

# DESARROLLO DE GEOCOMPUESTOS (GEODREN VIAL) COMO SISTEMAS DE DRENAJE EN INFRAESTRUCTURA VIAL.

**M.Ibañez**

**Departamento de Ingeniería, Mexichem Colombia , Colombia.**

[carolina.ibanez@amanco.com](mailto:carolina.ibanez@amanco.com)

**J. Martínez**

**Departamento de Ingeniería, Mexichem Soluciones Integrales, México.**

[johmarti@mexichem.com](mailto:johmarti@mexichem.com)

## RESUMEN

La ausencia de un adecuado sistema de subdrenaje es una de las principales causas por las que se tienen que realizar prematuramente intervenciones de reparación en las estructuras viales, generando incremento excesivo de los costos de mantenimiento y reduciendo sustancialmente la vida útil de las estructuras de pavimento [2].

Para el manejo de niveles freáticos altos y el control de la humedad del material de base ó cimentación, se requiere la construcción de sistemas de subdrenaje. El sistema de subdrenaje se puede manejar con el suddrenaje francés tradicional, o con el sistema de subdrenaje con Geocompuestos, Geodren; ambos sistemas integrales de captación, conducción y evacuación de fluidos.

El desarrollo del Geodren Vial se basa en el ensayo de Transmisividad que consiste en determinar el paso del agua a través del geocompuesto aplicando diferentes esfuerzos con varios tipos de georedes y geotextiles no tejidos hasta obtener el mejor comportamiento hidráulico.

## 1 INTRODUCCIÓN

La prolongación de la vida útil de las vías ha sido una permanente preocupación por parte de las entidades públicas y privadas como el caso de los concesionarios a nivel nacional (Colombia) e internacional, que se encargan de la ejecución y del posterior cuidado de éstas. Los ensayos realizados sobre nuevos materiales que racionalicen de alguna manera los costos de mantenimiento que la estructura de pavimento requiere o pueda requerir, han traído nuevos horizontes. Con la aparición del Geodren para el sistema de subdrenaje en vías, los investigadores han hecho un aporte significativo a la ingeniería, demostrando que el desempeño de este elemento ha sido adecuado para el sistema de subdrenaje en vías

Los filtros ó sistemas de drenaje o subdrenaje son un elemento fundamental para la conservación de la infraestructura vial debido a que son un medio para la evacuación de las aguas por infiltración y el control del nivel freático [3], que afectan directamente a la estructura de pavimento disminuyendo los módulos de resiliencia de los materiales.

Después de más de una década de ensayos en campo, laboratorio y de estudios se logró cuantificar el beneficio del Geodren en los proyectos de infraestructura vial y se ha venido utilizando casi rutinariamente a lo largo y ancho de Latinoamérica.

Como parte del mejoramiento continuo se buscó optimizar el Geodren Circular y generar el Geodren Vial que beneficiara la estructura de pavimento no sólo por el aumento en el desempeño de las propiedades hidráulicas y así mismo por el beneficio económico

reflejado en la reducción de futuros mantenimientos debido a la instalación de un sistema de subdrenaje.

## **2 IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE SUBDRENAJE EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL.**

De acuerdo con Moreno C [4], los factores que más contribuyen al deterioro de las estructuras de pavimento son:

- Deficiente drenaje lateral de las aguas superficiales
- Deficiente drenaje lateral de las capas de soporte de las losas (pavimentos rígidos)
- Deficiente subdrenaje
- Deficiente sello de juntas (pavimentos rígidos)
- Deficiente conservación rutinaria

En la actualidad el manejo deficiente del drenaje, continúa siendo uno de los grandes detonantes de problemas en proyectos ejecutados como se observa en las Fotografía 1 a 2.



**Fotografía 1. Daños en losas de Transmilenio en la Autopista Norte. Bogotá Colombia**



**Fotografía 2. Vía deteriorada por presencia de nivel freático, Vía Usme; Colombia**

Un sistema de drenaje eficiente y estable necesita estar compuesto por un medio filtrante y otro drenante; para el caso del desarrollo del Geodren que es un geocompuesto conformado por geotextil no tejido punzonado por agujas (elemento textil de alta permeabilidad) y una Geored (elemento sintético que presenta alta capacidad de transporte de fluidos en su plano – Transmisividad), cada elemento cumple una función específica; el geotextil no tejido tiene la función de retener las partículas de suelo permitiendo el paso del agua y evitando la migración de finos, la Geored es el medio drenante encargado de captar y conducir a una disposición final el agua que pasa a través del filtro. Cuando el Geodren tiene tubería de drenaje que cumple la función de evacuar los fluidos se denomina Geodren Vial.

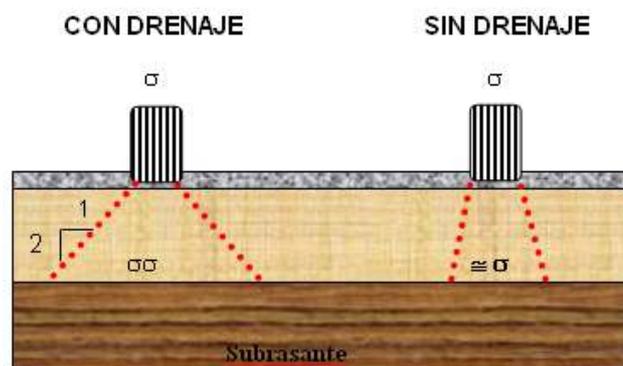
El subdrenaje en las vías permite reducir los efectos desfavorables del agua interna sobre la estabilidad de las calzadas. El agua interna tiene normalmente dos orígenes, interior y exterior [2].

El agua puede manifestarse por ascensión capilar a partir del nivel freático (más precisamente por fenómenos de succión en fase líquida, o aun en fase vapor). Además, pueden aparecer, en los taludes o en la banca, fuentes de agua aislada o repartida que no solamente dificultan la realización de las obras nuevas, sino que también comprometen la estabilidad de las carreteras posteriormente a su construcción [3].

El agua de lluvia no se evacua totalmente por los dispositivos de drenaje superficial, parte se infiltra a través de los taludes, de las bermas u ocasionalmente a través del pavimento.

El drenaje y el subdrenaje son de vital importancia. El exceso de agua en los suelos genera [1]:

- Incremento de las presiones de poros y disminución de los esfuerzos efectivos
- Presiones hidrostáticas, subpresiones de flujo.
- Disminuye el módulo de resiliencia de los materiales de base, sub-base y subrasante
- Cambia los mecanismos de transmisión de carga como se observa en el esquema 1.



Esquema1. Distribución de Esfuerzos

El principio básico para la obtención de una buena distribución de esfuerzos intergranulares a través de las capas estructurales de la vía, está basado en que dichas capas están bien drenadas.

Cuando las capas estructurales están completamente saturadas, la transmisión de esfuerzos que se genera con el paso vehicular se da en forma casi vertical, como consecuencia, el esfuerzo transmitido directamente a la subrasante es casi igual al que se está generando en la superficie de rodadura. El funcionamiento de la estructura del pavimento está fundamentado en el “puenteo” o distribución de esfuerzos a través de

cada capa de la estructura de pavimento para que estos lleguen reducidos al nivel de subrasante.

La “vida útil” de un pavimento es diferente a la “vida efectiva” del mismo, este tiempo depende básicamente de los tipos de daños que presente la vía y la variación de su índice de serviciabilidad, relacionado directamente con la existencia de subdrenaje.

### **3 DESARROLLO DEL GEODREN VIAL**

Partiendo de la Norma ASTM D – 4716 [5] y la Norma Técnica Colombiana NTC 3253 [6] “Método de ensayo para la determinación de la tasa de flujo por unidad de ancho y transmisividad hidráulica de un Geosintético a cabeza constante (flujo en el plano)”, se buscó realizar varias pruebas con diferentes georedes y geotextiles para llegar a un geocompuesto de mejores características al geocompuesto desarrollado por Geosistemas Pavco hasta octubre 2009 (llamado Geodren Circular que está conformado por una geored e 5mm de espesor y un geotextil no tejido).

Este ensayo tiene por objeto determinar la tasa de flujo por unidad de ancho a través del plano del geocompuesto sometido a una variación normal de esfuerzos de compresión y cabeza constante; adicionalmente se puede realizar con diferentes gradientes hidráulicos de tal manera que se simule las condiciones de campo.

#### **3.1 Equipo empleado**

En la Fotografía 4, se presenta el equipo empleado para determinar la tasa de flujo que pasa a través del espécimen (Geodren) y su descripción es la siguiente:

- Base: Una base de metal firme con fondo plano y liso y con lados que puedan contener el espécimen (Geodren) de ensayo de área y espesor suficiente. Toda la unión entre la superficie del fondo y los lados de la base debe ser hermética y no inhibir el flujo de agua en el plano a través Geodren.
- Recipiente: Recipiente plástico o de vidrio para almacenar el agua, se debe extender sobre el ancho de la base. El recipiente debe permitir mantener constante el nivel del agua en cualquier elevación.
- Mecanismo de carga con capacidad para aplicar un esfuerzo normal constante sobre el Geodren, que oscile entre 10 KPa hasta por lo menos 500 KPa sobre un área cargada de (12pulg x 14pulg).
- Presa del flujo que sale: Corresponde a un recipiente plástico, vidrio o metal del ancho total de la base al lado de la salida del espécimen (Geodren) y tiene al lado opuesto una presa rectangular de una elevación mayor que la superficie del espécimen, con el fin de mantener la condición de cabeza constante al lado de la salida del flujo del espécimen.
- Colector del flujo de salida: Es el depósito que atraviesa todo el ancho de la base y se utiliza para recolectar y medir el flujo de salida del espécimen.
- Manómetros: Se localizan manómetros abiertos en los extremos de entrada y salida del espécimen (Geodren), en la caja del recipiente y en la presa de flujo que

sale respectivamente. Las llaves del manómetro se sitúan al mismo nivel de la base del espécimen, adicionalmente se debe prolongar los manómetros con tubería limpia hasta una altura al menos igual al máximo nivel de agua de la presa.



Fotografía 4. Montaje del equipo de tasa de flujo y transmisividad

### 3.2 Procedimiento de elaboración del Ensayo.

- Colocar el espécimen en la base del mecanismo de ensayo, sin pliegues ni arrugas.
- Sellar los costados del espécimen, paralelos a la dirección del flujo envolviendo el espécimen de ensayo en una delgada lámina de plástico de baja compresibilidad o membrana de caucho usando goma de colocación o sello de cera u otra medida (para prevenir filtraciones por los costados).
- Instalar la placa superior (platina) en el ensamble de ensayo, aplicando pequeños esfuerzos de asentamiento de 5kPa a 10kPa sobre la placa y llenar lentamente el recipiente con agua, permitiendo que el agua fluya por el espécimen de ensayo.
- Sentar el espécimen bajo el mínimo esfuerzo normal de compresión por un período de 15 minutos, posteriormente se llena el recipiente con agua al nivel correspondiente para el gradiente hidráulico seleccionado del ensayo.
- Determinar el gradiente hidráulico del sistema, calculando las diferencias en elevaciones de agua entre el recipiente y los manómetros de la presa y dividiendo este valor por la longitud del espécimen sujeto al esfuerzo de compresión normal.
- Una vez se observe flujo constante a través del espécimen, se permite el paso por el espécimen de al menos  $0.0005\text{m}^3 \approx 0.5\text{lt}$  de agua y posteriormente se registra el tiempo requerido para que pasen  $0.0005\text{m}^3 \approx 0.5\text{lt}$  de agua adicionales. Si el tiempo supera 15 minutos se registra la cantidad de agua recolectada en ese lapso de tiempo

para usarla en los cálculos de la tasa de flujo por unidad de ancho o transmisividad hidráulica ó ambos. Las lecturas del flujo se deben repetir al menos tres veces por cada gradiente hidráulico seleccionado.

- Para completar el estudio se aumenta el esfuerzo normal de compresión y se repite el procedimiento anterior.
- Se debe tener en cuenta la(s) curva(s) de calibración para el aparato de ensayo con la apropiada calibración del(los) espesor(es) del(los) patrón(es), o una declaración que indique que la calibración del aparato fue realizada y que las pérdidas hidráulicas del equipo son menores a 5% de las pérdidas medidas durante el ensayo.

### 3.3 Materiales Empleados

Los materiales empleados para la realización de los ensayos de laboratorio son:

- Geotextil No Tejido: “Material textil plano, permeable, de polipropileno, no tejido punzonado por agujas” Deberá tener capacidad para dejar pasar el agua, pero no partículas finas de suelo.
- Geored (HDPE): Red de polietileno de alta densidad y es el medio poroso encargado de captar y conducir los fluidos que pasan a través del Geotextil.  
Los tipos de georedes ensayadas son:
  - GR 495 Gris 5,8mm
  - GR 694 Negra 4,7mm
  - GR555 Negra 6,2mm
  - GR770 Negra 5,0 mm
  - GR649 Negra 7,5 mm
- Geodren Vial: Geocompuesto elaborado con geotextil no tejido y geored, el cual debe ser laminado con calor en ambas caras para facilitar el flujo hidráulico a través de su plano. El Geodren vial va acompañado de una tubería de drenaje de PVC encargada de conducir el fluido a la zona de evacuación.

### 3.4 Fórmulas de cálculos.

Se calculan los valores de la tasa de flujo por unidad de ancho y/o transmisividad hidráulica para cada espécimen de ensayo.

#### 3.4.1 Tasa de Flujo

La tasa de flujo por unidad de ancho  $q_w$  se calcula:

$$q_w = \frac{Q}{W}$$

Donde:

$q_w$  = tasa de flujo por unidad de ancho  $m^3/s - m$

$Q$  = medición del promedio de la cantidad de fluido descargado por unidad de tiempo  
 $m^3/s$

$W$  = Ancho del espécimen (m)

### 3.4.2 Transmisividad

La transmisividad  $q$  se calcula:

$$q = \frac{R_t Q_t L}{W H}$$

Donde:

$q$  = Transmisividad hidráulica ( $m^2/s$ )

$R_t$  = Factor de corrección de temperatura

$Q_t$  = Medición del promedio de la cantidad de fluido descargado por unidad de tiempo  
( $m^3/s$ )

$L$  = Longitud de espécimen sujeto al esfuerzo normal de compresión (m)

$W$  = Ancho del espécimen (m)

$H$  = Diferencia en la cabeza total a través del espécimen.

### 3.5 Cálculo esfuerzo máximo aplicado al Geodren Vial

En el caso de un sistema de subdrenaje de una estructura de pavimento, el esfuerzo normal máximo al que el geocompuesto será sometido debido a la presión de tierras a una determinada de profundidad se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_N = \gamma * h * K_a$$

Donde:

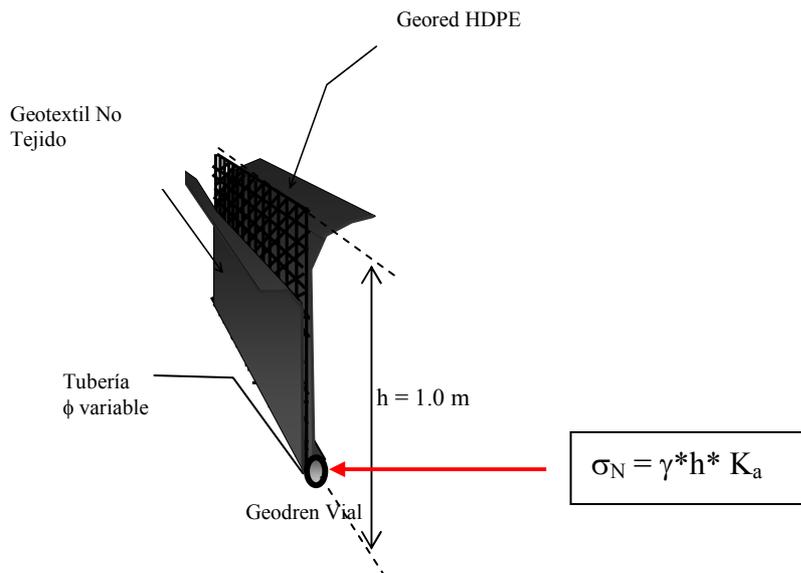
$\sigma_N$  = Esfuerzo normal máximo (Kpa)

$\gamma$  = Peso específico del suelo en el cual se va instalar el geocompuesto ( $KN/m^3$ )

$H$  = Altura a la cual el esfuerzo normal es máximo (m)

$K_a$  = Coeficiente lateral de presiones

La comparación del Geodren instalado como sistema de subdrenaje, es decir en forma vertical (Figura 1) a una profundidad de 1.0 m, se realiza con el ensayo de transmisividad y con el gradiente (i) igual a 1.0.



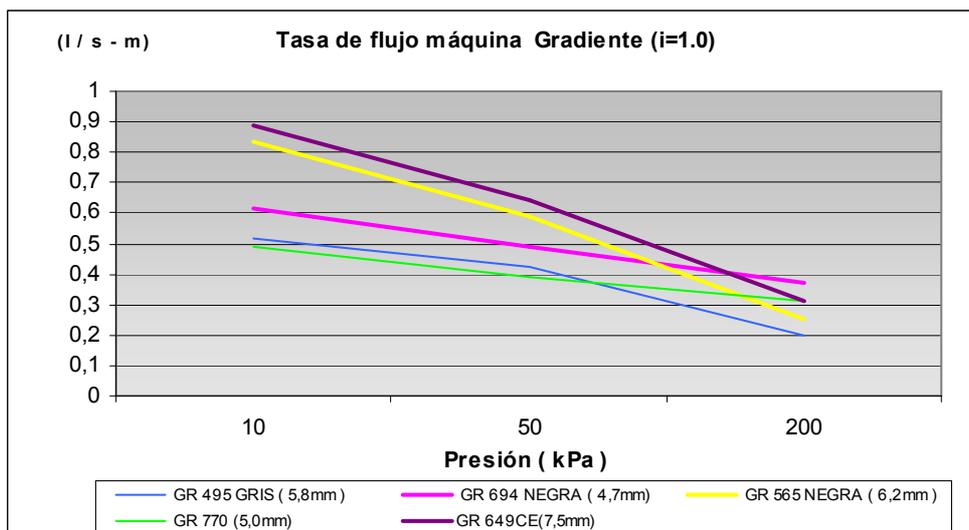
**Figura 1. Aplicación del máximo esfuerzo aplicado al Geodren Vial a una profundidad de 1.0m**

El esfuerzo normal promedio  $\sigma_N$  que puede tener el Geodren a una profundidad de 1m es aproximadamente de 7 kPa, lo cual indica que con una presión de 10 kPa realizada en el laboratorio se puede determinar la tasa de flujo aproximada que pasa por el Geodren.

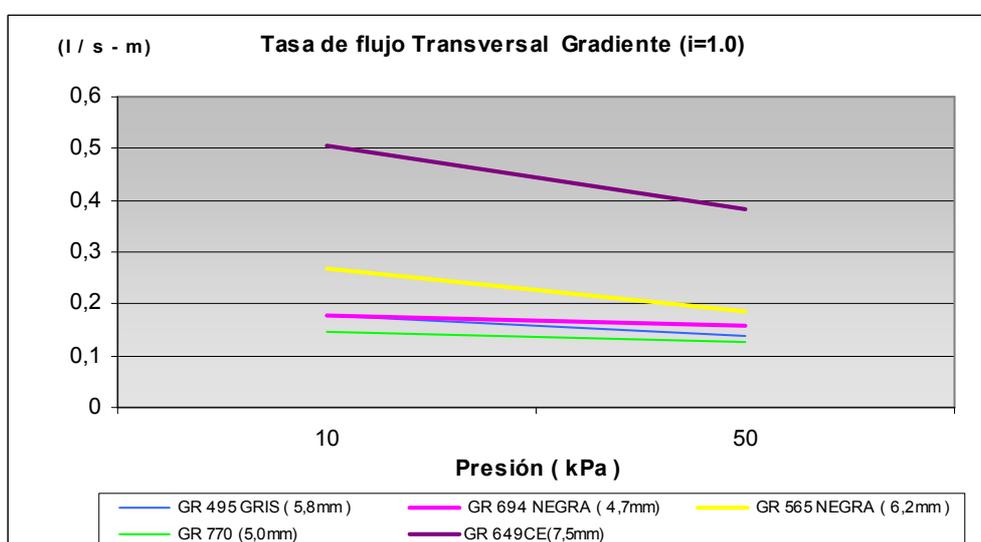
### 3.6 Resultados

Las georedes ensayadas se acompañaron de geotextil no tejido para conformar el geocompuesto (Geodren) y el resultado del comportamiento de la tasa de flujo en sentido máquina y transversal con diferentes presiones y con variación de gradientes se presenta a continuación:

- Gradiente 1.0: El gradiente hidráulico corresponde a la relación entre la diferencia de altura con la diferencia de longitud. Para el caso del Geodren Vial en su aplicación como sistema de subdrenaje se tiene un gradiente igual a uno ( $i=1.0$ ) valor que se adquiere cuando el Geodren es instalado de forma vertical, es decir cuando su altura es de un metro (1.0m) y la longitud por donde se traslada el agua es de un metro (1.0m).
- Gradiente 0.5 y 0.1: En el laboratorio se realizó el ensayo de transmisividad con gradientes 0.5 y 0.1 a diferentes presiones, para determinar el comportamiento del geocompuesto en aplicaciones como lloraderos para muros en suelo reforzado y control de fluidos en rellenos sanitarios entre otros.
- El presente trabajo se enfoca en el desarrollo del Geodren vial, es decir, en el comportamiento del geocompuesto instalado en forma vertical. En la gráfica 1 y 2 se presentan los resultados de la tasa de flujo a diferentes presiones en sentido máquina y sentido transversal con gradiente igual a uno ( $i=1.0$ )



**Gráfica 1. Comparación geodrenes, tasa de flujo en sentido máquina y gradiente i=1.0**



**Gráfica 2. Comparación geodrenes, tasa de flujo en sentido transversal y gradiente i=1.0**

En los ensayos elaborados a los geocompuestos en sentido máquina (gráfica 1), se aplicaron presiones de 10kPa, 50kPa y 200kPa, para simular la condición del sistema de subdrenaje en el espaldón de un muro de contención.

En los ensayos elaborados a los geocompuestos en sentido transversal (grafica2), se aplicaron presiones de 10kPa y 50kPa para simular la condición del Geodren vial en forma vertical, como se presentó en el numeral 2.5, donde el esfuerzo máximo al puede ser sometido el geocompuesto a una profundidad de un metro (1.0m) es 7kPa.

### 3.7 Análisis Económico

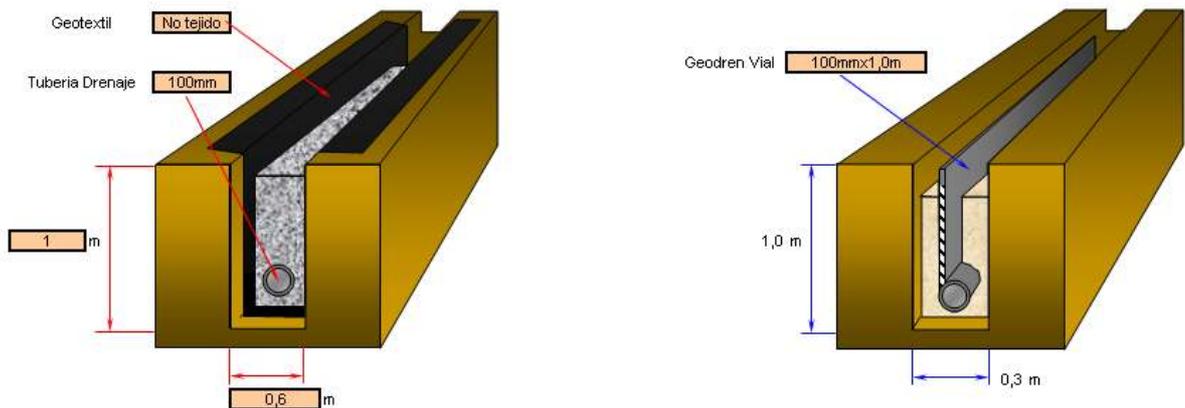
A continuación se presenta un comparativo económico entre un sistema de drenaje tradicional francés y un sistema de drenaje con el Geodren. Los precios son incluidos en dólares y se toman con base en los precios del mercado peruano. Se recomienda verificar la ubicación del proyecto y la cercanía de la explotación de materiales para conocer la viabilidad de consecución de materiales; sin embargo con el sistema del

Geodren Vial se pueden emplear materiales de menores especificaciones que el sistema Tradicional Francés, toda vez que el material de relleno no presente un índice de plasticidad >7% y su permeabilidad sea mayor a 10 E-3cm/s

**ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO LINEAL GEODREN PAVCO VS DREN FRANCÉS**

DREN FRANCÉS						GEODREN VIAL					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Descuento	Total	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Descuento	Total
Geotextil No Tejido	m <sup>2</sup>	3,50	\$0,95	0%	\$3,33	Geodren Vial 100mmx1,0m	ml	1,00	\$9,70	0%	\$9,70
Tubería de drenaje 100mm	ml	1,00	\$4,00	0%	\$4,00	Material Permeable (Arena Gruesa)*	m <sup>3</sup>	0,39	\$6,00		\$2,34
Material de Relleno*	m <sup>3</sup>	0,78	\$12,00		\$9,36	Excavación y Desalojo	m <sup>3</sup>	0,39	\$6,19		\$2,41
Excavación y Desalojo	m <sup>3</sup>	0,78	\$6,19		\$4,83	Mano de Obra	Hr/MI	1,00	\$5,54		\$5,54
Mano de Obra	Hr/MI	1,00	\$5,54		\$5,54	<b>TOTAL</b>					<b>\$19,99</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$27,05</b>						

**AHORRO POR METRO LINEAL, UTILIZANDO SISTEMA DE SUBDRENAJE CON GEODREN VIAL 26%**



Nota: \* Precio promedio del material con canteras próximas a la zona del Proyecto. Para cada proyecto es necesario analizar este ítem

#### 4 CONCLUSIONES

- La mayor tasa de flujo comparando las muestras ensayadas fue la combinación de la geored GR 649 de 7.5mm de espesor con geotextil no tejido de permeabilidad  $46 \cdot 10^{-2}$  cm/s, obteniendo un flujo en sentido máquina de 0,9 l/s-m a una presión de 10 KPa y 0.3l/s-m a una presión de 200 KPa. La tasa de flujo en sentido transversal a una presión de 10 KPa es de 0.5 l/s-m y a una presión de 50KPa es de 0.38l/s-m, por lo tanto, la geored de 7.5mm de espesor y el geotextil no tejido punzonado por agujas, es la que presenta mejor comportamiento como sistema de subdrenaje en una vía,
- Con relación al Geodren Circular (desarrollo inicial) se presenta un incremento mayor al 50% de la tasa de flujo en ambas direcciones.
- En términos de Beneficio - Costo, el Geodren Vial tiene un ahorro del 26% Vs. el sistema tradicional francés cuando éste último incluye tubería de drenaje, lo que conlleva a optimizar el presupuesto del proyecto cumpliendo con un sistema de drenaje adecuado.

## REFERENCIAS

1. Departamento de Ingeniería Geosistemas Pavco, "Manual de Diseño con Geosintéticos" Octava Edición; 2009.
2. Harry R. Cedergen. Drenaje en pavimentos de Autopistas y Aeropuertos
3. Montejo Fonseca Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.
4. Moreno Carlos; Ing. Civil. Casos en Colombia de utilización de Geocompuestos como sistema de subdrenaje en vías. Marco del Simposio Colombiano de Pavimentos Medellín 2009.
5. ASTM D - 4716 "Método de ensayo para determinar la tasa de flujo y la transmisividad hidráulica de un geosintético utilizando una cabeza constante"
6. Norma Técnica Colombiana NTC 3253.