

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

SCIENTIÆ · PATRIÆ · FAMILIÆ
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERIA DE PAVIMENTOS**

UNIVERSIDAD MILITAR

**ARTICULO: CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL
SOFTWARE DRIP 2.0 PARA EL DISEÑO DE SUBDRENAJE EN ESTRUCTURAS
DE PAVIMENTO FLEXIBLE.**

OSCAR RAMIRO CAMPOS MARIN

Tutor Trabajo de Grado: Ing. Javier Fernando Camacho Tauta

Bogotá. D.C, Colombia, Noviembre de 2015

CONSIDERACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DRIP 2.0 PARA EL DISEÑO DEL SUBDRENAJE EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

CONSIDERATIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DRIP 2.0 SOFTWARE FOR SUBDRAIN DESIGNS IN FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURES.

Oscar Ramiro Campos Marín
Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería. Especialización en Ingeniería de Pavimentos.
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C. Colombia.
oscarcampos87@hotmail.com

RESUMEN

El presente artículo indica las consideraciones para la utilización del software DRIP 2.0, en los diseños de subdrenaje en estructuras de pavimento asfáltico. Según el estudio denominado “Factores que determinan el uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia”, se sugiere innovar en cuanto a metodologías tradicionales de diseño y construcción buscando satisfacer un uso óptimo de materiales para así contar con una infraestructura segura y de alta calidad. Generalmente en un gran porcentaje de casos la información disponible correspondiente a materiales a utilizar se limita a nomogramas o tablas las cuales han sido calibradas con materiales disponibles en los sitios de procedencia donde se han desarrollado los estudios.

Es por ello que se realizó la implementación del software de drenaje requerido en pavimentos desarrollado por la FHWA (Federal Highway Administration) en el año 2000 y con el cual se puede realizar cálculos para determinar y analizar con métodos analíticos aproximados los sistemas de subdrenajes requeridos de acuerdo a parámetros de entrada para los materiales y las condiciones requeridas del sitio (saturadas o insaturadas).

Se tomó el diseño real convencional de una vía del territorio Colombiano con parámetros de entrada definidos, posteriormente se realizó una modelación en el software DRIP 2.0 obteniendo de esta manera datos mejorados que permitan aumentar el periodo de vida útil al diseño final. De igual forma se realizó un análisis de sensibilidad del software variando datos del diseño implementado.

Palabras Claves: DRIP, drenaje, geometría de vía, granulometría, flujo de entrada, base permeable, capa separadora, drenaje perimetral.

ABSTRACT

This article presents the considerations for using the software DRIP 2.0 in designs of subdrain structures in asphalt pavement. Some investigations show that Colombian territory has some shortcomings in terms of criteria and development of technologies adopted for the type of material available on the site where projects are developed. Furthermore, available nomograms and information calibrated are used with the materials available in the country where studies were developed.

The development of this study contemplates the use of software DRIP 2.0 developed by the FHWA in 2000. With this program is possible perform calculations to determine and analyze approximate analytical methods required sub-drains systems according to input parameters for materials, also for required conditions (saturated or unsaturated). One design of a conventional line of the Colombian territory with defined input parameters was taken. After on a modeling was performed in the DRIP 2.0 software this obtaining improved data to increase the useful life to the final design. A sensitivity analysis was performed in the software to obtain useful information.

Key Words: DRIP, flow, roadway geometry, grain-size distribution, inflow, permeable base, separator, edge drain.

INTRODUCCIÓN

Los diseños de las zonas de estudio en cuanto a obras de subdrenaje dependen de las condiciones hidrológicas del sector, estas están representadas en gran variedad de información que se representa en nomogramas o tablas que sirven para presentar un diseño final de subdrenaje. En Colombia el INVIAS ha adoptado la normativa ASTM (American Society for Testing Material) para el caso específico de los materiales utilizados para subdrenes con materiales granulares y geotextiles [1]. De igual forma Mejía & Caro [2] señalan en su estudio sobre “Factores que determinan el uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia” que aún hay una larga trayectoria por recorrer en cuanto a diseño de sistemas de drenaje y subdrenaje. Con relación a este atraso se hace necesario desarrollar una nueva forma de mejorar los criterios de diseño permitiendo obtener una confiabilidad a las estructuras de pavimento diseñada y construidas.

Este ejercicio investigativo estuvo encaminado a presentar de modo pedagógico el desarrollo del software DRIP 2.0 en el diseño de subdrenaje dadas las actuales

condiciones de los pavimentos asfálticos en el territorio Colombiano, lo anterior basados en estudios de daño realizados. El Departamento de Transporte de Minnesota [3] señala que debido a la humedad, los módulos de las mezclas pueden verse afectados negativamente por la presencia de la misma, además se presume que por este motivo en un alto porcentaje las estructuras no cumplen con los periodos de diseño, ya que las capas diseñadas no protegen las capas más vulnerables a la humedad. La temática está encaminada a la prolongación de la vida útil y con ello también es probable que se realicen menos intervenciones de mantenimiento y rehabilitación en el tiempo.

Desde la concepción personal, los diseños en Colombia se encuentran limitados a métodos probabilísticos como lo son estudios hidrológicos con modelaciones de lluvias que permiten ajustar en el tiempo las precipitaciones, para así presentar estructuras que aseguren la funcionalidad. Los softwares de diseño de subdrenaje no son muy conocidos e implementados e infortunadamente la escasa información se encuentra limitada por insuficiente reseña encontrada en la red. Dentro del manual de drenaje del INVIAS se presenta como referencia este programa, pero no se desarrolla ninguna metodología aplicada que permita validar resultados verídicos y de mejora en los diseños.

El territorio Colombiano cuenta con una gran variación de precipitaciones durante todo el año, razón por lo cual es de gran utilidad la implementación de este tipo de programas por los cambios de humedad en la estructura. Según la National Cooperative Highway Research Program [4], el programa DRIP 2.0 puede enfocarse mejorando la metodología para los diseños hidráulicos de bases permeables, drenes laterales de borde y capas de separación, con ello se pueden obtener espesores y diámetros respectivamente, los cuales son obtenidos mediante la modelación de la estructura en estudio.

1. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL SOFTWARE DRIP 2.0.

El programa de drenaje de la FHWA fue desarrollado para el diseño de estructuras de subdrenaje en pavimentos asfálticos e hidráulicos, en si el programa permite analizar más a profundidad las siguientes funciones:

- Realiza diseños de drenaje para pavimentos flexibles y rígidos y moderniza los drenajes de borde.
- Calcula el tiempo de drenaje y la profundidad del flujo en la capa de drenaje.
- Realiza diseños de capas separadoras y geotextiles.
- Realiza diseños de bordes de drenaje y aletas de drenaje con geocompuestos.

- Convierte los datos de entrada y salida del sistema internacional a unidades Inglesas y viceversa.

De igual forma, el software permite realizar análisis de sensibilidad cambiando parámetros de diseño, y que posteriormente son utilizados para generar mejoras en el aspecto constructivo de la vía. En la Figura 1, se presenta el esquema de trabajo del software DRIP 2.0, el cual tiene prelación en cuanto a la información, de esta se desprenden los análisis de flujo para la capa de drenaje y se determina si es necesaria una capa separadora.

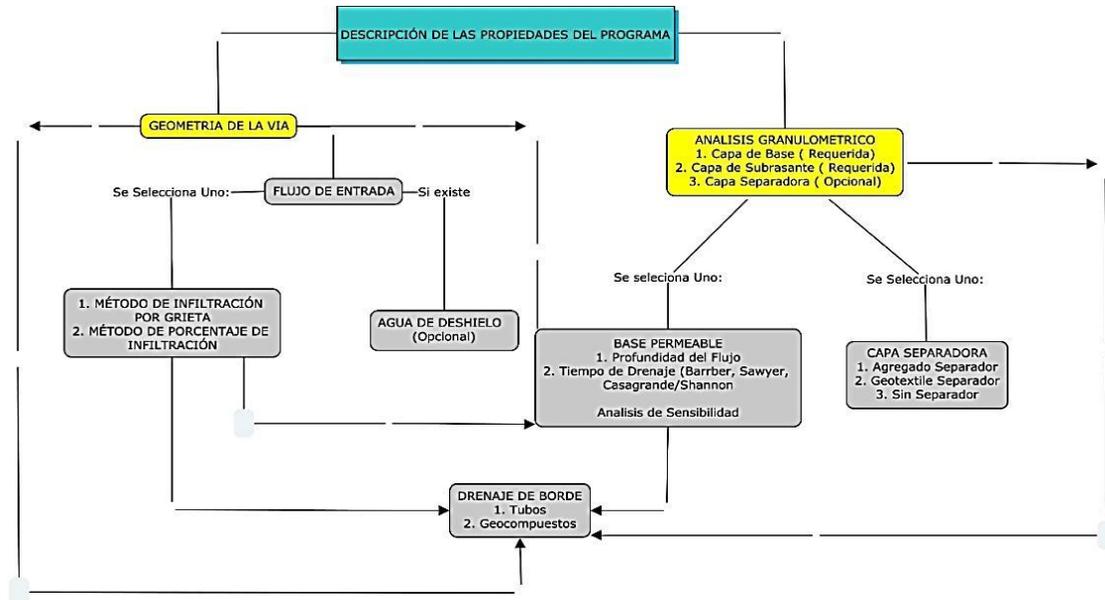


Figura 1. Descripción de la forma en que trabaja el software DRIP 2.0.
Fuente: Autor.

La Tabla 1, 2 y 3 presenta la descripción de los datos de entrada tanto para la base granular, subrasante y con los cuales mediante un ejemplo pedagógico se mostró el desarrollo de la metodología de análisis y diseño del programa.

Para el siguiente estudio se realizó la compilación de información relacionada con las secciones caracterizadas por el manual del INVIAS junto con las propiedades físicas como granulometría, pendientes, geometrías, datos de laboratorio, etc., necesarias para dar inicio con el ejercicio investigativo.

Tabla 1. Datos de entrada

Sección de pavimento Geometría Tipo B – Pendiente Uniforme	$b^* = 7,3 \text{ m}$
	$c^{**} = 0,9 \text{ m}$
Pendiente Longitudinal (S)	2%
Pendiente Transversal (Sx)	2%
Peso específico (base granular NO estabilizada).	1900 kg/m^3
Gravedad Específica (Base Granular).	2,65
Espesor Capa Granular Instalada	1 m.
Permeabilidad de la Subrasante.	0,001 m/día – Dato de Laboratorio
Permeabilidad de la Base Granular	1850 m/día – Dato de Laboratorio

Fuente: Autor

Los parámetros de b^* y c^{**} representan la dimensión de la calzada de la vía, y la distancia entre el borde de la calzada y el centro del drenaje perimetral respectivamente.

Tabla 2. Granulometría para la Subrasante.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (%)
No. 4 (4,75 mm)	92
No. 10 (2,00 mm)	67
No. 20 (0,850 mm)	55
No. 50 (0,300 mm)	42
No. 200 (0,075 mm)	31

Fuente: Apéndice TT: Drainage requirement in pavement, Microcomputer program user's guide.

Tabla 3. Granulometría para Base Permeable NO estabilizada.

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA (%)
1-1/2" (37 mm)	97
1" (25 mm)	79
3/4" (19 mm)	66
1/2" (12,5 mm)	52
3/8" (9,5 mm)	42
No. 4 (4,750 mm)	25
No. 8 (2,360 mm)	12
No. 16 (1,180 mm)	2

Fuente: Manual de Drenaje del INVIAS (2009).

En la Figura 2, se presenta el diseño típico de secciones transversales el cual se adoptó en el ejercicio, se toma una granulometría para una base permeable tipo 2 del manual del INVIAS, y para un espesor de pavimentos menor de 150 mm.

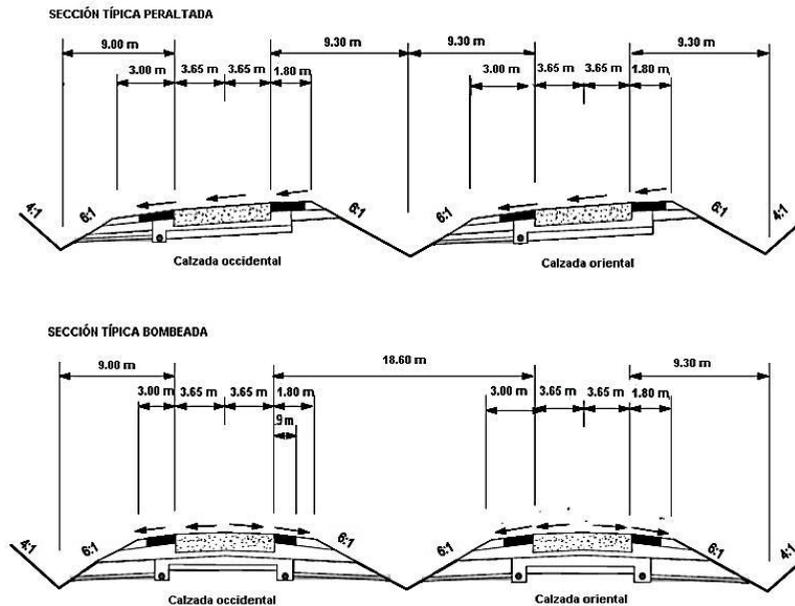


Figura 2. Secciones transversales típicas de algunas carreteras de doble calzada.
Fuente: Manual de Drenaje del INVIAS (2009).

2. EJERCICIO DE APLICACIÓN CON DATOS INICIALES

Para esta primera instancia, se obtienen parámetros tales como longitud de la trayectoria del flujo dentro de la base permeable (L_R), ancho de la base permeable (W).

En la Figura 3, se puede observar los resultados de la trayectoria de flujo con los datos de entrada:

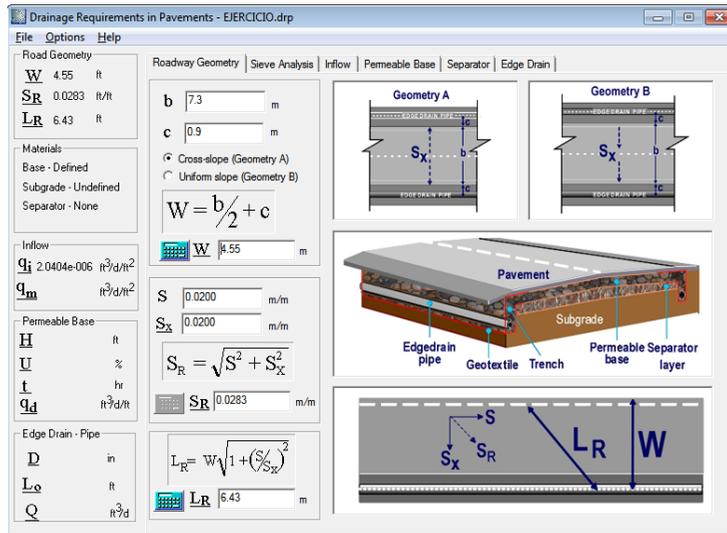


Figura 3. Datos de entrada para la geometría de la vía.

Fuente: Autor

Posteriormente, se introducen los datos de entrada para las capas granulares (bases, subbases y capa separadora). Se debe conocer las granulometrías e información como peso unitario, gravedad específica. Con ello, se puede obtener parámetros como permeabilidad y porosidad.

Cuando no se cuenta con granulometrías determinadas en laboratorio, el programa presenta en su librería curvas calibradas por defecto, ya es decisión del diseñador implementar alguna que se ajuste a los materiales que requiera instalar en el proyecto. La granulometría de base y subrasante y demás información pertinente se ha tomado de un diseño pedagógico.

En la Figura 4, se muestran los resultados de la evaluación granulométrica para la base no estabilizada, con los datos de peso unitario y gravedad específica se obtiene la porosidad, porosidad efectiva y coeficiente de porosidad. Además en la Figura 5, se presenta la gráfica de la distribución de tamices para evaluar la granulometría.

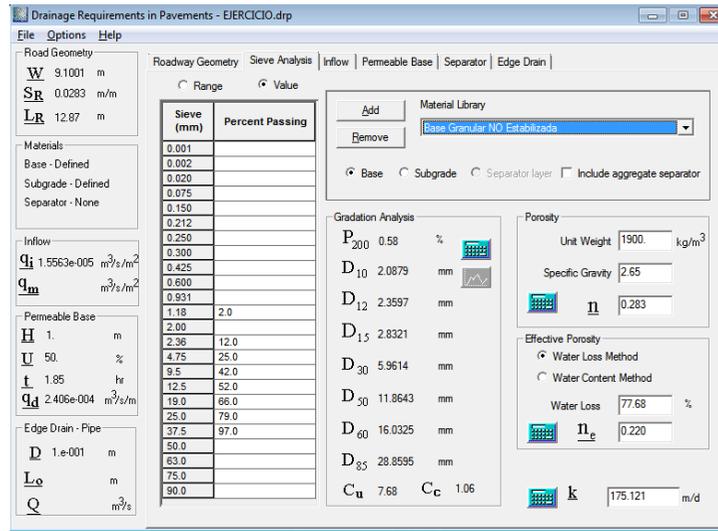


Figura 4. Análisis granulométrico para una base granular NO estabilizada con espesor menor a 150 mm.

Fuente: Autor.

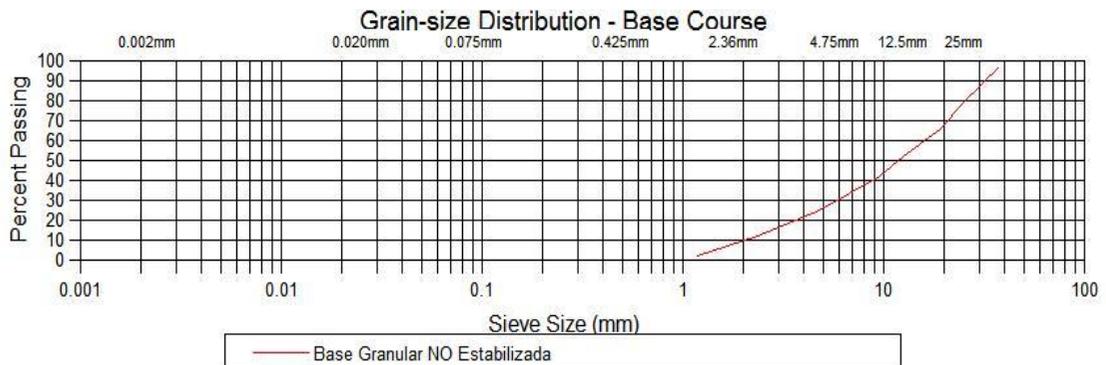


Figura 5. Valores de entrada de tamaños de tamices Vs Porcentaje pasa.

Fuente: Autor.

En la Figura 6, se realizó el cálculo con el método de relación de infiltración con una cantidad de lluvia alta de 85 mm/h, con ello se obtiene un relación de infiltración (qi) igual a $9,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Nótese que no se incluyó agua de deshielo en el ejercicio, ya que no compete con el sector de estudio.

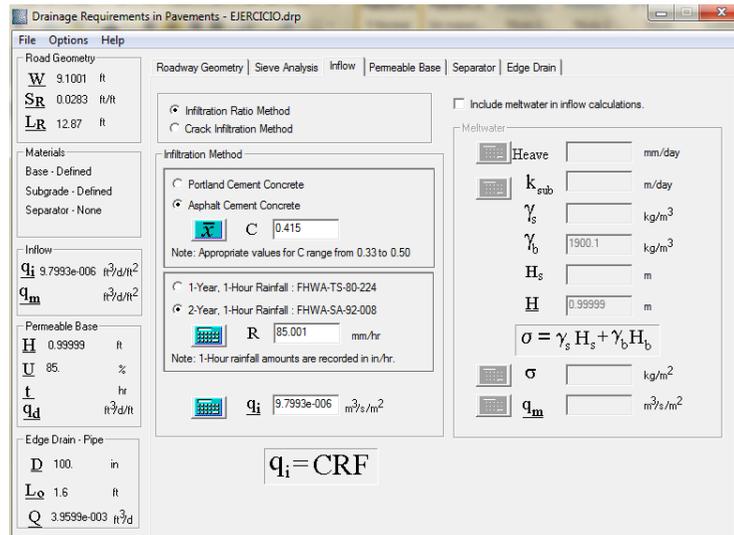


Figura 6. Determinación de la tasa de infiltración del pavimento.
Fuente: Autor.

2.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD PARA EL EJERCICIO DE APLICACIÓN

Si el diseñador desea realizar un análisis de sensibilidad, en el cual se perciba la influencia de diferentes parámetros requeridos en el espesor mínimo, el programa grafica los siguientes parámetros independientes:

- Espesor mínimo de base requerido (H_{min}) Vs Flujo de entrada (q_i)
- Espesor mínimo de base requerido (H_{min}) Vs Permeabilidad en la base (K)
- Espesor mínimo de base requerido (H_{min}) Vs Pendiente Resultante (S_R)
- Espesor mínimo de base requerido (H_{min}) Vs Longitud resultante (L_R)

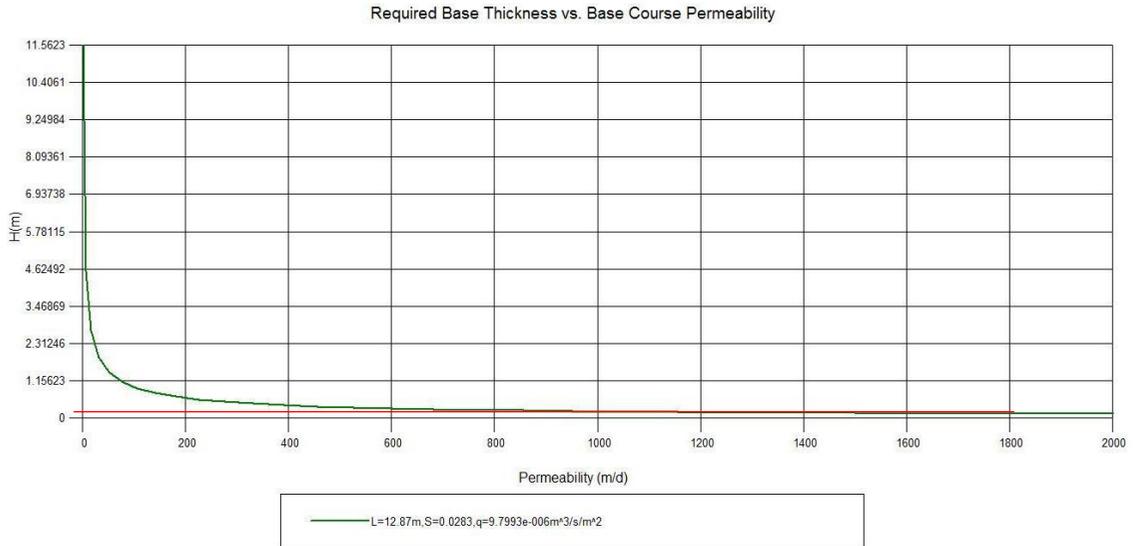


Figura 7. Gráfico de sensibilidad para el espesor de la base requerida Vs Permeabilidad.
Fuente: Autor.

En la Figura 7, se puede apreciar que el espesor de la capa de base para el ejercicio realizado con un K de laboratorio igual a 1850 m/día, requiere de un espesor muy bajo de aproximadamente 10 cm, ya que el material elegido para la estructura de base presenta un muy buen coeficiente de drenaje.

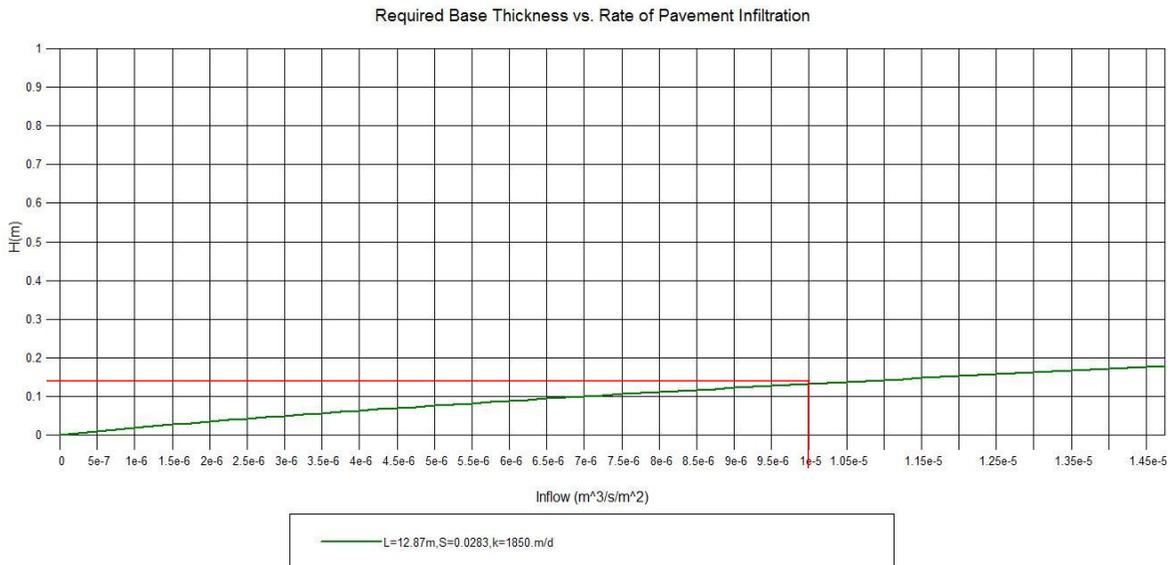


Figura 8. Gráfico de sensibilidad para el espesor de la base requerida Vs tasa de infiltración en el pavimento.
Fuente: Autor.

En consecuencia con los resultados de la Figura 8, se puede apreciar que el resultado esperado para la infiltración de la capa de pavimento presenta un valor de espesor de base pequeño, a medida que se disminuye la rata también se disminuirá el espesor requerido, las ecuaciones son directamente proporcionales.

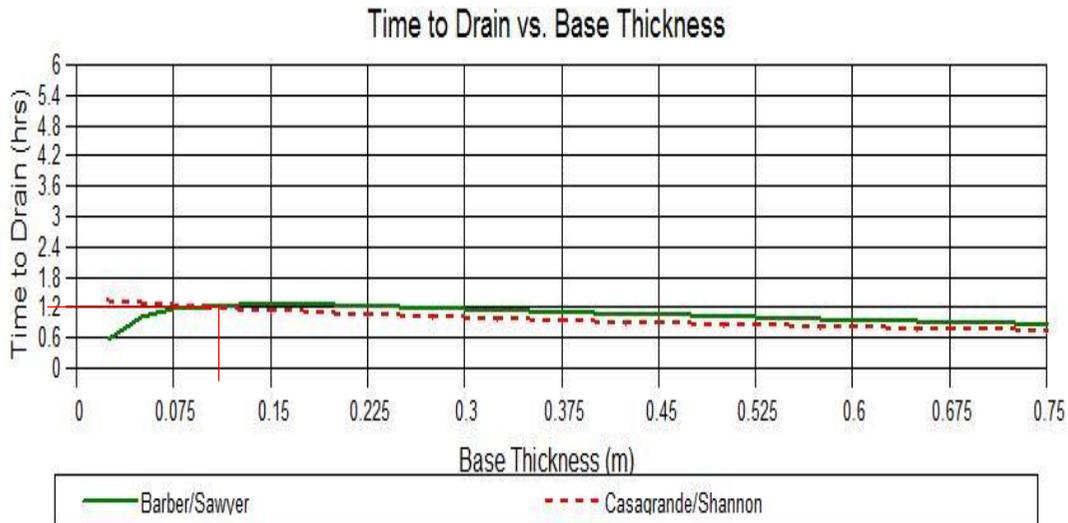


Figura 9. Gráfico de sensibilidad para el espesor de la base requerida Vs tiempo de drenaje.
Fuente: Autor.

En la Figura 9, se muestra la relación entre el espesor mínimo requerido y el tiempo de drenaje de la estructura, para el caso del ejercicio de desarrollo se obtuvo con los datos de inicio un tiempo de drenaje de menos de 2 horas, el cual está catalogado por los métodos de análisis como de excelente calidad de drenaje.

La Figura 10, presenta la verificación que se realizó a la profundidad del flujo, el tipo de análisis llevado a cabo presenta un espesor mínimo igual a 0,13 m, este valor es consecuente con el valor semilla de inicio de 1 m, lo que significa que la estructura cumple tanto en criterios de permeabilidad de la base, geometría, flujo.

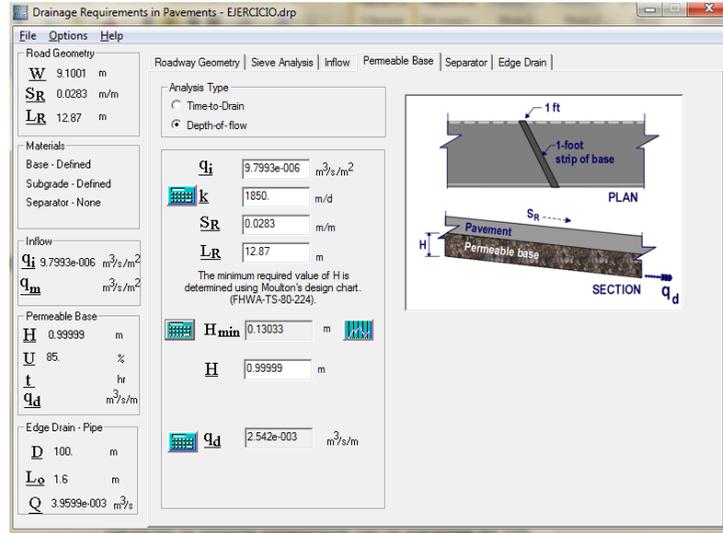


Figura 10. Revisión del espesor mínimo de la capa de base permeable.

Fuente: Autor.

Con la revisión del espesor mínimo, se realizó de igual manera la comprobación del tiempo de drenaje de la estructura para determinar la calidad del drenaje, estos resultados se pueden contemplar en la Figura 11. Se estableció un grado de drenaje (U) del 85%, esta suposición da a entender que la capa drena en buena forma y la saturación se presenta someramente con un porcentaje del 33%.

Los tiempo de drenaje para las ecuaciones de Barber y Sawyer arrojan un resultado de 7 horas, y para Casagrande y Shannon de 8 horas, parámetro de buena calidad de drenaje.

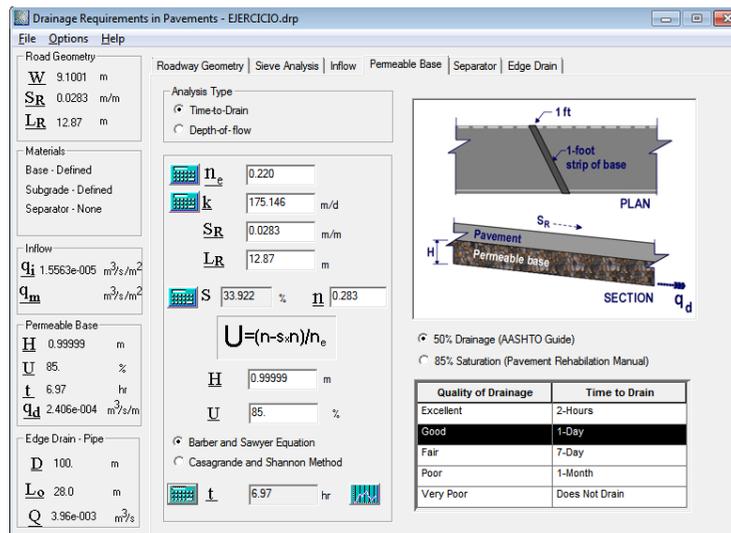


Figura 11. Revisión de la calidad del drenaje estimando un grado de drenaje del 85% en la Base permeable.

Fuente: Autor.

Se debe realizar un análisis de si es necesario incluir una capa separadora o algún geotextil separador para poder cumplir con el criterio de análisis de flujo. La Figura 12, presenta el análisis que el programa realizó para determinar si era necesario esta capa. Con la descripción granulométrica del D_{15} , D_{50} Y D_{85} , tanto para base como subrasante el criterio de capa separadora no es necesario, puesto que la distribución de tamaños es óptima.

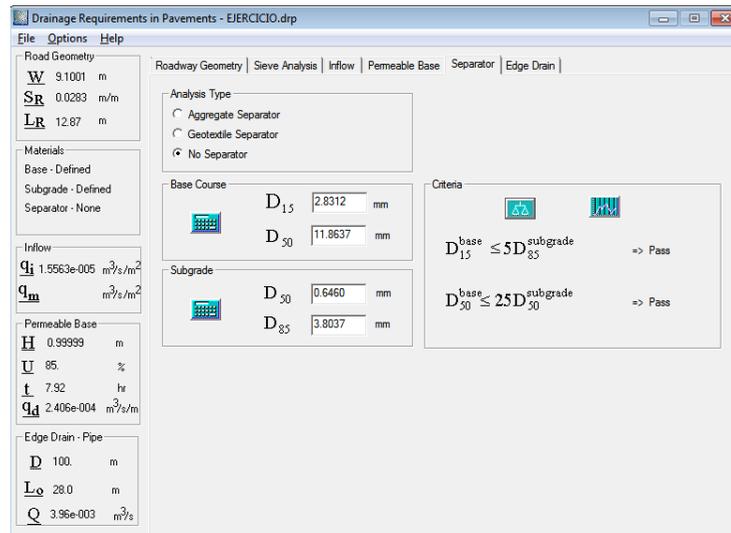


Figura 12. Revisión para determinar si se necesita capa separadora o geotextil.

Fuente: Autor.

Para la etapa final de diseño, en la Figura 13 se muestra que tipo de drenaje perimetral se utilizó en el modelo, se tomaron análisis de la tasa de descarga con el método de la base permeable, este valor es el más crítico, por lo cual se adoptó una separación máxima de salida igual a 16,5 m.

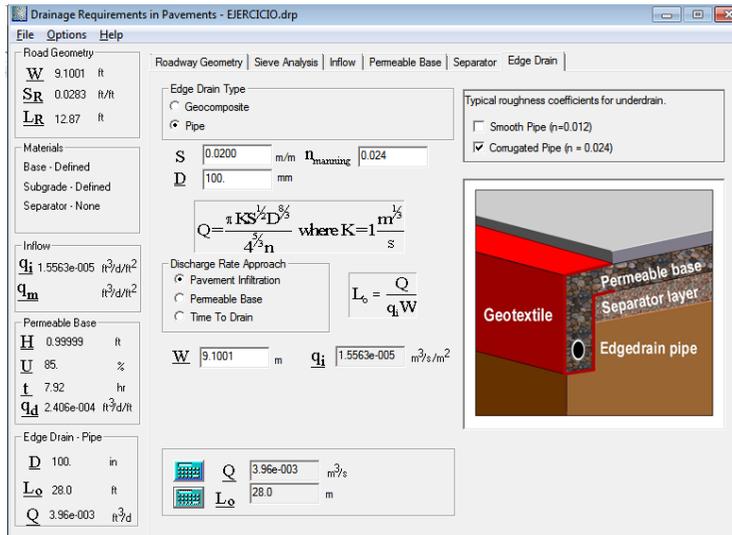


Figura 13. Cálculo del caudal y longitud del dren perimetral.

Fuente: Autor.

3. COMPARACIÓN IMPLEMENTANDO EL NOMOGRAMA DEL MANUAL DE DRENAJE DEL INVIAS.

En el manual de drenaje del INVIAS, se presenta una metodología empírica del diseño de subdrenaje, en el Capítulo 5, aparte 5.3.3.2.2. Determinación del espesor requerido de base permeable. Allí se implementa las Ecuaciones de Moulton y cuya representación es gráfica, en dicha figura se puede determinar la profundidad máxima de flujo (H_M) en una capa permeable, cuando se conocen los valores de la tasa de infiltración neta (q_n), el coeficiente de permeabilidad de la capa (k), la longitud resultante de la trayectoria de flujo (L_R) y la pendiente resultante de la capa permeable a través de dicha trayectoria (S_R). Según el Instituto Nacional de Vías [5] la figura fue desarrollada bajo la condición de flujo variado, distribuido de manera uniforme a través de la superficie. Aunque esta condición no se presenta realmente en la práctica, se ha demostrado que el uso de la gráfica brinda resultados conservativos.

- ✓ Tasa neta de infiltración = $9,79 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$
- ✓ Longitud resultante (L_R) = 12,87 m
- ✓ Pendiente resultante (S_R) = 0,0283 mm/mm
- ✓ Coeficiente de permeabilidad de la base permeable (K) = 0,0214 m/s

$$p = q_n/k$$

$$p = 9,79 \times 10^{-6} / 0,0214$$

$$p = 0,00046$$

Se ingresa en la Figura 14 con el valor anterior y $S_R = 0,0283$, se obtiene:

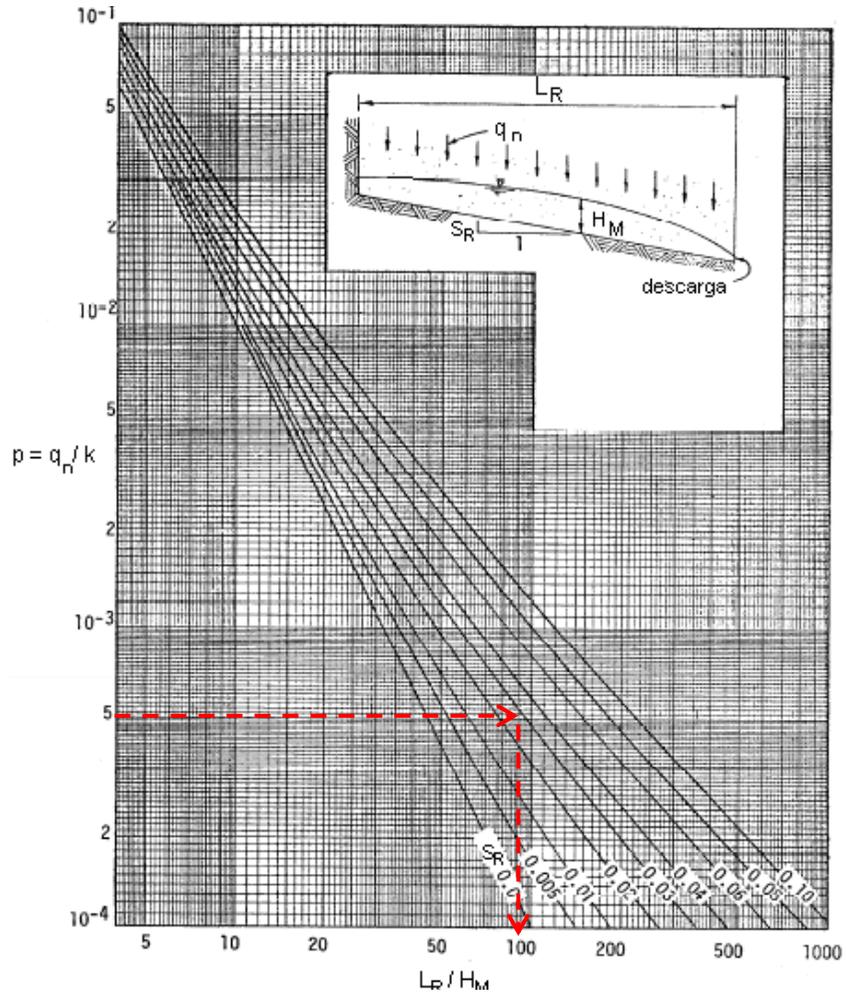


Figura 14. Gráfica para estimar la máxima profundidad de flujo.

Fuente: Manual de drenaje del INVIAS (2009)

$$L_R/H_M = 100$$

$$H_M = L_R/100$$

$$H_M = 12,87/100$$

$$\mathbf{H_M = 0,14\ m}$$

Por lo tanto, la base permeable requiere un espesor (H_B) superior a 14 cm. Nótese que los resultados arrojados para este ejercicio son muy acertados frente al espesor mínimo requerido con una precipitación muy pequeña (35 mm/h). A continuación en

la Figura 15 se presenta el mismo ejercicio pero aumentando la precipitación a 120 mm/h.

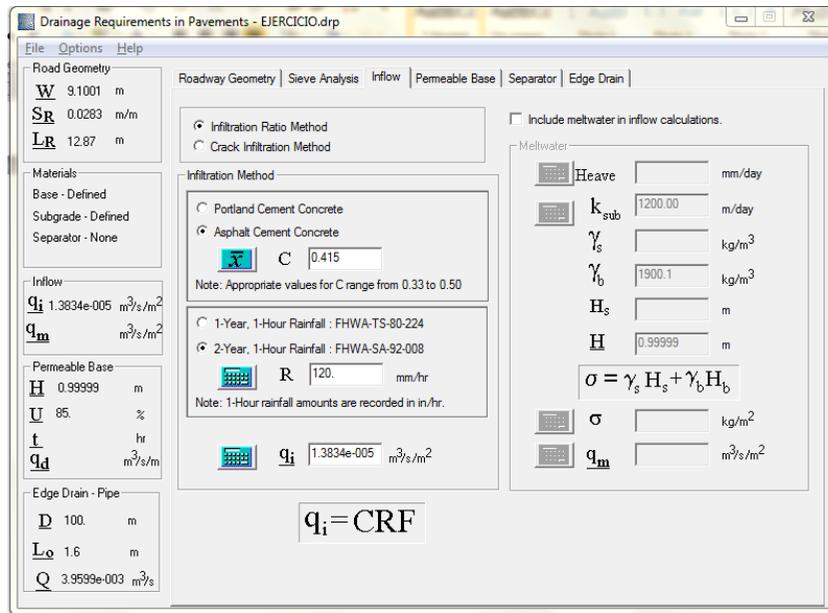


Figura 15. Cálculo de q_i con 120 mm/h.

Fuente: Autor.

- ✓ Tasa neta de infiltración = $1,40 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$
- ✓ Longitud resultante (L_R) = 12,87 m
- ✓ Pendiente resultante (S_R) = 0,0283 mm/mm
- ✓ Coeficiente de permeabilidad de la base permeable (K) = 0,0214 m/s

$$p = q_n/k$$

$$p = 1,4 \times 10^{-5} / 0,0214$$

$$p = 0,00065$$

Se ingresa en la Figura 16 con el valor anterior y $S_R = 0,0283$, se obtiene:

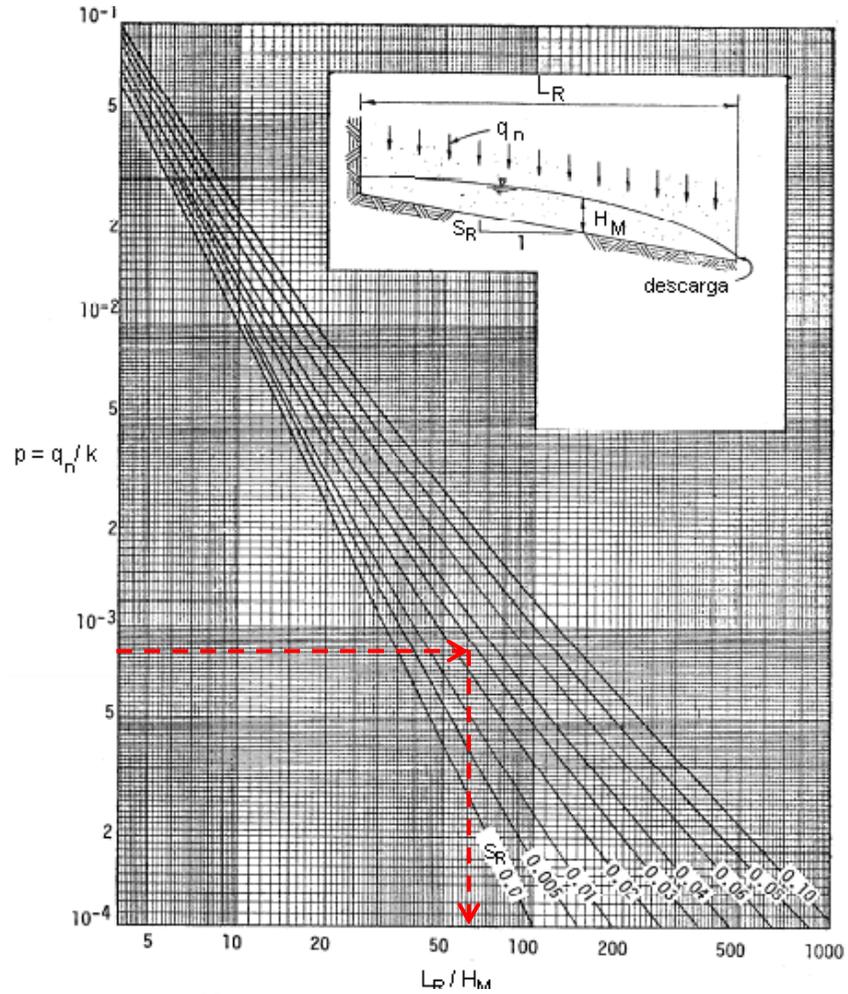


Figura 16. Gráfica para estimar la máxima profundidad de flujo.
Fuente: Manual de drenaje del INVIAS (2009)

$$L_R / H_M = 65$$

$$H_M = L_R / 65$$

$$H_M = 12,87 / 65$$

$$H_M = \mathbf{0,20 \text{ m}}$$

Por lo tanto, la base permeable requiere un espesor (H_B) superior a 20 cm.

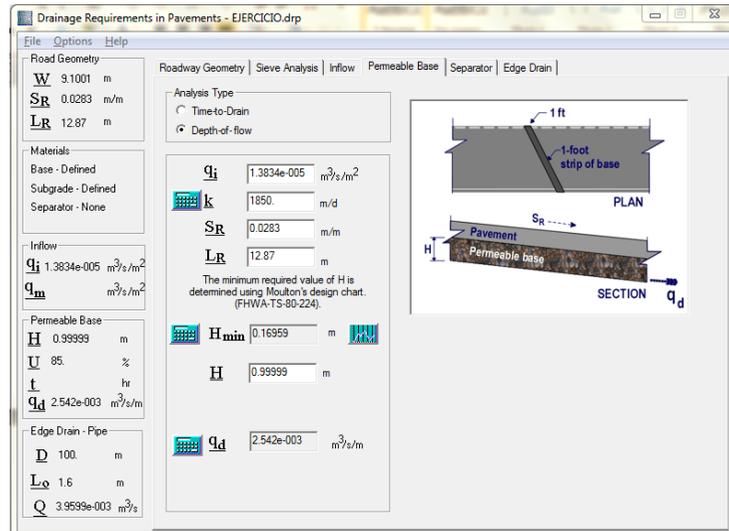


Figura 17. Cálculo del espesor mínimo con precipitación de 120 mm/h.
Fuente: Autor

En la Figura 17 se puede observar que el espesor mínimo hallado con el software es de 14 cm frente al encontrado con el nomograma que es de aproximadamente 20 cm. A medida que va aumentando la variable p , se hace más difícil cortar la curva de S_R ampliando el margen de error y que en un diseño que tiene bastantes kilómetros podría significar un sobre costo innecesario.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y conforme al desarrollo obtenido en el ejercicio pedagógico se puede concluir que:

Existe una relación inversa entre el espesor requerido de la base y la permeabilidad de la misma, entre más se aumente el valor de k determinado en laboratorio, el espesor de la base tiende a disminuir.

Los métodos de análisis en cuanto a la sensibilidad es de gran ayuda para determinar los puntos más inestables en donde se deben mejorar criterios de flujo o de características de materiales. El método del nomograma del INVIAS aunque arrojó valores aproximados con una precipitación baja obtuvo un porcentaje de error considerable frente al aumento en el valor de precipitación.

Aunque la comparación con el nomograma presentado por el Manual de Drenaje del INVIAS arrojó valores consecuentes, la metodología que allí se implementa es muy empírica y deja bastantes dudas acerca de las formulas y valores allí mostrados, el software DRIP 2.0 presenta la información más esquematizada. Además presenta una sensibilidad alta en cuanto a valores de precipitación.

La calidad de los materiales y la forma de construcción juegan un papel muy importante en el diseño de subdrenajes, nótese que el software DRIP 2.0 está centrado en las granulometrías y en el análisis de las mismas.

La metodología del software permite obtener parámetros de diseño bastante concisos en cuanto a espesores, diámetros, velocidad de flujo, permeabilidad. Además su esquema de trabajo permite al usuario calcular en un solo archivo información detallada de varios ítems.

El análisis de sensibilidad permite al diseñador obtener parámetros de espesores de base teniendo como punto de partida los valores de permeabilidad, infiltración en el pavimento, y flujo de entrada. Las gráficas mostraron la tendencia que sufre el H_{\min} cuando se ajustan las anteriores variables.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Beltran B, Carlos Arturo. (2013). *Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la Carrera 7 estación Transmilenio Museo Nacional*. Obtenido de <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10962/1/MONOGRAF%C3%8DA%20GEOSINT%C3%89TICOS.pdf>
- [2] Mejia Flores, Luis Enrique & Caro Spinel, Silvia. (2005). *Factores que determinan el uso de geosintéticos en proyectos de pavimentación en Colombia*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/13620/1/1181-7183-1-PB.pdf>
- [3] Department of transportation Minnesota. (2009). *Subsurface Drainage Manual for Pavements in Minnesota*. Obtenido de <ftp://ftp.mdt.mt.gov/research/library/MN-200917.PDF>
- [4] National Cooperative Highway Research Program. (2004). *Drainage Requirement In Pavements Microcomputer Program User's Guide*. Obtenido de https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=43
- [5] Instituto Nacional de Vias. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*.
- [6] Lebeau, Marc & Konrad, Jean-Marie. (2009). *Pavement subsurface drainage: importance of appropriate subbase materials*. Obtenido de http://scholar.google.com.co/scholar?q=Pavement+subsurface+drainage:+importance+of+appropriate+subbase+materials&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar&sa=X&ved=0ahUKEwjH0dabkJ7JAhXK5iYKHSW2DQ4QgQMIGTAA