estructurales y actúa como elemento de transición entre la rigidez del suelo confinado y las capas granulares o adyacentes de módulos más bajos.

La determinación del MIF está relacionada con el CBR del material de la capa debajo de donde se va a instalar la celda y del CBR del material de lleno de la misma como se puede observar en la siguiente gráfica.



Grafica 1. Tabla de Determinación del MIF

De acuerdo con al Grafica 1, se tiene el módulo de la base soporte inferior a 50Mpa y material de lleno tipo de mejoramiento con un módulo de 100Mpa. El Factor del módulo mejorado es de 3.2

Para calcular el módulo del material superior para emplear IVANNOV se aplica la ecuación 3 y a este valor se aplica el valor de mayoración.

Con este valor del módulo mejorado se introduce en la ecuación de IVANNOV como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Modelo de Ivannov con el Modulo del material superior modificado

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)		E _{INF.}	E _{SUP.}	n	n ^{3.5}	h ₁ (cm)	h ₁ / 2a	(I)	(J)	2/π	2/π*J*I	E _{equiv} (Kg/cm ²)	CBR
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	(kg/cm ²)						tan ⁻¹ (n*h ₁ /2a) (rad)	1-(1/n ^{3.5})				
3,00	15,00	300	2876	2,47	23,68	15,0	0,49	0,88	0,96	0,64	0,54	650	6,50

SISTEMA EQUIVALENTE	
CBR EQUIVALENTE = 6,50 %	

Con esta modelación se requiere un espesor de 15 cm, el cual corresponde a una celda de 15 cm. La solución esquemática se presenta en la figura 9.



Figura 9. Estructura propuesta para la estabilización.

6. REGISTRO FOTOGRAFICO – PROCESO DE INSTALACIÓN

El proyecto actualmente está totalmente finalizado y en funcionamiento, en el siguiente registro fotográfico se observa a partes del proyecto.



Figura 10. Instalación del Geotextil tejido y de la Geomalla Biaxial Coextruida.



Figura 11. Instalación y extensión del Geotextil



Figura 12. Instalación de la Geocelda de Confinamiento Celular

7. CONCLUSIONES

- En el proyecto se analizaron dos alternativas de estabilización de la subrasante la primera es por un sistema convencional y la segunda una estabilización con Geosintéticos, la comparación de los dos sistemas da como resultado que con la solución de Geosintéticos hay un ahorro del 50% en excavación y material, adicionalmente se presenta un beneficio en transporte de materiales y explotación de materiales pétreos.
- El sistema de separación a nivel de la subrasante con Geotextil Tejido, elimina el espesor necesario para crear una superficie uniforme donde no haya presencia de la migración de material y contaminación del material de la subrasante y del material de mejoramiento, toda vez que este elemento sirve como barrera e impide el contacto entre los dos materiales.
- El empleo de Geosintéticos a nivel de mejoramiento de la subrasante, es una alternativa en vías urbanas para instalar las redes de servicios públicos, porque con el sistema de estabilización tipo rajón en algunos casos es indispensable conformar un cárcamo y dejar las tuberías aisladas.
- El rendimiento del proceso constructivo en obra de la alternativa con la Geocelda, es casi el doble que conformar un cajón de 1.0m de profundidad con rajón.

8. BIBLIOGRAFIA

- Giroud, J.P. and Han, J. (2004) "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 775, 787-797.
- Informe de Pavimentos PC-AVBO – DIS – PAV- 5 - V2 Pavimentos Colombia.
- Manual de Diseño. Dpto. de Ingeniería, Geosistemas Pavco.
- Modulus Improvement Factor For Geocell – Reinforced Bases – Ofer Kief – K. Rajagopal – A. Veeraragavan – S. Chandramouli – PRS.
- Toug Cell "Geosynthetic reinforcement shows strong promise" By Jie Han – PRS