



**UNIVERSIDAD MILITAR  
NUEVA GRANADA**

**ESPECIALIZACIÓN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**OPTIMIZACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE  
PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE GEOCELDAS**

**AUTOR:**

**CLAUDIA MILENA CUARTAS RAMÍREZ**

**2015**

# OPTIMIZACIÓN Y REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE GEOCELDAS

## OPTIMIZATION AND REINFORCEMENT OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES USING GEOCELLS

Claudia Milena Cuartas Ramírez  
Ingeniera Civil, Ingeniera de proyectos,  
Espinosa y Restrepo S.A,  
Bogotá, Colombia,  
claudia1047@hotmail.com

Fecha de recepción: Mayo 09 de 2015  
Fecha de aprobación: 00000

### RESUMEN

Es muy común encontrar suelos de subrasante de baja resistencia al corte, traduciéndose en diseños de pavimentos de grandes espesores, lo cual incrementa los costos y tiempos de construcción. A partir de lo anterior surgió la necesidad de iniciar estudios de los efectos de las geoceldas en los pavimentos, cuyas propiedades permiten obtener una reducción en los espesores de las estructuras de pavimento, tanto en sus materiales granulares como en las capas de asfalto. Estos beneficios reducen la cantidad de excavación, colocación del agregado y su compactación, resultando en beneficios tanto de tiempo de construcción como económicos. En el presente documento se analizan los beneficios que se obtendrían en un proyecto vial al emplear las geoceldas como parte de la estructura granular de los pavimentos, mediante el análisis específico de un proyecto en donde se efectuó el diseño correspondiente tanto para un pavimento convencional como para un pavimento con geoceldas, calculando el nuevo módulo de las capas granulares.

**Palabras Clave:** geoceldas, geosintéticos, neoloy.

## ABSTRACT

It is very common to find soils of subgrade with low shear strength, resulting in pavement designs with large thicknesses, which increase costs and construction times. Therefore, it was necessary initiate studies of the effects of geocells in pavements, whose properties allows a reduction in the thickness of pavement structures, both in their granular materials and asphalt layers. These benefits reduce the amount of excavation, granular material placement and compaction, resulting in benefits for both economy and construction times. This document analyzed the benefits to be gained in a road project that uses geocells as part of the granular structure of the pavement, by the specific analyze of a project where the corresponding design was made for both a conventional pavement and a pavement with geocells, calculating the new module of the granular layers.

**Keywords:** geocells, geosynthetics, neoloy.

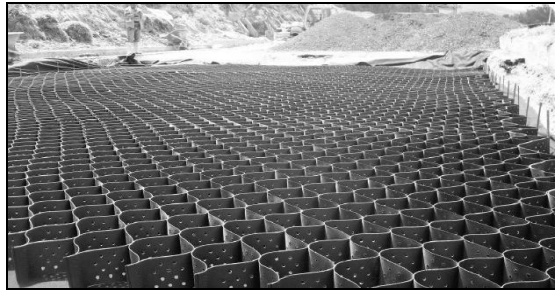
## INTRODUCCIÓN

Una geocelda es un sistema de confinamiento celular que mejora los módulos de las capas de un pavimento, mediante la inclusión de material granular dentro de sus celdas, reduciendo los espesores de materiales granulares. Esto se da gracias a que se produce un efecto de viga semirrígida distribuyendo las cargas en un área más grande, disminuyendo así los esfuerzos sobre la subbase y la subrasante [1-2].

En la Figura 1 se ilustra una geocelda individual y en la Figura 2 se observa la forma en la que se dispone un conjunto de geoceldas en una vía, para ser llenadas posteriormente con el material granular que corresponda.



**Figura 1.** Geocelda  
**Fuente:** Propia

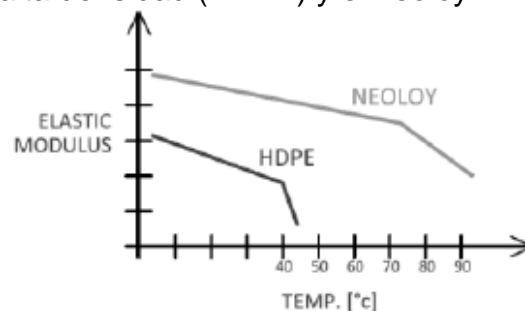


**Figura 2.** Geoceldas en concesión vial Devinorte

**Fuente:** Pavco. (2011) [3]. Infraestructura vial, concesión vial Devinorte

La investigación y el desarrollo de las geoceldas se iniciaron con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU en el año 1970 mediante el uso de polietileno de alta densidad (HDPE), con el fin de probar la viabilidad de la construcción de los caminos de acceso táctico a los puentes sobre el suelo blando [4]. Este nuevo sistema de confinamiento celular fue utilizado posteriormente, a partir del año 1980, en obras civiles para aplicaciones de soporte de cargas temporales o bajas, control de erosión de taludes y revestimiento de canales en los Estados Unidos y Canadá [5-6].

Posteriormente, alrededor del año 2004 se efectuaron nuevas investigaciones en tecnología de confinamiento celular y se comenzó a fabricar geoceldas con el propósito de usarlas en la construcción de carreteras modernas. Lo anterior requería de una geocelda con la flexibilidad de HDPE pero con estabilidad dimensional y resistencia a la fluencia del poliéster. Como resultado se obtuvo una nueva generación de geoceldas basadas en una aleación llamada Neoloy [7]. En la Figura 3 se observa una curva de temperatura versus el módulo elástico para el polietileno de alta densidad (HDPE) y el neoloy.



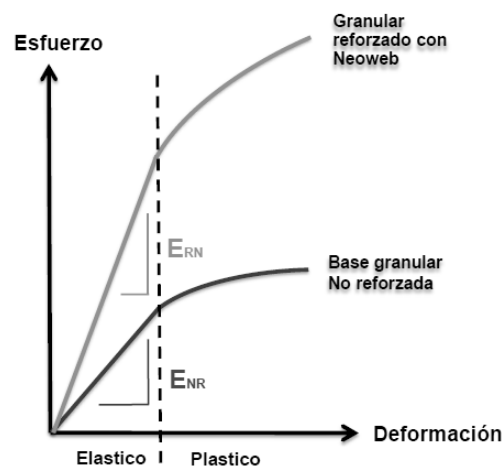
**Figura 3.** Temperatura vs. Módulo elástico

**Fuente:** PRS. (2010). Neoweb whit neoloy

El neoloy, creado a partir de tiras multicapa de capas de alta durabilidad alrededor de un núcleo de alta resistencia, se ha diseñado específicamente para el refuerzo estructural en aplicaciones exigentes como los de ingeniería de carreteras, muros de retención alta y caminos de servicio pesado, ferrocarriles y puertos [4-5].

El beneficio del uso de las geoceldas en un proyecto vial se fundamenta en la reducción de las capas granulares del pavimento, debido a que al llenar las celdas con un material de tipo granular, se provee altos módulos elásticos y plásticos, generando un incremento en la relación esfuerzo deformación [2].

A continuación, en la Figura 4, se ilustra una gráfica de esfuerzo – deformación donde se observa el aporte del material granular reforzado con las geoceldas que distribuye actualmente la empresa Pavco. Dichas geoceldas basadas en neoloy se conocen en el mercado como Neoweb.



**Figura 4.** Esfuerzo vs. Deformación

**Fuente:** Pavco. Manual de diseño con geosintéticos

Un estudio sobre bases granulares reforzadas con geoceldas ha sido llevado a cabo en la Universidad de Kansas, en donde se reportaron los óptimos resultados de las pruebas efectuadas en estos elementos llenos con diferentes materiales de relleno (agregado bien gradado, residuos de cantera y pavimento asfáltico reciclado (RAP)) apoyados sobre subrasantes débiles [8].

## 1. CARACTERÍSTICAS DE LA GEOCELDA

A continuación se describen los criterios generales del material que conforma las geoceldas. Dichos criterios deberán verificarse en la ficha técnica del producto, teniendo en cuenta que en caso de no cumplir con los requisitos mínimos exigidos se perdería la validez de la modificación de los diseños con su uso [2]:

- **Comportamiento al esfuerzo y deformación a largo plazo:** Se debe realizar un ensayo mediante un ciclo de deformación a largo plazo a través de la inclusión de calor en el material para simular el comportamiento en el tiempo. Lo anterior de acuerdo con la norma ASTM D6652 [9].
- **Coefficiente de expansión térmica:** Se debe efectuar un ensayo de análisis termo mecánico de acuerdo con la norma ASTM E831 [10], considerando como valor límite para las geoceldas 70 a 100 ppm/°C.
- **Comportamiento a temperaturas elevadas:** Se efectuará un Análisis Dinámico Mecánico (DMA) y se revisará el comportamiento viscoelástico de los polímeros de acuerdo con la norma ASTM E2254 [11], determinando el módulo de elasticidad remanente para diferentes temperaturas de acuerdo con la Tabla 2.

**Tabla 2.** Valores mínimos ensayo DMA

Temperatura (°C)	Módulo Remanente (MPa)
30	750
45	650
60	550
75	300

*Fuente:* Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO

- **Resistencia a la oxidación:** La resistencia a la oxidación se determina mediante el ensayo de Calorimetría Diferencial (DSC) de acuerdo con la norma ASTM D3895 [12] en donde se determina el tiempo de inducción a la oxidación (OIT) que para el polímero que conforma las celdas deberá ser mínimo de 95 minutos.
- **Resistencia a la degradación UV:** El comportamiento a los efectos de la radiación UV se mide mediante el ensayo de la norma ASTM 5885 [13], en donde el tiempo hasta que se alcanza un umbral de degradación para un sistema de confinamiento celular es de mínimo 250 minutos.

## 2. MÉTODO DE DISEÑO

La metodología empleada para el diseño de un pavimento con geoceldas se basa en teorías de tipo mecanicista, analizando la estructura en función de los

esfuerzos y deformaciones, en donde el beneficio de la geocelda se encuentra definido por el aumento de los módulos de elasticidad. Con este método de diseño se busca definir el máximo valor de deformaciones admisibles para la aplicación de la carga correspondiente a un eje de carga. A nivel de la capa asfáltica, en su fibra inferior, se revisa la deformación a tracción (criterio de deflexión) y a nivel de la subrasante se revisa la deformación vertical (criterio de ahuellamiento). En el diseño, los materiales de las capas del pavimento se consideran homogéneos, isotrópicos y horizontalmente infinitos.

Se debe anotar que el diseño con geoceldas se fundamenta en que para el llenado de éstas se debe emplear únicamente material granular como arena, gravas, subbase granular, base granular, RAP, entre otros [2].

Tal como se ha mencionado anteriormente, las geoceldas poseen la capacidad de aumentar el módulo de elasticidad de los materiales, dado el confinamiento de los materiales granulares. La relación entre el módulo de un material granular confinado con las geoceldas y el material no confinado se conoce como MIF (Modulus Improvement Factor) definido con la ecuación (1).

$$MIF = \frac{E_{\text{reforzado}}}{E_{\text{sin refuerzo}}} \quad (1)$$

A continuación se ilustra en la Tabla 1 los valores típicos de MIF, obtenidos en diversos ensayos efectuados a través de diferentes investigaciones en los últimos años para materiales granulares con diferentes módulos [2], observando que entre menor sea el módulo del material de lleno mayor es el MIF y entre mayor sea el módulo del material de soporte mayor es el MIF.

**Tabla 1.** Valores típicos de MIF

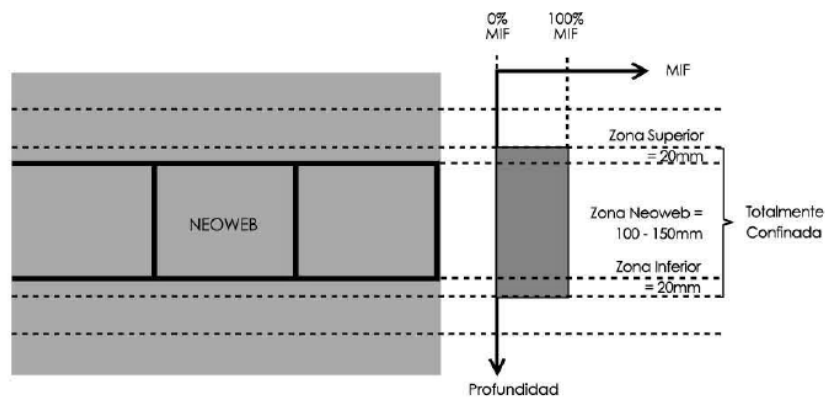
Capa de Soporte $E_{\text{soporte}}$ (MPa)	Módulo del material de lleno = $E_{\text{lleno}}$ (MPa)				
	80	110	150	200	300
50	4.0	3.6	3.0	2.5	1.8
100	4.2	3.8	3.2	2.8	2.0
150	4.5	4.0	3.4	2.9	2.1
200	4.8	4.2	3.6	3.1	2.2
300	5.0	4.4	3.8	3.3	2.3

**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO

De acuerdo con el Manual de Diseño con Geosintéticos de PAVCO, se tiene que las diferentes investigaciones llevadas a cabo permitieron establecer tres zonas

de distribución del confinamiento, en donde la zona central tiene un efecto total de confinamiento y en las partes superior e inferior de la geocelda se genera una zona de transición donde el confinamiento es parcial [2].

No obstante para efectos de diseño, la zona parcialmente confinada no se tiene en cuenta y el MIF solo se hace efectivo para la zona totalmente confinada que corresponde a la altura de la geocelda (100 a 150mm) con 2cm adicionales tanto arriba como debajo de ésta como se ilustra en la Figura 5, en donde se observa la distribución del confinamiento en la zona reforzada para la geocelda que distribuye Pavco (Neoweb).



**Figura 5.** Distribución del confinamiento en la zona reforzada  
**Fuente:** Manual de diseño con geosintéticos. PAVCO

De acuerdo con todo lo anterior se tiene que a la hora de diseñar un pavimento con geoceladas se deben seguir los mismos lineamientos de un diseño por método mecanicista pero incluyendo los módulos mejorados [2].

A continuación se ilustra la ecuación para calcular el módulo modificado para el caso en que el espesor de la zona totalmente confinada sea inferior al espesor total de la capa [2]:

$$E_{mod} = \frac{(H_1 \times MIF \times E) + (H_2 \times E)}{H} \quad (2)$$

Donde,

$H_1$  = Espesor zona totalmente confinada

$H_2$  = Espesor de la zona no confinada

$H$  = Espesor total de la capa

$E$  = Módulo de elasticidad del material de llenado de la geocelda



### 3. ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN PAVIMENTO CONVENCIONAL VERSUS UN PAVIMENTO CON GEOCELDAS

#### 3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Con el fin de analizar la diferencia entre un diseño de pavimento convencional y un pavimento reforzado con geoceldas, se tomó la información propia de un proyecto en la ciudad de Bogotá D.C., cuya exploración geotécnica ha sido previamente efectuada por parte de la empresa Espinosa y Restrepo S.A [14]. A continuación se describe la información correspondiente a estratigrafía, tráfico de diseño y resultados de los ensayos de laboratorio.

- **Estratigrafía:**

A partir de la exploración geotécnica efectuada mediante la ejecución de 2 apiques se tiene en promedio la siguiente estratigrafía:

0.00m – 0.50m: Relleno  
0.50m – 0.90m: Limo orgánico  
0.90m – 2.00m: Limo arenoso

- **Período de diseño:**

10 años

- **N (ejes equivalentes de 8.2 y 13 Ton)**

De acuerdo con el estudio de tránsito efectuado se obtuvo un valor de N de 2933278 ejes equivalente de 8.2 toneladas para un período de diseño de 10 años.

Con el fin de determinar la equivalencia del número de ejes de 8.2 Ton con ejes de 13 Ton, se utilizó la metodología propuesta por la AASHO ROAD TEST [15] en donde se indica:

$$Fe = \left( \frac{P_1}{P_0} \right)^4 \quad (3)$$

Donde,

Fe = Factor de equivalencia de carga

P<sub>0</sub> = Carga estándar = 8.2 Ton

$P_1$  = Carga cuya equivalencia con la estándar que se desea calcular (13 Ton)

A partir de la ecuación (3) se tiene un factor de equivalencia  $F_e = 6.32$  y por lo tanto para el valor de  $N_{8.2 \text{ ton}}$  dado (2933278) se obtiene un valor de  $N_{13 \text{ ton}} = 464126$ .

- **CBR de diseño:**

Para determinar el CBR de diseño se contó con 2 ensayos de CBR en donde el promedio de los valores en la condición saturada es igual a 2.0%, siendo este el valor más crítico y con el cual se efectuó el diseño del pavimento.

- **Módulos:**

Subrasante: 15.0 MPa

Mejoramiento: 37.5 MPa

Subbase granular: 115 MPa

Base granular: 220 MPa

Carpeta asfáltica: 3600 MPa

### 3.2 DISEÑO DEL PAVIMENTO MEDIANTE METODOLOGÍA RACIONAL

A partir de los parámetros de diseño definidos anteriormente se efectuó el diseño del pavimento a través de metodología racional y mediante el programa DEPAV [16], para un análisis que ha tenido en cuenta la continuidad de transmisión de esfuerzos a través de toda la estructura del pavimento (capas ligadas).

En la Figura 6 se ilustran los datos de entrada al programa. Las Figuras 7 y 8 muestran los valores de deformaciones y esfuerzos en cada una de las capas del pavimento.

Número de Capas [2..6]		3	
Radio de Carga [cm]		12.5	
Presión de Contacto [Kg/cm <sup>2</sup> ]		6.62	
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]		37.5	
Capas	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	μ [ ]	H [cm]
1 <sup>a</sup>	36000	0.35	9
2 <sup>a</sup>	36000	0.35	9
3 <sup>a</sup>	2200	0.4	35
4 <sup>a</sup>	1150	0.4	35
5 <sup>a</sup>	375	0.45	30
6 <sup>a</sup>	150	0.5	

Figura 6. Datos de entrada pavimento tradicional

Fuente: Propia

Título del Trabajo : PROYECTO 1					
Número de Capas : 6			Alternativa : 1		
Capa N <sup>o</sup>	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
1 <sup>a</sup>	0.00	2.0900E-04 C	1.4174E+01 B	-1.4800E-04 C	6.6179E+00 A
	9.00	-2.2300E-05 A	1.3460E+00 B	-5.8800E-06 C	4.1604E+00 B
2 <sup>a</sup>	9.00	-2.2300E-05 A	1.3460E+00 B	-5.8800E-06 C	4.1604E+00 B
	18.00	-1.9500E-04 C	-9.2997E+00 B	1.9300E-04 B	1.0401E+00 B
3 <sup>a</sup>	18.00	-1.9500E-04 C	5.0985E-02 C	4.3800E-04 B	1.0401E+00 B
	53.00	-1.7500E-04 C	-4.3031E-01 C	2.7700E-04 C	2.7940E-01 C
Deflexión		= 111.420 mm/100			
Radio de Curvatura		= 318.830 m			

Figura 7. Deformaciones y esfuerzos en capas 1, 2 y 3 pavimento tradicional

Fuente: Propia

Título del Trabajo : PROYECTO 1					
Número de Capas : 6			Alternativa : 1		
Capa N <sup>o</sup>	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
4 <sup>a</sup>	53.00	-1.7500E-04 C	-1.3562E-01 C	3.3100E-04 C	2.7940E-01 C
	88.00	-1.8000E-04 C	-2.8144E-01 C	2.6800E-04 C	8.6878E-02 C
5 <sup>a</sup>	88.00	-1.8000E-04 C	-4.9557E-02 C	3.4700E-04 C	8.6878E-02 C
	118.00	-1.6900E-04 C	-7.1685E-02 C	3.0700E-04 C	5.1291E-02 C
6 <sup>a</sup>	118.00	-1.6900E-04 C	1.4786E-03 B	3.3100E-04 C	5.1291E-02 C
Deflexión		= 111.420 mm/100			
Radio de Curvatura		= 318.830 m			

Figura 8. Deformaciones y esfuerzos en capas 4, 5 y 6 pavimento tradicional

Fuente: Propia

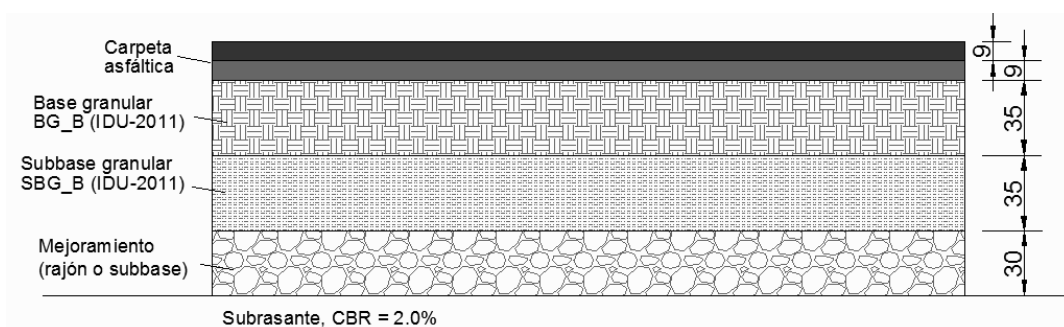
En la Tabla 3 se ilustran los valores de esfuerzos y deformaciones admisibles de acuerdo con el método racional, así como los valores obtenidos mediante el programa DEPAV.

**Tabla 3.** Deformaciones pavimento tradicional

	Admisible según método racional (m)	Calculada DEPAV (m)
Deformación subrasante (capa # 6) $\epsilon_z$	883 E-6	331 E-6
Deformación capa asfáltica (capa # 2-3) $\epsilon_t$	194 E-6	195 E-6

*Fuente:* Propia

A partir de lo anterior se tiene que las deflexiones calculadas mediante el software DEPAV cumplen con las deflexiones admisibles permitiendo un porcentaje de error +-1%. A continuación en la Figura 9 se ilustra el diseño de pavimento obtenido:



**Figura 9.** Espesores de capas del pavimento tradicional

*Fuente:* Propia

### 3.3 DISEÑO DEL PAVIMENTO CON GEOCELDAS

Como alternativa al diseño anterior se efectuó un diseño de pavimento mediante el uso de geoceldas. Para el efecto se adoptó el material de llenado de la geocelda como un material de tipo granular. Teniendo en cuenta que los módulos de elasticidad serían incrementados, se analizó inicialmente un diseño con menores espesores en algunas capas como se ilustra a continuación:

Carpeta asfáltica:	17cm
Base granular con geocelda:	18cm
Subbase granular:	25cm
Mejoramiento:	25cm

Así mismo se obtuvo un coeficiente de mejoramiento MIF (Modulus Improvement Factor) a partir de los valores típicos ilustrados en la Tabla 1. El material de llenado para el presente caso consistió en un material tipo subbase granular con un módulo de 115 MPa y el cual reemplazó la capa de base granular que es la capa con mayores costos. Así mismo se efectuó el cálculo para una geocelda de 125mm de altura.

De acuerdo con la Tabla 1 y teniendo en cuenta que tanto el material de llenado de la geocelda así como el material inmediatamente inferior a ésta consta de una subbase granular, con un módulo de 115 MPa, se obtiene un valor de MIF de 3.8 que aplica para la zona totalmente confinada ( $H_1$ ) obteniendo lo siguiente:

$H_1 = 14.5\text{cm}$  correspondientes a 12.5cm de la altura de la geocelda más 2cm adicionales arriba.

$H_2 = 3.5\text{cm}$  correspondientes al espesor de la capa reforzada (18cm) menos la zona totalmente confinada (14.5cm).

$H = 18\text{cm}$

$E = 115\text{ MPa}$  (subbase granular)

A partir de la ecuación (2) se tiene un valor de módulo de base granular  $E_{\text{mod base}}$  (reemplazada por geocelda llena con material de subbase) = 374 MPa

Así mismo y teniendo en cuenta que los 2cm inmediatamente debajo de la geocelda se encuentran también bajo el efecto de confinamiento, se tiene que la subbase granular también tendrá un nuevo módulo, el cual se calculó a partir de la ecuación (2), obteniendo un valor de módulo de subbase granular  $E_{\text{mod subbase}} = 141\text{ MPa}$ .

A partir de lo anterior se efectuó nuevamente el diseño mediante la metodología racional, a partir de los nuevos módulos de elasticidad obtenidos para las capas de base y subbase granular.

En la Figura 10 se ilustran los nuevos datos de entrada al programa. Las Figuras 11 y 12 muestran los valores de deformaciones y esfuerzos en cada una de las capas del pavimento.

Número de Capas [2..6]		3		
Radio de Carga [cm]		12.5		
Presión de Contacto [Kg/cm <sup>2</sup> ]		6.62		
Distancia Entre Ejes de Llantas [cm]		37.5		
Capas	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	μ [ ]	H [cm]	Ligada ó No
1ª	36000	0.35	8	L
2ª	36000	0.35	9	L
3ª	3740	0.4	18	L
4ª	1410	0.4	25	L
5ª	375	0.45	25	L
6ª	150	0.5		

Figura 10. Datos de entrada pavimento con geoceldas  
Fuente: Propia

Título del Trabajo : PROYECTO 1 CON GEOCELDA					
Número de Capas : 6			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
1ª	0.00	2.2500E-04 C	1.5092E+01 B	-1.6800E-04 C	6.6179E+00 A
	8.00	-1.0700E-05 A	2.5187E+00 B	-2.6300E-05 C	4.5683E+00 B
2ª	8.00	-1.0700E-05 A	2.5187E+00 B	-2.6300E-05 C	4.5683E+00 B
	17.00	-1.9200E-04 B	-9.1161E+00 B	1.9700E-04 B	1.2440E+00 B
3ª	17.00	-1.9200E-04 B	-2.9367E-01 C	3.7200E-04 B	1.2440E+00 B
	35.00	-2.5100E-04 C	-1.1829E+00 C	3.4400E-04 C	4.0584E-01 C
Deflexión		= 131.820 mm/100			
Radio de Curvatura		= 301.800 m			

Figura 11. Deformaciones y esfuerzos en capas 1, 2 y 3 pavimento con geoceldas  
Fuente: Propia

Título del Trabajo : PROYECTO 1 CON GEOCELDA					
Número de Capas : 6			Alternativa : 1		
Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm <sup>2</sup> )	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm <sup>2</sup> )
4ª	35.00	-2.5100E-04 C	-2.7736E-01 C	4.2700E-04 C	4.0584E-01 C
	60.00	-2.7600E-04 C	-5.3942E-01 C	3.9400E-04 C	1.3562E-01 C
5ª	60.00	-2.7600E-04 C	-7.1685E-02 C	5.2400E-04 C	1.3562E-01 C
	85.00	-2.5600E-04 C	-1.0503E-01 C	4.6400E-04 C	8.0658E-02 C
6ª	85.00	-2.5600E-04 C	5.5778E-03 B	4.9800E-04 C	8.0658E-02 C
Deflexión		= 131.820 mm/100			
Radio de Curvatura		= 301.800 m			

Figura 12. Deformaciones y esfuerzos en capas 4, 5 y 6 pavimento con geoceldas  
Fuente: Propia

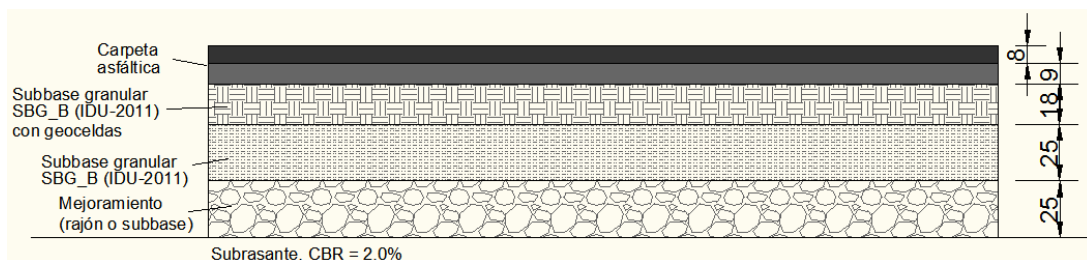
En la Tabla 4 se ilustran los nuevos valores de esfuerzos y deformaciones admisibles de acuerdo con el método racional para los módulos modificados calculados, así como los valores obtenidos mediante el programa DEPAV.

**Tabla 4.** Deformaciones pavimento con geoceldas

	Admisible según método racional (m)	Calculada DEPAV (m)
<b>Deformación subrasante (capa # 6) <math>\epsilon_z</math></b>	883 E-6	498 E-6
<b>Deformación capa asfáltica (capa # 2-3) <math>\epsilon_t</math></b>	194 E-6	192 E-6

*Fuente:* Propia

A partir de lo anterior se tiene que las deflexiones calculadas mediante el software DEPAV cumplen con las deflexiones admisibles. A continuación se ilustra el nuevo diseño obtenido:



**Figura 13.** Espesores de capas del pavimento con geoceldas

*Fuente:* Propia

### 3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación en la Tabla 5 se ilustra el resumen de los espesores obtenidos en cada uno de los diseños efectuados:

**Tabla 5.** Espesores pavimentos

PAVIMENTO	TRADICIONAL	CON GEOCELDA EN LA BASE GRANULAR
<b>CAPA</b>		
<b>Carpeta asfáltica (cm)</b>	18	17
<b>Base granular (cm)</b>	35	18
<b>Subbase granular (cm)</b>	35	25
<b>Mejoramiento (cm)</b>	30	25
<b>TOTAL (cm)</b>	<b>118</b>	<b>85</b>

*Fuente:* Propia

A partir de lo anterior se tiene que con el uso de las geoceldas en la base granular se obtiene una optimización del diseño al conseguir una reducción del espesor total del pavimento en el orden de 33cm (aproximadamente 28% de reducción), que se traduce en menor tiempo en la ejecución de la obra, toda vez que se requerirán menores volúmenes de excavación y compactación.

Así mismo a continuación se ilustra un cuadro comparativo con los precios unitarios por metro cuadrado de vía, para cada ítem de cada una de las alternativas de diseño planteadas, incluyendo suministro, instalación y transporte:

**Tabla 6.** Relación de costos

Trabajo	Ud.	Precio unitario (\$)	Pavimento Tradicional		Pavimento con geoceldas	
			Cantidad	Total (\$)	Cantidad	Total (\$)
Excavación con máquina	m <sup>3</sup>	9.100	1.18	10.738	0.85	7.735
Concreto asfáltico	m <sup>3</sup>	494.312	0.18	88.977	0.17	84.033
Base granular	m <sup>3</sup>	107.481	0.35	37.618	---	---
Subbase granular	m <sup>3</sup>	98.975	0.35	34.641	0.43	42.559
Rajón	m <sup>3</sup>	71.187	0.30	21.356	0.25	17.797
Geocelda (h = 125mm)	m <sup>2</sup>	25.484	---	---	1.00	25.484
Pistola neumática	UN	3.435	---	---	1.00	3.435
			<b>Total</b>	<b>193.330</b>	<b>Total</b>	<b>181.043</b>

*Fuente:* Propia

De la tabla anterior se observa que sí se obtiene un beneficio económico al proyectar el pavimento reforzado con geoceldas.

#### 4. CONCLUSIONES

Para el diseño de pavimento analizado en el presente documento se obtuvo que al reemplazar la base granular por una base reforzada con geoceldas se logra disminuir el espesor del pavimento en el orden de 33cm, con un porcentaje de reducción del espesor total del pavimento de aproximadamente 28%.

La reducción en el espesor de la estructura de un pavimento se traduce no solamente en menores costos sino en menor tiempo de construcción de la obra, debido a la menor excavación y compactación del material granular. Lo anterior sumado a la fácil instalación de las geoceldas.

La estructura del pavimento en su diseño convencional con 118cm de espesor, quedaría directamente apoyada sobre el estrato de limo arenoso detectado a



partir de los 0.90m de profundidad de acuerdo con la exploración efectuada. Así mismo al reducir el espesor total del pavimento a 85cm con el uso de las geoceldas, se tiene que éste quedará apoyado sobre el limo orgánico allí detectado. No obstante se aclara que aun cuando se retirará gran porcentaje de dicho material orgánico, el mejoramiento en rajón de 25cm recomendado garantiza en todo caso un buen comportamiento del pavimento, al reemplazar gran parte del suelo de soporte con bajas propiedades geomecánicas.

Las geoceldas tienen un comportamiento satisfactorio solo si se garantiza que el material empleado para su llenado es de tipo granular, aun cuando éste cuente con menores especificaciones a las normalmente exigidas por las diferentes entidades.

Aunque el diseño presentado en el presente documento se efectúa solo con el fin de mostrar la reducción obtenida en el espesor de una estructura de pavimento con el uso de las geoceldas, se tiene que una aplicación importante de dicha reducción es para el caso en donde el espesor del pavimento sea restringido o bien por niveles arquitectónicos o bien por la presencia de tuberías que solo permitirían cierta profundidad de excavación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mavisoy, P.H. Investigación documentación sobre la nueva tecnología de la neoweb. Universidad Nacional de Colombia, pp. 1.
- [2] Geosistemas Pavco. (2012). Manual de Diseño con Geosintéticos. Bogotá D.C: Novena edición.
- [3] Geosistemas Pavco (2011). Infraestructura Vial. Concesión Vial Devinorte. Cajicá-Zipacquirá.
- [4] Arqhys Arquitectura. (2014). Confinamiento celular. En: <http://www.arqhys.com/arquitectura/confinamiento-celular.html> (10 Agosto de 2014).
- [5] PRS Professional Reinforcement Solutions. (2014). Evolución de Geoceldas. En: <http://www.prs-med.com/about-prs/evolution-of-geocells> (15 Agosto de 2014).
- [6] Gámez, M.K. (2015). Geoceldas. Universidad del Magdalena. En: <http://es.scribd.com/doc/252151974/GEOCELDAS#scribd> (08 Abril de 2015).
- [7] PRS Professional Reinforcement Solutions. (2010). Neoweb whit Neoloy Next generation cellular confinement systems, pp. 2-6.
- [8] Yanga, X., Han, J., Pokharel, S.K., Manandhar, C., Parsons, R.L., Leshchinsky, R.D., & Halahmi, I. (2012). Accelerated pavement testing of

- unpaved roads with geocell-reinforced sand bases. *Geotextiles and Geomembranes*, 32, 95-103.
- [9] ASTM D6652-01, Standard Test Method for Determining Fibrous Debris From Nonwoven Fabrics (Withdrawn 2008), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001. doi: 10.1520/D6652-01
- [10] ASTM E831-14, Standard Test Method for Linear Thermal Expansion of Solid Materials by Thermomechanical Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. doi: 10.1520/E0831-14
- [11] ASTM E2254-13, Standard Test Method for Storage Modulus Calibration of Dynamic Mechanical Analyzers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013. doi: 10.1520/E2254
- [12] ASTM D3895-14, Standard Test Method for Oxidative-Induction Time of Polyolefins by Differential Scanning Calorimetry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. doi: 10.1520/D3895-14
- [13] ASTM D5885-06(2012), Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012. doi: 10.1520/D5885-06R12
- [14] Espinosa y Restrepo S.A. (2012). Diseño de pavimento para la vía vehicular del costado oriental (carrera 85 k, corresponde a la mitad de la calzada) del edificio world business center ubicado en la carrera 85K No. 46 A – 45. Bogotá D.C.
- [15] AASHO - American association of state highway officials, The AASHO road test, special report 61 (7 reports, A-G), National academy of sciences - National research council, Washington D.C., 1961.
- [16] Murgueitio, A., Solano, E. (1994). Instituto de Vías de la Universidad del Cauca.

