



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD
HIDRÁULICA ENTRE EL DREN FRANCÉS Y EL GEODRÉN
LAMIDREN L20DB COMO SISTEMAS DE SUBDRENAJE EN
LA INFRAESTRUCTURA VIAL**

**Autor:
Luis Eduardo Navarro Castillo**

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil
Medellín, Colombia
2019**



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ENTRE EL DREN
FRANCÉS Y EL GEODRÉN LAMIDREN L20DB COMO SISTEMAS DE SUBDRENAJE
EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

Autor: Luis Eduardo Navarro Castillo

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores:

Juan Carlos Guzmán Martínez - Ingeniero Civil
Amparo Parra Patiño - Contadora

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil.
Medellín, Colombia
2019.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ENTRE EL DREN FRANCÉS Y EL GEODRÉN LAMIDREN L20DB COMO SISTEMAS DE SUBDRENAJE EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL

RESUMEN: Los sistemas de subdrenaje utilizados en estructuras de pavimentos; cumplen la función de evacuar el agua infiltrada en el suelo y abatir los niveles freáticos del agua subterránea presentes, con el fin de aportar en la estabilidad de la estructura y los taludes de la carretera. En la clasificación de subdrenes, se encuentran los drenes longitudinales, los cuales se colocan en una dirección, específicamente paralela al eje de la carretera. Está constituido por una zanja a cierta profundidad, un filtro de material triturado, un geotextil y usualmente un tubo colector. La efectividad del sistema de subdrenaje a emplear, depende en su gran mayoría, de la aproximación que se logre con el diseño, en cuanto a las condiciones existentes, a la naturaleza del fenómeno de infiltración, de los materiales involucrados, características geométricas de las vías y del diseño del pavimento. Muchos de estos sistemas tradicionales (dren francés) pueden presentar periodos de vida muy corto, debido al mantenimiento que se le deben hacer a lo largo de su vida útil, lo cual puede representar incrementos presupuestales en el sistema. Este documento describe los métodos y teorías mediante las cuales se realizaron los cálculos para diseñar dos sistemas de subdrenajes, con base en el Manual de drenaje de carreteras del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) (Manual de drenaje para carreteras, 2009). Se emplearon datos de estudios preliminares para comparar el comportamiento de dos tipos de subdrenajes diferentes para un tramo de vía ubicado en la zona andina, se diseñó dos sistemas para un mismo caudal de infiltración evaluando la capacidad hidráulica y el costo de construcción entre subdren francés y del geodrén Lamidren L20DB. Con el fin de incursionar en nuevas técnicas de subdrenaje que mejoren la capacidad de drenaje de la vía, y por consiguiente, una reducción en los costos en su ejecución.

Se observó que el sistema de subdrenaje realizado con el geodrén Lamidren L20DB aporta el triple de la capacidad de drenaje para un mismo caudal de infiltración en comparación con el subdren tradicional francés. Además, los resultados de análisis revelaron un ahorro económico del 41% implementando el subdrenaje con el geodrén debido a que su alta capacidad hidráulica permite la reducción de la cantidad de excavación para la zanja y del material triturado filtrante. En conclusión, el sistema de subdrenaje diseñado con el geodrén Lamidren L20DB presente mayor capacidad de drenaje y mayor economía en comparación con el diseño del sistema tradicional subdren francés; este documento puede ser considerado por diseñadores viales en futuros proyectos viales donde deseen optar por alternativas de subdrenaje que aporten a la calidad, económicas y eficientes hidráulicamente.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Durante el tiempo de operación de las diferentes obras civiles entre las cuales se destacan las asociadas a la ingeniería geotécnica y la hidráulica, uno de los problemas más frecuentes es la

presencia del agua, por tal razón se requiere un manejo y transporte a través de sistemas de drenaje superficial y subterráneo, evitando así dificultades de funcionalidad durante el lapso de servicio de éstas y que puede provocar que el tiempo de operación de las obras se vea reducido por la degradación que puede generar el agua sobre las estructuras.

En consecuencia de esta problemática, existen sistemas de subdrenaje que ayudan a captar, manejar y evacuar el agua a nivel subterráneo sobre ciertas obras civiles, especialmente las vías, con el objetivo de controlar los niveles de agua y mantener en condiciones estables las estructuras y regular el contenido de humedad existente en el suelo. El presente documento, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA ENTRE EL DREN FRANCÉS Y EL GEODRÉN LAMIDREN L20DB COMO SISTEMAS DE SUBDRENAJE EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL” tiene sus antecedentes en evaluar nuevas alternativas de sistemas de subdrenaje que puedan ser utilizados en la estructura de los pavimentos, donde pueda haber un aporte en calidad, mejorando la capacidad hidráulica para evacuar el agua de infiltración y subterránea, incluyendo las propiedades mecánicas de los materiales.

1.2 Formulación del problema

¿Entre el dren francés y el Lamidren L20DB; cuál de los dos sistemas de subdrenajes presenta mejor efectividad en términos de capacidad hidráulica y/o drenaje?

Si bien existen muchos tipos de subdrenaje, uno de los sistemas de drenaje más tradicionales y utilizados en la actualidad en Colombia y son los sistemas de drenaje tipo francés, el cual está constituido por zanjas excavadas a mano o con retroexcavadoras, con un elemento de captación y transporte de agua como un tubo perforado y rellenas de material filtrante. Sin embargo, la vida útil de este sistema de subdrenaje tiende a ser corta, dado que después de cierto tiempo de operación, se empieza a colmatar el filtro por la presencia de suelo con granulometría de finos que pueden hacer que pierda la funcionalidad de drenaje y se vea en la obligación de ser reemplazado (Dávila Carlos & Torres Ismael, 2011).

Ante la necesidad de incursionar en nuevas tecnologías que permitan mejorar los sistemas de subdrenajes tradicionales, han aparecido los geosintéticos como una alternativa que ofrece eficiencia, duración, y a su vez economía, teniendo aplicabilidad en muchos campos de la construcción civil, entre los que sobresalen las obras hidráulicas para vías. Dentro de los geosintéticos, se destaca el geodrén Lamidren L20DB (drenaje de banda), debido a su amplio uso en construcciones civiles verticales (muros de contención, cimentaciones), horizontales (contra pisos, soleras), techos planos (cubiertas y terrazas ajardinadas), obras viales y ferroviarias, obras hidráulicas (canales), galerías y túneles (Lamiter, 2018). Este geodrén es un compuesto para subdrenaje de fabricación colombiana, conformado por un geotextil como medio filtrante y una membrana nodular resistente, duradera y ligera hecha en polietileno de alta densidad (HDPE), como medio drenante, la cual es semirrígida con una estructura de hoyuelos tridimensional de 20 milímetros, que se utiliza como capa protectora, impermeable y de drenaje.

1.3 Alcance

Este documento hace énfasis en comparar las propiedades hidráulicas y mecánicas de uno de los sistemas de subdrenaje más tradicionales, tal como, el dren francés, frente un geodrén de fabricación colombiana conocido como Lamidren L20 drenaje de banda a partir de los lineamientos del MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), haciendo la aproximación del diseño de los sistemas de subdrenaje bajo un mismo escenario, de modo que pueda concluir las diferencias de uno sobre el otro.

1.4 Limitaciones

Muchos de los sistemas de subdrenaje en vías se apoyan más en la práctica, experiencia y en ocasiones el instinto, a pesar de que hayan algunas normas establecidas, dado que el criterio para que el subdrenaje sea viable, es que garantice tener la capacidad para drenar agua que se infiltra y subterránea que está en el subsuelo (Juárez Badillo E. & Rico Rodríguez A., 1974).

En este documento se cuenta con la posibilidad de realizar un análisis comparativo matemático en cuanto a la capacidad hidráulica y mecánica dos tipos de subdrenaje con base en las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) y manuales del INVÍAS. Sin embargo, el gran limitante, es evaluar el factor tiempo en el comportamiento de ellos, dado que sería necesario la implementación de estos dos tipos de subdrenaje en un tramo real de carretera bajo la mismas condiciones, con el fin de hacerle seguimiento en cuanto al funcionamiento y duración de ambos sistemas de subdrenaje.

1.5 Metodología empleada

El presente documento es de tipo de investigación descriptiva, aplicada a un proceso y análisis comparativo, tiene como objetivo resolver problemas prácticos para satisfacer las necesidades de la sociedad.

Para ello, con base en los datos hidrológicos suministrados por curvas de I-D-F (Intensidad - duración - frecuencia) del IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales para la región Andina de Colombia, con el fin de poder determinar los caudales de infiltración en una estructura de pavimento y poder evaluar la capacidad hidráulica de los dos tipos de subdrenaje.

En la fase de exploración se obtuvieron datos como: costos e los materiales usados para la construcción de cada sistema de subdrenaje, proceso constructivo, evaluación mecánica por medio de ensayos de laboratorio y metodologías para el diseño, cálculo y verificación del funcionamiento de los subdrenajes (Vargas M.R. & Díaz-Granados O.M., 1998).

1.6 Avance y aplicación

La investigación de nuevas tecnologías para mejorar la capacidad de drenaje en el subsuelo, en especial las vías, permitirá diseñar vías que mantenga su estabilidad estructural en el tiempo, alargando sus periodos de servicio, disminuyendo sus costos en ejecución y mantenimientos. Sin embargo, estos sistemas de subdrenaje, también son utilizados en otros tipos de aplicaciones para garantizar la que los suelos no se saturen por el exceso de agua, como es el caso del drenaje para muros de contención, para campos agrícolas, escenarios

deportivos y los taludes, el cual es un aporte importante considerando las características del terreno colombiano.

La primera sección de este documento describe el tipo y diseño de los dos tipos de subdrenaje anteriormente descritos en la construcción de vías. En la segunda sección, se realiza un caso de estudio real a partir de los dos tipos de subdrenes utilizados con el fin de evaluar el comportamiento hidráulico bajo las mismas condiciones de caudal infiltrado en una estructura vial. Además de comparar las propiedades mecánicas de los materiales que intervienen en cada tipo de subdrenaje. La tercera sección es un análisis comparativo en términos de durabilidad, desempeño, rendimiento de instalación y costos entre los dos tipos de subdrenaje vial con el fin de establecer las ventajas de uno sobre el otro en la implementación de carreteras. Una tabla resumen, muestra las propiedades físico-mecánicas comparadas, así como un análisis de precios unitarios para comparar los costos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el rendimiento hidráulico y mecánico del dren francés y el drenaje de banda Lamidren L20DB como sistemas de subdrenaje en la infraestructura vial.

2.2 Objetivos específicos

- Comparar mediante las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) las propiedades de mecánicas del dren francés y el geodrén Lamidren L20DB.
- Evaluar el proceso de infiltración para los sistemas de subdrenaje mediante modelos experimentales.
- Analizar datos experimentales en términos de durabilidad, desempeño, rendimiento de instalación y costos.

3 MARCO TEÓRICO

Colombia es catalogada como uno de los países más ricos del planeta en cuanto se refiere a sus recursos hídricos debido a su régimen de lluvias y su geografía (Ramírez, R.M., 1992). Esta circunstancia implica que las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia y que deban atravesar o bordear numerosas fuentes hídricas. Así mismo, dada la distribución de la población en el país, gran parte de la infraestructura vial nacional transcurre en terrenos montañosos, donde el agua subterránea afecta con frecuencia la estabilidad de los taludes y disminuye la capacidad de soporte de los suelos en los pavimentos.

La principal fuente de agua subterránea es aquella que proviene de la precipitación, la cual penetra en el suelo en forma directa o cae sobre fuentes hídricas desde donde se convierte en freática.

Las vías en Colombia permiten la conexión terrestre y ayuda al nivel de desarrollo de la población. Las vías facilitan el desplazamiento de la población hacia otros territorios. La facilidad en el desplazamiento permite ampliar el mercado de productos, ofrecer mano de obra, acceder a servicios médicos básicos, así como también a servicios de educación de mejor calidad (Pérez, G.J., 2005).

Los pavimentos de estas vías están expuestos a la intemperie, lo cual los expone al contacto constante con el agua. En los pavimentos, la fuente predominante de agua es aquella proveniente de la precipitación de igual manera, la cual viaja a través de grietas y juntas de construcción entre la berma y la calzada. Ver *Ilustración 1. Puntos de entrada de agua de infiltración en un pavimento. Manual de drenaje para carreteras INVÍAS.*

Esta combinación de circunstancias hace especialmente necesarios el diseño y la construcción de sistemas de subdrenaje para las carreteras con el objetivo de expulsar el agua infiltrada en

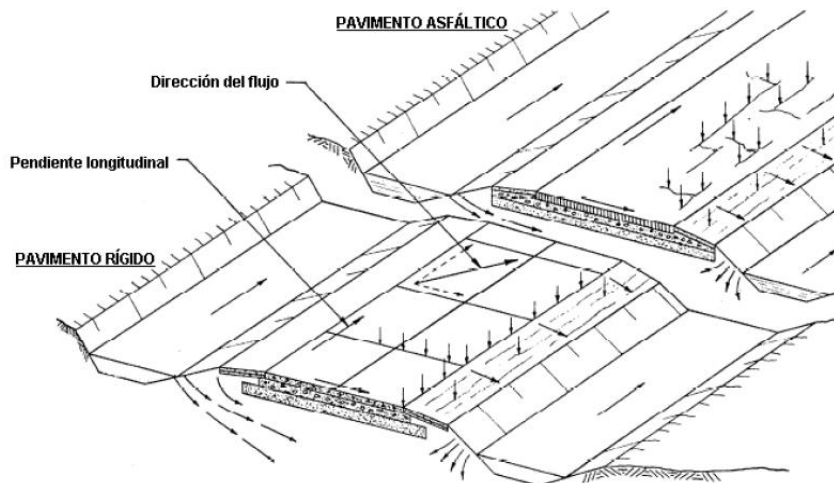


Ilustración 1. Puntos de entrada de agua de infiltración en un pavimento.
Manual de drenaje para carreteras INVÍAS

el suelo que la pueda afectar provocando fallas y problemas de operación sobre estas, generando la inestabilidad de taludes naturales o artificiales y produciendo deterioros en los pavimentos (Manual de drenaje para carreteras, 2009).

En consecuencia de esta problemática, existen sistemas de subdrenaje que ayudan a captar, manejar y evacuar el agua a nivel subterráneo sobre ciertas obras civiles, especialmente las vías, con el objetivo de controlar los niveles de agua y mantener en condiciones estables las estructuras y regular el contenido de humedad existente en el suelo.

La función principal de un sistema de subdrenaje en una carretera es la eliminación del agua del suelo o infiltrada que la puedan afectar, con el fin de garantizar la estabilidad de la plataforma, la de la estructura del pavimento y la de los taludes de la carretera. Los sistemas de subdrenaje deben cumplir las siguientes funciones básicas para minimizar los impactos del agua interna en los proyectos viales:

- Abatir el nivel freático en el área de la carretera, en los taludes de los cortes y los rellenos y en las fundaciones de los terraplenes y de las estructuras viales.
- Interceptar las filtraciones subterráneas para impedir afloramientos de agua en el pavimento.
- Drenar el agua superficial que se infiltre en el pavimento y en las estructuras de contención.
- Colectar las descargas de los diferentes sistemas de drenaje subsuperficial.

3.1 Geotextil no tejido para usar en el filtro

El filtro evita una excesiva migración de partículas de suelo y simultáneamente permite el paso del agua, lo anterior implica que el geotextil debe tener una abertura aparente máxima adecuada para retener el suelo, cumpliendo simultáneamente con un valor mínimo admisible de permeabilidad que permita el paso del flujo de una manera eficiente.

Los geotextiles no tejidos, además, tienen otros usos como separación para terrenos con diferentes propiedades físicas, reforzar y estabilizar el suelo; y proteger barreras impermeables. Normalmente, los geotextiles no tejidos se pueden aplicar en proyectos como: carreteras, ferrocarriles, obras hidráulicas, drenajes, contención de taludes, túneles o vertederos (Geotexan, 2019).

Este tipo de geotextiles es colocado como material de filtro y separación de suelos en la construcción de obras de infraestructura, para impermeabilización de capas asfálticas en rehabilitación de pavimentos en vías y parqueaderos y como protección de geomembranas.

Para llegar a la selección del geotextil no sólo hay que tener en cuenta lo anterior, sino además, la resistencia a la colmatación, supervivencia y durabilidad, todos estos criterios se explican brevemente a continuación:

- **Retención:** Asegura que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para evitar la migración del suelo hacia el medio drenante o hacia dónde se dirige el flujo.
- **Permeabilidad:** Debe permitir un adecuado flujo del agua a través del geotextil considerado su habilidad para esto.
- **Colmatación:** Es el resultado del taponamiento de algunos de sus vacíos por la penetración de partículas de suelo fino, con una incidencia en la reducción de la permeabilidad, por lo tanto el geotextil deberá que tener un número mínimo de vacíos o una alta porosidad.

- **Supervivencia:** El geotextil debe tener unos valores mínimos de resistencia mecánica con el objetivo que soporte las actividades de instalación y manipulación. Estas propiedades son: resistencia a la tensión, resistencia al punzonamiento, resistencia al estallido y resistencia al rasgado.
- **Durabilidad:** Es la resistencia que debe tener un geotextil en el tiempo, bien sea por ataque químico, biológico o por intemperismo.

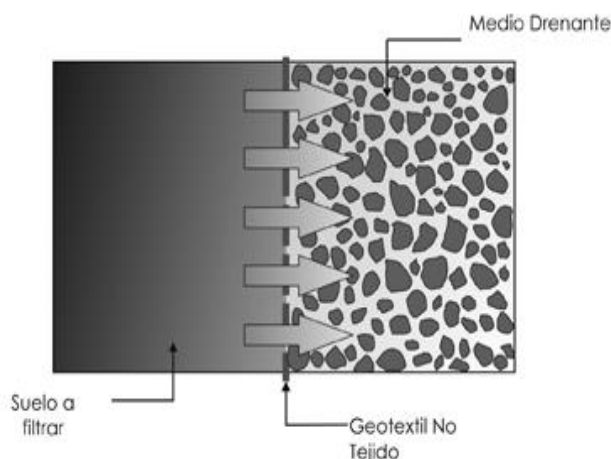


Ilustración 2. Funcionamiento de un geotextil no tejido.

El geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometido a unos esfuerzos, los cuales deben ser soportados por el mismo, de tal manera que no afecte drásticamente sus propiedades hidráulicas y físicas. En la *Tabla 1* se presentan las propiedades mínimas que se deben cumplir. (D. M. Luetlich, J. P. Giroud, R.C. Bachus, 1992).

	Resistencia a la tensión, método Grab, ASTM D4632	Elongación % ASTM D 4632	Resistencia de la costura. ASTM D 4632	Resistencia al punzonamiento. ASTM D 4833	Resistencia al estallido. Mullen Burst ASTM D 3786	Resistencia al rasgado trapezoidal. ASTM D 4533
Unidad	N		N	N	kPa	N
Condiciones moderadas de instalación, con esfuerzos altos de contacto.	700	N/A	630	250	1300	250

Tabla 1. Especificaciones generales de construcción de carreteras - Artículo 673-02 INVIAS

3.2 Requisitos del material de relleno de los drenes laterales

Los agregados pétreos destinados a rellenar la zanja del dren lateral convencional deberán presentar, al ser colocados, una permeabilidad igual o mayor que la efectiva de la base

permeable y deberán satisfacer, en principio, los requisitos de calidad indicados en el Artículo 673 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS.

Características	Norma de ensayo INV	Valor
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (%)	E-219	≤40
Durabilidad(O)		
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos	E-220	≤12
-Sulfato de sodio (%)		≤18
-Sulfato de magnesio (%)		
Limpieza (F)		
Terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	0.25
Partículas livianas, máximo (%)	E-221	1.0
Contenido de materia orgánica (%)	E-121	0

Tabla 2. Requisitos del material granular drenante.

El principio básico de funcionamiento de un material filtrante es que el agregado sea lo suficientemente fino como para prevenir que el suelo fino adyacente migre hacia él obstruyendo sus vacíos pero, al mismo tiempo, que sea lo suficientemente grueso para que permita el paso del agua sin una resistencia significativa.

El geotextil, cuya finalidad básica es evitar que los finos de la subrasante contaminen el material de relleno de la zanja, deberá presentar un coeficiente de permeabilidad por lo menos 10 veces mayor que el del suelo con el cual está en contacto y, además, deberá cumplir las propiedades mecánicas, hidráulicas y de filtración establecidas en el Artículo 673 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS.

3.3 El subdrén francés o dren francés

Es dren colector longitudinal que se coloca en una dirección, paralela al eje de la vía de modo que este contenga una pendiente que permita la evacuación de aguas de infiltración y subterráneas con la ayuda de la gravedad.

El sistema del dren francés está constituido por una tubería perforada o ranurada que se coloca en el fondo de una zanja cuya profundidad normalmente varía de 30 a 50 cm y el ancho de 60 cm a un metro. La superficie de la zanja es parcialmente forrada con un geotextil no tejido y rellena con un agregado filtrante generalmente se utilizan bloques de piedra triturada o material aluvial grueso limpio. (Ver Ilustración 3. Dren colector longitudinal (Subdrén francés). El geotextil actúa como elemento filtrante admitiendo el paso de agua y reteniendo los finos, mientras que el material filtrante granular y la tubería se encargan del abatimiento y evacuación del agua. La tubería conduce el agua hacia los elementos de descarga, garantizando la capacidad hidráulica necesaria para manejar toda el agua que recibe desde la base permeable del pavimento. En cualquier caso, se deberá garantizar que cada elemento del drenaje interno tenga mayor capacidad que el precedente, con el fin de que no se presenten eslabones débiles en el sistema de la estructura del pavimento.

La forma del dren es generalmente rectangular y sus dimensiones deberán ser tales que, además de facilitar la rápida evacuación del agua que reciben, permita la apropiada instalación de la tubería y la compactación del material filtrante que la rodea.

El principal problema de los drenes franceses es la colmatación con limos, arenas y arcillas.

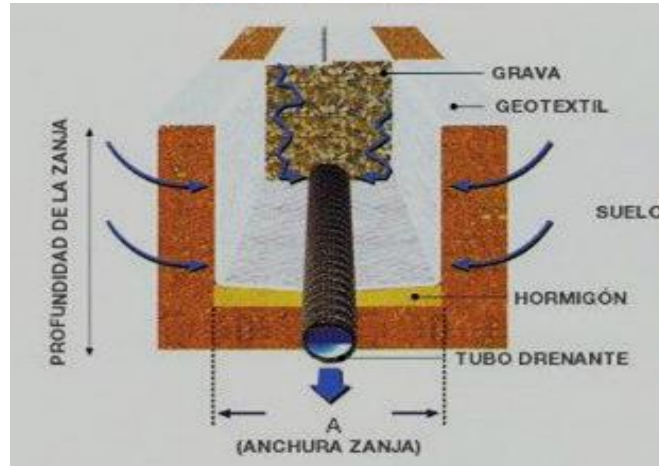


Ilustración 3. Dren colector longitudinal (Subdrén francés).

Adicionalmente, se pueden presentar dificultades por la baja capacidad hidráulica de este sistema de drenaje. Cuando los drenes franceses se colmatan hay que reemplazarlos totalmente.

3.3.1 Tubería del dren lateral

Los tubos que se utilizan de manera rutinaria para transportar el agua en los subdrenes francés son de 2 tipos: (i) flexibles y corrugados de polietileno (CPE) y (ii) rígidos y lisos de cloruro de polivinilo (PVC). Los tubos corrugados de polietileno se deberán ajustar a la especificación AASHTO M 252, en tanto que los de PVC deberán ser de la clase PS 46 y cumplir los requisitos de la especificación AASHTO M 278.



Ilustración 4. Tubería corrugada de polietileno.

Se recomienda que, al menos, el tercio inferior de la circunferencia de los tubos sea impermeable, que los orificios tengan un diámetro (o ancho) del orden de 3 a 5 milímetros y

que el área perforada no sea menor de 1,000 mm² por metro de tubería (Highways Department, 2001)

3.4 Geodrén lamidren L20DB (Drenaje de Banda)

El geodrén Lamidren L20DB es un sistema integral de captación, conducción y evacuación de fluidos que están a nivel del subsuelo que está diseñado para capturar, canalizar y llevar el flujo de agua de una manera eficiente fuera de la estructura vial.



Ilustración 5. Lamidren L20DB como subdrenaje en vía.

Esta geomembrana nodular hecha en polietileno de alta densidad (HDPE) revestida por un geotextil no tejido, garantiza un espacio de 20 mm entre el geotextil, brinda una mayor facilidad de drenaje y que se coloca de modo que adopte la forma de la zanja con sus nódulos hacia dentro. Posteriormente se llena la zanja con piedra triturada o material aluvial grueso limpio.



Ilustración 6. Lamina nodular de 20mm de altura.

El manual de drenaje para carreteras de INVIAS aprueba el uso de este tipo de subdrenes en función de las necesidades de drenaje del proyecto y tomando como base la norma ASTM D 7001 (Manual INVÍAS, 2009).

El sistema de subdrenaje con el geodrén Lamidren L20DB tiene características como:

- Alta resistencia a la compresión.
- Sistema flexible, modular y con accesorios de ensamble mecánico.
- Geomembrana drenante para instalación en zanjas de hasta 20 cm. de ancho.
- Geotextil unido al geodrén.
- Sus componentes son fabricados industrialmente (HDPE).

El sistema de geodrén Lamidren L20DB tiene varias ventajas, las que permiten una construcción de un sistema de drenaje en vías sin causar grandes traumatismos debido a:

- No requiere mano de obra, ni equipos especializados.
- Alta resistencia a la degradación química y biológica.
- Se adapta a la geometría de la obra.
- Fácil manipulación e instalación del sistema.
- Menor impacto ambiental al reducir la explotación de materiales pétreos no renovables.
- Reduce los volúmenes de excavación, transporte y disposición de materiales. Así mismo, disminuye la explotación de materiales granulares no renovables, protegiendo el medio ambiente.
- Permite una instalación mecanizada de alto rendimiento.
- Garantiza una estructura vial con un adecuado sistema de subdrenaje, evitando el envejecimiento prematuro de los pavimentos, derivado de los factores de severidad de carga.

4 METODOLOGÍA

4.1 Identificación de variables

Para el estudio que conllevó a la realización de este documento con el fin de realizar la comparación entre los dos tipos de subdrenaje se consideraron las siguientes variables:

4.1.1 Variables independientes

- Cantidad de agua para descarga
- Duración

- Diseño
- Costos

4.1.2 Variables dependientes

- Sistema de subdrenaje francés
- Sistema de subdrenaje con Lamidren L20DB (Drenaje de banda)

4.1.3 Definición operativa de variables e indicadores

Objetivo	Variables	Indicadores
Realizar un análisis comparativo entre el dren francés y el geodrén Lamidren L20DB como sistemas de subdrenaje para una infraestructura vial.	Independientes	
	<ul style="list-style-type: none"> ● Cantidad de agua para descarga ● Duración ● Diseño ● Costos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Topografía de la zona ● Tipo de suelo ● Niveles de agua presente en el terreno ● Inclinación y pendiente del terreno
	Dependientes	
	<ul style="list-style-type: none"> ● Sistema de subdrenaje francés ● Sistema de subdrenaje con Lamidren L20DB (Drenaje de banda) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacidad de retención de finos ● Material granular filtrante ● Proceso constructivo

Tabla 3. Operatividad de las variables.

4.2 Ámbito de estudio

Para poder llevar a cabo la comparación sobre una infraestructura vial, se tomó como zona de análisis la región andina colombiana, específicamente en el municipio de Puerto Triunfo - Antioquia - Colombia, con el fin de tomar las variables reales del entorno para el diseño del caudal de infiltración con base en las precipitaciones registradas en la zona.

Adicionalmente, se tomó información sobre un tramo de vía a evaluar, con el fin de considerar factores que influyen de manera directa o indirectamente sobre el diseño del subdrenaje. Entre esta información adicional se destaca:

- **La geometría del dominio de flujo:** Esta involucra el diseño geométrico de la vía el cual varía según las condiciones y lugar donde se construya. En esta intervienen características como el número de calzadas y de carriles, alineamientos horizontales y verticales, anchos de calzada, espesores de las capas de pavimento, profundidad de cortes, espesores de terraplenes, materiales en la construcción del pavimento, pendientes de los taludes, drenajes superficiales como cunetas, canales, alcantarillas y otras instalaciones de drenaje.

Además, de las condiciones subterráneas que considera una información detallada de la geología del suelo que permita identificar perfiles de suelos y rocas y las características relevantes del agua subterránea presente.

- **Propiedades de los materiales existentes:** La información nos permite considerar la influencia de la granulometría, los límites de consistencia y la clasificación de los suelos en el fenómeno de infiltración de los subsuelos. De este modo, se pueden obtener información relevante sobre la permeabilidad de los suelos y la porosidad, los cuales son determinantes en la forma de infiltración del agua en la vía y sobre el diseño de selección de los materiales filtrantes para los subdrenes.
- **Datos climatológicos:** [Por encontrarse Colombia en la zona tórrida, las carreteras nacionales no están sometidas a la influencia de la penetración de la helada. En ese orden de ideas, el único dato climático de importancia para el análisis y el diseño de un sistema de subdrenaje es el referente a las precipitaciones.

Generalmente, los problemas relacionados con el nivel freático ocurren con mayor frecuencia y mayor severidad en áreas de alta precipitación. Bajo estas circunstancias, las fluctuaciones en el nivel freático pueden correlacionar razonablemente bien con la cuantía de la precipitación. Por otra parte, hay evidencias de que la infiltración de lluvia en el pavimento depende más de la duración de la lluvia que de su intensidad y de su frecuencia (Manual de drenaje para carretera INVÍAS, 2009).

- **Otras consideraciones:** Existe aspecto que intervienen de forma directa o indirecta sobre el diseño de un subdrenaje vial. Entre ellos se destaca: (i) el impacto del sistema de subdrenaje sobre el régimen existente y sobre la misma estructura del pavimento; (ii) los factores económicos asociados al diseño y la construcción del subdrenaje y (iii) la secuencia de las operaciones de construcción de manera que el subdrenaje sea instalado simultáneamente con el desarrollo de la vía.

A pesar que un sistema de subdrenaje depende de todos los factores anteriores, cabe resaltar que el presente estudio se consideró un modelo ideal, donde la infraestructura vía ya estuviese definida en una zona de estudio, como lo es la zona Andina de Colombia y según esto, se calculó el caudal aproximado para el diseño hidráulico de infiltración bajo la teoría de *régimen permanente*, el cual considera que sobre la estructura vial durante un tiempo de lluvia, solo una porción fija que cae sobre el pavimento ingresa a él.

4.3 Cuantificación del agua infiltrada para el diseño de subdrenaje.

La metodología con la cual se evaluó la capacidad hidráulica, consiste en tener como referencia los parámetros de diseño que expone el Manual de drenaje para carreteras del INVÍAS y a partir de este, diseñar para un mismo caudal de agua infiltrada dos sistemas de subdrenaje para determinar la capacidad de evacuación para las condiciones climáticas que se presentan en las inmediaciones del municipio de Puerto Triunfo.

A continuación se presenta una metodología para estimar el caudal de diseño en el caso de sistemas de subdrenajes en vías.

Los posibles caudales de aporte, que conforman el caudal final, los cuales pueden afectar la estructura de un pavimento son:

- El caudal generado por la infiltración de agua lluvia: el agua lluvia cae directamente en la carpeta del pavimento. Una parte de ésta inevitablemente se infiltra en la estructura del pavimento debido a que las carpetas del pavimento, tanto rígido como flexible, no son impermeables.
- El caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea. En sitios donde se encuentre nivel freático a una altura tal, que afecte la estructura del pavimento, es necesario abatir este nivel de manera que no genere inconvenientes por excesos de agua.
- El caudal proveniente de escorrentía superficial. Este caudal puede ser controlado con métodos de captación, de manera tal, que se minimice la entrada a la estructura del pavimento. En tramos en donde se considere el caudal de agua infiltrada proveniente de escorrentía como un caudal de aporte, se debe estimar teniendo en cuentas los métodos hidrológicos.

Para el análisis comparativos del presente documento, se tuvo en cuenta los dos primeros caudales, que en la mayoría de los casos van a estar presentes en el diseño de los subdrenes para vías y son los que más aportan agua para el diseños de los subdrenes.

4.3.1 Caudal por infiltración

$$q_{infiltración} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

Ecuación 1. Caudal de infiltración.

Dónde:

q_i : Tasa de infiltración en el pavimento, en centímetros cúbicos por segundo (cm^3/s).

I_R : Precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto. Dato que se puede extraer de las curvas IDF anexas a éste documento, las cuales son las de Intensidad – Duración – Frecuencia para las diferentes zonas del territorio Colombiano. El manual de diseño de drenaje para carreteras del INVÍAS, sugiere utilizar una lluvia de diseño con una frecuencia de 2 años y un intervalo entre 60 y 120 minutos de duración.

B : Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía (ancho de la vía /2).

L : Longitud del tramo de drenaje.

F_i : Factor de infiltración. Ver Tabla 4. Valores recomendados para F_i .

F_R : Factor de retención de la capa granular, refleja el hecho que la capa granular, dada su permeabilidad, entrega lentamente el agua al subdrén. Ver Tabla 5. Valores recomendados para F_R .

Tipo de carpeta	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.3
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.4
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.5
Carpetas asfálticas de cemento Portland	0.67

Tabla 4. Valores recomendados para F_i .

Tipo de base	F_R
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

Tabla 5. Valores recomendados para F_R .

4.3.2 Caudal por abatimiento del nivel freático

El drenaje del nivel freático a partir de un valor conservador de cabeza hidráulica, incorpora el efecto de una saturación en el corte por infiltración de lluvia. Para este, se ha establecido la siguiente ecuación:

$$q_{NF} = K * i * A_a$$

Ecuación 2. Caudal por abatimiento del nivel freático.

$$i = (N_d - N_f)/(B)$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

Dónde:

K : Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i : Gradiente hidráulico.

N_d : Cota inferior del subdrén. Ver Ilustración 7. Variables a nivel del subsuelo.

N_f : Cota superior del nivel freático. Ver Ilustración 7. Variables a nivel del subsuelo.

A_a : Área efectiva para el caso de abatimiento del nivel freático.

B : Para subdrenes longitudinales, B es la semibanca de la vía.

L : Longitud del tramo de drenaje.

El caudal de infiltración para el diseño del subdrén, será finalmente:

$$Q_f = q_{infiltración} + q_{NF}$$

Ecuación 3. Caudal de diseño del subdrén.

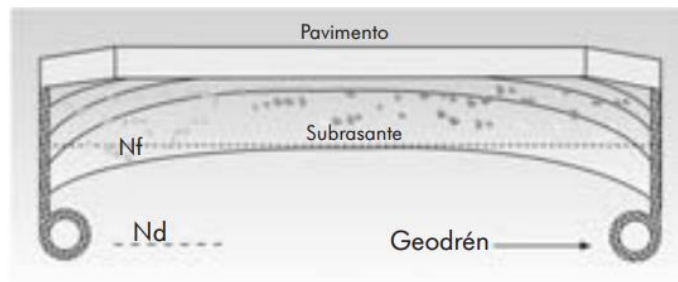


Ilustración 7. Variables a nivel del subsuelo.

4.4 Evaluación del costo de construcción y evaluación del modelo experimental

A partir de los parámetros obtenidos para el diseño de cada sistema de subdrenaje y teniendo en cuenta los materiales involucrados en el diseño, se realiza un análisis de precios para la construcción de cada sistema de subdrenaje por metro lineal. Esto, con el fin de determinar la variación económica que puede haber en la construcción de cada sistema.

Para la evaluación del modelo experimental, se considera que la manera más efectiva de evaluar el factor duración en el tiempo, consiste en probar cada sistema de subdrenaje en un tramo real de vía donde se pueda observar la capacidad de descarga y la duración en el tiempo, dado que un modelo experimental no considera los aportes de las capas estructurales de los pavimentos.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para poder establecer la comparación en cuanto a rendimiento, capacidad y costo de estos dos sistemas de subdrenaje, dada la limitación de un tramo de prueba real, se tomó en cuenta una aproximación matemática para un mismo caso de estudio donde se pudiera evaluar el comportamiento de los subdrenes.

A partir de las condiciones de una vía en la zona andina colombiana ubicada en el tramo que conduce desde Medellín a Bogotá, a la altura del municipio de Puerto Triunfo se obtienen las siguientes condiciones:

Características de la vía.	
Pendiente transversal	2%
Pendiente longitudinal	1%
Ancho de la vía	12 metros

Tabla 6. Características de la vía.

Características índices del suelo a partir de ensayos in-situ.	
Clasificación U.S.C.	CL (limo arcilloso)
Permeabilidad (K)	0.00085 cm/s
Nivel freático	0.20 m a partir de la superficie

Tabla 7. Propiedades de la subrasante de la vía.

A partir de las curvas IDF suministradas por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) para la estación Mesopotamia (Ver Anexos) del departamento de Antioquia se obtiene lo siguiente:

Periodo de retorno (años)	Duración (min)	Intensidad (mm/hr)
2	120	60

Tabla 8. Intensidad de lluvia obtenida a partir de las curvas I-D-F para la zona de estudio.

La descripción de la vía, es de estado bien conservado, en uso y ofrece una buena serviciabilidad a los usuarios que transitan por el sector. Además, por la disposición de los materiales al construir esta, se reporta en el informe del proyecto que la vía presenta una gradación abierta.

A partir de lo anterior se obtuvo a partir de la Ecuación 1. Caudal de infiltración. Corresponde a:

$$q_{infiltración} = I_R * B * L * F_i * F_R$$

I_R	60 mm/hr = 0.00167 cm/s
B	6.0 m = 600 cm
F_i	0.4
F_R	½
L	
$q_{infiltración}$	0.2004 cm²/s * L

Tabla 9. Caudal de infiltración.

L es la longitud del tramo en donde se quiere hacer la descarga, el cual depende de la capacidad máxima de flujo de la tubería.

Además, se debe considerar el efecto del nivel freático mediante la Ecuación 2. Caudal por abatimiento del nivel freático, para poder determinar el caudal total que debe ser evacuado por los subdrenes, teniendo en cuenta que el fondo de la zanja de excavación para realizar el sistema de subdrenaje, es de 1.0 metros de profundidad.

$$q_{NF} = K * i * A_a$$

$$i = (N_d - N_f)/(B)$$

$$A_a = (N_d - N_f) * L$$

N_d	1.0m
N_f	0.2 m
B	6.0 m
i	0.1333
K	0.00085 cm/s
A_a	0.8 * L
q_{NF}	0.0091cm²/s * L

Tabla 10. Caudal obtenido a partir del nivel freático.

Finalmente, para poder obtener la cantidad de agua total que debe evacuar el subdrén de la vía, se utiliza la *Ecuación 3. Caudal de diseño del subdrén.*

$$Q_f = q_{infiltración} + q_{NF}$$

$q_{infiltración}$	0.2004 cm ² /s * L
q_{NF}	0.0091cm ² /s * L
Q_f	0.2095 cm²/s * L

Tabla 11. Caudal de diseño del subdrén.

Se puede observar que los flujos provenientes de fuentes diferentes a la de la infiltración desde la superficie suelen ser sustancialmente inferiores, por tal razón en el diseño de estos no se acostumbra tomarlos en cuenta.

Sin embargo, si el diseñador estima que estos flujos no se pueden ignorar, deberá considerarlos aplicando los criterios indicados en los numerales 5.3.3.1.2 y 5.3.3.1.3. del *Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS.*

A partir del caudal total de agua que va a llegar al subdrén, se tiene el parámetro esencial para determinar el comportamiento de cada subdrén.

Se consideró el diseño para la descarga de agua a la atmosfera cada 150 metros. Por lo tanto:

$$Q_f = 0.2095 \frac{cm^2}{s} * 1500cm = 3142.5 cm^3/s$$

De modo que el caudal de diseño de los subdrenes a evacuar por metro lineal fue:

$$Q_f = 20.95 cm^3 /s / m$$

Ecuación 4. Caudal de diseño por metro.

De este modo, se determinó el diseño tanto del dren francés como el del subdrenaje con el geodrén Lamidren L20DB, teniendo como referencias el *Manual de Drenaje para Carreteras del INVÍAS*, con el fin de establecer la características de cada uno.

5.1 Material de relleno de la zanja de drenaje.

El material utilizado para rellenar la zanja del dren lateral es un agregado pétreo resistente a la acción de los agentes del intemperismo, con el fin de cumplir los requisitos de calidad indicados en el Artículo 673 de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS. Dado que no se requiere ninguna gradación especial, se hizo uso de una gradación de grava bien gradada, de gran permeabilidad como se muestra a continuación:

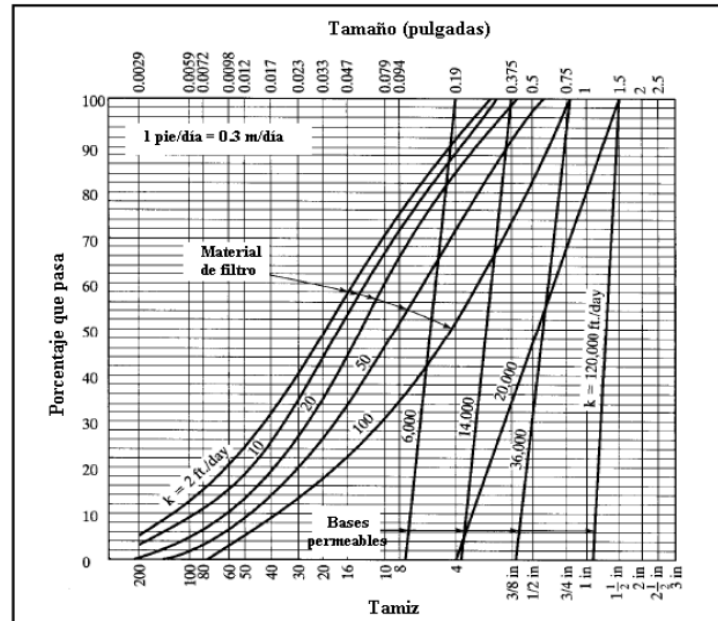


Ilustración 8. Granulometrías típicas y coeficientes de permeabilidad de materiales granulares para bases permeables y filtros. Manual de drenaje para carreteras. INVÍAS.

Por lo cual, la permeabilidad correspondiente a la granulometría seleccionada (marcada en la gráfica como *Material para filtro*) corresponde a:

$$K_{\text{suelo filtro}} = 0.0352778 \text{ cm/s}$$

5.2 Geotextil no tejido para ambos subdrenajes.

El geotextil no tejido utilizado es elaborado con fibras vírgenes de polipropileno. Garantiza una excelente resistencia a daños producidos durante la instalación, excelentes propiedades de abrasión, alta resistencia dimensional y uniformidad, una mayor resistencia a las altas temperaturas, una elongación superior al 50% y un excelente balance entre permeabilidad y retención de partículas.

Con el fin de cumplir con los requisitos de geotextil para los criterios de diseño, los cuales son la retención, permeabilidad, colmatación, supervivencia y tasa de flujo; para recubrir la zanja se empleó un geotextil no tejido de *FIBERTEX F30G (Geomatrix)* con las siguientes características:

	Descripción	Norma	Unidad	Valor
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la tensión método Grab	ASTM D 4632	N	742
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N	415
	Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	N	320
	Resistencia al punzonamiento estático (CBR)	ASTM D 6241	N	2250
	Resistencia a UV (% Retención a 500 horas)	ASTM D 4355	%	> 70
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0,10
	Permeabilidad a 50 mm HW	ASTM D 4491	cm/s	0,16
	Permitividad		s ⁻¹	2,00

Tabla 12. Ficha técnica de geotextil no tejido utilizado. Fibertex F30G (Geomatrix).

5.3 Diseño de la zanja de drenaje.

El material de relleno de la zanja de drenaje debe permitir que el agua que la base permeable descarga dentro de ella fluya libremente hacia la tubería. Puesto que el flujo es vertical, la capacidad de la zanja no constituye casi nunca un problema. La profundidad de la zanja deberá ser suficiente para lograr la función de drenaje deseada. En ese sentido, se recomienda que ella sea tal, que la clave de la tubería se encuentre al menos 5 centímetros por debajo del fondo de la base permeable.

El ancho de la zanja debe ser suficiente para permitir la adecuada colocación de la tubería y la compactación del material granular de relleno alrededor de ella. Dependiendo del diámetro de la tubería, el ancho de la zanja suele variar entre 20 y 25 centímetros (Manual de drenaje para carreteras, 2009):

Para el presente estudio, teniendo en cuenta las condiciones de caudal de infiltración y de precipitación, se consideró realizar una zanja con un ancho efectivo de **30 centímetros**.

5.4 Diseño del subdrén francés.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se diseñó el subdrén francés, el cual considera una tubería perforada que sea adecuada para evacuar el caudal que se infiltra a nivel subterráneo.

5.4.1 Diseño de la tubería.

El diseño del subdrén francés lateral asume que todo el flujo es transportado por la tubería. En la zanja se colocó un agregado con alta permeabilidad para cubrir la tubería.

El flujo interceptado por la tubería es aquél que penetra por sus perforaciones, el cual que se puede estimar aproximadamente como:

$$Q_0 = N * A * C_d * \sqrt{2 * g * h}$$

Ecuación 5. Diseño de tubería.

Dónde:

Q_0 : Flujo a través de las perforaciones, en metros cúbicos por segundo por metro de tubería ($m^3/s/m$ de tubería).

N : Número de perforaciones en un metro de tubería.

A : Área de cada perforación, en metros cuadrados (m^2).

C_d : Coeficiente de descarga de cada perforación (INVÍAS sugiere 0.8).

g : Aceleración de la gravedad, $9.81 m/s^2$.

h : Cabeza hidráulica de las perforaciones, m (INVÍAS sugiere 5 mm).

Para el subdrén francés se considera que:

$$2.095 \times 10^{-5} m^3/s/m = N * A * 0.8 * \sqrt{2 * 9.81 * 0.005}$$

$$N = 4.26 \approx 5 \text{ perforaciones por metro}$$

Son suficientes 5 perforaciones en un metro de tubería de 5 mm de diámetro para garantizar la evacuación del caudal infiltrado.

5.4.1.1 Capacidad de la tubería con la fórmula de Manning

Cumplidos los requerimientos en relación con la provisión y ubicación de orificios, se garantiza que no existirá ningún problema en relación con la capacidad de la tubería, siempre y cuando se coloquen desagües a intervalos apropiados. La capacidad de la tubería considerando las recomendaciones del Manual de drenaje de carreteras, donde sugiere que al menos el tercio inferior de circunferencia de la tubería sea impermeable, se puede estimar a partir de la fórmula de Manning:

$$Q = \frac{0.0427}{n} * D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 6. Capacidad de la tubería mediante Manning.

Dónde:

Q : Capacidad de la tubería, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

D : Diámetro de la tubería.

S: Pendiente, en metros por metro (m/m).

Los valores sugeridos para el coeficiente de rugosidad (n) para los tubos de uso corriente son:

- Tubo liso de PVC (n = 0.012)
- Tubo metálico corrugado (n = 0.024)

[Los diámetros mínimos recomendados son de 76 mm (3 pulgadas) para los tubos de PVC y de 102 mm (4 pulgadas) para los demás tipos, aunque la mayoría de las agencias viales recomiendan, por razones de mantenimiento, no emplear diámetros inferiores a 102 mm (4 pulgadas). Los tubos se deberán colocar con los orificios o ranuras hacia la parte superior, con el fin de aprovechar al máximo su capacidad hidráulica (Manual de drenaje para carreteras, 2009)).

A partir de la sugerencia de INVÍAS, se tomó una tubería para obras civiles en PVC con uso frecuente en el mercado colombiano con las siguientes especificaciones:

Diámetro nominal		Área de drenaje	Peso	A	B
Mm	Pulg.	cm ² /m	kg/m	mm	mm
100	4	30.0	0.466	1.30	5.00

Tabla 13. Especificaciones de tubería ranurada.

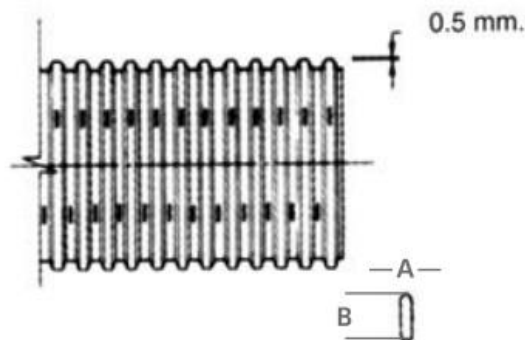


Ilustración 9. Tubería sin filtro para obras civiles.

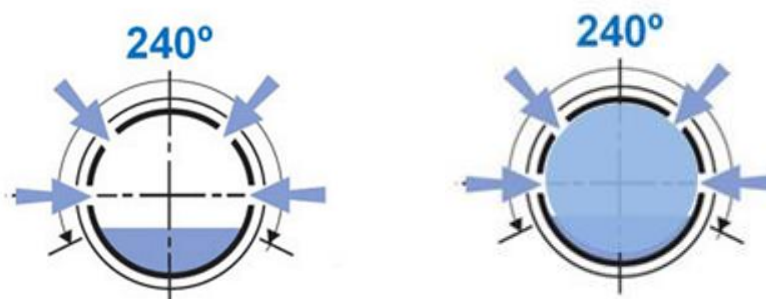


Ilustración 10. Perfil de penetración hidráulica de partículas de agua hacia el tubo ranurado. La izquierda representa una tubería parcialmente llena y la de la derecha para un flujo a través de la sección transversal llena. (Riha, 1976)

Para la anterior tubería ranurada se verificó la capacidad de transportar el caudal infiltrado en la vía mediante la *Ecuación 6. Capacidad de la tubería mediante Manning*.

$$Q_{Tubo\ ranurado} = \frac{0.0427}{0.012} * (0.10)^{\frac{8}{3}} * (0.01)^{\frac{1}{2}} = 7.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

El factor de seguridad para el sistema de subdrenaje francés, fue:

$$F. S_{Dren\ francés} = \frac{767 \text{ cm}^3 / \text{s} / \text{m}}{20.95 \text{ cm}^3 / \text{s} / \text{m}} \approx 37.0$$

Por lo cual $767 \text{ cm}^3 / \text{s} / \text{m}$ garantiza que el sistema de subdrenaje puede evacuar el caudal de diseño que se infiltra.

5.5 Diseño de subdrenaje con Geodrén Lamidren L20 DB (Drenaje de banda)

El subdrenaje con el geodrén Lamidren L20 DB están diseñados para capturar agua y canalizar el agua. El núcleo tridimensional en polietileno de alta densidad (HDPE) crea un canal de drenaje de alta resistencia a la compresión y alta capacidad de flujo, y el tejido de filtro fusionado evita la entrada de tierra en el canal de flujo.

A partir del ensayo ASTM D4716 (*Standard Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head*) se logra determinar las propiedades hidráulicas de la membrana nodular. La ficha técnica del producto empleado se presenta a continuación:

FICHA TÉCNICA	
Características:	
Material	Polietileno especial de alta densidad (HDPE)
Color	Negro ●
Espesor del material	1,0mm aprox.
Peso	1000 gr/m ²
Dimensión de rollo	20x25,40,50 cm, 1-2m
Altura de nódulos	20 mm aprox.
Nódulos por m ²	400 aprox.
Volumen de aire entre los nódulos	14L/ m ² aprox.
Resistencia a la compresión (Certificada)	> 15t/m ² aprox. (150kN/m ²)
Capacidad de drenaje	10 l/s/m
Estabilidad térmica	De -40°a +80°C
Propiedades químicas- físicas	Resistencia a los agentes químicos, resistente a las raíces, no degradable. Estable en el tiempo, impermeable.
<small>- Esta ficha técnica tiene vigencia desde Febrero de 2014 y Lamiter SAS en aras de mejorarla puede introducir modificaciones necesarias para garantizar su funcionalidad. - Tener en cuenta que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad directa del usuario su cuidado.</small>	

Ilustración 11. Ficha técnica del Lamidren L20DB.

A partir del ensayo en laboratorio, se puede establecer una **capacidad de drenaje de 10 l/s/m**. El método de instalación del Lamidren L20 DB, se muestra a continuación:

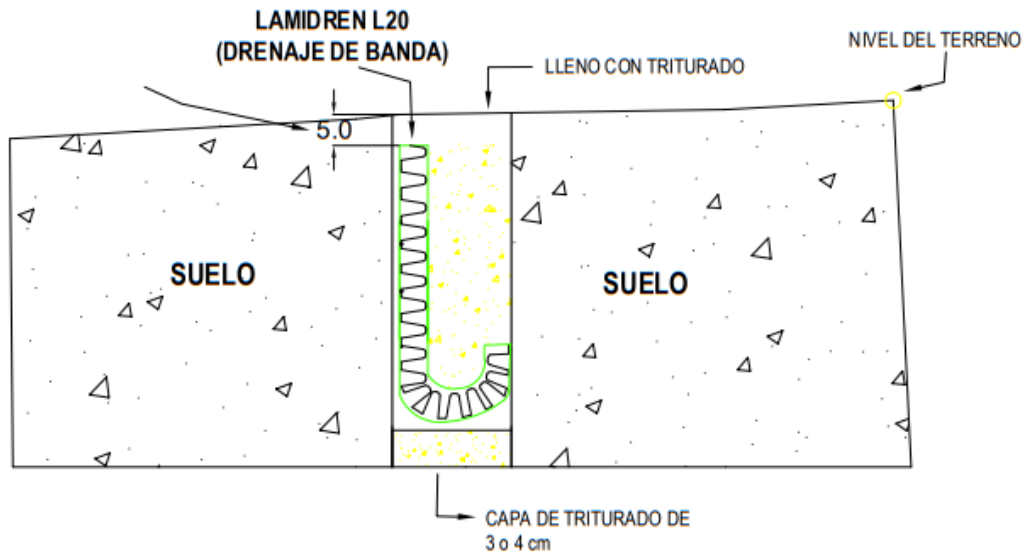


Ilustración 12. Instalación del Lamidren L20DB.

Para instalación de este tipo de subdrén en vías, el ancho utilizado es de 1.30 metros, de donde 1.0 metros va instalado de forma vertical con los nódulos hacía la zanja de drenaje protegiendo la estructura vial y los 0.30 metros restante forman la canaleta que conduce el agua. Ver *Tabla 14. Proceso de instalación del geodrén Lamidren L20DB.*



Ilustración 13. Excavación de la zanja longitudinal.



Ilustración 14. Preparación del geodrén Lamidren L20DB.



Ilustración 13. Instalación del geodrén en la zanja de drenaje.



Ilustración 14. Llenado de la zanja del subdrén.

Tabla 14. Proceso de instalación del geodrén Lamidren L20DB.

A partir de lo anterior, se consideró evaluar la canaleta formada por los 0.3 metros y verificar la capacidad de esta de evacuar el agua infiltrada en la desde la infraestructura vial con el caudal de diseño.

Teniendo en cuanto lo anterior, se logró determinar que para el geodrén Lamidren L20 que el caudal capaz de evacuar en un metro de longitud con una canaleta de 0.30 metros de ancho corresponde a:

$$Q_{\text{Geodrén Lamidren L20DB}} = 2,31 \text{ l/s/m}$$

El factor de seguridad para el sistema de subdrenaje con el geodrén Lamidren L20DB, fue:

$$F.S_{Dren\ francés} = \frac{2310\ cm^3/s/m}{20.95\ cm^3/s/m} \approx 111.0$$

Por lo cual $2310\ cm^3/s/m$ garantiza que el sistema de subdrenaje puede evacuar el caudal de diseño que se infiltra.

5.6 Comparación de ambos sistemas de subdrenaje.

5.6.1 Capacidad hidráulica.

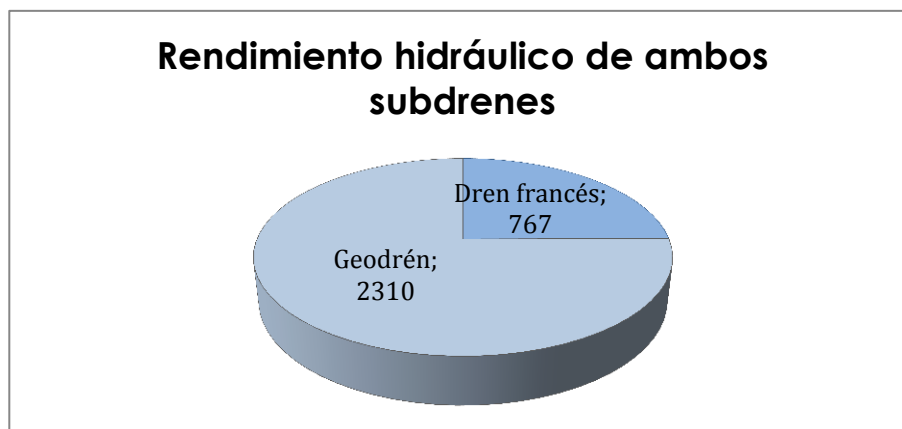
Para un caudal infiltrado la respuesta de ambos sistemas de subdrenaje la respuesta fue efectiva al poder evacuar el agua. Los factores de seguridad altos evidencian que no tienen problemas con el caudal de diseño, siendo aún conservadores los cálculos.

Sin embargo, se puede apreciar una diferencia considerable en el comportamiento de ambos tipos de subdrenes, de manera específica en el geodrén L20DB, el cual presenta un aumento cercano al triple de la capacidad de evacuar agua que el del sistema del dren francés.

Considerando lo anterior, en ambos tipos de subdrenes se puede contemplar la posibilidad de disminuir la cantidad de agregado dado que el principio básico de funcionamiento de un material filtrante es permitir el paso del agua sin una resistencia significativa y el ancho de la zanja. No obstante, el geodrén L20DB tiene un rango más amplio en el cual disminuir las características de la zanja y el material de filtro al poseer un factor de seguridad 3 veces superior al del dren francés.

Sistema de subdrenaje		
	Dren francés	Geodrén Lamidren L20DB
Capacidad de drenaje ($cm^3/s/m$)	767	2310

Tabla 15. Comparación de capacidad hidráulica de ambos sistemas de subdrenaje.



Gráfica 1. Rendimiento hidráulico de ambos sistemas de subdrenaje.

5.6.2 Capacidad mecánica de los subdrenaje.

Dada las características de intemperismo a la que van a estar sometidos ambos tipos de sistemas de subdrenaje, específicamente, el tubo ranurado y la membrana nodular, estos depende poseer propiedades mecánicas que le permitan ser resistentes al impacto de material granular, al agua y que se conserve en el tiempo su estructura. Teniendo en cuenta lo anterior, se realiza la comparación de las propiedades mecánicas de ambos producto con base en las fichas técnica suministradas por ambos fabricantes del material.

Características	Tubo ranurado de 4 pulg. (Durman)	Geodrén Lamidren L20DB.
Espesor mínimo de pared (mm)	0,7	1,0
Resistencia a la compresión (kN/m ²)	178	150
Peso teórico	0,48 kg/m	1 kg/m ²
Materia prima	PVC	HDPE
Color	Amarillo	Negro

Tabla 16. Comparación propiedades mecánicas.

Ambos tipos de sistemas de drenaje van a estar sometidos a diferentes tipos de suelos, por lo cual, uno de los ítems que se revisó es la resistencia a agentes químicos, resistencia al ataque de raíces y que no se degradaran con el tiempo, por lo cual ambos cumplieron.

Cabe destacar que ambos sistemas analizados cumplen con condiciones mínimas de resistencia. El tubo ranurado Durman es fabricado bajo la norma DIN 1187, mientras que la fabricación y proceso de verificación de resistencia del geodrén es con las normas ASTM.

Nos fue posible hacer una comparación directa del comportamiento de cada sistema ya que su proceso de fabricación y verificación de resistencia con las normas es diferente, sin embargo, se evidenció que el tubo de PVC cumple los requisitos de la especificación AASHTO M 278 exigido por el manual de carreteras de INVÍAS y que el geodrén L20DB, garantiza los valores de resistencias mecánica y capacidad hidráulica para cumplir su función como sistema de subdrenaje.

5.6.3 Rentabilidad económica para los sistemas de subdrenaje.

A partir de los datos correspondientes al diseño de ambos sistemas de subdrenaje, se comparó el sistema de subdrenaje tradicional conocido como subdrenaje francés con el geodrén Lamidren L20DB y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

5.6.3.1 Subdrenaje francés (análisis por metro lineal)

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Geotextil FIBERTEX F20G	m ²	2,70	\$2.230	\$6.020
Tubería de drenaje de 100mm	ml	1,05	\$23.000	\$24.150
Material drenante	m ³	0,32	\$65.890	\$21.085
Excavación y retiro	m ³	0,32	\$18.000	\$5.760
Mano de obra	ml	1	\$9.000	\$9.000
Total				\$66.015

Tabla 17. Análisis de precios por metro lineal para el subdrén francés.

5.6.3.2 Geodrén Lamidren L20 DB – Drenaje de banda (análisis por metro lineal)

Material	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Geodren vial L20 DB x 1.30m	ml	1,05	\$15.200	\$15.960
Material drenante	m ³	0,20	\$65.890	\$13.178
Excavación y retiro	m ³	0,20	\$18.000	\$3.600
Mano de obra	ml	1	\$9.000	\$6.000
Total				\$38.738

Tabla 18. Análisis de precios por metro lineal para el geodrén Lamidren L20DB.

5.6.3.3 Análisis de rentabilidad

A partir del análisis de precios unitarios de los ítems 5.6.3.1 y 5.6.3.2 se logró evidenciar que el sistema de subdrenaje con el geodrén Lamidren L20DB es 41% más económico que el sistema tradicional conocido como dren francés. Esto es debido a que la alta capacidad para transportar el agua infiltrada del geodrén permite construir sistemas de subdrenaje menos conservadores de modo que se disminuyan gastos en excavación y materiales de relleno sin dejar a lado que este garantice el correcto funcionamiento del subdrenaje aún con un alto factor de seguridad.

Adicionalmente, el geodrén al permitir realizar zanjas de drenaje de menores dimensiones, ofrece la posibilidad de tener tiempos de ejecución de este tipo de subdrén más cortos.

5.7 Proceso de infiltración para los sistemas de subdrenaje mediante modelos experimentales.

Un sistema de subdrenaje hace parte de una estructura completa de una vía. Es por ello que el diseño de subdrén va de la mano con el diseño de las capas granulares que componen la estructura del pavimento independientemente si es rígido o flexible. Es por ello, que la forma más adecuada para realizar un modelo experimental de un subdrenaje para una vía, es considerando todos los factores que intervienen en una vía y no solo desde el caudal de infiltración.

La FHWA ha desarrollado un programa Drainage Requirements in Pavements (DRIP)(MALLELA, J., LARSON G.E., WYATT T., HALL J.P. & BARKER W., 2002)). Sus aplicaciones de interés incluyen el diseño hidráulico de las bases permeables, de las capas de separación y de los drenes laterales de borde, bajo los conceptos tratados en el manual de carreteras de INVÍAS.

Sin embargo, en el presente análisis, no se pudo tener en cuenta, ya que muchos de los valores de entrada para el diseño del subdrenaje y la cuantificación del caudal; dependen de parámetros estructurales de la vía como el tipo de material granular utilizados en sus capas granulares, para la cual, en la zona de estudio no se contaba con esta información y al asumirse variaba con los parámetros establecidos con base al manual de carreteras del INVÍAS. Ver Ilustración 17. Ejemplo en el software Drainage Requirements in Pavements (DRIP).

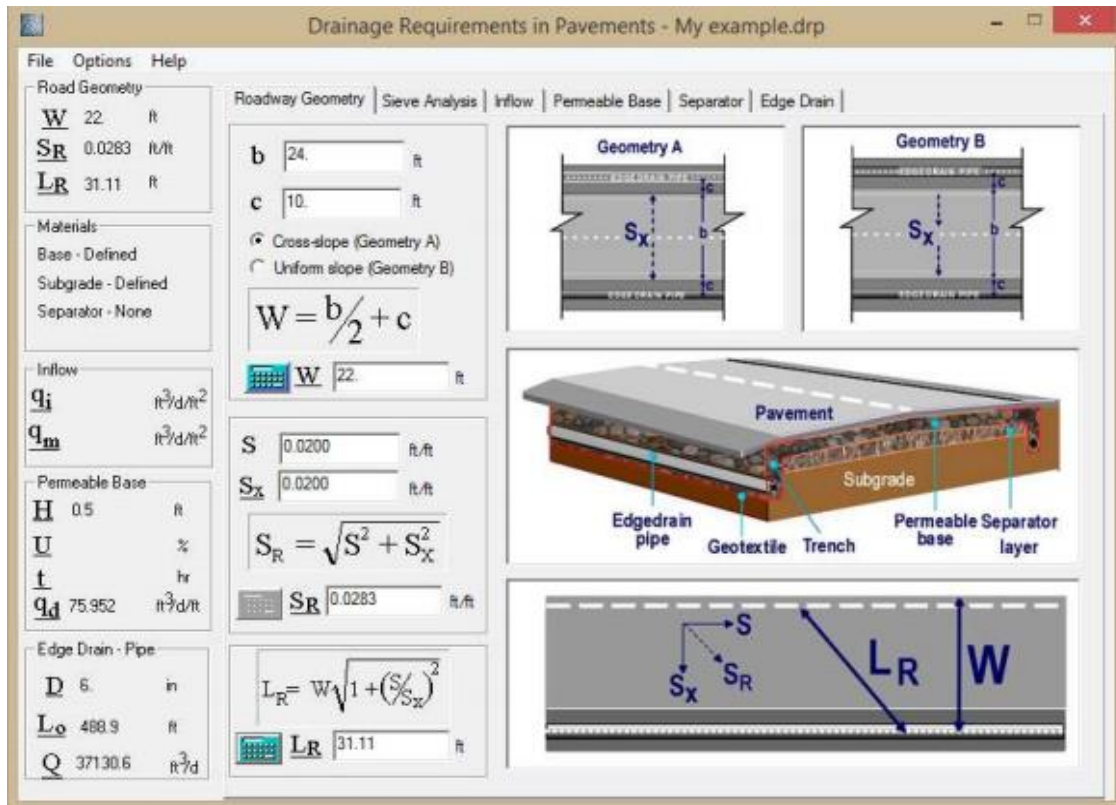
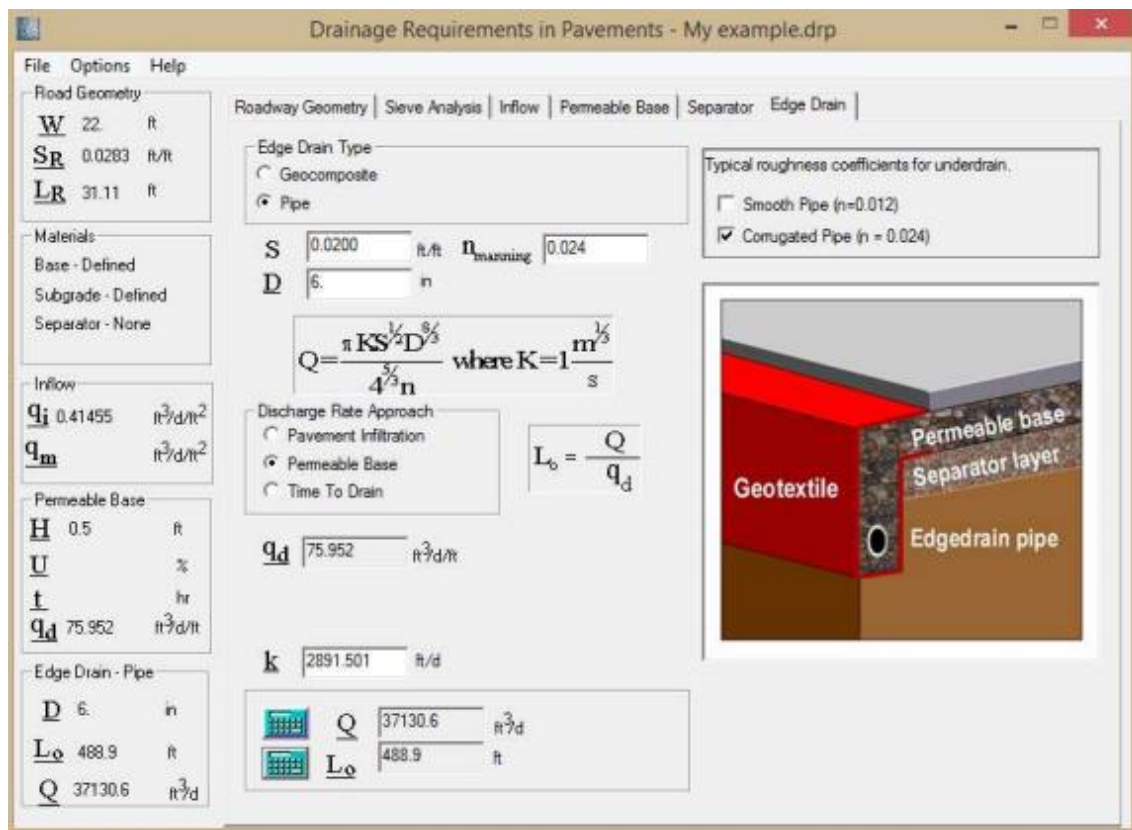


Ilustración 15. Ejemplo en programa Drainage Requirements in Pavements (DRIP).



6 CONCLUSIONES

Se ha logrado realizar el diseño y evaluación comparativa de sistemas de subdrenaje de tipo dren francés y tipo geodrén con base a estudios de suelo e hidrológicos en la región Andina colombiana, a partir de una comparación económica y técnica.

El sistema de drenaje tipo geodrén Lamidren L20DB demuestra la eficiencia, proporcionando además de ventajas económicas y constructivas, pues la zanja necesaria para su instalación es más estrecha que en los sistemas de drenaje tipo dren francés.

La disminución que se genera con respecto a los volúmenes de excavación, por parte del geodrén Lamidren L20DB debido a su gran capacidad de drenaje, permite reducir el tiempo y costos de ejecución por metro lineal, lo cual es un ahorro económico importante para proyectos viales de muchos kilómetros de longitud.

Para el diseño de ambos sistemas de subdrenaje se consideró el mismo caudal de infiltración en la misma región con el fin de igualar las condiciones para ambos. El uso del geotextil no tejido y el material triturado fue el mismo, sin embargo la variación en el comportamiento hidráulico y los valores obtenidos de factores de seguridad conservativos, hacen posible disminuir algunas características de las zanjas, especialmente en su ancho. No obstante, el geodrén sigue teniendo un margen de seguridad por encima del subdrén tradicional, lo cual representa un beneficio al permitir disminuir características de diseño sin dejar de lado que pueda completar con su función.

Uno de los limitantes importantes para la comparación de estos dos sistemas de subdrenaje fue determinar el comportamiento de cada uno en el tiempo, dado que para poder llevar a cabo es necesario evaluar un tramo de prueba real bajo las mismas condiciones donde se pueda evidenciar cómo la presencia de sedimentos en los sistemas de subdrenaje pueda tender a disminuir el tiempo de vida de estos, debiendo realizar la operación y mantenimiento permanentemente de esta manera prolongar su vida útil.

Los resultados y conclusiones obtenidos en el presente estudio solo son válidas para la zona de estudio comprendida en inmediaciones del municipio de Puerto Triunfo – Antioquia – Colombia.

Referencias Bibliográficas

- INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ADECUACIÓN DE TIERRAS, HIMAT, “Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia”, Rodrigo Marín Ramírez, Ministerio de Agricultura, Santa Fe de Bogotá, 1992.
- FORSYTH R. A., WELLS G. K., & WOODSTROM J. H., “Economic impact of pavement subsurface drainage”, Transportation Research Record 1121, Transportation Research Board, Washington D.C., 1987.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, (IDEAM). “Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF_23185020 - Mesopotamia)”. Colombia, 2017.
- DÁVILA, C., TORRES, C. (2010). Implementación de un sistema de optimización de procesos constructivos para obras de drenaje vial. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- JUÁREZ BADILLO E. & RICO RODRÍGUEZ A., “Mecánica de suelos - Tomo III”, Editorial Limusa, México, 1974.
- VARGAS M.R., DÍAZ-GRANADOS O.M., Universidad de los Andes, Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia”, Santafé de Bogotá, 1998.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, (INVÍAS). “Manual de drenaje para carreteras”, Ministerio de transporte, Colombia, 2009.
- HIGHWAYS DEPARTMENT, “Road Note 8 Subsoil drainage for road pavements”, RD/RN/008A, Hong Kong, March 2001.
- ASTM D7001 - 06(2011) Standard Specification for Geocomposites for Pavement Edge Drains and Other High-Flow Applications. Recuperado de <https://www.astm.org/Standards/D7001.htm>
- LAMINADOS TERMOFORMADOS S.A.S. Geodrén Lamidren L20DB. Catálogo Lamidren 2019.

- MALLELA, J., LARSON G.E., WYATT T., HALL J.P. & BARKER W., “User’s guide for drainage requirements in pavements – DRIP 2.0 Microcomputer Program”, FHWA Contract No. DTFH61-00-F-00199, July 2002.
- LAMINADOS TERMOFORMADOS S.A.S. (2018). Lamidren, Lámina drenante para obras civiles. (Catálogo de productos). Envigado, Colombia.
- ALVARADO, M., NARANJO, J. (2012). Diseño del subdrenaje vial en la vía la Tranca-Tambo viejo de 3.6 km. (Trabajo de grado). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- SOTO, A., (2013). Diseño y evaluación comparativa de sistemas de drenaje de tipo francés y tipo sintético en el sector de Quintanillapampa. (Tesis). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú.
- GEOMATRIX SAS (16 de enero de 2019). Análisis comparativo entre el dren francés y el geodrén como sistemas de subdrenaje [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=4bEcMqGT2yU>
- JABLONKA, M., PETER, H. (2012). Revista Knovel. Case Study: Long-Term Performance of HDPE Drainboards in the Gotthard Railway Tunnels. [418-425].
- KOERNER, R. Designing with Geosynthetics. United States of America: Pearson.
- JABLONKA, M., COSELLA-DORKEN. (2009). Revista Geosynthetics. Long Term Performance Requirements for HDPE Drainboards. [84-94]

FICHAS TÉCNICAS

FICHAS TÉCNICA GEODRÉN LAMIDREN L20DB

Ficha Técnica

MEMBRANA NODULAR LAMIDREN L20 DB (DRENAJE DE BANDA) EN POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE) PARA DRENAJE EN OBRAS CIVILES.

CARACTERÍSTICAS:

CARACTERÍSTICAS	
1. Durable	9. Tubo plano el cual reemplaza la tubería perforada.
2. Garantiza un drenaje permanente.	10. Permite el drenaje de agua acumulada, drena más de tres veces que los productos convencionales.
3. Resistencia a la compresión y a la tracción.	11. Material recuperable y 100% reciclable.
4. Inalterable ante agentes químicos, presentes en el suelo (cloruro, sulfatos, etc.)	
5. Fácil instalación.	
6. Cero absorción de agua.	
7. No se degrada al contacto con la tierra, ni con el agua.	
8. Impide la penetración de raíces.	

ALMACENAMIENTO Y PRESENTACIÓN:

- La membrana nodular, se suministra en rollos de 25, 40, 50 cm y 1-2 mts de ancho, 20 mts de largo, la longitud puede variar de acuerdo con la necesidad de la obra. (Ancho opcional a medida)
- Los rollos se deben almacenar en posición horizontal.
- A la membrana nodular L20DB (HDPE) Polietileno de alta densidad, no le afecta el contacto con hidrocarburos o sustancias químicas.
- La membrana L20DB nodular, se fabrica en calibre (40).

GARANTIA:

- Garantía Lamidren L20DB, 3 años por defectos de fabricación, durabilidad del producto mayor de 25 años.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

FICHA TÉCNICA	
Características:	
Material	Polietileno especial de alta densidad (HDPE)
Color	Negro ●
Espesor del material	1,0mm aprox.
Peso	1000 gr/m ²
Dimensión de rollo	20x25,40,50 cm, 1-2m
Altura de nódulos	20 mm aprox.
Nódulos por m ²	400 aprox.
Volumen de aire entre los nódulos	14L/ m ² aprox.
Resistencia a la compresión (Certificada)	> 15t/m ² aprox. (150kN/m ²)
Capacidad de drenaje	10 l/s/m
Estabilidad térmica	De -40° a +80°C
Propiedades químicas- físicas	Resistencia a los agentes químicos, resistente a las raíces, no degradable. Estable en el tiempo, impermeable.
- Esta ficha técnica tiene vigencia desde Febrero de 2014 y Lamiter SAS en aras de mejorarla puede introducir modificaciones necesarias para garantizar su funcionalidad. - Tener en cuenta que las condiciones de uso están fuera de nuestro control y es responsabilidad directa del usuario su cuidado.	



TUBERÍA PERFORADA CORRUGADA DE DRENAJE DE PVC



ESPECIFICACIONES

Características	
Presentación	Rollo x 30 m
Diámetro Externo (mm)	109,9
Espesor Mínimo de pared (mm)	0,7
Área abierta (cm ² /m)	150,0
Radio de curvatura (mm)	600,0
Peso Teórico (Kg/tubo)	14,5
Materia Prima	PVC
Color	Amarillo
Uso Principal	Drenaje
Pruebas de Calidad	
Inmersión en Acetona	Sin ataque
Energía de impacto (J)	20.000
Aplastamiento	Al 60% no presenta fisuras ni se quiebra
Rigidez PSI (Kgf)	25,8 (15,4)
Deflexión 5%	5,47

Tamaño Nominal	
Diámetro (pulg)	4
Diámetro (mm)	100

- La tubería de drenaje DURMAN es fabricada en PVC, bajo los más altos estándares de calidad. Norma DIN 1187.
- **Usos y Aplicaciones:**
Filtros en muros en suelo reforzado, drenaje en vías y escenarios deportivos como canchas de fútbol.

FICHAS TÉCNICA GEOTEXTIL NO TEJIDO FIBERTEX

Geotextiles No Tejidos
FIBERTEX

Geotextiles No Tejidos
Hoja Técnica
Valores TÍPICOS ²

FIBERTEX son geotextiles no tejidos elaborados con fibras vírgenes de polipropileno empleando la tecnología del punzonamiento en seco, en donde las fibras del polipropileno son extruidas, cardadas y finalmente punzonadas. La tecnología del punzonamiento en seco garantiza una excelente resistencia a daños producidos durante la instalación, excelentes propiedades de abrasión, alta resistencia dimensional y uniformidad, una mayor resistencia a las altas temperaturas, una elongación superior al 50% y un excelente balance entre permeabilidad y retención de partículas. **FIBERTEX** es empleado como material de filtro y separación de suelos en la construcción de obras de infraestructura, para impermeabilización de capas asfálticas en rehabilitación de pavimentos en vías y parqueaderos y como protección de geomembranas.



	DESCRIPCIÓN	NORMA	UNIDAD	F 20G	F 25G	F 30G
PROPIEDADES MECÁNICAS	Resistencia a la tensión método tira ancha (MD / TD) ¹	ASTM D 4595	kN/m	7 / 7	10 / 10	11 / 11
	Resistencia a la tensión método Grab	ASTM D 4632	N	450	650	742
	Deformación a la rotura método Grab (MD / TD) ¹		%	65 / 70	70 / 80	65 / 74
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D 4833	N	275	400	415
	Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D 4533	N	215	295	320
	Resistencia al punzonamiento estático (CBR)	ASTM D 6241	N	1320	1850	2250
	Resistencia a UV (% Retención a 500 horas)	ASTM D 4355	%	> 70	> 70	> 70
PROPIEDADES HIDRÁULICAS	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	mm	0,15	0,10	0,10
	Permeabilidad a 50 mm HW	ASTM D 4491	cm/s	0,19	0,19	0,16
	Permitividad		s ⁻¹	3,20	2,40	2,00
	Retención de asfalto	ASTM D 6140	l/m ²	N.A	1,0	1,0
PRESENTACIÓN ROLLO	Ancho x largo	Medido	m	3.0 x 100	3.0 x 100	4.0 x 100
	Area		m ²	300	300	400
	Ancho x largo		m	4.0 x 100	4.0 x 100	
	Area		m ²	400	400	
FUNCIÓN DEL GEOTEXTIL	Filtración					
	Drenaje					
	Acolchonamiento (Protección mecánica)					
	Separación					
	Repavimentación (Impermeabilización)					

Observaciones

1) MD / TD : dirección principal, a lo largo del rollo / transversal a lo largo del rollo. 2) Los resultados corresponden a promedios estadísticos de los lotes de producción (Datos anexos por el fabricante). Estos resultados están sujetos a cambios sin previa notificación.

Para mayor información consultar el sitio web www.geomatrix.com.co



HT-0003V00
2010-03

CURVAS I-D-F ESTACIÓN MESOPOTAMIA (IDEAM)

