

PROYECTO DE SEMESTRE DE INDUSTRIA

ESTUDIO DE GEOMEMBRANAS NODULARES Y LISAS PARA LA APLICACIÓN
EN LA INGENIERÍA CIVIL

BAYRON ALONSO CARTAGENA AGUDELO

INGENIERÍA CIVIL

ASESOR INTERNO: SEBASTIAN SEPÚLVEDA CANO

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

MEDELLÍN – COLOMBIA

DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

2019



1. Introducción

El uso de geosintéticos en la ingeniería civil es un tema que ha tomado gran importancia en los últimos años, ya que estos han permitido reinventar, transformar y mejorar diferentes procesos constructivos. Por lo tanto la forma en que se intervienen los procesos constructivos repercute en factores como: optimización de tiempos de ejecución, disminución de costos y mejoramiento de la calidad de las obras. (“Los geosintéticos como medio de prevención civil • Teorema Ambiental,” n.d.).

Con la aplicación de geosintéticos se puede suplir una gran diversidad de necesidades constructivas debido a que son opciones económicas, de mayor calidad, desempeño, trabajabilidad, durabilidad y funcionalidad. Las obras que se ven beneficiadas por la aplicación de geosintéticos son los taludes, muros de contención, losas, cimentaciones, suelos, drenajes, impermeabilizaciones, obras hidráulicas, canales, entre otras.

Esta aplicación de geosintéticos ha surgido con la necesidad de utilizar materiales que sean amigables con el medio ambiente y que mejoren el proceso constructivo desde el aspecto calidad/economía que siempre se busca en la consecución de una obra. Los geosintéticos utilizados en la actualidad en Colombia son los geotextiles y membranas para impermeabilizar, los cuales tienen una aplicabilidad extensa. Sin embargo, todavía hay geosintéticos aplicados a nivel europeo y norteamericano que no son tenidos en cuenta localmente y que podrían dar resultados positivos.

Gracias a esta desactualización en términos de geosintéticos y geomembranas que se tiene en el país, hay un campo por explorar y adaptar al medio en este tema. Consecuente a lo expresado anteriormente, este proyecto consiste en el estudio de geosintéticos (geomembranas) que permiten cumplir funciones hidráulicas y estructurales en algunos casos, específicamente un geodren y una geomembrana. El geodren que es un sistema compuesto por un geotextil y un material en polietileno de alta densidad que actúa como filtro y drenaje de agua en las obras civiles (“GEODREN,” n.d.). La geomembrana que es una barrera sintética que impide el paso de cualquier tipo de líquido o vapor. (“¿Qué son las geomembranas? – Geomembranas | Geosai,” n.d.).

Los materiales que son de objeto de este proyecto son el geodren Lamidren que es una lámina nodular fabricada en polietileno de alta densidad (HDPE), la cual tiene las funciones de proteger, impermeabilizar, drenar y dar resistencia; y la geomembrana TPO que es una membrana lisa que cumple funciones de impermeabilización con altas propiedades estiramiento, generando ventajas para cubrir superficies de diferentes obras.

Las características y propiedades de estos dos geosintéticos se estudiarán a través de ensayos, los cuales permiten dar cuenta de las ventajas y desventajas de los materiales. Todo esto para evaluar cuáles son los tipos de obras y/o estructuras en donde se pueden implementar y la manera en que se deben implementar, ya que a nivel internacional son muy utilizados y han generado beneficios importantes.

Lo que se busca con este proyecto que se fundamenta en el análisis de las propiedades de cada geosintético es avalar las ventajas que se han mostrado a nivel internacional sobre estos, y mostrar la amplia gama de aplicaciones que estos podrían tener a nivel nacional y local. Todo esto con el objeto de implementarlos en proyectos de ingeniería ya que son materiales innovadores que pueden entrar al mercado y generar grandes beneficios. Además, del hecho de que son productos que podrían ser producidos totalmente en Colombia y que fomentan la innovación en la construcción en el país.

El proyecto tiene alcances considerables en el país, ya que hasta el momento los tipos de geomembranas a considerar no son utilizadas o tenidas en cuenta. Por el contrario en países más desarrollados ya cuentan con ellas desde hace varios años y se han utilizado en diferentes tipos de obras. Un ejemplo de esto es la utilización de estas membranas en Suiza con el túnel de San Gotardo (túnel más grande y profundo del mundo), el cual fue impermeabilizado completamente con una geomembrana nodular para la cual se realizaron ensayos de durabilidad y desempeño que confirmaron las ventajas de utilizar esta membrana (Jablonka, Blond, Sageos, & Hyacinthe, 2009).

La implementación de estas geomembranas podría tener un efecto positivo a gran escala, debido a que son geomembranas que permiten reemplazar sistemas tradicionales de drenaje, impermeabilización, protección, etc. Además, de ser materiales que por el hecho de ser reciclables en un 100% no generan contaminación y no tienen ningún tipo de toxicidad en su uso o en sus propiedades.

El alcance que tiene este proyecto para la empresa es que a través de este se permita dar un soporte técnico a las geomembranas, de tal manera que ofrezca confiabilidad y garantía a la hora de su implementación. Esto hace parte de un mejoramiento de los procesos de calidad y de los procesos comerciales que busca la empresa a partir de documentación y ensayos certificados de laboratorio.

La limitación que presenta el proyecto es principalmente el costo de los ensayos, ya que algunos tienen un costo alto que aun la empresa no puede asumir, es por tal razón que faltó evaluar algunas propiedades tanto de la geomembrana lisa como de la nodular. Por otro lado se resalta que otra limitación existente es conseguir laboratorios que hagan ciertos ensayos ya que es difícil encontrar a nivel local laboratorios certificados que realicen los ensayos necesarios para hacer un completo análisis de las geomembranas. Ante la falta de un laboratorio que haga ciertas pruebas se recurre por parte de la empresa a tomar parámetros internacionales de geomembranas que son idénticas tanto en dimensiones (tamaño y forma) como en su composición (son hechas en polietileno de alta densidad) para ajustar específicamente una de las propiedades de la geomembrana nodular de la empresa.

En síntesis lo que se busca con este proyecto es evaluar la geomembrana lisa y nodular (geodren) que se producen en la empresa Lamiter®, a través de estudios de laboratorio para poder tener información y datos comparables con las geomembranas similares a nivel internacional. A partir de los ensayos y comparativos crear fichas técnicas y folletos o manuales que muestren la aplicabilidad de las geomembranas en diferentes tipos de obras civiles. Además, se pretende mostrar de manera gráfica la funcionalidad de las geomembranas. Con lo cual se genera confiabilidad tanto

técnica como práctica del uso de las geomembranas, y las ventajas que tiene la implementación de estas.

Para la ingeniería civil este proyecto de seguir validándose puede representar un avance importante y significativo gracias a que estas geomembranas tienen una gran cantidad de aplicaciones. Algunas se plantean en este proyecto y otra amplia gama no entran dentro de los alcances de este trabajo debido a otra cantidad considerable de ensayos y de estudios que se requieren. Una de las aplicaciones de las geomembranas que pueden ser útiles para su implementación es la aplicación en las vías ya que es un campo donde se puede profundizar con el fin de reducir costos en las capas del pavimento y aumentar capacidades portantes de la estructura vial.

2. Objetivos

2.1. General

- Estudiar y analizar las propiedades físico-mecánicas de la geomembrana lisa (TPO) y la geomembrana nodular (Lamidren L7).

2.2. Específicos

- Realizar ensayos de laboratorio de acuerdo a normativa ASTM D para evaluar las propiedades del material.
- Elaborar comparativos de los materiales frente a otros materiales que cumplan la misma función.
- Hacer una base de datos con información técnica del material que sea comparable con los estándares internacionales.
- Crear manuales donde se muestren los beneficios del material y la forma en que debe ser utilizado.

3. Marco teórico

3.1. Conceptos generales

La teoría sobre la cual se fundamenta el proyecto consiste principalmente en los conceptos relacionados a los geosintéticos, para tener un panorama claro de que son. Además de tener claro los conceptos es importante tener en cuenta las normas ASTM (D638-10 Propiedades a tensión de plásticos, 4833 Resistencia a punzonamiento, D1938 Resistencia a la propagación del desgarre, D1621 Resistencia a compresión y 4716 Capacidad de flujo de agua en el plano) sobre las que se realizan los ensayos de laboratorio y sobre las cuales depende el proyecto. A continuación se presentan los conceptos necesarios y en detalle de los ensayos realizados con el fin de tener conocimiento de las pruebas bajo las cuales se especifican técnicamente los materiales.

Primero que todo hay que tener el concepto claro de lo que son los geosintéticos, los cuales son materiales fabricados a partir de varios tipos de polímeros y que son usados en diversos proyectos. Algunos de estos proyectos son la protección al medio

ambiente, distribución de esfuerzos, refuerzo de suelos, filtración, drenaje, protección, control de la permeabilidad y otras funciones. (“Geosintéticos | Geotexan,” 2012). Dentro de estos materiales se encuentran las geomembranas, geotextiles, geomallas, geoceldas, entre otros. Ahora con base en la definición de geosintéticos se define que son las geomembranas, componentes y diferentes materiales y métodos con los cuales hacerlas.

De acuerdo con la definición anterior de geosintéticos, las geomembranas son láminas que se emplean para revestir (cubrir) y que normalmente se realizan en diferentes tipos de materiales como el PVC, polietileno de alta o baja densidad, y otras combinaciones de polímeros termoestables como el TPO (poliolefina termoplástica). Entre las principales características de este material está la alta resistencia a las condiciones del clima (evitando las grietas), además, de tener una gran flexibilidad y densidad (“Geomembranas: ¿qué son y para qué sirven?,” n.d.).

Por último se tiene la base fundamental que da pie a la ejecución del proyecto, y son las normas ASTM D (“ASTM International - Standards Worldwide,” n.d.). Estas rigen el método de ensayo bajo el cual se realizan las pruebas a los materiales que se estudiarán en el proyecto. Originalmente conocida como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales, es una organización internacional de estándares que desarrolla y publica estándares técnicos para la realización de ensayos a una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios (“ASTM International - Standards Worldwide,” n.d.). Las normas específicas que se utilizan para desarrollar el proyecto se muestran a continuación. Véase Tabla 1

Norma ASTM D	Método de ensayo
ASTM D 5133	Espesor nominal en geosintéticos
ASTM D638-10	Propiedades a tensión de plásticos
ASTM D4833	Resistencia a punzonamiento de geomembranas y productos relacionados
ASTM D1938	Resistencia a la propagación del desgarre
ASTM D 1621	Propiedades compresivas de plásticos rígidos celulares
ASTM D 4716	Capacidad de flujo de agua en el plano

Tabla 1. Métodos de ensayo - norma ASTM.

Teniendo claro el concepto de lo que son las geomembranas, se hace necesario y primordial conocer cuáles son las geomembranas que se estudian en el proyecto y cuales son los materiales por los que están constituidas.

3.2. Geomembrana nodular Lamidren L7

Una de las geomembranas a estudiar es la nodular, conocida en la empresa como geodren Lamidren L7 (La palabra L7 se debe a que los nódulos tienen una altura de 7 mm). Esta es una membrana que tiene como principio drenar e impermeabilizar diferentes obras civiles, en teoría es un geodren que sirve para proteger y alargar la vida útil de las diferentes obras donde se aplique. A continuación se muestra en la Ilustración 1 la lámina con los nódulos y permite identificar de una mejor manera como es la geomembrana. Esta geomembrana tiene otra presentación que es el sistema de

la geomembrana nodular más el geotextil pegado en la superficie donde se encuentran los nódulos (véase Ilustración 2)



Ilustración 1: Geomembrana nodular Lamidren L7.



Ilustración 2: Geomembrana nodular Lamidren L7 - Con geotextil.

El Polietileno de alta densidad (HDPE) es el material con el cual está constituido el Lamidren L7 (Geomembranas nodulares). Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) y tiene ventajas en comparación con otro tipo de materiales. Dentro de las cuales se resaltan la resistencia, flexibilidad, capacidad de ser reciclado y la durabilidad.

Un elemento importante que se debe conocer ya que actúa en algunos casos con la membrana nodular Lamidren L7 son los geotextiles. Estos se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se usa en contacto con suelos y otra diversidad de materiales utilizados para la construcción en la ingeniería civil. Los materiales utilizados para los geotextiles suelen ser de origen sintético ya que presentan mayor durabilidad en comparación con las fibras naturales. (Transportes, Carreteras, Fomento, & Geotextiles, n.d.).

Para tener un análisis útil del Lamidren L7 es necesario realizar el ensayo de resistencia a compresión (ASTM D1621 Propiedades compresivas de plásticos rígidos celulares). Este ensayo consiste en una máquina de prueba a compresión que tiene dos platos, véase Ilustración 3, uno en la parte superior y otro en la parte inferior; los cuales aplican fuerza de compresión a la muestra hasta que esta alcance el punto de ruptura o hasta que alcance una deformación del 13% de su estado original. La fuerza final con que se genera este punto de quiebre o rompimiento permite obtener la resistencia a compresión de la muestra ensayada.

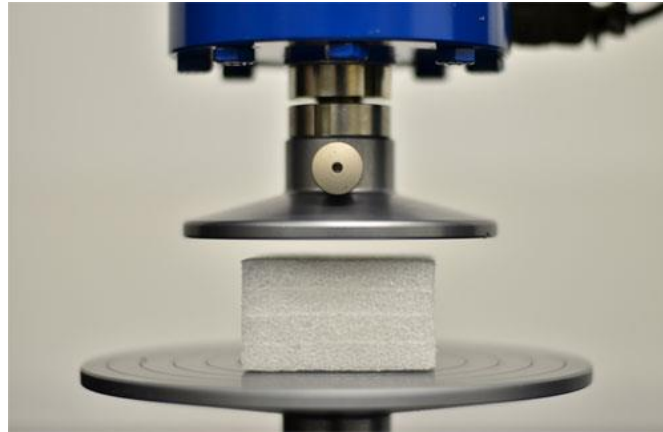


Ilustración 3: Máquina de compresión – Ensayo. (“ASTM D1621 Plastic Compression Testing - ADMET,” n.d.).

3.3. Geomembrana lisa TPO

Para la geomembrana lisa el material de su composición es el TPO, acrónimo de poliolefina termoplástica y es un tipo de membrana que se sella mediante la aplicación de calor. Este tipo de membrana se desarrolló originalmente en los años 80 y actualmente es la membrana que tiene mayor acogida en la impermeabilización en países europeos y en Norteamérica (“Waterproofing with TPO membranes from KOSTER,” n.d.). A continuación se muestra como es la membrana. Véase Ilustración 4.

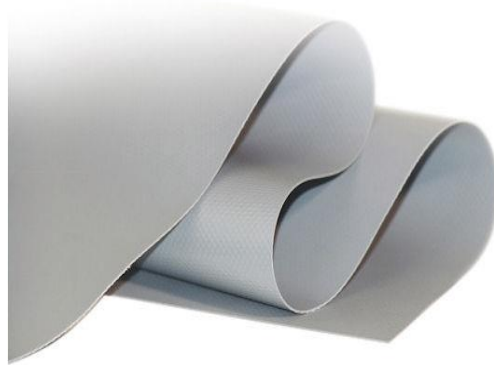


Ilustración 4: Geomembrana lisa TPO.

Para entender los resultados que se presentan posteriormente en los análisis y resultados es necesario entender cómo funcionan los ensayos anteriormente mencionados en la (Tabla 1). Para esto se presenta una explicación breve de cómo funcionan y se desarrollan los mismos.

Para analizar las propiedades de estiramiento y esfuerzo final de estiramiento del TPO se realiza el ensayo ASTM D 638-10 (Propiedades a tensión de plásticos reforzados y sin reforzar). Este ensayo consiste en tomar una muestra del material y preparar una probeta que tiene unas dimensiones estandarizadas como las definidas en la (Ilustración 5), la cual se coloca en una máquina de pruebas universal. Esta máquina es hidráulica, tiene la capacidad de medir el comportamiento de diferentes materiales en parámetros tales como tracción, compresión, flexión y cizallamiento (véase Ilustración 6 e Ilustración 7). Posteriormente, la máquina comienza a estirar la muestra

en sentido axial hasta alcanzar el punto de máximo estiramiento. Este estiramiento se traduce en diferentes propiedades del material como el esfuerzo máximo de estiramiento, máximo estiramiento, fuerza máxima, entre otros. Los cuales son evidenciados en gráficos que muestran la zona de fluencia, de ruptura, entre otros- (Materials & Materials, 2015).

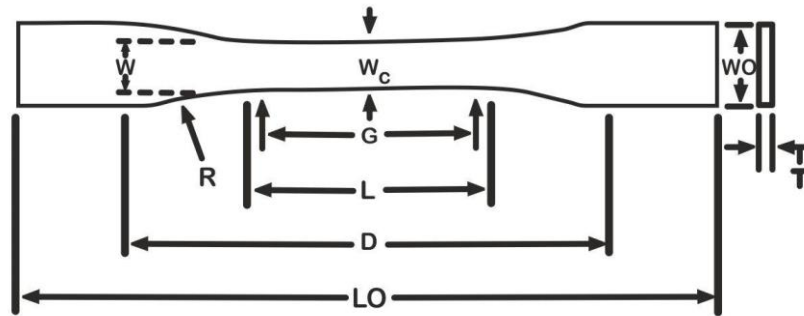


Ilustración 5: Forma estandarizada de la muestra. Modificada de (Materials & Materials, 2015).

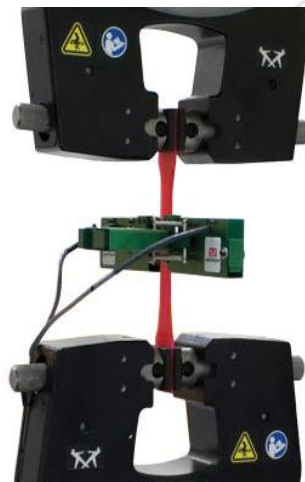


Ilustración 6: Máquina de pruebas a tensión y compresión. ("ASTM D638 Ensayos de Tracción de Plásticos y Coeficiente de Poisson - Instron," n.d.).



Ilustración 7: Máquina universal de ensayos (WAW100). ("Máquina universal de ensayos hidráulica, Máquina de prueba," n.d.).

Otra de las propiedades que se desea analizar en la geomembrana lisa TPO, es la resistencia al desgarre, ya que en este tipo de membranas es de carácter necesario tener una membrana que no se rasgue con la manipulación o manejo en las obras civiles. Para estudiar esta propiedad se tiene el ensayo de resistencia a la propagación de desgarros (desgarro del pantalón) de película plástica y láminas delgadas mediante un método de desgarre único establecido por la ASTM D 1938 (ASTM Standard D1938-02, 2002). Este ensayo consiste en tomar una muestra (lámina pequeña rectangular) y partiendo de un desgarre inicial que forma dos agarres que aparecen como agarre A y agarre B (Ilustración 8 e Ilustración 9) los cuales se halan a través de una máquina especializada para esta prueba (véase Ilustración 10). La máquina es hidráulica y tiene la capacidad de medir el comportamiento a tracción de diferentes materiales. Mediante este ensayo se obtiene el valor de la fuerza necesaria para generar el desgarre, además, de gráficos que muestran el comportamiento elástico del material (ASTM Standard D1938-02, 2002).

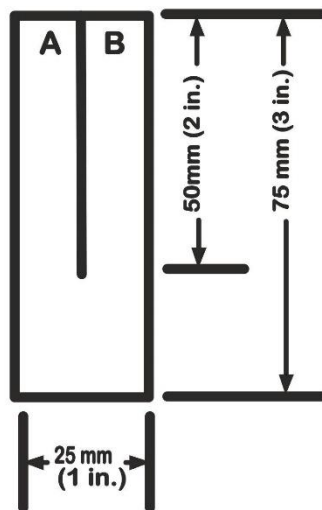


Ilustración 8: Agarres muestra - Resistencia a propagación del desgarre. (ASTM Standard D1938-02, 2002).

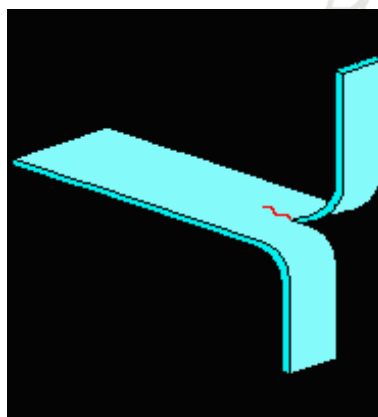


Ilustración 9: Desgarre realizado por la máquina. ("Plastics | ISO34-1 | Prospector," n.d.).

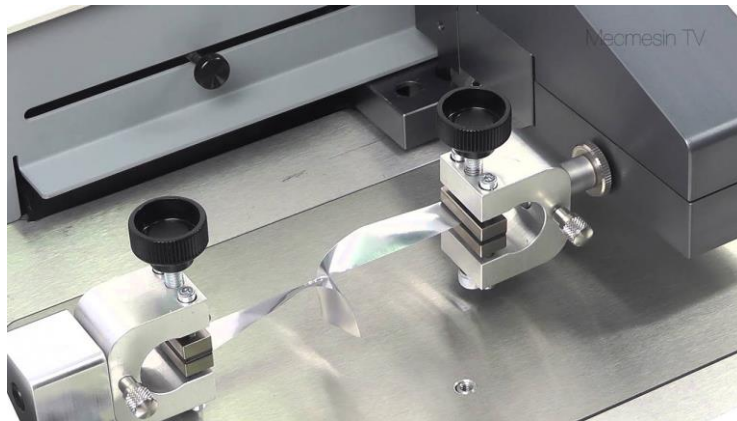


Ilustración 10: Máquina prueba propagación de desgarre. ("Tear Resistance TG | Tear | Test Groups," n.d.).

Dentro de los métodos de ensayo necesarios para identificar las propiedades del TPO, se encuentra que el ensayo adecuado para medir la resistencia del material ante la actuación de objetos corto punzantes, filosos, pronunciados, entre otros, es el ensayo de resistencia al punzonamiento que se rige bajo la norma ASTM D4833 ("ASTM D4833 Geomembrane Puncture Testing - ADMET," n.d.) Este ensayo consiste en aplicarle fuerza a un aparato estandarizado como el mostrado en la (Ilustración 11), el cual tiene una punta que trata de atravesar el material. La probeta se encuentra fijada en un soporte estandarizado (Ilustración 11) y sobre este proceso la máquina hace la medición correspondiente de la fuerza aplicada para atravesar la muestra. Este ensayo permite estudiar de una manera precisa cuáles serán los cuidados o indicaciones que se tendrán de la membrana durante su aplicación, y cuáles serán los alcances de la misma para comparar el material con otras geomembranas lisas.



Ilustración 11: Máquina ensayo resistencia al punzonamiento. ("ASTM D4833 Geomembrane Puncture Testing - ADMET," n.d.).

4. Metodología

Las actividades a realizar para alcanzar los objetivos planteados en este trabajo se centraron principalmente en la investigación a través de ensayos de laboratorio, y en sus respectivos análisis en término de propiedades. El fin de la investigación es llegar

a determinar cuáles son las ventajas que generan los materiales producidos por la empresa (Geodren Lamidren L7 y TPO) a diferentes obras civiles. Se analiza la viabilidad de implementarlos en diferentes tipos de construcciones o estructuras mostrando comparativos y manuales de instalación que faciliten la comprensión de los constructores, ingenieros, arquitectos, entre otros.

En primera instancia se realizará una recolección de la información que tiene la empresa acerca de los productos. La cual va desde el proceso en que se fabrican hasta la forma en que son instalados, las obras en las que se han utilizado y los resultados que se han obtenido en esas obras. De esta manera se obtiene una base de información vital para lograr los objetivos del proyecto. Consecuente con esta recolección de información dentro de la empresa, se procede a validar la información en documentos y/o artículos de investigaciones internacionales. Principalmente porque hay que hallar la validez de lo que tiene la empresa con lo que aparece en estudios certificados a nivel internacional.

Después de haber realizado la investigación de lo que se tiene a nivel de la empresa y a nivel internacional, se hizo un alineamiento y búsqueda de la normativa que aplicaba para medir las propiedades de los materiales que se querían estudiar. Dentro de la normativa se buscaron los métodos de ensayo y los estándares sobre los cuales se debían regir. Estos ensayos se definieron y se describieron de una manera simple para entender las características y propiedades que se querían medir.

Posteriormente se realizaron los ensayos de laboratorio de acuerdo a las normas investigadas en un instituto certificado, más precisamente en el instituto de capacitación e investigación del plástico y del caucho (ICIPC) para que estos tengan confiabilidad y validez. Con los ensayos se midieron diferentes propiedades y características de los materiales.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se procedió a hacer un análisis de los resultados entregados por el laboratorio. Estos análisis implican comparación de valores nominales entre propiedades del material de la empresa con los productos similares a nivel internacional para poder estudiar si se le puede dar la aplicación que se les da en Europa o Estados Unidos. Incluso se revisó la confiabilidad de los materiales a través de la investigación de las propiedades de estos, buscando informes, investigaciones y artículos que le den validez a la calidad de este tipo de materiales. Además de investigación de proyectos grandes en los que las membranas de estas características hayan sido utilizadas.

Cuando se tienen los resultados y análisis respectivos se realiza la actualización de la información en las especificaciones técnicas que ofrece la empresa. También se plantean alternativas de aplicación del producto sea en la obra a construir o en la manera de aplicar el producto. Las alternativas vienen acompañadas de guías y manuales que contendrán la aplicación, propiedades, planos, y especificaciones de las membranas.

5. Resultados

En primera instancia se realizan los ensayos correspondientes a la membrana nodular Lamidren y a la membrana lisa TPO. Para llegar estos se debe tener en cuenta que ambas geomembranas cumplen la función de impermeabilizar, solo que cada una tiene unas aplicaciones específicas. Por lo cual se deben analizar propiedades diferentes que caractericen el material de acuerdo a su composición lisa o nodular. Después se muestran las comparaciones y los manuales de aplicación que se obtienen a partir del estudio de las propiedades a partir de los ensayos.

5.1. Geomembrana lisa TPO

5.1.1. Resultados de ensayos en Geomembrana lisa TPO

Con los ensayos que se realizan a la membrana lisa de TPO se busca analizar la resistencia que tiene el material al alargamiento, al punzonado y a los esfuerzos que presente durante su funcionamiento. Los ensayos se realizan con base en las normas ASTM que satisfacen los estándares de calidad para validar las propiedades del producto. Hay que tener en cuenta que los ensayos para esta geomembrana de TPO se realizan con una lámina calibre 60, que es equivalente a 1,5 mm y el laboratorio realiza las pruebas con una muestra dada de un ancho de 2,10m x 1,0 m. A continuación se muestran las tablas que contienen los resultados de cada propiedad según su método de ensayo ASTM:

Los resultados del ensayo de resistencia a la propagación del desgarre (Norma 1938-14) se muestran en Tabla 2 y Tabla 3, presentadas a continuación:

Resistencia al desgarre ASTM D1938-14		
Sentido longitudinal	Promedio	Desviación estándar
Fuerza máxima (N)	134	11,5
Desplazamiento fuerza máxima (mm)	88,5	9,1

Tabla 2: Resultados resistencia al desgarre - Sentido longitudinal.

Resistencia al desgarre – ASTM D1938-14		
Sentido transversal	Promedio	Desviación estándar
Fuerza máxima (N)	126	4,65
Desplazamiento fuerza máxima (mm)	116	13,3

Tabla 3: Resultados resistencia al desgarre - Sentido transversal.

El valor de las propiedades obtenidas en el ensayo y mostrados en la Tabla 2 y Tabla 3 anteriores se evidencia de una forma práctica y visual en el Gráfico 1 y Gráfico 2 que se muestran a continuación:

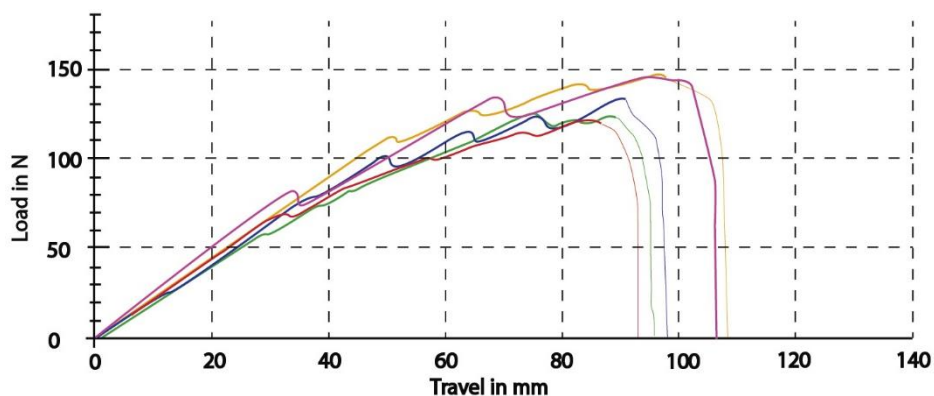


Gráfico 1: Resistencia desgarre sentido Longitudinal - Fuerza aplicada vs desgarre.

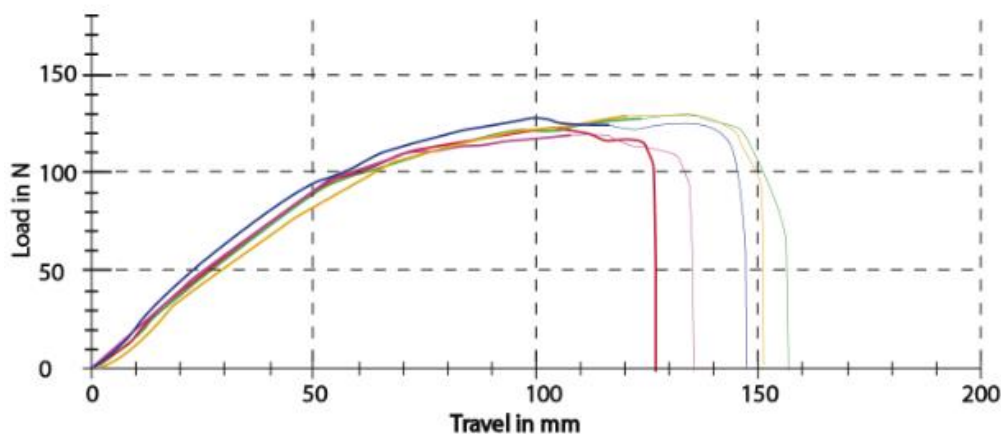


Gráfico 2: Resistencia desgarre sentido transversal. Fuerza aplicada vs desgarre.

Los resultados del ensayo de índice de resistencia al punzonamiento (Norma ASTM D 4833-07(2013)) se muestran en la Tabla 4 a continuación:

Índice de resistencia al punzonamiento - ASTM D4833-07(2013)		
	Promedio	Coeficiente de variación (%)
Número de especímenes evaluados		5
Fuerza de penetración (N)	337	1,18
Resistencia a la penetración (N/mm)	217	1,48
Deformación a la rotura (mm)	28,6	2,98

Tabla 4: Resultados ensayo resistencia al punzonamiento

Los resultados mostrados en la Tabla 4 se evidencian de una manera más clara en un gráfico donde está la relación entre la fuerza aplicada y la elongación. Véase Gráfico 3.

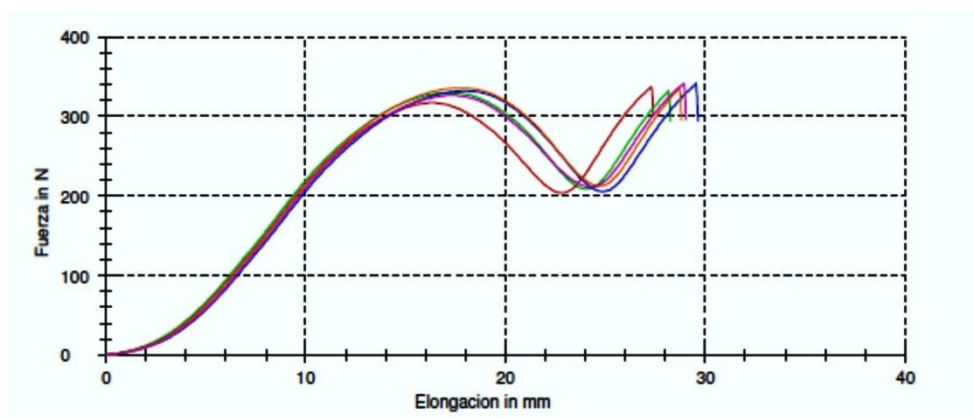


Gráfico 3: Punzonamiento Fuerza aplicada vs elongación

Los resultados concernientes al ensayo de las propiedades a tensión de plásticos (Norma ASTM D 638-10) se muestran a continuación. Véase Tabla 5.

Propiedades en tensión de plásticos - ASTM D638-10		
Sentido longitudinal	Promedio	Desviación estándar
Fuerza máxima (N)	204,00	13,00
Esfuerzo máximo (MPa)	22,00	1,42
Deformación esfuerzo máximo (%)	664,00	36,20
Esfuerzo de fractura (MPa)	21,20	2,86
Deformación en fractura (%)	664,00	36,00
Sección (mm ²)	9,28	0,07
Espesor (mm)	1,54	0,01
Ancho (mm)	6,02	0,01

Tabla 5: Resultados ensayo propiedades a tensión – Sentido longitudinal.

Propiedades en tensión de plásticos - ASTM D638-10		
Sentido transversal	Promedio	Desviación estándar
Fuerza máxima (N)	190,00	12,10
Esfuerzo máximo (Mpa)	20,40	1,33
Deformación esfuerzo máximo (%)	698,00	23,30
Esfuerzo de fractura (MPa)	20,40	1,33
Deformación en fractura (%)	698,00	23,30
Sección (mm ²)	9,28	0,07
Espesor (mm)	1,54	0,01
Ancho (mm)	6,02	0,01

Tabla 6: Resultados propiedades a tensión - Sentido transversal.

Los resultados mostrados en (Tabla 5 y Tabla 6) se evidencian de una manera más clara en dos gráficos, uno en sentido longitudinal (Gráfico 4) y otro en sentido transversal (Gráfico 5). Estos son graficados bajo dos propiedades que son esfuerzo vs deformación (en porcentaje) debido a que muestran el esfuerzo último bajo el cual el material falla y se rompe.

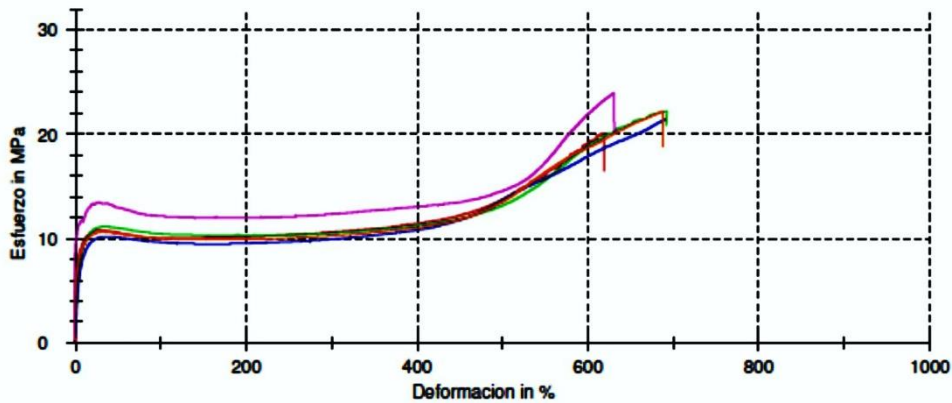


Gráfico 4: Esfuerzo vs Deformación. Sentido Longitudinal.

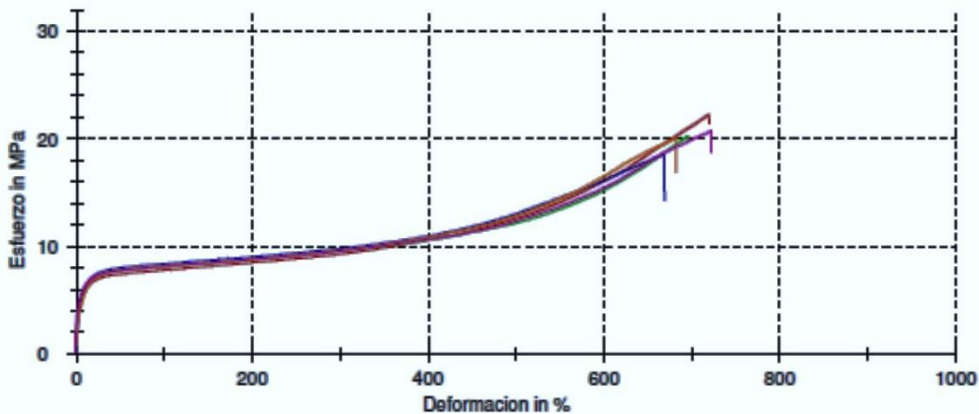


Gráfico 5: Esfuerzo vs Deformación. Sent Transversal.

Para tener de una forma resumida y más clara los resultados que se obtienen para cada una de las propiedades mediante los ensayos, se presenta la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** donde se encuentran los resultados de mayor interés que se analizan posteriormente para así validar las características del material. Además, se resume los resultados de laboratorio para destacar lo que de acuerdo a estudios internacionales en productos similares se tiene que analizar, y ensayar para aplicar este material en obras de construcción

Resumen resultados ensayos		
	Sentido longitudinal	Sentido transversal
Resistencia al desgarre - Fuerza máxima (N)	134	126
Propiedades en tensión de plásticos - Deformación en fractura (%)	664	698
Índice de resistencia al punzonamiento -Fuerza de penetración (N)	337	

Tabla 7: Resumen resultados básicos laboratorio.

Teniendo en cuenta los resultados realizados en el laboratorio se obtienen las especificaciones técnicas del material, es decir, se obtiene una ficha técnica de la geomembrana lisa de TPO. En esta ficha técnica se establecen los valores mínimos

que tienen las membranas producidas por la empresa. Además, se agrega una nota que da claridad sobre las garantías del material, véase Tabla 8.

Ficha técnica para TPO			
Propiedades mecánicas	Método de ensayo ASTM D	Unidad	Valores nominales Cal 60 (1,5 mm)
Espesor	ASTM D5199	mm	1,54
Esfuerzo máximo a tensión longitudinal	ASTM D638-10	MPa	>12,00
Esfuerzo máximo a tensión transversal	ASTM D638-10	MPa	>12,00
Resistencia a punzonamiento o fuerza de penetración	ASTM D4833	N	>270,00
Deformación en fractura longitudinal y transversal	ASTM D638-10	%	> 500,00
Resistencia al desgarre longitudinal	ASTM D1938	N	>70,000
Resistencia al desgarre vertical	ASTM D1938	N	>60,00
Apariencia general			Sin burbujas
Color			Gris
Los valores de las propiedades mencionadas anteriormente están sujetas a cambios sin previo aviso, Lamiter S.A.S se exime de todos y de cada uno de los estándares o garantías implícitas locales.			

Tabla 8: Ficha técnica Geomembrana lisa.

5.1.1. Normativa para geomembranas lisas sin refuerzo

Dentro de la parte investigativa del desarrollo del proyecto se buscan normas internacionales que sean una referencia o una base sobre la cual definir si las propiedades medidas en el laboratorio para la geomembrana lisa están acordes y cumplen con lo exigido internacionalmente. Se encuentra una normativa en el (TAS) TESTING APPLICATION STANDARD, específicamente con un documento llamado "STANDARD REQUIREMENTS FOR THERMOPLASTIC OLEFIN ELASTOMER BASED SHEET USED IN SINGLE-PLY ROOF MEMBRANE (Polymers et al., n.d.), en el cual aparecen reglamentaciones para membranas lisas de TPO sin refuerzo. Del documento se extrae la Tabla 9, que contiene los parámetros mínimos de las propiedades.

Requerimientos físicos para láminas de elastómeros TPO	
Grosor mínimo (mm)	1
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	12
Esfuerzo de ruptura mínimo (MPa)	NA
Elongación última mínima (%)	500
Elongación en ruptura mínima (%)	NA

Requerimientos físicos para láminas de elastómeros TPO	
Resistencia mínima al rasgado (kN/m)	60
Fuerza de rasgado mínima (N)	NA

Tabla 9: Requerimientos mínimos - Normativa TAS.

Se encuentra que en Colombia no hay ninguna normativa, reglamentación o parámetro mínimo que rija este tipo de geomembranas o este tipo de material con el cual esté hecha la membrana. Según la investigación que se realiza internacionalmente tampoco hay muy bien definidos los parámetros mínimos que deben tener las geomembranas de TPO sin refuerzo.

5.1.2. Información sobre geomembranas lisas de TPO sin refuerzo existentes

Como parte importante del proyecto está la información que se recoge para comparar y tener un punto base de análisis de las características y propiedades de las membranas lisas de TPO. En la industria internacional existen varias referencias de TPO sin refuerzo a nivel internacional, sin embargo se encuentran dos fichas técnicas sobre las cuales comparar la información que resulta de los ensayos de laboratorio. Las fichas técnicas se encuentran en la Tabla 10 y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba ASTM	Especificación
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	D 412 Die C	8,30
Elongación última mínima (%)	D 412 Die C	600,00
Esfuerzo de rasgado mínimo (Kn/m)	D 624 Die C	43,80
Resistencia al ozono, 168 h @100 pphm 50% ext.	D 1149	Sin fisuras
Envejecimiento por calor: 28 días a (116°C)	D 573	
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	D 412	6,90
Elongación última mínima (%)	D 412	500,00
Esfuerzo de rasgado mínimo (kN/m)	D 624	35,00

Tabla 10: Ficha técnica Carlisle. ("Sure-Weld TPO Non-Reinforced Flashing Product Data Sheet (PDS/TDB) > Carlisle SynTec," n.d.).

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba ASTM	Especificación
Elongación última mínima (%)	D 412 Die C	600,00
Esfuerzo de rasgado mínimo (kN/m)	D 624 Die C	43,80
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	D 412 Die C	8,30
Resistencia al ozono, 168 h @100 pphm 50% ext	D 1149	Sin fisuras

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba ASTM	Especificación
Envejecimiento por calor: 28 días a (116°C)	D 573	
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	D 412	6,90
Elongación última mínima (%)	D 412	500,00
Esfuerzo de rasgado mínimo (kN/m)	D 624	35,00

Tabla 11: Ficha técnica TPO sin refuerzo Mule Hide Products. (Si, 2006).

5.2. Geomembrana nodular Lamidren

Con base en la investigación sobre el comportamiento del polietileno de alta densidad (HDPE) y a fichas técnicas internacionales que se tienen de materiales similares a las membranas nodulares se asumen dos ensayos primordiales para este tipo de membranas: el ensayo de la resistencia a compresión y el ensayo de la capacidad de drenaje. El ensayo de resistencia a compresión se puede realizar en el laboratorio del ICICP (Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho) y el ensayo de capacidad de drenaje no es posible conseguir hasta el momento, por lo cual se maneja el dato que la empresa maneja y que es tomado de una membrana italiana

5.2.1. Información obtenida de geomembranas nodulares existentes

La investigación de fichas técnicas y la información de interés de las geomembranas nodulares usadas a nivel internacional es amplia por lo que se escogen dos fichas técnicas de empresas que tienen una especificación alta y que tienen sus fichas técnicas con soportes de metodologías de ensayos. Se escogen dos empresas norteamericanas que fabrican geomembranas nodulares, una de ellas es J drain® (“J-Drain Drainage for Industrial, Commercial, Residential | Atlanta, GA,” n.d.). En esta las geomembranas nodulares resaltan únicamente como propiedades de relevancia el espesor de la lámina, la resistencia a compresión y la capacidad de drenaje. Véase Tabla 12.

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba	Valor
Fuerza a compresión (kN/m ²)	ASTM D1621	527,00
Espesor (mm)	ASTM D1777	10,16
Tasa de flujo (Gradiente hidráulico=1) (L/min/m)	ASTM D4716	223,00

Tabla 12: Ficha técnica geomembrana nodular – Jdrain. (Composites, n.d.).

La otra empresa que ofrece este tipo de geomembranas es American Wick Drain® (“AWD - American Wick Drain,” n.d.) también ofrece dentro de su ficha técnica el valor de las propiedades resaltadas en J drain®. Véase (Tabla 13).

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba	Valor
Fuerza a compresión (kPa)	ASTM D1621	862
Espesor (mm)	ASTM D1777	10

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba	Valor
Tasa de flujo (Gradiente hidráulico=1) (L/min/m)	ASTM D4716	224

Tabla 13: Ficha técnica ("SITEDRAIN™ sheet 90 series," 2018).

5.2.2. Resultados de ensayos en Lamidren L7

Para tener una mayor claridad de cómo y cuál es la lámina a la cual se le mide la resistencia a compresión se presenta una imagen donde se muestra la lámina en específico que fue llevada al laboratorio, véase (Ilustración 12).

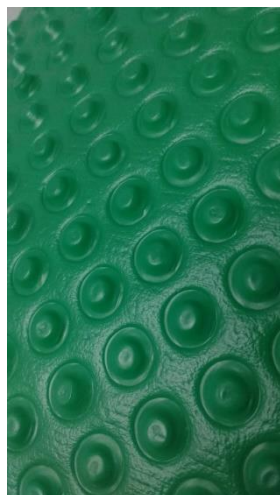


Ilustración 12: Muestra Lamidren L7 llevada a laboratorio.

De acuerdo a la ASTM D695-10 (Método de ensayo estándar para determinar las propiedades de compresión de plásticos rígidos) se obtienen los resultados que se muestran a continuación. Véase (Tabla 14)

Resultados ensayo resistencia a compresión		
Características	Promedio	Coefficiente de variación %
Máxima compresión (10^3) (N)	2,71	0,01
Compresión (%)	20,00	0,01
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	0,86	0,06
L1 (mm)	56,00	0,01
L2 (mm)	56,00	0,01
Área superficial total mm ²	3,14	0,00

Tabla 14: Resultados resistencia a compresión Geomembrana nodular.

5.2.3. Desarrollo parte técnica Lamidren L7

A partir de los ensayos y de la investigación tanto de las obras en las que la geomembrana nodular se ha utilizado como de las obras internacionales donde productos similares se han implementado, se crean, diseñan y desarrollan planos, especificaciones técnicas y manuales de instalación de la geomembrana. Estos

contienen de manera gráfica y textual como se debe utilizar la geomembrana, sobre qué tipo de estructuras y obras se puede aplicar y cuales son las garantías que ofrece de acuerdo a los parámetros de las propiedades obtenidas en el laboratorio. A continuación se muestran las dimensiones de la geomembrana nodular y la distribución que tienen los nódulos. Véase (Figura 1)

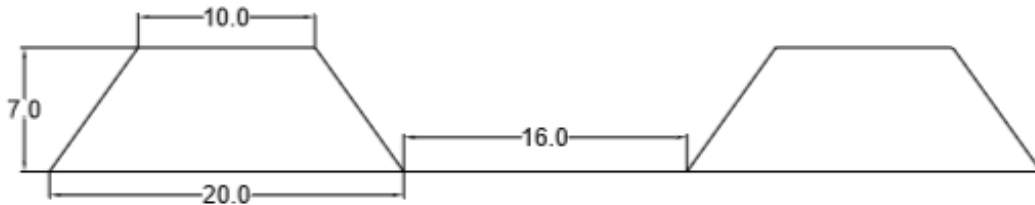


Figura 1: Dimensiones (mm) geomembrana nodular.

La presentación del Lamidren L7 es en rollos de un ancho definido por la longitud que la aplicación o el cliente requiera. Para estandarizar esta medida se establece también una medida para la longitud. Las dimensiones del rollo y el peso quedan descritas a continuación en la Tabla 15

Características	Rollos	
	Lamidren L7 sin geotextil	Lamidren L7 con geotextil
Dimensión (m)	2,10 x 25	2,10 x 25
Peso (kg)	35,00	40,00
Diámetro (cm)	38,00	46,00

Tabla 15: Dimensiones de rollo - Lamidren L7.

La información técnica que se toma de acuerdo a los resultados de laboratorio y mediciones del material tales como las dimensiones, presentación y especificaciones se resumen en una ficha técnica, véase (Tabla 16). Esta ficha técnica contiene dos propiedades que no se muestran como resultado de estudios o ensayos ya que la primera que es el peso del geotextil se muestra como complemento. Es decir, esta propiedad se coloca de acuerdo al geotextil que se le coloque al Lamidren L7, por lo cual es una especificación que viene dada por el proveedor del geotextil. En lo referente a la segunda propiedad que es la tasa de flujo no se hallan los ensayos pertinentes en laboratorios de la ciudad. Por decisión de la empresa esta propiedad se toma de una geomembrana nodular fabricada en Italia (GuttaBetta - ("www.gutta.com BASE 1," n.d.) que tiene los parámetros y las dimensiones exactas a las especificadas en la producción del Lamidren L7 en la empresa Lamiter®.

FICHA TÉCNICA LAMIDREN L7		
Características		Ensayo a realizar si aplica
Material	Polietileno especial de alta densidad (HDPE)	
Color	Negro	
Resistencia mecánica	15 a 80 Ton/m ²	ASTM D 1621

FICHA TÉCNICA LAMIDREN L7		
Características		Ensayo a realizar si aplica
Peso tejido	160 g/ m ²	
Altura nódulos	7 mm	
Nódulos	1860 aprox.	
Capacidad de drenaje	4,6 L/s/m	ASTM D 4716 o ISO 12958
Propiedades Físicas/Químicas	Resistente a los agentes químicos, resistente a la contaminación por hongos y bacterias, no degradable	

Tabla 16: Ficha técnica Lamidren L7.

5.2.4. Manuales de instalación Lamidren L7

El manual de instalación que se hace con base en la ficha técnica mostrada en la (Tabla 16), y las aplicaciones que se han realizado en la empresa con la geomembrana antes y durante la elaboración de este proyecto se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El manual principal muestra la aplicación en muros de contención o en muros de sótanos. Véase (Figura 3).

El manual está compuesto por las instrucciones y recomendaciones de instalación y por dos esquemas, uno que muestra el muro de contención con el material instalado y el otro que muestra la forma en que se realizan los traslapos (uniones) de una geomembrana nodular con otra.

Las instrucciones que aparecen en el manual son las siguientes:

En captación y descarga aparece la forma en que se debe utilizar el producto para cumplir con las funciones deseadas.

En método de fijación aparecen 3 métodos de fijación descritos brevemente con apoyo de gráficos

En la parte final aparece la descripción de la manera en que debe ir el triturado y el lleno respectivo. Además de la manera en que deben instalarse los traslapos como lo muestra la Figura 2.

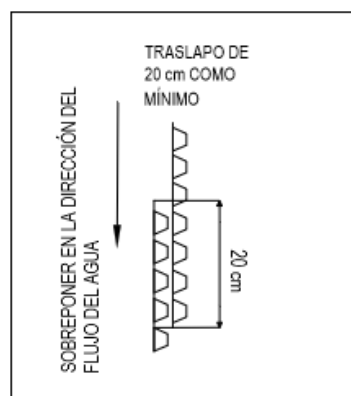


Figura 2: Traslapo de Lamidren L7.

Para la colocación del material en el muro de contención se presenta en el manual la Figura 3, en la cual se muestra la forma en que debe sobreponerse el Lamidren L7 en el muro.

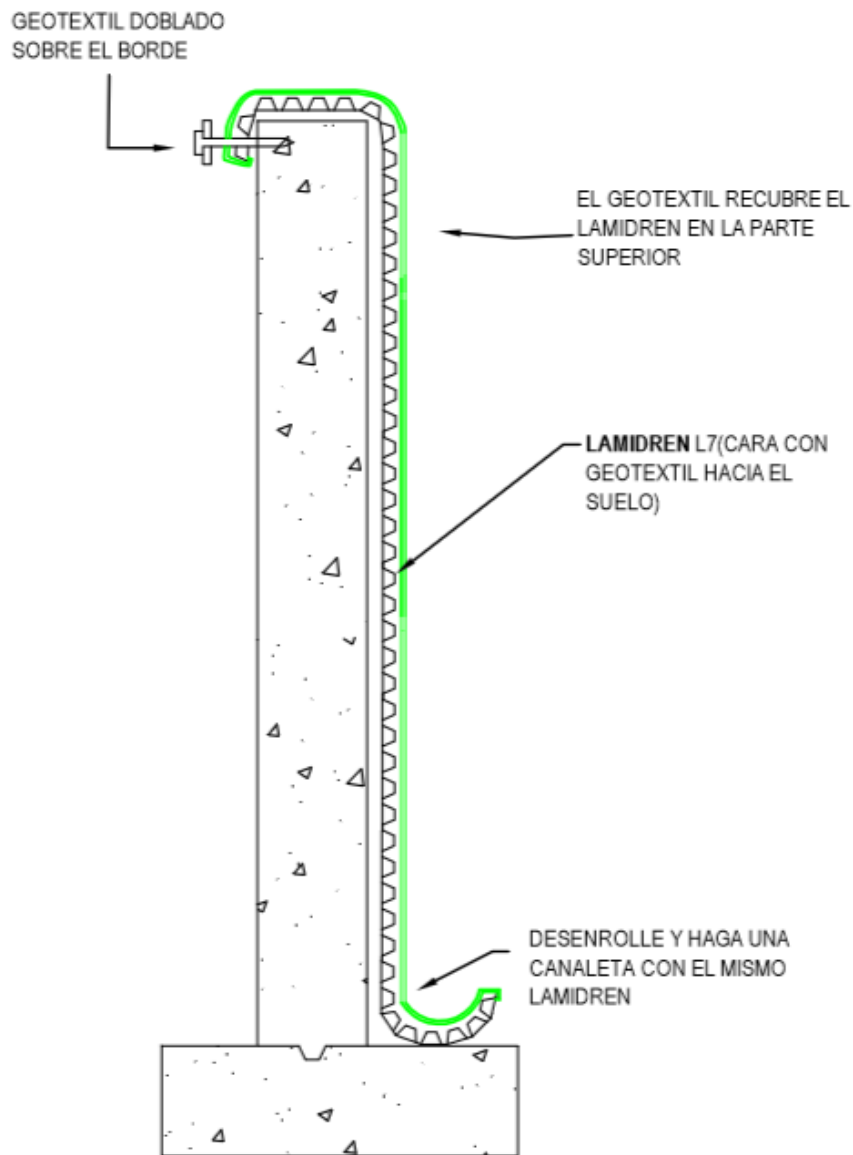
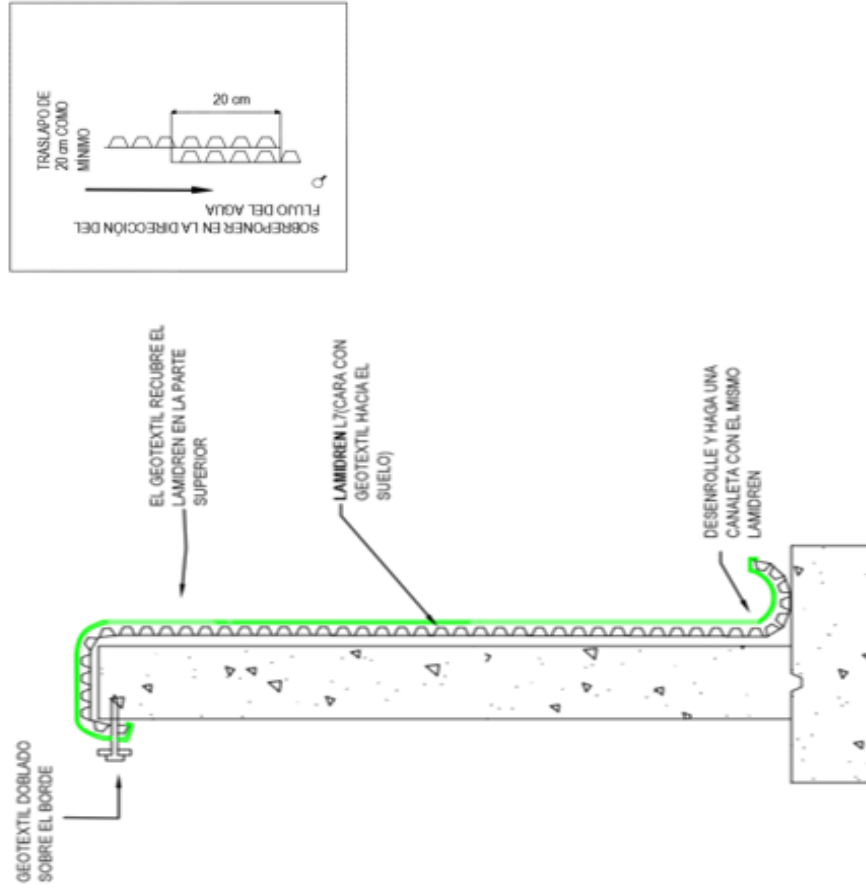


Figura 3: Lamidren L7 en muro de contención.

A continuación se presenta el esquema general del manual donde se presentan la (Figura 1, Figura 2 y Figura 3) reunidas para dar una comprensión completa del proceso de instalación del Lamidren L7, (véase Ilustración 13). También se presenta una imagen del manual de instalación con el diseño y las imágenes correspondientes que hacen alusión a esta aplicación, (véase Ilustración 14)

INSTALACIÓN VERTICAL LAMIDREN L7 - MUROS DE CONTENCIÓN



Captación y descarga: Desenrolle e instale el Lamidren con el geotextil a lo largo del muro. Los paneles se instalan sobre el muro tal y como indica en el dibujo. Estos se superponen o traslapan uno sobre otro. Todos los bordes se cubren con el geotextil, sea sobreponiendo bordes con geotextil adicional.

Método de fijación:

- Para instalarlos en material de concreto se clavan o se instalan pistola. Se fija en el borde del material que sobresale del lleno y que siga cumpliendo la función de impermeabilización
- Se hace una regata en el muro de tal forma que el remate Lamidren L7 se haga en ella y se clave en ella. Se aplica al poliuretano para tener un sellado completo.
- Opcionalmente se puede fijar con el mismo peso del material lleno, se soporta con estacas u otro elemento de soporte mientras se realiza el lleno.

LA CARA DEL GEOTEXTIL VÁ HACIA EL RELLENO O HACIA MURO DEPENDIENDO DE LA APLICACIÓN

Triturado: Colocar una capa de triturado de un mínimo de 20 cm cubriendo la canaleta que se forma con el mismo material.

Lleno: Realice el lleno. El Lamidren L7 debe sobrepasar siempre la altura del lleno, para que no haya infiltración de agua o material por detrás del material

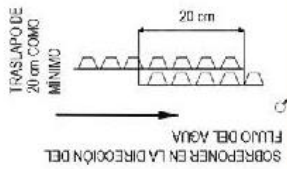
Ilustración 13: Esquema general de manual de instalación Lamidren L7.

INSTALACIÓN VERTICAL LAMIDREN

Captación y descarga:

Desenrolle e instale el Lamidren con el geotextil a lo largo del muro.
 Los paneles se instalan sobre el muro tal y como se indica en el dibujo. Estos se superponen o traslapan uno sobre otros (Ver figura d).
 Todos los bordes se cubren con el geotextil, sea sobreponiendo bordes o con geotextil adicional.

Traslape Fig D



Método de fijación:

a) Para instalarlos en material de concreto se clavan o se instalan con pistola. Se fija en el borde del material que sobresale del muro para que siga cumpliendo la función de impermeabilización. (Ver Figura a y c)

Figura a

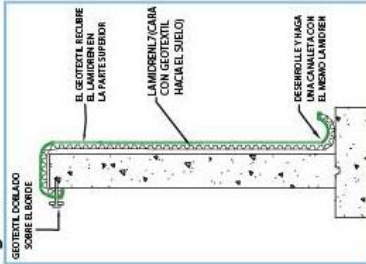
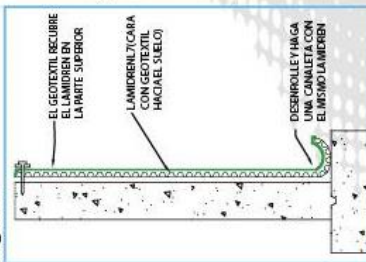


Figura c



L7 MUROS DE CONTENCIÓN

- b) Se hace una regata en el muro de tal forma que el remate del Lamidren L7 se haga en ella y se clave en ella. Se aplica al final poliuretano para tener un sellado completo. (Ver Figura b.)
- c) Opcionalmente se puede fijar con el mismo peso del material de lleno, se soporta con estacas u otro elemento de soporte mientras se realiza el lleno.

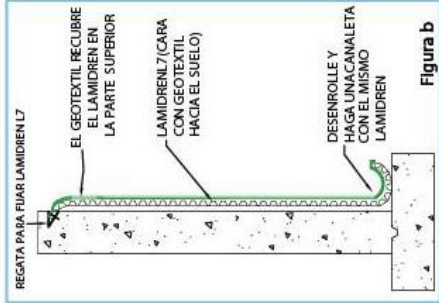
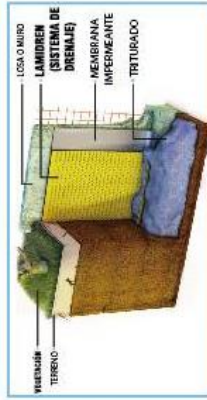


Figura b

LA CARA DEL GEOTEXTIL VÁ HACIA EL RELLENO O HACIA EL MURO DEPENDIENDO DE LA APLICACIÓN

Triturado: Colocar una capa de triturado de un mínimo de entre cubriendo la canaleta que se forma con el mismo material.



Lleno: Realice el lleno. El Lamidren L7 debe sobrepasar siempre la altura del lleno, para que no haya infiltración de agua o material por detrás del material



Ilustración 14: Manual de instalación Lamidren L7.

Dentro de la parte de instrucciones se encuentran los diferentes procesos que hay que llevar a cabo para instalar de una manera correcta el material. También se agrega una nota importante sobre la utilización de la membrana que es el sentido de colocación de la membrana sobre la superficie. El Lamidren con geotextil se coloca hacia el suelo del lleno; en este caso la geomembrana nodular Lamidren L7 actúa como filtro, drenaje e impermeabilizante del muro de contención o del muro donde se aplique. El geotextil cumple la función de filtro y la geomembrana Lamidren L7 cumple la función de drenaje e impermeabilización. Véase Figura 4.

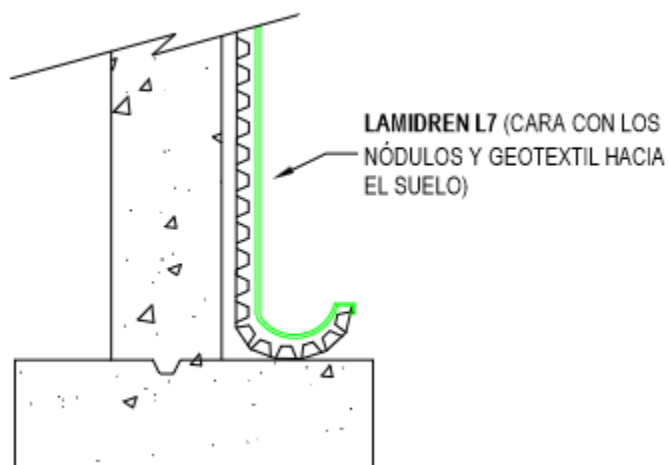


Figura 4: Lamidren L7 sentido nódulos hacia afuera

La otra manera utilizar el Lamidren es sin geotextil, la colocación en este caso es hacia la superficie del muro. La geomembrana nodular Lamidren L7 actúa como impermeabilizante del muro y protección contra humedades, no tiene función de filtro ni tampoco drenaje de evacuación, véase Figura 5.

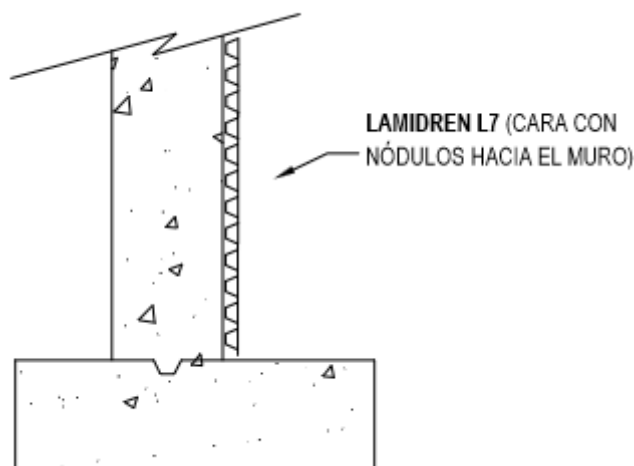


Figura 5: Instalación Lamidren L7 nódulos hacia el muro.

Los traslapos son las uniones que se tienen entre una lámina de geomembrana y otra, estos deben tener unas condiciones específicas para que funcionen de manera correcta y en el manual se evidencian tal y como se muestra en la Figura 6. Se encuentra que para cumplir con condiciones de traslapo y que las láminas tengan un agarre mecánico se deben tener 20 cm de traslapo como mínimo y las membranas se deben sobreponer en la dirección del flujo de agua.

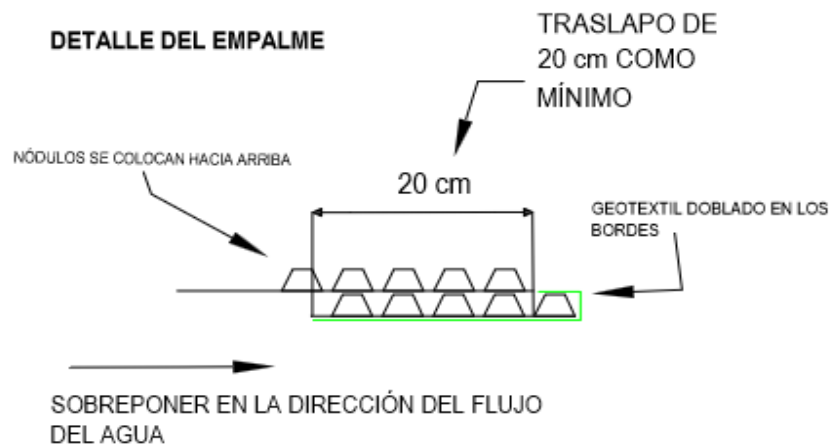


Figura 6: Detalle del traslapo en Lamidren L7.

Para tener una mejor concepción de lo mostrado en el manual de instalación, a continuación se muestra una aplicación real del Lamidren L7 en un muro de contención, (véase Ilustración 15).



Ilustración 15: Lamidren L7 muro de contención.

Un ejemplo de la aplicación en del Lamidren L7 de forma horizontal es la aplicación en losas, para este también se realizó un plano o diagrama que muestra la colocación de la geomembrana en la estructura. La instalación del material es exactamente igual

que en el muro de contención por lo cual solo se realiza un esquema de donde estaría ubicado. Este también tiene una aplicación con los nódulos hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la función que va cumplir tal y como ocurre en la aplicación en muros de contención ya que funciona exactamente igual, véase Figura 5 y Figura 4. El esquema de donde estaría ubicado el Lamidren L7 para una losa se encuentra en la Figura 7.

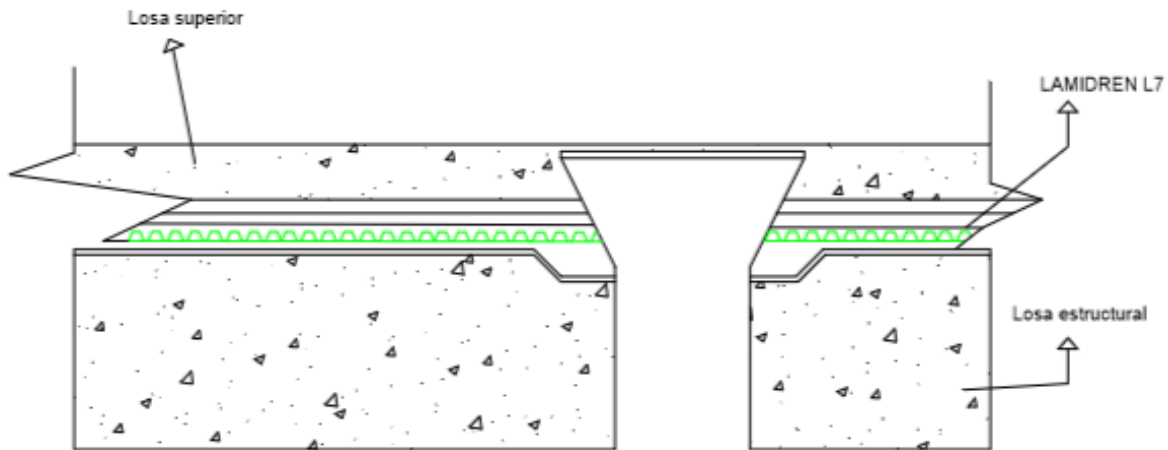


Figura 7: Instalación horizontal Lamidren L7.

6. Análisis de resultados

6.1. Análisis de resultados para la membrana TPO

Para realizar un análisis completo de la geomembrana lisa de TPO de la empresa se hace necesario realizar comparaciones con productos internacionales, ya que en el medio local la empresa Lamiter es la única que produce esta geomembrana. Hay que destacar que los valores mostrados en el cuadro comparativo para la membrana de TPO Lamidren son los valores máximos resultantes del ensayo mientras que los valores que se muestran de las otras dos membranas de TPO son valores o parámetros mínimos que se establecen dentro de sus fichas técnicas.

Comparativo geomembrana TPO Lamidren con geomembrana TPO otras empresas					
Propiedades	Ensayo ASTM	TPO Lamidren		TPO Carlisle	TPO Mule Hide Products
		Sentido longitudinal	Sentido transversal		
Resistencia al desgarre - Fuerza máxima(N)	ASTM D 1938	134	126	NA	NA
Esfuerzo máximo a tensión (Mpa)	ASTM D638-10	22	20,4	8,3	8,3
Deformación en fractura (%)	ASTM D638-10	664	698	600	600

Comparativo geomembrana TPO Lamidren con geomembrana TPO otras empresas					
Propiedades	Ensayo ASTM	TPO Lamidren		TPO Carlisle	TPO Mule Hide Products
		Sentido longitudinal	Sentido transversal		
Índice de punzonamiento - Fuerza de penetración (N)	ASTM D4833-07	337		NA	NA
Esfuerzo de rasgado (KN/m)	ASTM D624	NA	NA	43,8	43,8

Tabla 17: Comparativo geomembranas TPO.

Cuando se hace la comparación con otras fichas técnicas de geomembranas se encuentra que internacionalmente no muestran las propiedades de la membrana de acuerdo al sentido longitudinal o transversal, sino que solo muestran un valor y este se asume para ambos sentidos. Esto se ve reflejado en las fichas técnicas que se pueden encontrar como lo son las mostradas en la (Tabla 10 y la Tabla 11). Otro de los factores que es visible haciendo la comparación es que para las geomembranas internacionales no existe el parámetro de fuerza máxima (medida en Newton) para describir la propiedad de resistencia al desgarre, sino que tienen como parámetro el esfuerzo de rasgado (medida en kN/m) para el cual hay que realizar un método de ensayo diferente (ASTM D624). Específicamente esta propiedad no se pudo analizar mediante ensayos de laboratorio porque no se encuentra en laboratorios certificados en la ciudad de Medellín.

Dentro de las fichas técnicas mostradas de las geomembranas de TPO mostradas en la (Tabla 10 y la Tabla 11) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** evidencia que hay unas propiedades que no fueron objeto de estudio en este proyecto. Esto ocurre porque los ensayos de intemperie (Resistencia al ozono – ASTM D1149 y Envejecimiento térmico – ASTM D573) que también se deberían realizar en laboratorios no tuvieron lugar por falta de presupuesto. Estos ensayos están en solicitud para que se puedan llevar a cabo y completar la ficha técnica en estas características, puesto que son ensayos que aportan información en lo referente a la durabilidad del material con el tiempo ante factores naturales como inclemencias climáticas, contacto con gases contaminantes, radiación, entre otros.

Se resalta de acuerdo al comparativo de geomembranas mostrado en la Tabla 17 que el esfuerzo máximo a tensión de la geomembrana lisa de TPO Lamidren tiene unos valores más altos en relación con los valores de las otras dos geomembranas. A partir de esto se puede inferir en primera instancia que la geomembrana tiene mayor resistencia en términos de tensión y en segunda instancia que esto puede ser debido a que las otras dos geomembranas tienen parámetros mínimos mientras que la de la empresa tiene son los valores máximos. Es decir, a nivel internacional las empresas colocan valores mínimos promedio, mientras que para el desarrollo de este proyecto se utilizan los valores otorgados por el laboratorio. En resumen las geomembranas a nivel internacional vienen con un parámetro mínimo que cumplen sus membranas y en la empresa Lamiter® los valores presentados son los dados en los resultados del

laboratorio que son los valores promedio obtenidos para cada propiedad. Con esto es posible afirmar que los valores de la geomembrana lisa de TPO de Lamiter® cumplen con los parámetros internacionales.

Con relación a la propiedad de alargamiento o estiramiento que se muestra en porcentaje las tres geomembranas superan el parámetro de 600%, siendo mayor el parámetro de la geomembrana Lamidren que alcanza un poco menos del 700%. En este parámetro todas tienen el valor muy parecido por lo cual se cumple en términos de estiramiento.

Del cuadro comparativo definido en la Tabla 17 es posible inferir que las geomembranas producidas a nivel internacional no contienen el parámetro de resistencia al punzonamiento. Este parámetro se hizo necesario analizar para la geomembrana Lamidren ya que se vió la necesidad de poner un límite de resistencia mínima a la penetración de algún objeto, roca, residuo, entre otros, para el material debido al mal uso o mala colocación que le puedan dar a este en las obras. Esta propiedad de resistencia al punzonamiento es analizada en las geomembranas de TPO con refuerzo, pero para este proyecto se fue más allá para analizar mejor el comportamiento del TPO sin refuerzo.

En la parte investigativa se encuentra una normativa constructiva en el TAS definida en la Tabla 9 donde se establece una reglamentación y parámetros mínimos de las propiedades para las membranas lisas de TPO sin refuerzo. Esta reglamentación solo es utilizada en esa zona en específico pero se trae a colación para el proyecto porque resulta importante para hacer una comparación entre los resultados de laboratorio y esta normativa. La comparación de los resultados con estos parámetros mínimos se encuentra a continuación en la Tabla 18.

Propiedades	Requerimientos físicos para láminas de elastómeros TPO	Resultados ensayos geomembrana lisa TPO
Grosor mínimo (mm)	1	1,52
Esfuerzo a tensión mínimo (MPa)	12	21,20
Esfuerzo de ruptura mínimo (MPa)	NA	21,20
Elongación última mínima (%)	500	681,00
Elongación en ruptura mínima (%)	NA	681,00
Resistencia mínima al rasgado (kN/m)	60	NA
Fuerza de rasgado mínima (N)	NA	13,00

Tabla 18: Resultados Lab vs Normativa TAS.

En la comparación mostrada a través de la Tabla 18 se pueden destacar una serie de factores importantes para la geomembrana TPO, ya que en los resultados del laboratorio se obtienen unos valores que superan con un margen amplio a los parámetros mínimos expuestos en la normativa del TAS. En la única propiedad que no es posible realizar una comparación es en la resistencia al rasgado debido a que

en la normativa se miden como un esfuerzo y en el ensayo hecho en la geomembrana se miden como la fuerza para llegar al rasgado.

Frente a esta propiedad de resistencia de rasgado se evidencia un problema para comparar los resultados de laboratorio con las fichas técnicas internacionales debido a que los ensayos miden la propiedad con una unidad de medida diferente y el ensayo que se utiliza para obtener cada propiedad es totalmente diferente en su consecución. Es por tal motivo que no hay un punto de comparación y no se puede establecer una relación lógica, sin embargo como tarea a futuro está el conseguir hacer este ensayo para tener una mejor fundamentación técnica del producto.

6.2. Análisis resultados Geomembrana nodular Lamidren L7

Para el Lamidren L7 no se evalúan tantas propiedades en la geomembrana nodular como si se realizaron en la lisa ya que las aplicaciones y los usos en los que esta tiene cabida no tienen la necesidad de evaluar otras propiedades. Esto se corrobora con las fichas técnicas internacionales definidas en la

Propiedades y características típicas		
Propiedades	Método de prueba	Valor
Fuerza a compresión (kN/m ²)	ASTM D1621	527,00
Espesor (mm)	ASTM D1777	10,16
Tasa de flujo (Gradiente hidráulico=1) (L/min/m)	ASTM D4716	223,00

Tabla 12: Ficha técnica geomembrana nodular – Jdrain. (Composites, n.d.).

y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que solo evalúan dos propiedades como ya se ha mencionado anteriormente en el presente trabajo.

En lo que respecta a la propiedad de resistencia a compresión el resultado que se obtiene para el Lamidren L7 es de 0,86 MPa (86 Ton/m²). Este valor de resistencia a compresión es un valor alto y considerable. Por ejemplo realizando una comparación con el peso del concreto que puede estar entre unos 2500 y 3000 Kg/m², el valor es grande e importante. Esto quiere decir que da buenas garantías a la hora de soportar cargas altas. Este es uno de los grandes beneficios que posee la membrana nodular al tener dentro de sus características una gran capacidad a compresión.

La segunda propiedad que tiene importancia para analizar el comportamiento de la membrana nodular es la de capacidad de drenaje. Esta propiedad es de relevancia porque la función principal del Lamidren L7 es drenar el agua de una manera óptima y eficaz. Principalmente porque así permite que el flujo laminar que pase por ella sea alto y genere las ventajas constructivas y funcionales para las cuales se utiliza. Esta propiedad se maneja por parte de la empresa ya que para este proyecto no se pudo conseguir un laboratorio que realizara la prueba. El valor de la propiedad es extraída de una membrana nodular producida en Italia ("www.gutta.com BASE 1," n.d.) que tiene las mismas dimensiones y composición de la membrana hecha en Lamiter®

Comparación geomembranas nodulares			
Características	Lamidren L7	J Drain	AWD
Resistencia a la compresión máxima (MPa)	0,86	53,7	43,10
Capacidad de drenaje (L/s/m)	4,60	3,71	2,48

Comparación geomembranas nodulares			
Características	Lamidren L7	J Drain	AWD
Calibre lámina (mm)	1,00		NA

Tabla 19: Comparación geomembranas nodulares

Respecto a la Tabla 19 se evidencia que en términos de resistencia a compresión máxima las tres geomembranas suplen por un gran margen los valores de cargas a los que pueden estar sometidas. En términos de drenaje no se puede hacer una afirmación o aseveración sobre capacidad de drenaje, ya que el dato que aparece no se ha comprobado mediante ensayos de laboratorio certificados. Es decir el valor de esta propiedad no se encuentra dentro de los alcances del proyecto

En el manual de instalación mostrado en la (Ilustración 13 e Ilustración 14) se habla del sentido de colocación. Cuando el sentido de colocación es con los nódulos de la membrana hacia el lleno (ver Figura 4) se coloca un geotextil y el Lamidren L7 actúa como filtro, drenaje e impermeabilización del muro de contención. Cuando el sentido de colocación es con los nódulos hacia el muro de contención (ver Figura 5) la función del Lamidren L7 solo cumple dos funciones; las cuales son impermeabilizar y proteger el muro ante cualquier tipo de humedad que contenga el lleno. El Lamidren en el último caso no lleva geotextil ya que los nódulos van hacia el muro.

Por último el tema de los traslapos, se habla de que estos deben ir en sentido de la dirección del flujo de agua, esto es debido a que el agua fluye por gravedad es decir los traslapos van en sentido de la pendiente negativa que tenga el nivel del terreno o superficie donde son instaladas las membranas nodulares. En cuanto a los 20 cm de traslapo es una distancia que se asume considerable para garantizar la unión fija de las membranas. Esta distancia se toma de acuerdo a la presentada en productos internacionales como el GuttaBetta® (“www.gutta.com BASE 1,” n.d.).

7. Conclusiones

El proyecto confirma lo que se plantea desde un inicio y es que ambos tipos de geomembranas tienen bondades dentro de sus propiedades, y podría ser posible con mayor investigación su implementación en obras civiles de nuestro país si se tienen en cuenta las consideraciones de calidad del material.

Para ambas geomembranas no existe una reglamentación o normativa que establezca parámetros mínimos, lo cual puede ser un factor positivo o negativo. Positivo porque se permite desarrollar aún más el producto y no hay un límite establecido para que se le baje la calidad al material. También puede ser negativo porque al ser un producto poco conocido en el medio local hay incertidumbre por parte de los constructores generando la no implementación de este tipo de geomembranas.

Se obtienen fichas técnicas basadas en métodos de ensayo certificados completamente, lo cual hace que estas sean confiables para la empresa como vendedores y para los constructores, obras, clientes, entre otros.

Para la geomembrana lisa de TPO no reforzada no se realizan manuales de instalación puesto que este tipo de membranas ya tienen su método de instalación especificado a todas las membranas que son hechas con materiales poliméricos. Por tal situación se prioriza en el proyecto la especificación de la parte técnica y normativa del producto.

Teniendo en cuenta las ventajas del material es de utilidad decir que el material tiene ventaja frente a otros materiales en relación (calidad vs precio). Sin embargo, esta demostración cuantitativa no se realizó en el proyecto dando pie a otra investigación futura que pueda comparar las geomembranas de TPO y Lamidren L7 con otros geodrenes o geomembranas de impermeabilización.

Las geomembranas lisa y nodular resultan siendo geosintéticos que pueden alterar y mejorar el movimiento y aplicación de los geosintéticos en las obras civiles, ya que son membranas de gran resistencia y que pueden asegurar unos beneficios importantes en términos de desempeño.

Una de las grandes dificultades que se ha tenido durante el proyecto y que es un obstáculo para el desarrollo de este tipo de membranas es que el gremio de la ingeniería civil en Colombia es reacio a la innovación. Éste gremio conserva las mismas técnicas constructivas que se han utilizado a lo largo de los años sin observar los beneficios que las nuevas tecnologías le pueden dar a la ingeniería en el país.

Dentro de las dificultades dentro de la consecución del proyecto está el hecho de que a nivel local es difícil encontrar laboratorios certificados que hagan determinados ensayos. Principalmente porque los ensayos son específicos a estas membranas y las membranas no se han implementado en el país, por lo que los laboratorios no se preocupan por implementar los métodos de ensayo. Es decir, es necesaria una oferta mucho más amplia por parte de los laboratorios frente a todo tipo de ensayos en materiales a base de elastómeros, caucho, entre otros.

8. Recomendaciones y trabajos futuros

Se recomienda hacer estudios e investigaciones tanto de laboratorio como de campo de la implementación del material Lamidren L7 en las vías. Ya que gracias a sus propiedades de resistencia a compresión y tasa de flujo podría generar beneficios en las estructuras de los pavimentos.

Se recomienda hacer estudios de precios entre las geomembranas existentes en el mercado y las membranas que fueron de estudio en este proyecto, ya que solo desde el proceso de instalación podría verse un ahorro de costos y de materiales. Por tal razón un trabajo que considere la relación costo beneficio de estas geomembranas podría ser de interés y utilidad.

Se recomienda continuar con el trabajo de investigación de propiedades, ya que por cuestiones de presupuesto y disponibilidad de laboratorios no se alcanzaron a estudiar

a fondo todas las propiedades de las geomembranas Lisa TPO y nodular Lamidren L7.

9. Referencias

- ¿Qué son las geomembranas? – Geomembranas | Geosai. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from <https://www.geosai.com/que-son-las-geomembranas/>
- ASTM D1621 Plastic Compression Testing - ADMET. (n.d.). Retrieved March 13, 2019, from <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-d1621-plastic-compression-testing/>
- ASTM D4833 Geomembrane Puncture Testing - ADMET. (n.d.). Retrieved March 12, 2019, from <https://www.admet.com/testing-applications/testing-standards/astm-d4833-geomembrane-puncture-testing/>
- ASTM D638 Ensayos de Tracción de Plásticos y Coeficiente de Poisson - Instron. (n.d.). Retrieved March 12, 2019, from <https://www.instron.es/es/testing-solutions/by-material/plastics/tension/astm-d638-14-possions-ratio>
- ASTM International - Standards Worldwide. (n.d.). Retrieved March 5, 2019, from <https://www.astm.org/>
- ASTM Standard D1938-02. (2002). Tear-Propagation Resistance of Plastic Film and Thin Sheeting by a Single-Tear Method. *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 5–8. <https://doi.org/10.1520/D1922-15.2>
- AWD - American Wick Drain. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from <https://www.awd-usa.com/>
- GEODREN. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from <https://www.geosinteticos.com/geodren.html>
- Geomembranas: ¿qué son y para qué sirven? (n.d.). Retrieved March 5, 2019, from <https://losandes.com.ar/article/geomembranas-que-son-y-para-que-sirven>
- Geosintéticos | Geotexan. (2012). Retrieved March 5, 2019, from <https://geotexan.com/geosinteticos/>
- J-Drain Drainage for Industrial, Commercial, Residential | Atlanta, GA. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from <https://www.j-drain.com/>
- Jablonka, M., Blond, E., Sageos, C. T. T. G., & Hyacinthe, S. (2009). Long Term Performance Requirements for HDPE Drainboards, 84–94.
- Los geosintéticos como medio de prevención civil • Teorema Ambiental. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/los-geosinteticos-como-medio-de-prevencion-civil-2/
- Máquina universal de ensayos hidráulica, Máquina de prueba. (n.d.). Retrieved March 26, 2019, from <http://testersupply.es/1-3-servo-universal-testing-machine.html>
- Materials, P., & Materials, E. I. (2015). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics 1 D638-14, 1–17. <https://doi.org/10.1520/D0638-14.1>
- Plastics | ISO34-1 | Prospector. (n.d.). Retrieved March 12, 2019, from <https://plastics.ulprospector.com/properties/ISO34-1>
- Polymers, F., Testing, T. I., Permeability, W. V., Florida, T., Code, B., & Standards, A. (n.d.). STANDARD REQUIREMENTS FOR THERMOPLASTIC OLEFIN ELASTOMER BASED SHEET USED IN SINGLE-PLY ROOF MEMBRANE, 1–8.
- SITEDRAIN™ sheet 90 series. (2018), 9200.
- Tear Resistance TG | Tear | Test Groups. (n.d.). Retrieved March 12, 2019, from <https://www.mecmesin.com/tear-testers>
- Transportes, D., Carreteras, D., Fomento, D., & Geotextiles, D. (n.d.). Definición, función y clasificación de los geotextiles, 122–130.

Waterproofing with TPO membranes from KOSTER. (n.d.). Retrieved March 5, 2019, from https://www.koester.eu/de_en/m-155/tpo+membranes.html
www.gutta.com BASE 1. (n.d.).

