



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO  
FLEXIBLE A PARTIR DE LÁMINAS NODULARES DE  
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.**

**Autor:  
Jesús Domingo Orozco Banda**

**Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería civil  
Medellín, Colombia  
2020**



REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE A PARTIR DE  
LÁMINAS NODULARES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

Autor: Jesús Domingo Orozco Banda

Informe de práctica como requisito para optar por el título de:  
Ingeniero Civil

Asesores:  
Derly Estefanny Gómez García - Ingeniera Civil  
Amparo Parra Patiño - Contadora

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil  
Medellín, Colombia  
2020

## Índice

	Pág.
RESUMEN: .....	5
1. INTRODUCCIÓN: .....	5
2. Objetivos .....	7
2.1 Objetivo general .....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
3. Marco teórico .....	7
3.1 Pavimento flexible .....	7
3.1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible .....	8
3.1.2 Ventajas y desventajas del uso de pavimentos flexibles .....	9
3.1.3 Daños en una estructura de pavimento flexible.....	10
3.2 Materiales Geosintéticos.....	11
3.2.1 Funciones de los geosintéticos .....	11
3.2.2 Clasificación de los geosintéticos .....	12
3.3 Polietileno .....	13
3.3.1 Polietileno de alta densidad .....	13
3.4 Lamina nodular LAMIDREN L7.....	14
4. Metodología.....	15
5. Resultados y análisis .....	16
6. Conclusiones y Recomendaciones .....	25
7. Bibliografía.....	26

## Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Especificaciones de LAMIDREN L7: .....	15
Tabla 2. Propiedades mecánicas de LAMIDREN L7 .....	15
Tabla 3. Propiedades hidráulicas de LAMIDREN L7 .....	15

## Índice de Imágenes

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Ubicación de los tramos de estudio en la vía El Viajano-San Marcos, departamento de Sucre .....	17
Imagen 2. Grietas presentes en el tramo a rehabilitar de la vía El Viajano-San Marcos, departamento de Sucre. ....	17
Imagen 3. Traslapo y disposición de los nódulos para la instalación del material .....	18
Imágenes 4 (a) y (b). Retiro de la carpeta asfáltica .....	19
Imagen 5. Compactación del terreno para el primer tramo.....	20
Imagen 6. Instalación del geosintético LAMIDREN L7 en campo.....	20
Imagen 7. Adicción y compactación de la base granular sobre el LAMIDREN L7 .....	21
Imágenes 8 (a) y (b). Imprimación con emulsión asfáltica en el primer tramo .....	22
Imágenes 9 (a) y (b). Instalación de la carpeta asfáltica .....	23
Imagen 10. Compactación de la carpeta asfáltica .....	23
Imagen 11. Finalización del proceso de pavimentación para el primer tramo .....	24

# REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE A PARTIR DE LÁMINAS NODULARES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

## RESUMEN:

La construcción de vías es de vital importancia para el desarrollo de un país debido a los beneficios que esto trae consigo, por ejemplo: reducción de los tiempos de viaje, conexión entre zonas apartadas, comercio, entre otros. Existen dos tipos de pavimentos entre los cuales tenemos: flexible y rígido, actualmente el pavimento flexible se refuerza a partir de un geosintético conocido como geomalla, la cual presenta tres variedades, uniaxiales, biaxiales y triaxiales. El presente trabajo se centrará en el refuerzo de estructuras de pavimento flexible a partir de un geosintético de fabricación Colombiana realizado por la industria Antioqueña Lamiter S.A.S, dicho geosintético hace referencia a laminas nodulares de polietileno de alta densidad con altura de nódulo de 7 Cm conocido como LAMIDREN L7, la metodología empleada fue dividida en tres fases: fase 1 (Revisión de literatura), fase 2 (diseño de pavimento flexible, características del geosintético y estudio de la zona de instalación), fase 3 (Instalación y seguimiento), para esto se trabajo en conjunto con el Instituto Nacional de Vías y el contratista Explanan, los cuales permitieron la adicción de LAMIDREN L7 en dos tramos de carretera pavimentados con anterioridad ubicados en la Vía El Viajano – San Marcos perteneciente al departamento de Sucre, a estos tramos se le realizó proceso de rehabilitación iniciando desde la sub base granular debido a grietas de considerable distancia y profundidad que se presentaban en este, por lo tanto fue posible la adicción del LAMIDREN L7 en la interfaz de sub base y base granular, como resultado se obtuvo la correcta instalación del geosintético LAMIDREN L7 en los tramos de carretera disponible donde se pudo apreciar la enorme facilidad de instalación permitiendo una optima pavimentación de los tramos, para concluir, es necesario realizarle a los dos tramos un seguimiento a corto y largo plazo para así establecer la viabilidad técnica y económica de este geosintético y examinar la posible utilización de este en proyectos viales.

## 1. INTRODUCCIÓN:

### 1.1 Antecedentes

En una estructura de pavimento flexible se presentan gran variedad de problemas a lo largo de su vida útil, entre los más comunes se encuentran: fisuras, deformaciones, pérdida de capas de la estructura, rugosidad, perdida de fricción y daños superficiales, estas fallas se pueden producir por una gran variedad de causas tales como, incremento del nivel de tránsito de circulación, variaciones climáticas (temperatura, humedad y lluvia), falta de mantenimiento, entre otros<sup>1</sup>. En consecuencia a dichos problemas existen métodos para el refuerzo de la estructura de pavimento a partir de geosintéticos los cuales hacen referencia a tres mecanismos: fricción entre la interfaz del geosintético y el suelo, es decir resistencia al esfuerzo cortante (restricción lateral), La rigidez que aporta el geosintético limita las deformaciones en la capa de base, generando un tipo de confinamiento lo que aumenta su resistencia al esfuerzo cortante (aumento de la capacidad de soporte) y al deformarse la sub base bajo la acción de las cargas, el geosintético se estira como una membrana (efecto membrana tensionada)<sup>2</sup>. El presente documento “**REFUERZO DE ESTRUCTURAS DE**

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras-Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006. 56 p.

<sup>2</sup> Giroud, J.P. and Noiray, L. 1981. Geotextile - reinforced unpaved roads. Journal of Geotechnical Engineering Division, American Soc. of Civil Engineers, Vol. 107, No GT9, pp. 1233- 1254.

**PAVIMENTO FLEXIBLE A PARTIR DE LÁMINAS NODULARES DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD”**, evaluará el comportamiento de una estructura de pavimento flexible al ser reforzada en la interfaz entre la sub base granular y base granular a partir del geosintético LAMIDREN L7.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se comportará una estructura de pavimento flexible cuando esta es reforzada a partir de láminas nodulares de polietileno de alta densidad - LAMIDREN L7 en la interfaz de sub base y base granular?

Actualmente el refuerzo de estructuras de pavimento flexible se realiza a partir de geomallas, estas pueden ser fabricadas a partir de hilos de poliéster, nylon o fibra de vidrio de alta tenacidad, también puede estar compuestos de polietileno y polipropileno, así mismo dichas geomallas pueden ser uniaxiales, (estructura alineada en una sola dirección), biaxiales (estructura reforzada en dos direcciones) y triaxiales (estructura reforzada en tres direcciones)<sup>3</sup>.

Ante la necesidad de innovar respecto al refuerzo de estructuras de pavimento flexible, se ha decidido examinar el comportamiento de laminas nodulares de polietileno de alta densidad – LAMIDREN L7, cuando estas se introducen en la interfaz de sub base y base granular.

## **1.3 Alcance**

El presente documento hace énfasis en examinar el comportamiento de una estructura de pavimento flexible a corto y largo plazo, cuando esta es reforzada en su interfaz de sub base y base granular con el geosintético fabricado por la industria colombiana Lamiter - LAMIDREN L7, así mismo en este trabajo se busca innovar en el refuerzo de dichas estructuras con un geosintético nunca antes utilizado en nuestro país para dicho proceso.

## **1.4 Limitaciones**

Actualmente en Colombia el refuerzo de estructuras de pavimento flexible se realiza a partir de geomallas, generalmente biaxiales y triaxiales, por lo cual una de las principales limitaciones para este trabajo es la aceptación del geosintético LAMIDREN L7 como refuerzo en estructuras de pavimento flexible, así mismo otra de las limitaciones es el tiempo, debido a que para conseguir resultados más exactos respecto al comportamiento del material en la estructura de pavimento es necesario realizar la evaluación a largo plazo, debido a que en un tiempo considerable el pavimento estará sometido a una gran cantidad de cargas vehiculares y a variaciones climáticas incluyendo cambios de temperatura, lluvias y humedad.

## **1.5 Metodología empleada**

Para la realización de este trabajo se optó por una metodología dividida en tres fases:

- Fase 1: Revisión de la literatura y casos de estudio en Colombia
- Fase 2: Diseño de estructura de pavimento flexible, características del geosintético necesarias para adelantar su instalación en campo y estudio de la zona de instalación.

---

<sup>3</sup> JIMENEZ, J; THEURER, M; RIZO, J; MAZA, C; ZAMBRANO, I; CEVALLOS, G; SALCEDO, I; GUZHÑAY, J; LUCIO, S. La geomalla como elemento de refuerzo en estructuras de pavimento flexible, Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán, Revista facultad de Ingeniería, Vol. 21, núm. 1, 2017. 10 p.

- Fase 3: Instalación y seguimiento del geosintético sobre los tramos de carretera.

## **1.6 Avance y aplicación**

La innovación con nuevos materiales geosintéticos para el refuerzo de estructuras de pavimento como es el caso del LAMIDREN L7 es indispensable, ya que al utilizar este nuevo procedimiento se busca la construcción de vías con mayor estabilidad en cuanto a su estructura a largo plazo lo cual traería consigo una mayor vida útil, menores costos en mantenimiento, una mayor viabilidad económica debido a las grandes propiedades físicas y mecánicas de dicho material, por lo cual se buscará en los nuevos diseños de estructura de pavimento disminuir los espesores de las capas (sub base granular, base granular y carpeta asfáltica), lo cual traería consigo una importante disminución económica en cuanto a los materiales y el transporte de los mismos.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar el comportamiento de una estructura de pavimento flexible reforzada a partir de laminas nodulares de polietileno de alta densidad – LAMIDREN L7 a corto y largo plazo.

### **2.2 Objetivos específicos**

**2.2.1** Realizar la revisión de la literatura y así obtener información respecto a los geosintéticos y la instalación de estos en una estructura de pavimento flexible

**2.2.1** Establecer dos tramos de estudio ubicados en la vía el viajano - San Marcos perteneciente al departamento de Sucre, para llevar a cabo la instalación del LAMIDREN L7 y determinar el diseño de la estructura de pavimento flexible, estableciendo los espesores de la base granular y la carpeta asfáltica, para así iniciar la instalación de este material en la interfaz de sub base y base granular

**2.2.3** Evaluar el comportamiento del material desde su instalación y hacerle un seguimiento a corto y largo plazo para apreciar el comportamiento de los dos tramos, frente a cargas vehiculares, variabilidad climática (cambios de temperatura, humedad y lluvias) y finalmente evaluar la viabilidad técnica y económica de este geosintético para incluirlo como refuerzo de estructuras de pavimento flexible en nuestro país

## **3. Marco teórico**

### **3.1 Pavimento flexible**

El pavimento flexible es una estructura compuesta por varias capas, entre las cuales se encuentran: carpeta asfáltica, base granular, sub base granular y subrasante, por lo general las capas superiores son construidas con materiales que tienen mejores características (dureza, tenacidad, durabilidad, consistencia, etc.), en comparación a los materiales que se encuentran en las capas inferiores<sup>4</sup>.

Los materiales que se utilizan comúnmente para las capas de pavimento flexible son los siguientes<sup>5</sup>:

**Carpeta asfáltica:** es elaborada a partir de material pétreo seleccionado y un aglomerante (asfalto). Es de gran vital importancia conocer el contenido óptimo de asfalto a emplear, para garantizar que así la carpeta resista las cargas a las que estará sometida. Un exceso de asfalto en la mezcla puede ocasionar problemáticas como: pérdida de estabilidad y superficie resbaladiza.

**Base granular:** es constituida por material granular, como piedra triturada y mezcla natural de agregado y suelo; pero también puede conformarse a partir de cemento Portland, cal o materiales bituminosos, por lo cual recibe el nombre de base estabilizada.

**Sub base granular:** es conformada por materiales granulares, que le permiten trabajar como una capa de drenaje y controlador de ascensión capilar de agua, evitando fallas producidas por el hinchamiento del agua, causadas por el congelamiento, cuando se tienen bajas temperaturas.

**Subrasante:** esta capa puede estar formada en corte o relleno, dependiendo de las características del suelo encontrado.

### 3.1.1 Funciones de las capas de un pavimento flexible

Las funciones de las capas de un pavimento rígido según el manual Diseño de pavimento flexible y rígido del 2012, son<sup>6</sup>:

- **Carpeta Asfáltica:**
  - ✓ Superficie de rodadura: la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

---

<sup>4</sup> ZHANG, Qian; MILLS-BEALE, Julian y ZHAPING, You. PAVEMENT ENGINEERING, I: FLEXIBLE PAVEMENTS. University, Houghton, Michigan: McGraw- Hill, 2011.

<sup>5</sup>RODRIGUEZ, Edgar; Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la avenida Luis Montero, distrito de Castilla. Trabajo de grado Ingeniero civil. Piura: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. 2009.

<sup>6</sup> MONSALVE, Lina; GIRALDO, Laura y MAYA, Yessica. Diseño de pavimento flexible y rígido. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Armenia: Universidad del Quindío. Facultad de Ingeniería, 2012. 145 p.



- ✓ Resistencia: su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
  - ✓ Impermeabilidad: debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- **Base granular:**
    - ✓ Resistencia: la función fundamental de la base granular de un pavimento flexible es proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub base y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
- **Sub base granular:**
    - ✓ Capa de transición: cuando se lleva a cabo un buen diseño de la sub base granular, esta capa puede impedir la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen.
    - ✓ Disminución de la deformación: algunos cambios en el volumen de la subrasante generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura pueden absorberse con la capa sub base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
    - ✓ Resistencia: la sub base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

### 3.1.2 Ventajas y desventajas del uso de pavimentos flexibles<sup>7</sup>:

**Ventajas:** Su construcción inicial resulta más económica en comparación al pavimento rígido y posee un periodo de vida de entre 10 y 15 años.

**Desventajas:** Entre las principales desventajas podemos encontrar, requiere un constante mantenimiento para cumplir con su vida útil, ante la presencia de altas cargas vehiculares se producen problemas como las roderas y los dislocamientos en el asfalto lo que representa un gran peligro para los usuarios, Las distancias de frenado para superficies de hormigón son mucho mayores que para las superficies de asfalto sobre todo cuando el asfalto esta húmedo y con huellas, una vez que se produzcan huellas en un pavimento flexible, la experiencia ha demostrado que la colocación de una sobrecarpeta de asfalto sobre ese pavimento no evitara que se vuelva a presentar.

---

<sup>7</sup> MIRANDA, Ricardo; Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Trabajo de grado Ingeniero constructor. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería, escuela de construcción civil, 2010. 93 p.

### 3.1.3 Daños en una estructura de pavimento flexible

Según la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Nacional de vías (INVIAS), los daños que presenta una estructura de pavimento flexible se pueden clasificar en cuatro<sup>8</sup>:

#### 1. Fisuras

- Fisuras longitudinales y transversales: Hace referencia a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversal a él.
- Fisuras en juntas de construcción: Corresponden a fisuras longitudinales o transversales producidas por una incorrecta ejecución de las juntas de construcción en la carpeta asfáltica.
- Fisuras por reflexión de juntas: Este tipo de daño se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido; tales fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando existen grietas en las placas de concreto rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.
- Fisuras en media luna: Son fisuras de forma parabólica que usualmente está acompañada de hundimientos.
- Fisuras de borde: Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal o semicircular localizadas cerca al borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.
- Fisuras en bloque: Cuando se presentan este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular.
- Piel de cocodrilo: Son fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de cargas, la fisuración tiende a iniciarse en el fondo de la carpeta asfáltica, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas.
- Fisuración por deslizamiento de capas: Corresponden a fisuras en forma de semicírculo o media luna, con curvaturas definidas de acuerdo a la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento al acelerar o frenar.
- Fisuración incipiente: Corresponde a una serie de fisuras continuas y cerradas las cuales por lo general no se interceptan. Por lo general afectan al concreto asfáltico de manera superficial.

#### 2. Deformaciones:

- Ondulación: Se presentan ondas en la superficie del pavimento en dirección perpendicular al tránsito
- Abultamiento: Se debe a los abombamientos o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento.
- Hundimiento: Corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.
- Ahuellamiento: Es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos.

---

<sup>8</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras-Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006. 56 p.

### **3. Pérdida de las capas de la estructura:**

- Descascaramiento: Hace referencia al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial.
- Baches: Es la desintegración de la carpeta asfáltica que deja expuesto los materiales granulares lo cual produce un aumento del área afectada y la profundidad de esta debido al flujo vehicular
- Parche: Hace referencia a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente.

### **4. Daños superficiales:**

- Desgaste superficial: Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos.
- Pérdida de agregado: Es la desintegración superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.
- Pulimento del agregado: Se puede evidenciar por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares.
- Cabezas duras: Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, generalmente aumenta la rugosidad del pavimento.
- Exudación: Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento.
- Surcos: Son franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica.

## **3.2 Materiales Geosintéticos**

Los geosintéticos son elaborados a partir de materiales poliméricos termoplásticos tales como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster (PS), poliuretano (PU) y policloruro de vinilo (PVC), en algunos casos se utilizan diversos tipos de fibras tales como la fibra de vidrio y fibras naturales (algodón, yute y juncos), los materiales geosintéticos poseen excelentes propiedades físico-mecánicas e hidráulicas, razón por la cual son ampliamente utilizados en diversas obras civiles como: pavimentos, vías férreas, instalaciones mineras, lagunas, taludes, sitios erosionados, drenes, muros de contención, impermeabilización, entre otros<sup>9</sup>.

### **3.2.1 Funciones de los geosintéticos**

---

<sup>9</sup> DÍAZ, Jony; ESCOBAR, Oscar; OLIVO, Eduardo. Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras. Trabajo de grado Ingeniero Civil. San salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura, 2009. 459 p.

Según la compañía mexicana Soluciones ambientales<sup>10</sup>, Los geosintéticos cumplen varias funciones entre las cuales se encuentran:

- Separación: Previenen la mezcla de dos estratos o materiales diferentes evitando la contaminación entre ellos, conservando las cualidades físicas y mecánicas de cada uno
- Filtración: En presencia de agua entre dos estratos o materiales diferentes, permite el paso del fluido, evitando la migración de finos o que las partículas se mezclen o contaminen entre sí, aun estando sometidos a un trabajo de carga o compresión
- Drenado: Se permite un régimen de flujo entre dos estratos, transportando fluidos o gases a través del plano del geosintético aun sometido a un trabajo de compresión o carga.
- Refuerzo: Aumenta la capacidad de carga de un terreno, teniendo como resultado una superficie más estable; esto se logra por medio de la distribución de cargas, resultado de la interacción o fricción a la que son sometidos los geosintéticos.
- Protección: Hace referencia a recibir, absorber y mitigar una fuerza ejercida sobre una superficie contra los elementos que puedan ocasionar un daño a ésta.
- Impermeabilizar: Se coloca una frontera o barrera impermeable, aislando dos estratos diferentes evitando la impregnación de uno con el otro.

### 3.2.2 Clasificación de los geosintéticos

Los geosintéticos se pueden clasificar según su método de manufactura. A continuación, se presentan las actuales denominaciones<sup>11</sup>.

- Geotextiles: Son mantas de fibras o hilos tejidos, no tejidos, atados o cosidos. Las mantas son flexibles y permeables y generalmente tienen la apariencia de un tejido.
- Geomallas: Materiales geosintéticos que tienen una apariencia de una red regular de elementos de resistencia de tracción Las aberturas permiten la fricción entre las capas de suelo.
- Georedes: Son materiales tipo malla abierta formados por dos conjuntos de hebras poliméricas gruesas y paralelas interactuando en un ángulo constante. La malla forma una manta con cierta porosidad que es usada para llevar relativamente grandes cantidades de fluido o gases internamente.
- Geomembranas: Son laminas continuas y flexibles elaboradas de un o más materiales sintéticos, estos son relativamente impermeables y son usados como revestimiento de contenedores de fluido y gases y como barreras de vapor.

---

<sup>10</sup> SOLUCIONES AMBIENTALES. (En línea). (21/11/2019). Disponible en: <https://www.geosai.com/geosinteticos/>

<sup>11</sup> BATHURST, R.J. (En línea). Clasificación de los geosintéticos. (21/11/2019). Disponible en: <https://www.geosyntheticsociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Classification/Espanol.pdf>

- Geocompuestos: son geosintéticos hechos de una combinación de dos o más tipos de geosintéticos. Algunos ejemplos son: geotextil-geored; geotextil-geomalla; geored-geomembrana; o un revestimiento geosintético de arcilla.
- Tubos ranurados (Geopipes): Son tubos poliméricos perforados o de pared sólida usados para drenaje de líquidos o gases (incluyendo aguas lixiviadas o colecta de gas en aplicaciones de rellenos sanitarios).
- Geoceldas: Son redes tridimensionales relativamente gruesas construidas por tiras de plancha de polímero. Las tiras son juntadas para formar celdas interconectadas que son rellenas con suelo y ocasionalmente concreto.

### 3.3 Polietileno

El Polietileno es un polímero sintético termoplástico el cual se obtiene por polimerización del etileno. Es un material parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translúcido. Los diversos tipos de Polietileno que se encuentran en el mercado son el resultado de las diferentes condiciones de operación, llevadas a cabo en la reacción de polimerización.

En forma general se puede clasificar tres tipos diferentes de Polietileno de acuerdo a la densidad que presentan ya que esta es un buen indicativo del tipo de estructura que posee el polímero, por lo tanto es posible identificar el polietileno de alta, baja y mediana densidad<sup>12</sup>.

#### 3.3.1 Polietileno de alta densidad

Es un polímero sintético, termoplástico miembro de las poliolefinas obtenido a partir de una reacción conocida con el nombre de polimerización del polietileno, es elaborado a partir de etano, un componente del gas natural<sup>13</sup>.

Según Pérez Moreno<sup>14</sup>, Este tipo de polietileno es el más importante en la industria ya que en este no existen ramificaciones de cadenas y por tanto aumentan la densidad del material y mejoras en las propiedades mecánicas del mismo, entre sus características básicas se encuentran:

- Excelente resistencia térmica y química.
- Muy buena resistencia al impacto.
- Es sólido, incoloro, translúcido, casi opaco.
- Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformado empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
- Es flexible, aún a bajas temperaturas.
- Es tenaz.
- Es más rígido que el polietileno de baja densidad.
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.

<sup>12</sup> ROCA, Iván. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Trabajo de grado Ingeniero Químico. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 126 p.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. 47.

<sup>14</sup> PÉREZ, Víctor. Caracterización De Materiales Termoplásticos: Polietileno. Trabajo de grado Ingeniero Aeronáutico. Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica superior de Ingeniería, 2015. 139 p.

- Es muy ligero.
- Su densidad se encuentra en el entorno de 0.940 - 0.970 g/cm<sup>3</sup>.
- No es atacado por los ácidos, resistente al agua a 100 °C y a la mayoría de los disolventes ordinarios.

### 3.4 Lamina nodular LAMIDREN L7

El LAMIDREN L7 es una composición de una lámina con nódulos tridimensionales hechos con polietileno de alta densidad. En el caso de LAMIDREN L7, los nódulos cuentan con una altura de 7 mm. El núcleo o base tridimensional crea un canal de drenaje que tiene alta resistencia a la compresión y una gran tasa de flujo, en la actualidad el producto cuenta con las siguientes aplicaciones<sup>15</sup>:

- Obras civiles verticales: muros de contención, drenaje de banda (trincheras), drenaje tipo chimenea, muros de revestimiento, zapatas.
- Obras civiles horizontales: vías, campos sintéticos, impermeabilización de jardineras, losas.
- Otros: techos planos, obras ferroviarias, galerías y túneles, residencial, cubiertas ajardinadas.

Entre las características principales del LAMIDREN L7, se encuentran:

- Vida útil mayor a 50 años
- Resistencia a la compresión y tracción
- Adaptabilidad a cualquier tipo de superficie
- Permite un drenaje permanente
- Inalterable ante agentes químicos presentes en el suelo (Cloruro, sulfatos, pétreos, etc.)
- Instalación fácil y rápida
- Cero absorciones de agua
- No se degrada al contacto con el suelo ni con el agua
- Los traslapes entre laminas son mecánicos, exactos y con excelente acoplamiento entre nódulos
- Evita punzamientos y entrada de raíces
- Es un material reciclable

A continuación, se muestran las especificaciones de LAMIDREN L7

<b>LAMIDREN (HDPE) - L7</b>	
<b>ESPECIFICACIONES</b>	
Calibres (mm)	0.5, 0.75, 1
Dimensión rollo (m)	2,10 x 25
Área rollo (m <sup>2</sup> )	52.5
Peso rollo (Kg)	38.75
Material	Polietileno especial de alta densidad (HDPE)
Material para drenaje	Polipropileno a filamento continuo
Color	Negro
Alturas nódulos	7 mm

<sup>15</sup> LAMITER S.A.S. Lamina nodular LAMIDREN L7. Medellín, 2018.

Nódulos / m <sup>2</sup>	1860 aproximadamente
Propiedades físico-químicas	Resistente a los agentes químicos, a las raíces, no contaminante el manto freático, resistente a la contaminación por hongos y bacterias, no degradable.

**Tabla 1. Especificaciones de LAMIDREN L7. Fuente: elaboración propia.**

LAMIDREN (HDPE) - L7 CON GEOTEXTIL			
PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
Resistencia a la compresión	ASTM D 6364	KPa	106
Masa por unidad de área	ASTM D 5261	g/m <sup>2</sup>	738

**Tabla 2. Propiedades Mecánicas de LAMIDREN L7. Fuente: elaboración propia.**

LAMIDREN (HDPE)- L7 CON GEOTEXTIL		
PROPIEDADES HIDRÁULICAS - NORMA ASTM D 4716		
RESULTADOS	UNIDAD	VALOR
Gradiente	–	1.0
Presión	KPa	20
Transmisividad	m <sup>2</sup> /s	1.11 x 10 <sup>-3</sup>
	l/s/m	1.11

**Tabla 3. Propiedades hidráulicas de LAMIDREN L7. Fuente: elaboración propia.**

#### 4. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se aplicó una metodología dividida en tres fases:

##### **Fase 1 - Revisión de la literatura y casos de estudio en Colombia.**

En esta etapa se realizó una revisión a fondo relacionada con los materiales geosintéticos donde se pudo obtener importante información de estos como: elaboración, composición, fabricación, clasificación y las funciones que desempeñan en diversas áreas principalmente en el refuerzo de pavimento flexible, así mismo se investigó respecto al polietileno de alta densidad, ya que el geosintético LAMIDREN L7 está compuesto por dicho material, finalmente se llevó a cabo la búsqueda de casos de estudio en Colombia, donde se pudo encontrar que el refuerzo de estructuras de pavimento flexible en la actualidad se da a partir de geomallas (uniaxiales, biaxiales o triaxiales).

##### **Fase 2: Estudio de la zona de instalación, diseño de estructura de pavimento flexible y características del geosintético necesarias para adelantar su instalación en campo.**

Para la realización de este proyecto se trabajó en conjunto con el Instituto Nacional de Vías INVIAS y el contratista Explanan de la ciudad de Medellín, encargado de la pavimentación de la vía el Viajano - San Marcos, cabe anotar que algunos datos y características de la vía no se pueden plasmar en este trabajo ya que son de carácter confidencial, así mismo la instalación del geosintético LAMIDREN L7 se realizó bajo las especificaciones y diseños entregados por el contratista, por ejemplo: cotas, dimensiones de los tramos y espesores

de capa de estructura de pavimento flexible, así mismo se discutió la disposición de los nódulos y el rango de longitudes para llevar a cabo el traslape entre laminas del material, en el ítem de resultados se pueden apreciar los valores de los datos mencionados anteriormente.

### **Fase 3: Instalación y seguimiento del LAMIDREN L7 como refuerzo de estructura de pavimento flexible.**

En esta fase se llevó a cabo la instalación del material siguiendo los requerimientos del contratista como se menciona en la fase anterior por lo cual fue posible obtener aspectos del material en cuanto a su instalación, así mismo se inicia el seguimiento del tramo de carretera a corto y largo plazo.

**NOTA:** La instalación del LAMIDREN L7 en los tramos mencionados fue llevada a cabo entre el 11 y el 17 de marzo del presente año, debido a la emergencia sanitaria producida por el COVID – 19 no ha sido posible el inicio de evaluaciones del tramo post instalación del geosintético.

## **5. Resultados y análisis**

Para la obtención de resultados el proyecto fue dividido en las siguientes fases:

### **Fase 1: Estudio de la zona de instalación, diseño de estructura de pavimento flexible y características de LAMIDREN L7 para su instalación en campo.**

#### **Estudio de la zona de instalación**

Inicialmente se establecieron dos tramos de estudio, presentes en la vía El Viajano-San Marcos, ubicada en el departamento de Sucre, a continuación se muestra la información de ambos tramos.

- **Tramo 1:**
  - ✓ Cota Inicial: Km 35 + 193,24
  - ✓ Longitud del tramo: 43,40 m
  - ✓ Ancho del tramo: 4,30 m
  - ✓ Cota Final: km 35 + 236,64
  
- **Tramo 2**
  - ✓ Cota Inicial: km 35 + 200
  - ✓ Longitud del tramo: 55,70 m
  - ✓ Ancho del tramo: 4,70 m
  - ✓ Cota Final: km 35 + 255,70





*Imagen 1. Ubicación de los tramos de estudio en la vía El Viajano-San Marcos, departamento de Sucre. Fuente: Google maps.*

Los dos tramos mencionados anteriormente se encontraban pavimentados, pero debido a grietas de gran longitud y considerable profundidad se decidió rehabilitar dichos tramos e iniciar nuevamente el proceso de pavimentación realizando excavaciones hasta la sub base granular dejando esta intacta, dicha sub base granular se reforzó con el geosintético LAMIDREN L7, a continuación se muestran las grietas presentes en el tramo.



*Imagen 2. Grietas presentes en el tramo a rehabilitar de la vía El Viajano-San Marcos, departamento de Sucre. Fuente: Elaboración propia.*

### **Diseño de estructura de pavimento flexible**

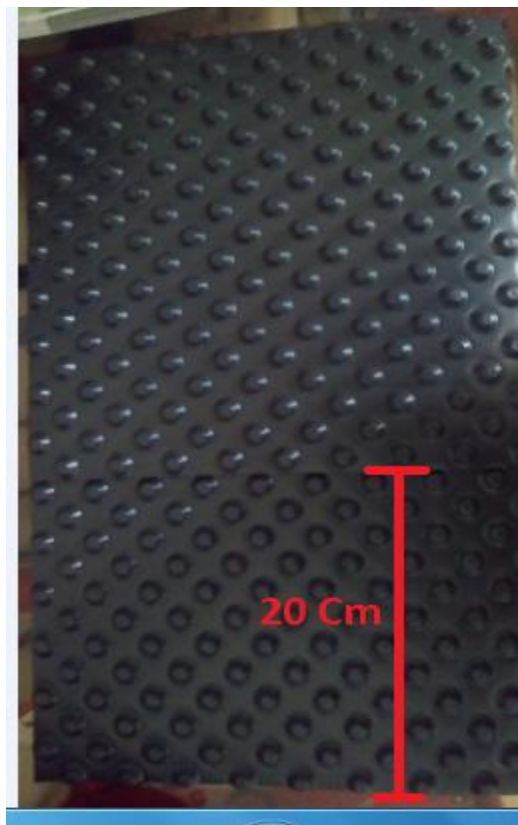
Para adelantar el proceso de rehabilitación de los tramos mencionados anteriormente fue necesario retirar en primer lugar la carpeta asfáltica ya presente en la vía, luego de que esta fue retirada por diseños del contratista se decidieron los siguientes espesores para cada una de las capas de pavimento:

- Profundidad de la excavación: 25 Cm.
- Espesor de la base granular: 15 Cm.

- Espesor de la carpeta asfáltica: 10 Cm.

### **Características de LAMIDREN L7 para su instalación en campo.**

El LAMIDREN L7 es fabricado en rollos con una longitud de 25 m y un ancho de 2,10 m, con el contratista Explanan se discutió en primer lugar el traslapeo entre laminas del geosintético optando por hacer un traslapeo mayor o igual a 20 Cm para así garantizar que en el proceso de compactación de la base granular que se ubicará encima del material no se desalinee y por lo tanto no deje espacios vacios ya que así no trabajaría el refuerzo otorgado por el geosintético a su máxima capacidad, en segundo lugar se decidió la disposición de los nódulos, optando por ubicar estos hacia arriba y así garantizar una mejor compactación con el material granular de la base de la estructura de pavimento, a continuación se muestra la forma del traslapeo y la disposición de los nódulos para su posterior instalación.



*Imagen 3. Traslapeo y disposición de los nódulos para la instalación del material. Fuente: elaboración propia.*

### **Fase 2: Instalación e inicio de seguimiento del LAMIDREN L7 como refuerzo de estructuras de pavimento flexible.**

Luego de que la carpeta asfáltica fuera retirada y se realizara la excavación de 25 Cm decididos por el diseño entregado por el contratista se procedió a nivelar el terreno y a realizar la compactación de este, a continuación se muestra dicho proceso.



**Imagen 4 (a)**



**Imagen 4 (b)**

**Imágenes 4 (a) y (b). Retiro de la carpeta asfáltica. Fuente: Elaboración propia.**



**Imagen 5. Compactación del terreno para el primer tramo. Fuente: Elaboración propia.**

Finalizada la compactación del terreno se procede a hidratar el mismo con agua y así preparar el tramo para la instalación del LAMIDREN L7 con el traslape y la disposición de los nódulos mencionada con anterioridad dando como resultado.



**Imagen 6. Instalación del geosintético LAMIDREN L7 en campo. Fuente: Elaboración propia.**

**NOTA:** El geosintético LAMIDREN L7 demostró enorme facilidad respecto a su instalación dando un total de 40 minutos para cubrir al primer tramo con longitud de 43,40 metros y ancho de 4,30 metros.

Luego de realizar la instalación del material en el tramo de vía con las condiciones mencionadas anteriormente es posible agregar la base granular con un espesor de 15 Cm, luego de agregar dicha base nuevamente se adelanta el proceso de compactación como se muestra a continuación:



*Imagen 7. Adicción y compactación de la base granular sobre el LAMIDREN L7. Fuente: Elaboración propia.*

Con el terreno ya compactado y listo para iniciar el proceso de instalación de la carpeta asfáltica en primera instancia se procede a verificar densidades en el terreno, para nuestro caso con el geosintético agregado el tramo arrojó una densidad de 106 g/Cm<sup>3</sup>, la cual fue aceptada por la interventoría del proyecto, en segunda instancia se inicia el proceso de imprimación sobre la base granular con emulsión asfáltica disuelta en agua con una proporción de 80-20, proporción entregada por el contratista Explanan. A continuación se muestra la imprimación asfáltica en el primer tramo.



*Imagen 8 (a)*



*Imagen 8(b)*

*Imágenes 8 (a) y (b). Imprimación con emulsión asfáltica en el primer tramo. Fuente: Elaboración propia.*

Finalmente a partir de la maquina Finisher Dynapac SD 2500 C, se agrega la carpeta asfáltica en el primer tramo con un espesor de 10 Cm, luego de agregar dicha carpeta se inicia nuevamente un proceso de compactación e hidratación del material dando por terminado la pavimentación del primer tramo. A continuación se muestra el proceso mencionado anteriormente.



*Imagen 9. (a)*



**Imagen 9. (b)**

**Imágenes 9. (a) y (b) Instalación de la carpeta asfáltica. Fuente: elaboración propia.**

Luego de la instalación de carpeta asfáltica se inicia la compactación de la misma, como se muestra a continuación



**Imagen 10. Compactación de la carpeta asfáltica. Fuente: elaboración propia.**

Con la compactación de la carpeta asfáltica en la estructura de pavimento flexible se finalizaría el proceso de pavimentación para el primer tramo dando como resultado:



*Imagen 11. Finalización del proceso de pavimentación para el primer tramo. Fuente: elaboración propia.*

**NOTA:** El proceso de instalación del LAMIDREN L7 en la interfaz de sub base y base granular, y la posterior pavimentación del tramo de carretera es análogo tanto para el primer tramo como para el segundo, por lo tanto, en el presente documento solo se mostrará el proceso para el tramo 1.



## 6. Conclusiones y Recomendaciones

LAMIDREN L7 demostró una enorme facilidad para realizar su instalación en campo debido a su geometría y la facilidad para realizar cortes sobre este y adaptarlo al terreno por lo cual en gran medida ayuda al proceso de pavimentación debido a que es muy corto su tiempo de instalación, así mismo luego de la instalación del material se demostró una buena disposición de este para permitir el ingreso de la maquinaria pesada para llevar a cabo la adicción de la base granular, ante esto el material quedó intacto y conservando el traslape establecido al inicio, ante su instalación y posterior adicción y compactación de la base granular dio como resultado una correcta densidad la cual fue aprobada por la interventoría de obra permitiendo la instalación de la carpeta asfáltica.

Las geomallas poseen espacios vacíos debido a las formas que están presentando, estos espacios serán más grandes dependiendo de su configuración (uniaxiales, biaxiales, triaxiales), por el contrario, LAMIDREN L7 no presenta ningún espacio vacío a lo largo de su configuración, lo cual nos reveló en campo un excelente método de separación de agregados entre capas de la estructura de pavimento flexible y por ende enorme facilidad para agregar dicha capa con la maquinaria requerida.

Es de vital importancia realizar un adecuado análisis y acompañamiento al tramo de estudio donde se encuentra instalado el LAMIDREN L7 tanto a corto como a largo plazo para así apreciar el comportamiento del material durante su instalación y luego de esta, por recomendaciones de la industria LAMITER S.A.S es necesario esperar mínimo un periodo de 6 meses para visualizar y hacerle estudios a la zona de pavimento reforzada con LAMIDREN L7, ya que en dicho periodo de tiempo el pavimento ha estado sometido considerablemente a un constante flujo vehicular y variaciones climáticas (temperatura, lluvia y humedad).

Es indispensable la realización de dos ensayos de placa, el primero en la estructura de pavimento reforzada con LAMIDREN L7, y el segundo en una zona que no se encuentre reforzada con dicho geosintético pero cercana a los tramos anteriormente reforzados para que se encuentren en igualdad de condiciones respecto al diseño del pavimento flexible (espesores de capa), flujo vehicular y las variaciones climáticas y así a partir de este ensayo apreciar la deformación en ambas estructuras y hacer la comparación de estas con el objetivo de cuantificar cuánto reforzó LAMIDREN L7 el tramo de carretera.

## 7. Bibliografía

BATHURST, R.J. (En línea). Clasificación de los geosintéticos. (21/11/2019). Disponible en: <https://www.geosyntheticssociety.org/wp-content/plugins/resources/documents/Classification/Espanol.pdf>

DÍAZ, Jony; ESCOBAR, Oscar; OLIVO, Eduardo. Aplicación de los geosintéticos en la estructura de los pavimentos y en obras de drenaje para carreteras. Trabajo de grado Ingeniero Civil. San salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura, 2009. 459 p.

GIROUND, J.P; NOIRAY, L. Geotextile-reinforced unpaved roads. Journal of Geotechnical Engineering Division, American Soc. of Civil Engineers, 1981, Vol. 107, No GT9, pp. 1233- 1254.

JIMENEZ, J; THEURER, M; RIZO, J; MAZA, C; ZAMBRANO, I; CEVALLOS, G; SALCEDO, I; GUZHÑAY, J; LUCIO, S. La geomalla como elemento de refuerzo en estructuras de pavimento flexible, Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán, Revista facultad de Ingeniería, Vol. 21, núm. 1, 2017. 10 p.

LAMITER S.A.S. Lamina nodular LAMIDREN L7. Medellín, 2018.

MIRANDA, Ricardo; Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Trabajo de grado Ingeniero constructor. Valdivia: Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería, escuela de construcción civil, 2010. 93 p.

MONSALVE, Lina; GIRALDO, Laura y MAYA, Yessica. Diseño de pavimento flexible y rígido. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Armenia: Universidad del Quindío. Facultad de Ingeniería, 2012. 145 p.

PÉREZ, Víctor. Caracterización De Materiales Termoplásticos: Polietileno. Trabajo de grado Ingeniero Aeronáutico. Sevilla: Universidad de Sevilla. Escuela Técnica superior de Ingeniería, 2015. 139 p.

ROCA, Iván. Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD). Trabajo de grado Ingeniero Químico. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 126 p.

RODRIGUEZ, Edgar; Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la avenida Luis Montero, distrito de Castilla. Trabajo de grado Ingeniero civil. Piura: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. 2009.

SOLUCIONES AMBIENTALES. (En línea). (21/11/2019). Disponible en: <https://www.geosai.com/geosinteticos/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras-Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006. 56 p.

ZHANG, Qian; MILLS-BEALE, Julian y ZHAPING, You. PAVEMENT ENGINEERING, I: FLEXIBLE PAVEMENTS. University, Houghton, Michigan: McGraw- Hill, 2011.