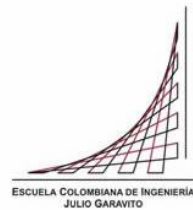


**Maestría en Ingeniería Civil**

**Desarrollo de Geotextiles Tejidos para Separación, Refuerzo y Drenaje**

**Michael Antonio Romero Guerrero**

**Bogotá, D.C., 15 de diciembre del 2023**



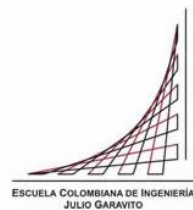
# **Desarrollo de Geotextiles Tejidos para Separación, Refuerzo y Drenaje**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en geotecnia**

**Jose Vicente Amórtegui Gil**

**Director**

**Bogotá, D.C., 15 de diciembre del 2023**



La tesis de maestría titulada “desarrollo de geotextiles tejidos para separación, refuerzo y drenaje”, presentada por Michael Antonio Romero Guerrero, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia.

Director de Tesis

Jose Vicente Amórtegui Gil

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Jose Vicente Amórtegui Gil', is written on a light-colored rectangular background.

Jurado

Jurado

Bogotá, D.C., día de mes de año (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

## Resumen

Los geosintéticos actualmente son utilizados en múltiples aplicaciones de la ingeniería civil y cumplen funciones según los requerimientos o necesidades específicas de cada proyecto. En términos generales tenemos geosintéticos que funcionan como elementos de separación, impermeabilización, refuerzo, drenaje y control de erosión, para esto se utilizan geotextiles, geomembranas, geomallas, geocompuestos drenantes, entre otros. Sin embargo, en la actualidad no contamos con un geotextil tejido que cumplan con las funciones de separación, refuerzo y drenaje al mismo tiempo.

Muchas de las obras de ingeniería donde se utilizan geosintéticos, se requiere un elemento que sea capaz de separar materiales (capas granulares), reforzar el suelo (aumentar las propiedades mecánicas) y drenar o evacuar el agua (sacar el agua de la estructura)

Actualmente los geotextiles tejidos son utilizados como elemento de refuerzo y separación, las aplicaciones más comunes son: muros en suelo reforzado, estabilización de subrasantes, refuerzo de cimentaciones, refuerzo de terraplenes sobre suelos blandos, entre otras. El problema es que todas estas estructuras pueden modificar su comportamiento mecánico con la presencia de agua (saturación). Para controlar la saturación de los materiales y evacuar el agua, normalmente se instalan geocompuestos drenantes como geodren planar o geodren francés.

La mayoría de las metodologías aplicadas a las soluciones con geosintéticos, están basadas en un adecuado manejo del agua. Dentro de dichos análisis no se incluyen las presiones hidrostáticas o la pérdida de la resistencia del suelo por la saturación de los materiales. Desarrollar un elemento geosintético que no solo refuerce y separe materiales pétreos, sino que también sea capaz de actuar como elemento drenante, facilita su aplicación y eleva los factores de seguridad con los que se pueden trabajar.

A partir de esta investigación, se desarrollarán elementos geosintéticos que funcionen como sistema de refuerzo, separación y drenaje. Iniciando con la confección de diferentes geotextiles tejidos, con diferentes configuraciones a los cuales se aplicarán ensayos en el laboratorio con el fin de identificar su comportamiento. Con las muestras que obtengamos mejores resultados, se realizaran modelos numéricos con el fin de verificar el aporte en la estabilidad y durabilidad en las obras.

Los campos de aplicación de este nuevo Geosintético son: Geotecnia, pavimentos, refuerzo de terrenos, separación, drenaje

## Índice General

Resumen.....	4
Índice Figuras .....	7
Índice Graficas.....	9
Índice Tablas.....	9
Introducción .....	10
Objetivos .....	11
1.0 Marco Teórico .....	12
1.1. Geosintéticos.....	12
1.1.1. Tipos de geosintéticos.....	12
1.1.2. Funciones de los geosintéticos.....	15
1.1.3. Aplicaciones de los geosintéticos.....	19
1.2. Geotextiles Tejidos .....	23
1.2.1. Tipos de geotextiles tejidos.....	23
1.2.2. Funciones de los geotextiles tejidos.....	28
1.2.3. Aplicaciones de los geotextiles tejidos.....	33
2.0 Metodología.....	43
2.1. Generalidades del Diseño .....	43
2.2. Diseño por especificación o norma .....	44
2.3. Diseño por función .....	47
2.3.1. Geotextil de separación .....	49
2.3.2. Geotextil de refuerzo .....	52
2.3.3. Geotextil de drenaje.....	56
2.4. Ensayos de laboratorio.....	59
2.4.1. Método Grab resistencia a la tensión y elongación (ASTM D4632).....	59
2.4.2. Método de la tira ancha y elongación (ASTM D4595).....	60
2.4.3. Resistencia al punzonamiento CBR (ASTM D6241).....	61
2.4.4. Resistencia al rasgado trapezoidal (ASTM D4533).....	62
2.4.5. Tasa de flujo en el plano, transividad (ASTM D4716) .....	64
2.4.6. Conductividad hidráulica, velocidad. ....	65

2.4.7.	Tamaño de Abertura Aparente (ASTM D4751) .....	66
2.4.8.	Permeabilidad (ASTM D4491) .....	68
2.4.9.	Interfase suelo – geosintético o geosintético - geosintético mediante corte directo a gran escala (ASTM D5321B) .....	70
2.4.10.	Desarrollo del geotextil tejido .....	73
2.5.	Confeción y selección de las muestras .....	73
3.0	Resultados ensayos en laboratorio .....	80
3.1	Método Grab Resistencia a la Tensión y Elongación (ASTM D4632) .....	80
3.2	Método de la Tira Ancha Elongación (ASTM D4595) .....	82
3.3	Resistencia al Punzonamiento CBR (ASTM D6241) .....	83
3.4	Resistencia al Rasgado Trapezoidal (ASTM D4533) .....	84
3.5	Tasa de Flujo en el Plano, Transítividad (ASTM D4716*) .....	85
3.6	Conductividad hidráulica, velocidad. ....	86
3.7	Tamaño de Abertura Aparente (ASTM D4751) .....	87
3.8	Permeabilidad (ASTM D4491) .....	88
3.9	Corte directo a gran escala contacto geotextil geotextil (ASTM D5321B) .....	89
4.0	Análisis de resultados .....	92
4.1	Geotextil de separación .....	93
4.2	Geotextil de refuerzo .....	96
4.3	Geotextil de drenaje.....	101
4.4	Geotextil de separación, refuerzo y drenaje.....	103
5.0	Aplicaciones.....	104
5.1	Muros en suelo reforzado .....	105
5.2	Estabilización de subrasantes.....	109
6.0	Conclusiones.....	112
	BIBLIOGRAFÍA:.....	117

## Índice Figuras

<i>Figura 1: Geomembrana de PVC y Geomembrana de HDPE (Pavco Wavin Geosintéticos)</i> .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 2: Geotextil No Tejido (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 3: Geotextil Tejido (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 4: Geomalla Biaxial Coextruida (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 5: Geocompuesto Drenante (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 6: Geomantos (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 7: Geocelda (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 8: Geobox (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Figura 9: Drenaje geocompuesto drenante (elaboración propia) .....</i>	17
<i>Figura 10: Refuerzo con geocelda (elaboración propia) .....</i>	17
<i>Figura 11: Protección de geomembrana con geotextil (elaboración propia) .....</i>	18
<i>Figura 12: Protección de geomembrana con geotextil (elaboración propia) .....</i>	18
<i>Figura 13: Geotextil tejido aplicado a separación, terraplenes PETAR Mendoza Argentina (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	19
<i>Figura 14: Geocompuesto drenante, boxcoulbert APP GICA (Pavco Wavin Geosintéticos)</i> .....	20
<i>Figura 15: Geocelda como refuerzo, vías internas Bogotá (Pavco Wavin Geosintéticos) .</i>	20
<i>Figura 16: Manto de control de erosión, Concesión Sabana de Occidente (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	21
<i>Figura 17: Geomalla de fibra de vidrio para repavimentación, Aeropuerto Barranquilla (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	22
<i>Figura 18: Impermeabilización con geomembrana, minera el Roble (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	22
<i>Figura 19: Tipos de tejido de calada (elaboración propia).....</i>	24
<i>Figura 20: Tipo tafetán (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	24
<i>Figura 21: Tipo sarga (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	25
<i>Figura 22: Tipo raso o satén (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	25
<i>Figura 23: Multifilamento (Pavco Wavin Geosintéticos).....</i>	26
<i>Figura 24: Monofilamento (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	26
<i>Figura 25: Cinta plana (Pavco Wavin Geosintéticos) .....</i>	26
<i>Figura 26: Geotextil tejido de separación (Diseño de Infraestructura con Geosintéticos, 2021, p.103) .....</i>	28
<i>Figura 27: Incremento de la resistencia al corte por la inclusión de geotextil tejido (elaboración propia) .....</i>	29
<i>Figura 28: Interacción por fricción entre un geotextil tejido y el suelo en contacto (elaboración propia) .....</i>	29

<i>Figura 29: Efecto de capilaridad dentro de un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	30
<i>Figura 30: Efecto de flujo en plano a través de un geotextil tejido (elaboración propia) ....</i>	31
<i>Figura 31: Geotextil tejido para separación de subrasantes (Diseño de Infraestructura con Geosinteticos, 2021, p.139)</i> .....	34
<i>Figura 32: Efecto de membrana tensionad, geotextil tejido (Diseño de Infraestructura con Geosinteticos, 2021, p.105)</i> .....	36
<i>Figura 33: Prueba de Carga Cimentación Reforzada con Geotextiles (Diseño de Infraestructura con Geosinteticos, 2021, p.482)</i> .....	38
<i>Figura 34: Mecanismos de Falla en Cimentaciones Reforzada (Diseño de Infraestructura con Geosinteticos, 2021, p.485)</i> .....	39
<i>Figura 35: Esquema General Muro en Suelo Reforzado (Diseño de Infraestructura con Geosinteticos, 2021, p.378)</i> .....	39
<i>Figura 36: Esquema General Refuerzo de Terraplenes Sobre Suelos Blandos (elaboración propia)</i> .....	42
<i>Figura 37: Diagrama de flujo para la fabricación y especificación de un geotextil (elaboración propia)</i> .....	43
<i>Figura 38: efecto GRAB sobre un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	49
<i>Figura 39: Efecto de punzonamiento sobre un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	50
<i>Figura 40: Rasgado trapezoidal sobre un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	51
<i>Figura 41: Criterio de retención con un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	52
<i>Figura 42: Resistencia a la tensión biaxial de un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	53
<i>Figura 43: Interacción suelo con geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	54
<i>Figura 44: Interacción geotextil tejido con geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	56
<i>Figura 45: Criterio de permeabilidad, flujo de agua a través de un geotextil tejido (elaboración propia)</i> .....	57
<i>Figura 46: Ensayo tensión Grab en un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	60
<i>Figura 47: Ensayo tensión tira ancha en un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> 61	
<i>Figura 48: Ensayo punzonamiento CBR en un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	62
<i>Figura 49: Ensayo rasgado trapezoidal un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> ..	64
<i>Figura 50: Equipo para ensayo de tasa de flujo (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	65
<i>Figura 51: Ensayo de conductividad hidráulica (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	66
<i>Figura 52: Coloración ensayo de conductividad hidráulica (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> . 66	
<i>Figura 53: Equipo para ensayo de tamaño de abertura aparente TAA (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	67
<i>Figura 54: Equipo para ensayo de permitividad y permeabilidad (Pavco Wavin Geosinteticos)</i> .....	70
<i>Figura 55: Equipo de corte directo a gran escala (Ausenco laboratorio geotécnico)</i> .....	72
<i>Figura 56: Esquema típico ensayo geotextil contra geotextil (Ausenco laboratorio geotécnico)</i> .....	72



<i>Figura 57: análisis de estabilidad sin considerar drenaje a través del plano del geotextil (elaboración propia)</i> .....	108
<i>Figura 58: análisis de estabilidad considerando drenaje a través del plano del geotextil (elaboración propia)</i> .....	109

## **Índice Graficas**

<i>Gráfica 1: Análisis de resultados ensayo de resistencia Grab (elaboración propia)</i> .....	93
<i>Gráfica 2: Análisis de resultados ensayo de resistencia Grab, elongación (elaboración propia)</i> .....	93
<i>Gráfica 3: Análisis de resultados ensayo punzonamiento CBR (elaboración propia)</i> .....	94
<i>Gráfica 4: Análisis de resultados ensayo rasgado trapezoidal (elaboración propia)</i> .....	95
<i>Gráfica 5: Análisis de resultados ensayo tamaño de abertura aparente (elaboración propia)</i> .....	95
<i>Gráfica 6: Análisis de resultados ensayo de tensión, tira ancha (elaboración propia)</i> .....	96
<i>Gráfica 7: Análisis de resultados ensayo de elongación a la tensión, tira ancha (elaboración propia)</i> .....	97
<i>Gráfica 8: Análisis de resultados ensayo de corte, adhesión pico (elaboración propia)</i> .....	98
<i>Gráfica 9: Análisis de resultados ensayo de corte, adhesión residual (elaboración propia)</i> .....	98
<i>Gráfica 10: Análisis de resultados ensayo de corte, fricción pico (elaboración propia)</i> .....	99
<i>Gráfica 11: Análisis de resultados ensayo de corte, fricción residual (elaboración propia)</i> .....	99
<i>Gráfica 12: Análisis de resultados ensayo de tasas de flujo a través del plano bajo 200kPa de compresión y gradiente hidráulico de 0.1 (elaboración propia)</i> .....	101
<i>Gráfica 13: Análisis de resultados ensayo de conductividad hidráulica (elaboración propia)</i> .....	102
<i>Gráfica 14: Análisis de resultados ensayo de permeabilidad en el plano (elaboración propia)</i> .....	103

## **Índice Tablas**

<i>Tabla 1: Ficha técnica Mirafi® H2Ri-Series (<a href="https://www.tencategeo.us/es-la/products/Geotextiles-Tejidos/mirafi-h2ri">https://www.tencategeo.us/es-la/products/Geotextiles-Tejidos/mirafi-h2ri</a>)</i> .....	32
<i>Tabla 2: Requisitos de propiedades de resistencia del geotextil, norma M288-17 (elaboración propia)</i> .....	44
<i>Tabla 3: Requisitos de geotextiles para drenaje, norma M288-17 (elaboración propia)</i> ....	45
<i>Tabla 4: Requisitos de geotextiles para separación, norma M288-17 (elaboración propia)</i> .....	46
<i>Tabla 5: Requisitos de geotextiles para estabilización, norma M288-17 (elaboración propia)</i> .....	47
<i>Tabla 6: Resultado ensayo de tensión Grab ASTM D4632 (elaboración propia)</i> .....	81

<i>Tabla 7: Resultado ensayo de tensión tira ancha ASTM D4535 (elaboración propia).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 8: Resultado ensayo de punzonamiento CBR ASTM D6241 (elaboración propia) ..</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 9: Resultado ensayo de rasgado trapezoidal ASTM D4533 (elaboración propia)....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 10: Resultado ensayo de tasa de flujo en el plano ASTM D4716* (elaboración propia) .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 11: Resultado ensayo de conductividad hidráulica* (elaboración propia).....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 12: Resultados ensayo de tamaño de abertura aparente (ASTM D4751) (elaboración propia) .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 13: Resultados ensayo de permeabilidad (ASTM D4491) (elaboración propia) .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 14: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico).....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 15: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico) .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 16: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PET y PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico).....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 17: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PET y PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico).....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 18: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PET (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico).....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 19: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PET (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico).....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 20: Matriz de decisión, geotextil tejido (elaboración propia).....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 21: Geometría muro en suelo reforzado (reporte Geosoft) .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 22: Propiedades mecánicas de los materiales que conforma el modelo (reporte Geosoft) .....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 23: Resultados estabilidad interna muro en suelo reforzado (reporte Geosoft).....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 24: Resultados estabilidad externa muro en suelo reforzado (reporte Geosoft).....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 25: Parámetros de entrada diseño de estabilización (reporte Geosoft) .....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 26: Resultados, espesor material de mejoramiento con geotextil tejido (reporte Geosoft) .....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 27: Resultados, cálculo del caudal de infiltración máximo para un modelo típico (reporte Geosoft) .....</i>	<i>111</i>

## Introducción

Las infraestructuras en muchas partes del país y el mundo se ven afectadas por la combinación de factores geológicos, hidrológicos y antropogénicos el cual genera la necesidad de desarrollar productos innovadores como los geosintéticos, pues a lo largo de los años han demostrado ser una solución efectiva en desafíos de ingeniería geotécnica y civil al ofrecer alternativas rentables y sostenibles.

Los geosintéticos surgieron en la ingeniería como la respuesta a la pregunta más frecuente, ¿Cómo garantizar la sustentabilidad ambiental y económica de los proyectos? Con todos los avances tecnológicos y la importancia que tienen las obras civiles en el impacto ambiental, desde hace algunos años se iniciaron investigaciones permanentes de la mano de las más prestigiosas universidades e institutos, convirtiendo a los geosintéticos en una industria dinámica, en constante innovación y generación de soluciones

## Objetivos

- Investigar las aplicaciones de los geosintéticos en varias obras geotécnicas y de pavimentación, considerando sus ventajas y el aumento de su utilización en diferentes contextos.
- Analizar los diversos tipos de geotextiles tejidos, examinando las variaciones en su composición, tipo de hilo y tipo de tejido, y cómo estas características influyen en su comportamiento y sus aplicaciones.
- Evaluar el comportamiento de los geotextiles tejidos como elementos de separación, refuerzo y drenaje a través de ensayos de laboratorio y análisis de datos, con el objetivo de comprender mejor su desempeño y su idoneidad para diferentes escenarios de ingeniería.

# Capítulo I

## 1.0 Marco Teórico

Históricamente son muchos los geosintéticos que se han desarrollado y se han utilizado para diferentes aplicaciones, dentro de estas aplicaciones cumplen funciones específicas en pro de la estabilizada y buen comportamiento de la estructura. Parte de esta investigación es identificar cuáles son los principales tipos de geosintéticos que actualmente se utilizan, cuáles son sus funciones y aplicaciones, con el fin de generar un aporte a la ingeniería con este nuevo desarrollo.


### 1.1. Geosintéticos

Los geosintéticos son materiales que denominamos productos terminados, estos principalmente son fabricados a partir de resinas plásticas derivadas del petróleo que pasan por un proceso de extrusión y confección o fundido. Son utilizados en diferentes campos de la ingeniería civil como elementos de separación, filtración, drenaje, refuerzo, protección, impermeabilización y control de erosión.


#### 1.1.1. Tipos de geosintéticos

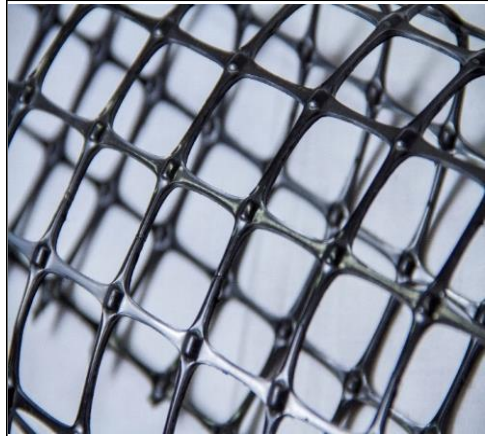
En el mundo existen diferentes tipos de geosintéticos que se han desarrollado y evolucionado para cumplir diferentes funciones, el uso de estos elementos se ha incrementado en función de su aporte, innovación y sustentabilidad.


Los geosintéticos o familias de geosintéticos más utilizados son:


GEOSINTÉTICO GEOMEMBRANA	CONFORMACIÓN	FUNCIÓN
 <p>Figura 1: Geomembrana de PVC y Geomembrana de HDPE (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>	<p>Barreras sintéticas de muy baja permeabilidad, fabricadas a base de un polímero termoplástico</p>	<p>Utilizadas principalmente para revestir e impermeabilizar superficies</p>

GEOTEXTIL NO TEJIDO		
 <p>Figura 2: Geotextil No Tejido (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>	<p>Son elementos textiles no tejidos, fabricados a partir de la unión desordenada de fibras sintéticas derivadas de polímeros</p>	<p>Se utilizan principalmente para drenaje y separación de materiales</p>

GEOTEXTIL TEJIDO		
 <p>Figura 3: Geotextil Tejido (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>	<p>Son elementos textiles continuos fabricados a partir del tejido de filamentos continuos</p>	<p>Aplicados principalmente para separación y refuerzo de materiales pétreos</p>

GEOMALLA		
	<p>Son elementos compuestos por filamentos continuos, que pueden ser extruidos (una sola pieza), tejidos o soldados, que forman un entramado</p>	<p>Sirve para reforzar materiales pétreos a partir de la trabazón de agregados</p>
<p>Figura 4: Geomalla Biaxial Coextruida (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>		

GEOCOMPUESTOS DRENANTES		
	<p>Es la unión de dos o tres geosintéticos en uno solo, principalmente geotextiles y geored</p>	<p>Cumplen la función de separación, conducción y drenaje</p>
<p>Figura 5: Geocompuesto Drenante (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>		

MANTOS O GEOMANTAS		
	<p>Sistema conformado por filamentos laminares continuos o discontinuos de dos o tres dimensiones</p>	<p>Es utilizada para el almacenamiento de material orgánico, que propicia la vegetación y controla la erosión superficial</p>
<p>Figura 6: Geomantos (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>		

GEOCELDA		
	<p>Elementos fabricados a partir de un polímero termoplástico en forma tridimensional equivalente a un panal, sus paneles están comunicados entre sí y realizan la función de confinamiento</p>	<p>Su función es el refuerzo o contención de suelo por medio del confinamiento lateral de las partículas de material, conformado un estrato o espesor estable</p>
<p>Figura 7: Geocelda (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>		

GEOCONTENEDORES		
	<p>Elementos fabricados a partir de geotextiles tejidos de propiedades mecánicas e hidráulicas especiales, tienen formas ovaladas o rectangulares para confinar materiales pétreos</p>	<p>Se utilizan en defensas ribereñas y costeras o desecación de lodos</p>
<p>Figura 8: Geobox (Pavco Wavin Geosintéticos)</p>		

### 1.1.2. Funciones de los geosintéticos

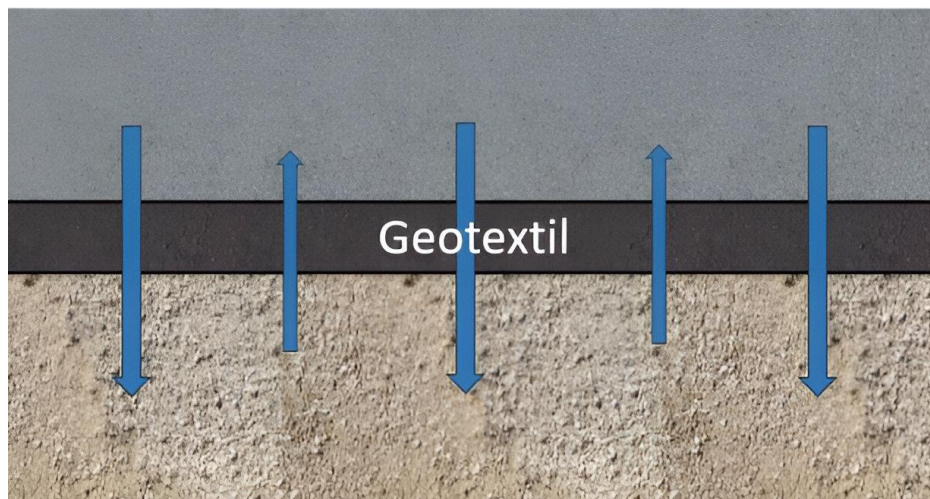
Los geosintéticos cumplen diversas funciones, los podemos dividir en:

- **Separación:** Es la función que por medio de geosintéticos porosos y flexibles, previenen la mezcla de dos estratos o materiales diferentes evitando la contaminación entre ellos, conservando las cualidades físicas y mecánicas de cada uno. Principalmente se utilizan geotextiles tejidos y no tejidos.



*Figura 5: Filtración a través de un geotextil (elaboración propia)*

- **Filtración:** Es la función que por medio de geosintéticos porosos, flexibles y permeables, 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. Principalmente se utilizan geotextiles tejidos y no tejidos.



*Figura 5: Filtración a través de un geotextil (elaboración propia)*

- **Drenaje:** A través de geosintéticos, se permite un régimen de flujo entre dos estratos, transportando fluidos o gases en el plano del geosintético aun sometido a un trabajo de compresión o carga, en estos casos principalmente se utilizan geocompuestos drenantes conformados por geotextiles NT y una geored de HDPE.



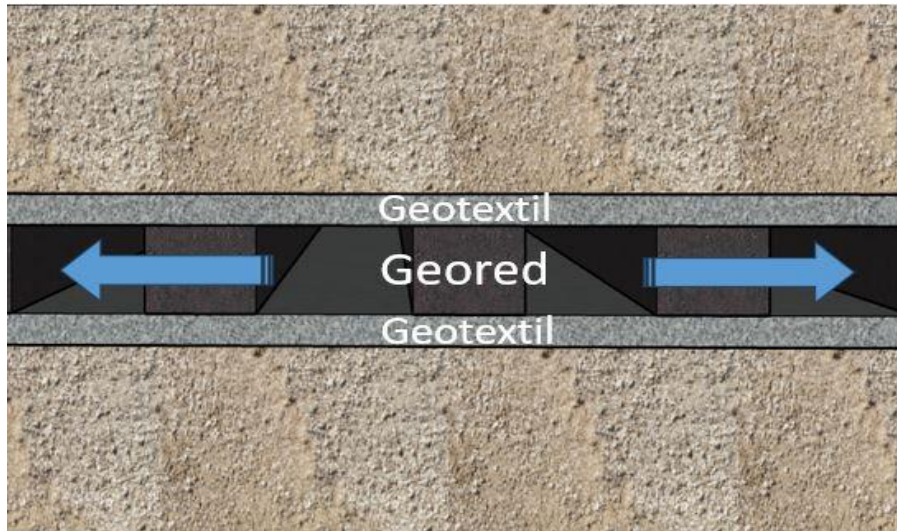


Figura 1: Drenaje geocompuesto drenante (elaboración propia)

- **Refuerzo:** Es la función que por medio de geosintéticos, se aumentan las propiedades mecánicas del suelo, mejorando la resistencia al corte y la capacidad de carga, teniendo como resultado una superficie más estable; esto se logra por medio de la distribución de cargas, resultado de la interacción por trabazón, fricción y confinamientos a la que son los geosintéticos.

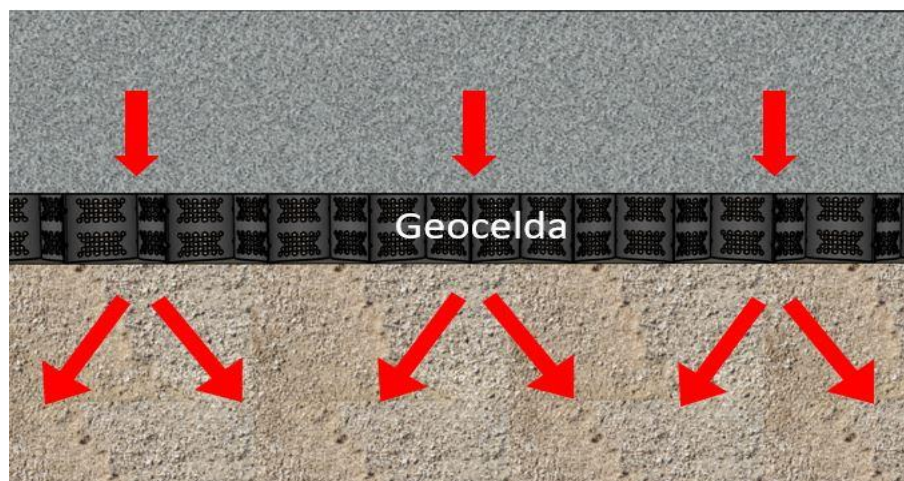


Figura 2: Refuerzo con geocelda (elaboración propia)

- **Protección:** Es la función de recibir, absorber y mitigar una fuerza ejercida por un elemento punzante contra otros elementos que puedan romper o dañar daño por el efecto de dicha fuerza.

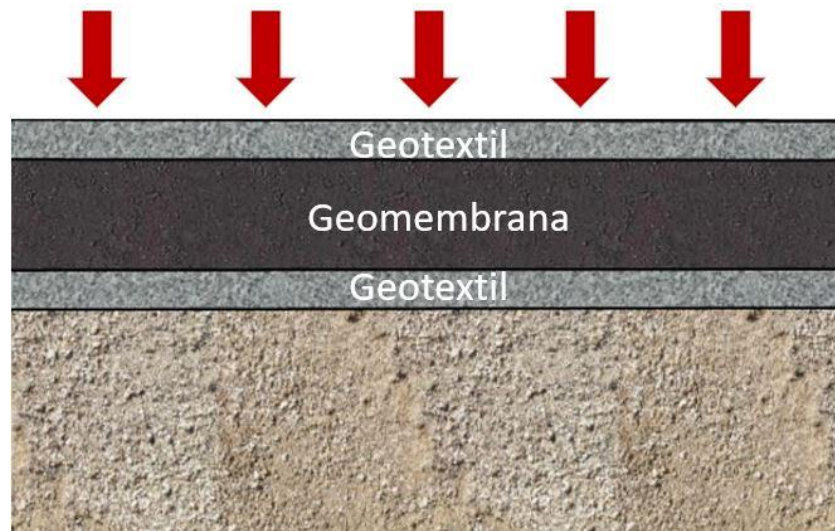


Figura 3: Protección de geomembrana con geotextil (elaboración propia)

- **Impermeabilizar:** Es la función que por medio de la cual se coloca una frontera o barrera impermeable, aislando dos estratos diferentes evitando la impregnación de uno con el otro, controlando el flujo de cualquier fluido a través del elemento.

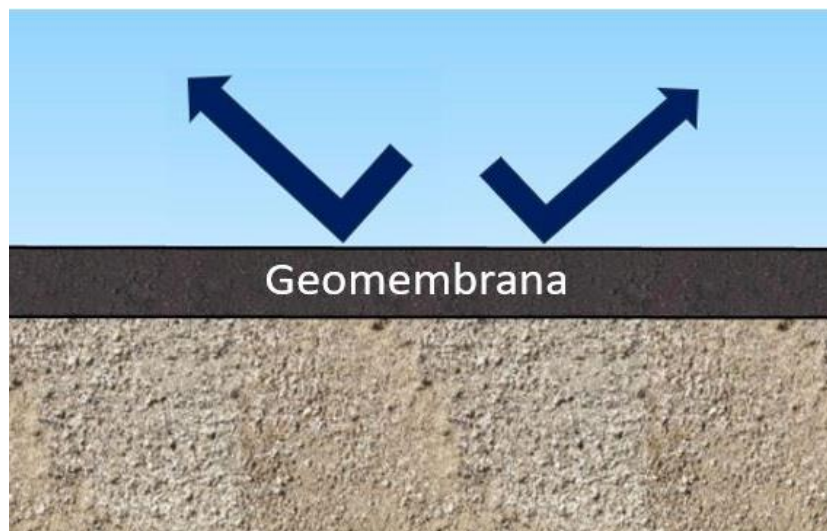


Figura 4: Protección de geomembrana con geotextil (elaboración propia)

### 1.1.3. Aplicaciones de los geosintéticos

Dentro de las principales aplicaciones de los Geosintéticos tenemos: separación y estabilización, sistemas de subdrenaje, refuerzo de carreteras, pavimentación y repavimentación, estructuras de contención, control de erosión, sistemas de impermeabilización, defensas ribereñas y costeras.

- **Separación y estabilización:** Uno de los problemas más frecuentes en la ingeniería civil es la construcción de carreteras, locaciones o terraplenes sobre suelos blandos, debido a la alta deformabilidad de la subrasante y la contaminación de los materiales granulares. El uso de geosintéticos reduce espesores de material granular al reemplazar parte de su aporte estructural con el aporte a tensión de los geotextiles, evita la contaminación de capas granulares generando una barrera de separación entre suelos.



*Figura 5: Geotextil tejido aplicado a separación, terraplenes PETAR  
Mendoza Argentina (Pavco Wavin Geosintéticos)*

- **Sistemas de subdrenaje:** El manejo del agua es uno de los desafíos de más importante de la ingeniería, su presencia puede causar diferentes problemas sobre las obras construidas. Los geosintéticos pueden ser aplicados como elementos de subdrenaje, estos juegan un papel muy importante ya que se encargan de captar y

evacuar rápidamente el agua presente en las estructuras, gracias a su alta permeabilidad y gran tasa de flujo. El uso de sistemas de subdrenaje elimina exceso de agua, alivia presiones hidrostáticas, evitan los procesos de erosión interna, la aplicación de geocompuestos drenantes facilita la instalación de sistemas de drenaje y utiliza menos recursos naturales.



*Figura 6: Geocompuesto drenante, boxcoulbert APP GICA (Pavco Wavin Geosintéticos)*

- **Refuerzo:** muchas de los materiales utilizados en la construcción de obras, suelos locales o suelo de relleno, no presentan las propiedades mecánicas o de resistencia suficientes para soportar las cargas o condiciones particulares de un proyecto. Es allí donde los geosintéticos (geotextiles, geomallas, geoceldas) se puede utilizar como refuerzo, cuando lo incluimos dentro de una estructura de suelo ellos pueden incrementar las propiedades mecánicas, aumentado la resistencia al corte, mejorando la capacidad de carga y disminuyendo las deformaciones.



*Figura 7: Geocelda como refuerzo, vías internas Bogotá (Pavco Wavin Geosintéticos)*

- **Control de Erosión:** la erosión es un problema que deteriora los taludes, canales, márgenes de río y márgenes costeros, principalmente es causada por el avance descontrolado de un fluido. Los geosintéticos funcionan como elemento de protección, protegiendo el suelo erosionable, devolviendo la cobertura vegetal al terreno natural, controlando y canalizando las aguas de escorrentía superficial, mitigando el impacto de las mareas sobre las zonas costeras y evitando el arrastre de partículas de suelo en el borde de un río.



*Figura 8: Manto de control de erosión, Concesión Sabana de Occidente (Pavco Wavin Geosintéticos)*

- **Pavimentación y repavimentación:** una estructura de pavimento de una vía en operación se ve expuesta a excesos de humedad, tráfico de vehículos pesados y pérdida en la resistencia de los materiales. Esto puede generar la aparición de fisuras y deformaciones a nivel de rasante. Los geosintéticos ayudan a mitigar esos problemas, aumentando la resistencia a la tensión e impermeabilizando la carpeta asfáltica.



*Figura 9: Geomalla de fibra de vidrio para repavimentación, Aeropuerto Barranquilla (Pavco Wavin Geosintéticos)*

- **Sistema de impermeabilización:** en proyectos como reservorios, canales, lagunas de oxidación, rellenos sanitarios y túneles, uno de los grandes problemas es el control de la migración de fluidos a través de la construcción de sistemas impermeables. La Impermeabilización en las obras de infraestructura con geomembranas y Membranas de túneles es cada día más frecuente, estas soluciones impiden de manera eficiente la entrada de líquidos al terreno o a las obras subterráneas, garantizando durabilidad de las estructuras.



*Figura 10: Impermeabilización con geomembrana, minera el Roble (Pavco Wavin Geosintéticos)*

## **1.2. Geotextiles Tejidos**

Los geotextiles tejidos son aquellos confeccionados por cintas, filamentos, multifilamentos o monofilamentos entrecruzados o entrelazados por una máquina de tejer, existen diferentes tipos de tejidos, estos pueden ser tejidos de calada o tricotados.

Los Tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Asimismo, su estructura es plana.

Los tricotados son estructuras tridimensionales, fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotasas y circulares, o Ketten y Raschel.

Asimismo, existen varios tipos de Geotextiles Tejidos según la forma y composición de los filamentos que al ser entrelazados forman el Geotextil, en las siguientes fotografías se observa una vista microscópica de cada uno de estos Geotextiles.

### **1.2.1. Tipos de geotextiles tejidos**

En esta investigación vamos a estudiar los geotextiles de calada, ya que son los utilizados en obras de ingeniería para separación y refuerzo. Los geotextiles tejidos se pueden clasificar de diferentes maneras, dependiendo del tipo de tejido, con base a la materia prima y dependiendo del tipo de hilo o filamento que se utiliza para su confección.

#### **1.2.1.1. Tipos de tejido**

En los tejidos de calada aplicados a la ingeniería civil, existen variaciones en la apariencia o textura de las telas, estas dependen del curso o movimiento con el cual se intercalan los hilos de urdimbre y trama, estas variantes del tejido se denominan ligamentos:

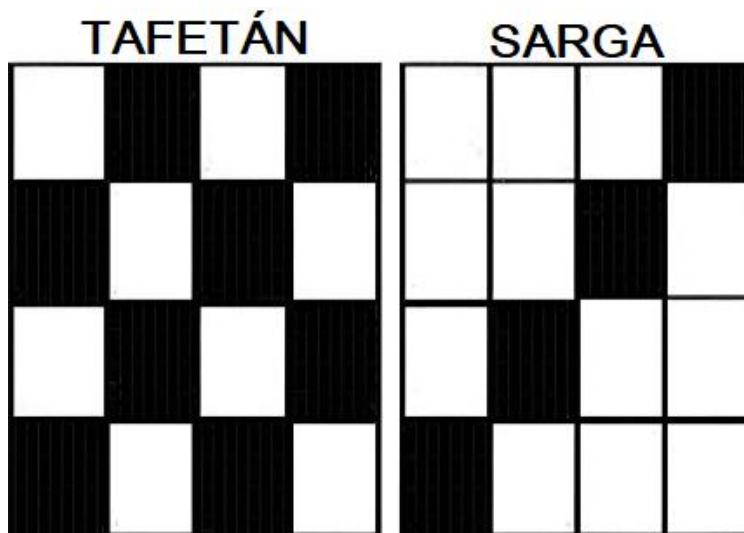


Figura 11: Tipos de tejido de calada (elaboración propia)

- **Ligamento tafetán:** Es la textura más simple y utilizada. Su curso consta de 2 hilos y de 2 pasadas, evolucionando unas y otras en alternancia. Es un ligamento neutro. El método básico de tejido, en el que cada hilo de la urdimbre se entrelaza con el hilo de la trama, se denomina tejido liso o de tafetán.

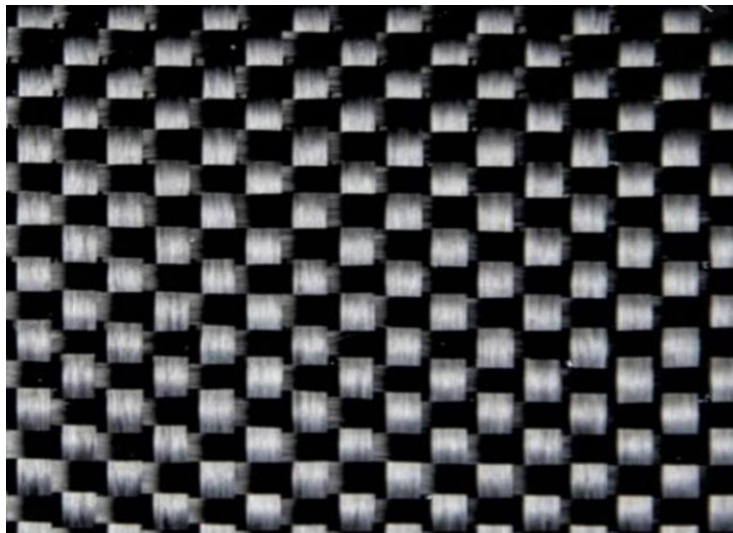
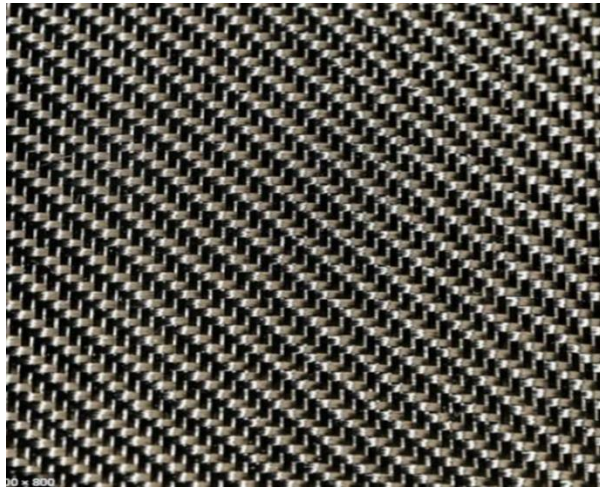


Figura 12: Tipo tafetán (Pavco Wavin Geosintéticos)

- **Ligamento sarga:** Presenta bordones inclinados en sentido diagonal hacia la izquierda o hacia la derecha, según sea su escalonado. El tejido cruzado se

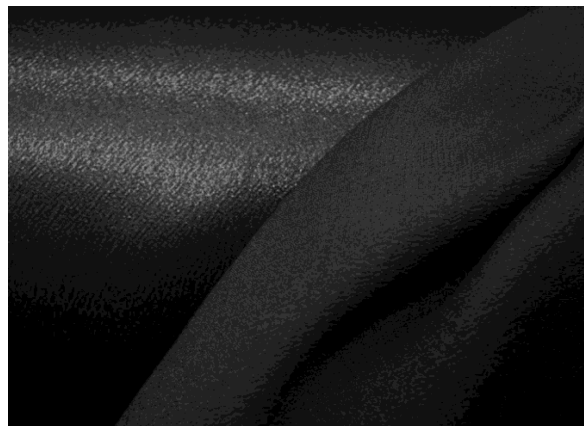


caracteriza por las líneas diagonales muy marcadas producidas por los hilos. Este efecto puede observarse en tejidos como la espiguilla, el cheviot, el twill, la gabardina, la mezclilla o denim y en el dril. El tejido cruzado proporciona a la tela una gran resistencia, útil para prendas de trabajo.



*Figura 13: Tipo sarga (Pavco Wavin Geosintéticos)*

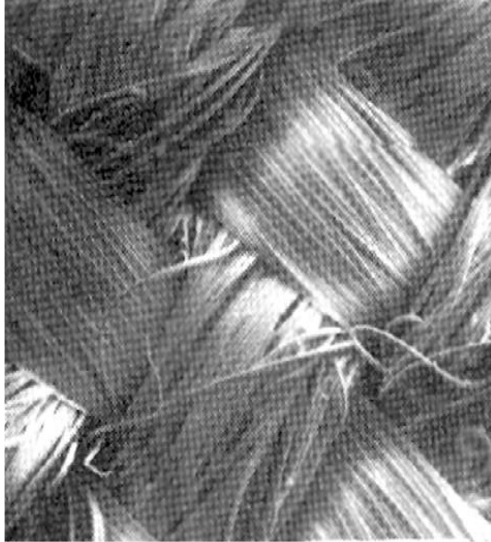
- **Ligamento de raso:** Es un ligamento simple cuyos puntos de ligadura quedan separados y equidistantes entre sí. Produce una superficie más deslizante que los otros, por esta razón no son muy utilizados en la conformación de geosintéticos. Los tejidos de raso o satén (satén) tienen una textura más densa que los tejidos cruzados, pero su principal característica es la suavidad que se consigue a expensas de la resistencia. Los más conocidos son el satén de crespón o crepé satén, la piel de ángel, el raso y el damasco.



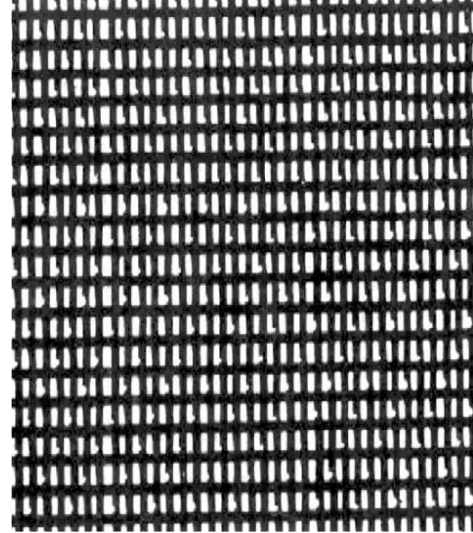
*Figura 14: Tipo raso o satén (Pavco Wavin Geosintéticos)*

### 1.2.1.2. Tipos de hilos

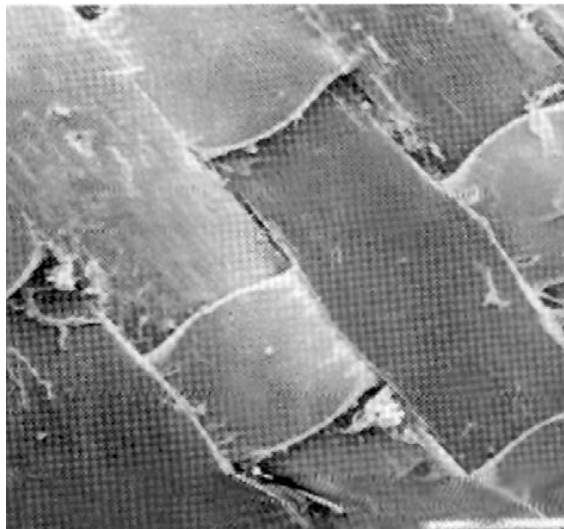
En la confección de geotextiles tejidos se utilizan diferentes tipos de hilos o filamentos, los más conocidos son: multifilamento, monofilamento y cinta plana:



*Figura 15: Multifilamento (Pavco Wavin Geosintéticos)*



*Figura 16: Monofilamento (Pavco Wavin Geosintéticos)*



*Figura 17: Cinta plana (Pavco Wavin Geosintéticos)*

### 1.2.1.3. Materia prima

Los geotextiles tejidos utilizados en aplicaciones de separación y refuerzo para obras de ingeniería son fabricados a partir de resinas plásticas transformadas, las principales son las siguientes:

- **Polietileno (PE):** polímero resultante de la polimerización de monómeros de etileno. Sus propiedades mecánicas están fuertemente relacionadas con el alargamiento de las cadenas moleculares, que pueden tener centenas de miles de pesos moleculares. El polietileno y el polipropileno poseen muchas similitudes químicas.
- **Polipropileno (PP):** es un polímero termoplástico semicristalino, obtenido por medio de la polimerización de un monómero propeno, siendo el material más utilizado en la fabricación de geosintéticos. El PP tiene una estructura semicristalina, que le confiere rigidez elevada, buenas propiedades de tracción y óptima resistencia a los agentes químicos y biológicos, siendo recomendado para obras ambientales.
- **Poliéster (PET):** el tipo de poliéster más utilizado en la fabricación de geotextiles tejidos es el polietileno tereftalato, que es un polímero de condensación de ácido tereftalato y etilenglicol. Difiere de la mayoría de los polímeros utilizados en la fabricación de geotextiles porque su estructura molecular contiene oxígeno. Cuando los geosintéticos requieren alta resistencia a la tracción, utilizan cadenas moleculares más pesadas, son sensibles a sufrir de hidrólisis comprometiendo la durabilidad del geotextil.
- **Poliamida (PA):** las poliamidas son conocidas como nailon. La poliamida una combinación de propiedades, incluyendo la ductilidad, resistencia o desgaste a la abrasión, baja rugosidad, baja permeabilidad a gases y buena resistencia química. Sus limitaciones incluyen la tendencia a absorber la humedad con alteraciones en la propiedades mecánicas y volumétricas, también una resistencia limitada a agentes químicos y biológicos.
- **Polivinilo alcohol (PVA):** es insoluble en agua, utilizado en geosintéticos y generalmente transformado en fibras por medio de tres operaciones sucesivas: disolución, alargamiento y terminado. De la fibra resultante se obtiene una tenacidad muy alta, un alto modulo y baja deformación.

## 1.2.2. Funciones de los geotextiles tejidos

Actualmente son varias las funciones que cumplen los geotextiles tejidos dependen del capo de aplicación, las más conocidas son separación y estabilización o refuerzo, aunque hay algunos desarrollos similares a este estudio donde los geotextiles tejidos se puede usar como un medio drenante.

### 1.2.2.1. Separación con geotextiles tejidos

En este caso la función de un geotextil como elemento continuo, el cual tiene un tamaño de abertura aparente mínimo, es separa un material de otro, por lo general se separan dos materiales pétreos o suelos de diferentes características para que cada uno mantenga sus propiedades en el paso del tiempo.

En otros proyectos se puede utilizar el geotextil tejido como elemento de protección, en estos casos el geotextil tejido separa un material o elemento vulnerable al corte, punzonamiento, rasgadura o daño, de un elemento que por su geometría o forma puede alterar el comportamiento del primer material.

El Geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un Geotextil que retenga las partículas de suelo, evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión o punzonamiento bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por las posibles irregularidades del suelo de fundación.

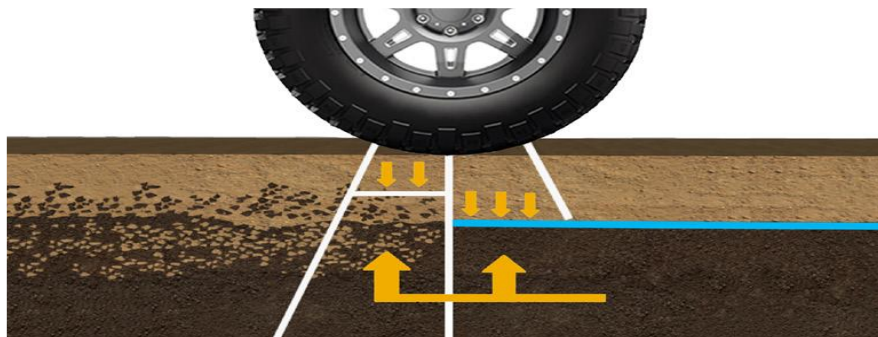


Figura 18: Geotextil tejido de separación (Diseño de Infraestructura con Geosintéticos, 2021, p.103)

### 1.2.2.2. Estabilización o refuerzo con geotextiles tejidos

En muchas ocasiones es usual encontrar suelos poco competentes para soportar cargas, la estabilización o refuerzo con Geosintéticos permite mejorar el desempeño del suelo, formando un sistema o un elemento estable.

Gracias a la resistencia a la tensión que tienen los geotextiles tejidos, su inclusión dentro de un espesor o capa de material pétreo compactado incrementa la resistencia al corte del sistema suelo-geotextil aumentando su capacidad de carga. Adicionalmente, gracias a la interacción que genera el geotextil tejido con el material de relleno, fricción entre suelo-geotextil, existe un confinamiento lateral que incrementa el módulo de reacción de la capa o material reforzado.

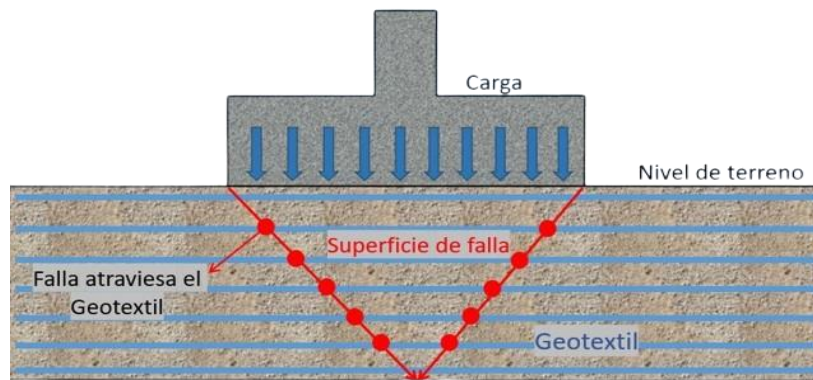


Figura 19: Incremento de la resistencia al corte por la inclusión de geotextil tejido (elaboración propia)

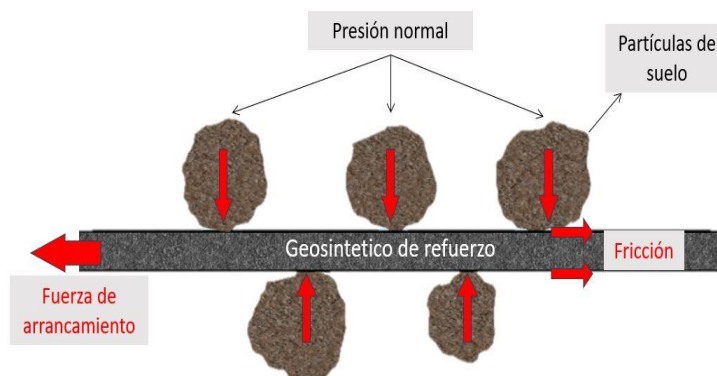


Figura 20: Interacción por fricción entre un geotextil tejido y el suelo en contacto (elaboración propia)

Estos dos fenómenos posibilitan la opción de utilizar el geotextil tejido en diferentes aplicaciones, como elemento de estabilización y refuerzo.

### 1.2.2.3. Drenaje con geotextiles tejidos

Son muy pocos los desarrollos o análisis que se han realizado con geotextiles tejidos como elemento de drenaje. Normalmente se utilizan geocompuestos drenantes para el manejo del agua dentro de una estructura los cuales poseen alta tasa de flujo en el plano bajo diferentes cargas de compresión o aplastamiento.

El drenaje a través de los geotextiles tejidos se puede presentar de dos formas: el primero a través de un efecto de capilaridad que es la capacidad de mover líquido a través de un sistema suelo-geotextil por acción capilar sin necesidad de un gradiente hidráulico o gravedad. El segundo es un drenaje a través del plano donde el equilibrio de un sistema suelo-geotextil permite el movimiento de un líquido a través del plano del geotextil durante el periodo de vida útil de la estructura.



Figura 21: Efecto de capilaridad dentro de un geotextil tejido (elaboración propia)

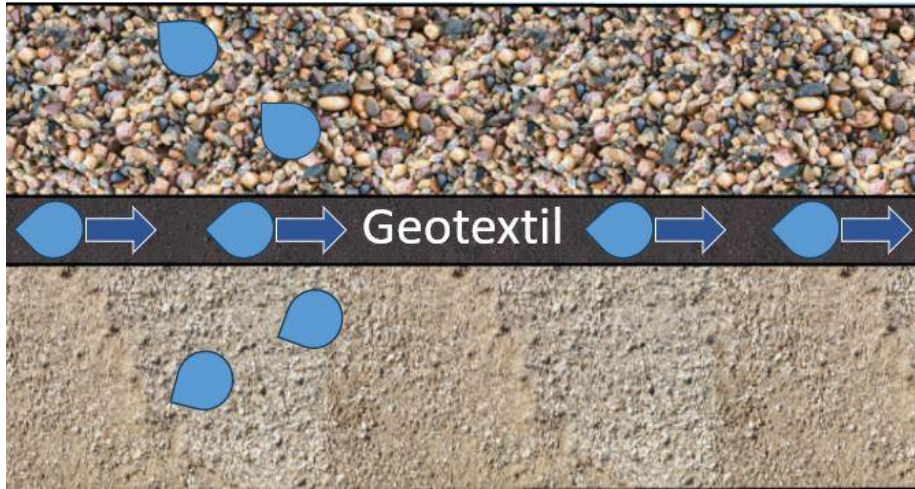


Figura 22: Efecto de flujo en plano a través de un geotextil tejido (elaboración propia)

#### 1.2.2.4. Geotextiles de separación, refuerzo y drenaje

Existen fabricantes de geosintéticos a nivel mundial que han desarrollado geotextiles tejidos con características de drenaje en el plano, combinado resinas plásticas, sin embargo, la información encontrada en la red y banco de bibliotecas digitales es nula, esto debió a que las empresas fabricantes guardan con alta confidencialidad sus desarrollos y procesos de fabricación.

A continuación, se presentan las características y fichas técnicas de productos similares, que reportan los fabricantes en sus páginas web.

##### **Geotextil tejido integral Mirafi® H2Ri:**

**Capacidad Drenante:** Fibras especiales 4DGTM, higroscópicas e hidrofílicas que proveen una acción drenante a través del plano horizontal del geosintético sin necesidad de gradiente hidráulico

**Refuerzo:** Mayores propiedades de módulo a tensión que los principales productos de estabilización.

**Separación y Filtración:** La construcción única de doble capa proporciona una amplia gama de tamaños de poro para brindar una excelente separación, una filtración superior y características de flujo similar a las de un filtro granular bien graduado.

**Interacción con el Suelo:** Excelente confinamiento del suelo, lo que resulta en una mayor distribución de la carga.

**Durabilidad:** Resistencia a daños contra la instalación de esfuerzos moderados a severos.

(<https://www.tencategeo.us/es-la/products/Geotextiles-Tejidos/mirafi-h2ri>)

MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	UNIT	MINIMUM AVERAGE	
			ROLL VALUE	
			MD	CD
Wide Width Tensile Strength	ASTM D4595	lbs/ft (kN/m)	5280(77.0)	5280(77.0)
Wide Width Tensile Strength @ 2% strain	ASTM D4595	lbs/ft (kN/m)	480(7.0)	1080(15.8)
MAXIMUM OPENING SIZE				
Apparent Opening Size (AOS)	ASTM D4751	U.S. Sieve (mm)	40 (0.425)	
MECHANICAL PROPERTIES	TEST METHOD	UNIT	MINIMUM ROLL VALUE	
Permittivity	ASTM D4491	sec-1	0.4	
Flow Rate	ASTM D4491	gal/min/ft <sup>2</sup> (l/min/m <sup>2</sup> )	30(1222)	
MINIMUM TEST VALUE				
Pore Size (050)	ASTM D6767	microns	85	
Pore Size (095)	ASTM D6767	microns	195	
Wet Front Movement <sup>1</sup> (24 minutes)	ASTM C1559 <sup>2</sup>	inches	6.0 Vertical direction	
Wet Front Movement <sup>1</sup> (983 minutes) Zero Gradient			73.3 Horizontal direction	

Tabla 1: Ficha técnica Mirafi® H2Ri-Series (<https://www.tencategeo.us/es-la/products/Geotextiles-Tejidos/mirafi-h2ri>)

En la ficha técnica geotextil tejido no se reporta un caudal por capilaridad o tasa de flujo en el plano.

Stabilenka Xtreme es un geotextil extremadamente rígido, resistente a la fluencia y resistente a los álcalis. Puede usarlo como refuerzo en el suelo cuando los productos convencionales o las materias primas ya no cumplen con los altos requisitos específicos del proyecto. Estos incluyen, por ejemplo, una limitación estricta de deformaciones o valores de pH muy altos y bajos en el suelo. Debido a las materias primas utilizadas (PVA/PP) y módulos de más de 45.000 kN/m, nuestro tejido de refuerzo ofrece una rigidez a la tracción muy alta junto con una baja tendencia a la fluencia, lo que reduce la deformación estructural bajo cargas a largo plazo.



Resistencias a la tracción inigualables de hasta 2800 kN/m (uniaxial) y 1400 kN/m (biaxial). Módulos superiores a 45.000 kN/m Alta rigidez a la tracción junto con baja fluencia. Alta resistencia a la acción microbiológica, química y física. Solución fiable para suelos muy débiles. Alta durabilidad en suelos con valores de pH de 2 a 13

### **1.2.3. Aplicaciones de los geotextiles tejidos**

Actualmente los geotextiles tejidos son utilizados en múltiples aplicaciones dentro del a ingeniera civil, en todos los geotextiles prestan una función de separación, refuerzo o estabilización, garantizando la estabilidad de la estructura a corto mediano y largo plazo. A continuación, conoceremos sus principales aplicaciones dentro de ingeniería civil.

#### **1.2.3.1. Separación de subrasantes con geotextiles tejidos**

Para que un Geotextil cumpla correctamente la función de separación entre el suelo de Subrasante y una capa de material granular, la capacidad de soporte del suelo debe ser tal que el CBR de la subrasante esté entre 4% y 10%. En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el Geotextil, el cual se diseña como separación y no como estabilización. Cuando el CBR es menor del 4%, el Geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como estabilización, factor que influye totalmente en el diseño por separación. En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 4% se debe adelantar el diseño por estabilización (Geosintéticos de refuerzo) y verificar los criterios del diseño por separación cuando el Geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del Geotextil como separación en la interfaz subrasante – capas granulares, a continuación, se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de cómo el Geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

En el caso de las estructuras de Pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

- Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
- Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).



*Figura 23: Geotextil tejido para separación de subrasantes (Diseño de Infraestructura con Geosintéticos, 2021, p.139)*

### **1.2.3.2. Estabilización de subrasantes con geotextiles tejidos**

En muchas ocasiones es usual encontrar suelos poco competentes para soportar cargas generadas por el tráfico, la estabilización con Geosintéticos permite mejorar el desempeño de la subrasante, para generar un elemento estable a la estructura de pavimento disminuyendo los esfuerzos transferidos sobre la subrasante y generando menores deformaciones a la estructura. Como resultado, se tiene una sección reforzada que permite una mayor aplicación de cargas y menores deformaciones que una sección sin refuerzo.

Geosintéticos como Geomallas Biaxiales Coextruidas, Geotextiles Tejidos y Geoceldas, han sido empleados como herramientas de refuerzo para incrementar la Resistencia de carreteras (Giroud and Noiray, 1981).

Varios métodos se han presentado para dimensionar este tipo de estructuras, entre otros:

- US Forrest Service Method (Steward et al, 1977).
- Giroud and Noiray (1981).
- Cuerpo de ingenieros de Estados unidos (2003).
- Giroud - Han (2004).

La función de estabilización o refuerzo de los Geotextiles consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de la distribución de esfuerzos hacia el suelo de sitio. Los Geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión, pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre generalmente en los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, como en las carreteras, el Geotextil para estabilización, permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de las estructuras.

Un Geotextil cumple con la función de estabilización y refuerzo cuando se presentan las siguientes características:

- $CBR \leq 4\%$ , incremento del CBR equivalente a nivel de Subrasante.
- Baja capacidad de carga, deficiente resistencia al corte de los materiales pétreos.
- Suelos blandos deformables

Cuando tenemos estas condiciones se presentan deformaciones importantes que generan esfuerzos de tensión en el Geotextil.

La estabilización o refuerzo con Geotextiles soporta la fuerza de tensión del suelo, disipando las cargas aplicadas (ángulo de dispersión) y aumentando la resistencia al corte del suelo, con el incremento del esfuerzo normal que actúa en las potenciales superficies de corte. En efecto, cuando el suelo se deforma a lo largo de una superficie de ruptura (en cortante), se generan deformaciones a compresión y tracción. El Geotextil comienza a

actuar en forma eficiente cuando su inclinación iguala la dirección en la que se haya desarrollado la deformación por tracción en el suelo deformado, entonces la deformación por corte del suelo impone una fuerza de tensión en el Geotextil de refuerzo.

La estabilización o refuerzo con Geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de Geotextil, reduciendo así esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el Geotextil (parte convexa del Geotextil). Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular de las carreteras, la acción de membrana es muy importante para controlar el ahuellamiento en las carreteras y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.



*Figura 24: Efecto de membrana tensionada, geotextil tejido (Diseño de Infraestructura con Geosintéticos, 2021, p.105)*

### **1.2.3.3. Refuerzo de cimentaciones con geotextiles tejidos**

El uso de suelos reforzados en el mejoramiento de la capacidad portante en cimentaciones superficiales ha sido de bastante interés desde ya hace mucho tiempo, lo

que ha llevado al desarrollo de estudios experimentales, numéricos y analíticos que permitan investigar el comportamiento de diferentes tipos de suelos de fundación reforzados. Quizá fueron Biquet y Lee en 1975 quienes empezaron a profundizar en dicho estudio, seguidos de otros, entre los que se registran, Huang y Tatsuoka 1990 y Kurian et al 1997. Estas investigaciones persiguen la determinación de parámetros y variables que podrían contribuir en la determinación de la relación de Capacidad Portante BCR (Bearing capacity ratio) que es definida como la relación entre la capacidad portante del suelo reforzado a la del suelo de fundación sin reforzar.

El primer estudio experimental es el de Biquet and Lee (1975), en el que estudiaron el mejoramiento de la capacidad portante de arenas compresibles usando tiras metálicas, encontrando una mejora importante. Así mismo, resultó ser una solución más económica al menos inicialmente, pues debido al efecto de corrosión que aquejaba las tiras metálicas a mediano y largo plazo los beneficios económicos se veían menguados. Afortunadamente con el uso de los Geosintéticos el efecto desfavorable de la corrosión se ha eliminado por completo.

Según lo señalado en la literatura se distinguen dos mecanismos de refuerzo fundamentales que contribuyen al incremento de la capacidad portante de fundaciones en suelo reforzado, el efecto de confinamiento o restricción lateral y el efecto de membrana.

Además de los análisis de equilibrio límite que se han desarrollado con base en mecanismos de falla propuestos para suelos de fundación reforzados, buscando generar nuevas ecuaciones para evaluar la capacidad portante y que consideren el efecto de confinamiento y de membrana de los refuerzos, Schlosser et al (1983) planteó que el desempeño de zapatas sobre fundaciones de suelo reforzado, son muy similares al de una zapata sobre una fundación no reforzada con una profundidad de desplante adicional igual a la profundidad de la zona reforzada, efecto que él ha denominado “deep footing”.

El Geosynthetic Research Institute adelantó estudios de laboratorio empleando suelos de fundación finos, con saturaciones por encima del límite plástico, en los cuales se aplicó un reforzamiento con diferente número de capas de Geotextil Tejido. Tal como se observa en la Figura 3, correspondiente a una cimentación reforzada con Geotextil sobre arcilla blanda saturada, a mayor número de capas de Geotextil de refuerzo mayor incremento en la capacidad de carga de la cimentación. También se observa que a mayor asentamiento

se incrementa la capacidad de soporte, lo cual obedece a que el Geosintético desarrolla más tensión a ciertos niveles de deformación. Considerar un preesfuerzo del Geotextil sería ventajoso para eliminar la deformación requerida antes que un mejoramiento importante sea notado, sin embargo aún no se tiene conocimiento de un método que permita realizarlo a un costo razonable.

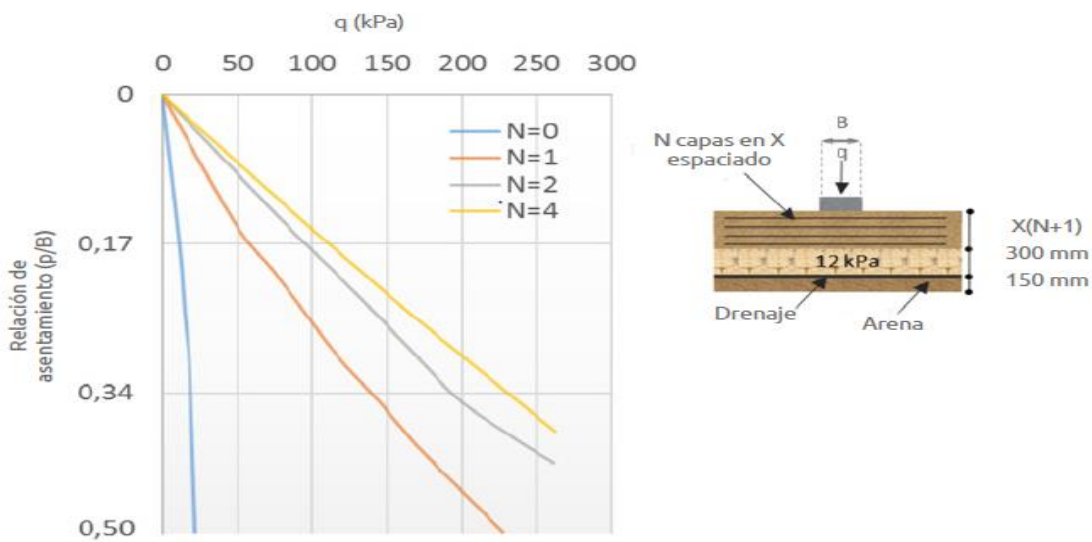


Figura 25: Prueba de Carga Cimentación Reforzada con Geotextiles (Diseño de Infraestructura con Geosintéticos, 2021, p.482)

Si bien permanece la necesidad de seguir investigando el comportamiento de los suelos de fundación reforzados, el diseño debería considerar entonces el mejoramiento de la capacidad portante solo luego de un asentamiento relativamente alto. En este caso, habría que considerar en el diseño que los geosintéticos de alto módulo como elemento de refuerzo los que desarrollan su resistencia máxima a menor elongación debido a su rigidez, como Geomallas Coextruidas en interacción con materiales granulares que permitan desarrollar una adecuada trabazón de los agregados.

Conforme a las investigaciones, mejores resultados en el refuerzo dependen de su disposición en proximidades de la fundación y que este se localice a cierta profundidad de influencia, más allá de la cual no se obtienen grandes beneficios, lo que significa que el valor del BCR (Bearing capacity ratio) tendería a ser constante a partir de cierto número de capas de refuerzo.

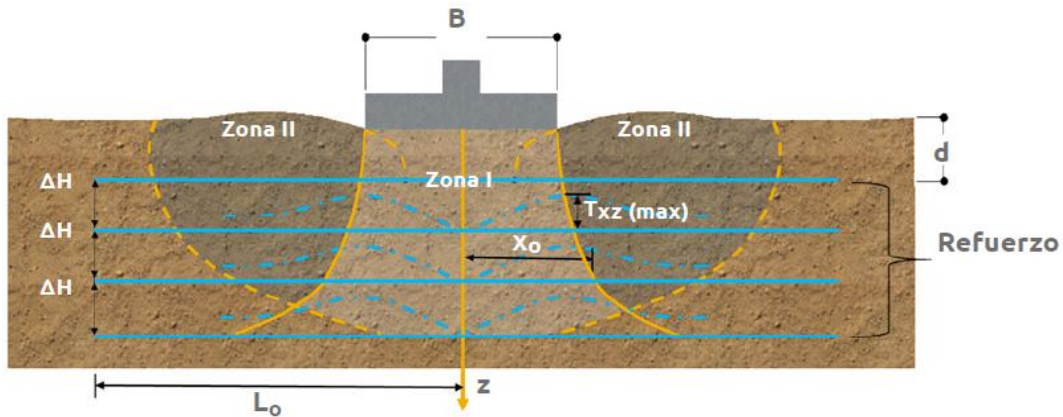


Figura 26: Mecanismos de Falla en Cimentaciones Reforzada (Diseño de Infraestructura con geosintéticos, 2021, p.485)

#### 1.2.3.4. Muros en suelo reforzado con geotextil tejido

Un Muro en Suelo Reforzado es una estructura que trabaja por gravedad y es su peso propio es quien lo hace estable y encuentra el equilibrio de las fuerzas presentes en el sistema. Sus principales componentes son el material de relleno y los geosintéticos de refuerzo con los cuales se pueden configurar diferentes tipos de geometrías que dependen de las condiciones del proyecto.

La siguiente es una configuración típica de un muro en suelo reforzado con Geosintéticos con escalonamiento en el espaldón y fachada vertical:

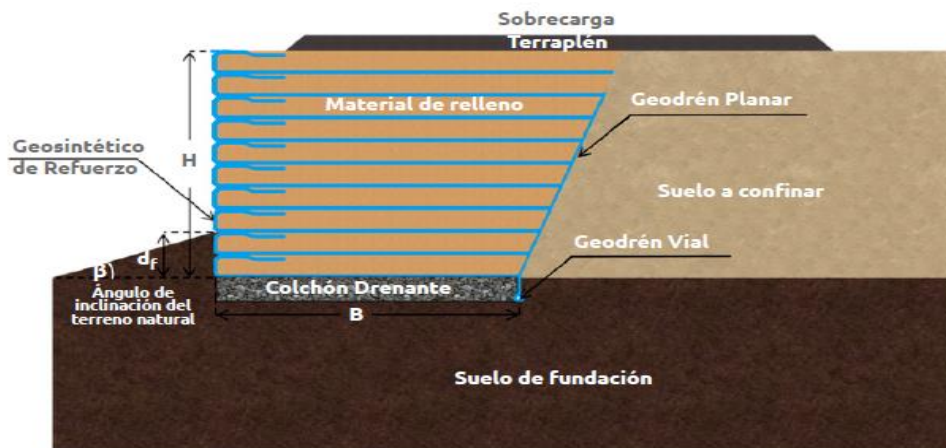


Figura 27: Esquema General Muro en Suelo Reforzado (Diseño de Infraestructura con geosintéticos, 2021, p.378)

Al incluir un material con resistencia a la tensión dentro de una masa de suelo que debe soportar una serie de empujes, se logra aumentar la resistencia general del conjunto, básicamente por el esfuerzo de interacción desarrollado entre el Geosintético y el suelo adyacente. La interacción del material con el Geosintético puede ser por fricción o trabazón de agregados.

Existe un sinnúmero de planteamientos para resolver el diseño de un muro en suelo mecánicamente estabilizado, dentro de los cuales se pueden nombrar el del Servicio Forestal de los Estados Unidos (Revisado en 1983), Broms (1978), Collin (1986), Bonaparte et al. (1987), Leshinsky y Perry (1987), Schmertmann et al. (1987), Whitcomb y Bell (1979) y Gómez (1998).

La diferencia entre estos métodos radica principalmente en la manera de enfocar las distribuciones de esfuerzos, la superficie de falla y los valores para los diversos factores de seguridad involucrados. Su similitud se basa en que asumen que en la estructura no se presentan presiones hidrostáticas y que la superficie de falla transversal es una superficie plana definida por la metodología de Rankine y derivada de un empuje activo. Sin embargo, se ha demostrado que la inclusión de un refuerzo altera el estado de esfuerzos y tensiones en una masa de suelo, haciendo que la superficie de falla sea diferente a la de una masa de suelo no reforzada.

Actualmente en Latinoamérica se están utilizando dos metodologías de diseño. La primera es la que desde el principio y hasta los inicios de la última década, era la única filosofía de diseño utilizada, conocida como “diseño por esfuerzos de trabajo” WSD, dicha metodología ha servido para diseñar y construir miles de estructuras en suelo reforzado alrededor del mundo. Aún se recomienda y se aprueba su utilización en los campos de la ingeniería.

Últimamente se han expedido normas y especificaciones por la gran mayoría de los países. Algunas de estas normas están basadas en la filosofía de diseño con factores de cargas y resistencia LRFD, fundamentada en un uso confiable de los métodos estadísticos mediante procedimientos fácilmente utilizables por los diseñadores de puentes.

En los manuales, se presenta el procedimiento de diseño para cada una de estas dos metodologías mencionadas anteriormente y las cuales son ampliamente utilizadas.



El diseño de un muro en suelo reforzado se realiza en 4 etapas principalmente, cada uno de estos análisis busca garantizar una estabilidad y funcionamiento adecuado de la estructura a largo plazo:

- Estabilidad interna.
- Estabilidad externa.
- Estabilidad global o compuesta.
- Sistema de drenaje interno y externo.
- Protección o fachada en la cara externa del muro.

#### **1.2.3.5. Terraplenes sobre suelos blandos reforzados con geotextil tejido**

Cuando se construyen terraplenes sobre suelos blandos, estos transmiten una presión de contacto generando esfuerzos cortantes que pueden llegar a superar la resistencia al corte del suelo de fundación causando una falla en la base del terraplén. Un adecuado diseño de capas de Geotextil tejido de alta resistencia, colocadas en la base del terraplén permite desarrollar un refuerzo a la tracción de tal manera que el factor de seguridad ante la falla del terraplén aumente hasta un valor confiable.

El refuerzo con Geotextil puede disminuir los desplazamientos horizontales, verticales y los asentamientos diferenciales, sin embargo, no se recomienda considerarlo como un factor que disminuya asentamientos por consolidación primaria ni secundaria.

El uso de Geotextiles Tejidos de alta resistencia para la construcción de terraplenes sobre suelos blandos puede presentar los siguientes beneficios:

- El incremento del factor de seguridad.
- La posibilidad de incrementar la altura del terraplén.
- Reducción de pérdida y contaminación de los materiales granulares.
- Disminución de los asentamientos diferenciales.

Reemplazo de suelos con otro de mejor resistencia, mejoramiento con pilotes, mechas drenantes o drenes verticales, Geotextiles de refuerzo entre otros. Está demostrado que el refuerzo con

Geotextiles Tejidos de alta resistencia es una alternativa de estabilización a un bajo costo comparado con otras alternativas. En algunos casos la solución técnica y económicamente más conveniente puede ser la combinación de tratamientos convencionales como por ejemplo reemplazos de materiales en la fundación alternados con el refuerzo proporcionado por los Geotextiles.

El refuerzo de terraplenes sobre suelos de baja capacidad de soporte aplica para las siguientes dos condiciones: En suelos muy blandos y saturados tales como arcillas, limos o turbas. La segunda situación es la construcción de terraplenes sobre materiales que presentan grietas, fisuras o vacíos (típicas de suelos residuales los cuales presentan estructuras heredadas).

Los Geotextiles también pueden ser usados como elementos de separación para evitar la contaminación de los materiales seleccionados que conforman al terraplén. Si la función y aplicación que cumplirá el Geotextil solo va a ser la de separación, el diseño se debe basar en garantizar la supervivencia en la construcción y posterior vida útil, se puede pensar en Geotextiles que tengan alta elongación como son los Geotextiles No Tejidos. Para este caso se considera que el Geotextil no aporta resistencia a la tensión.

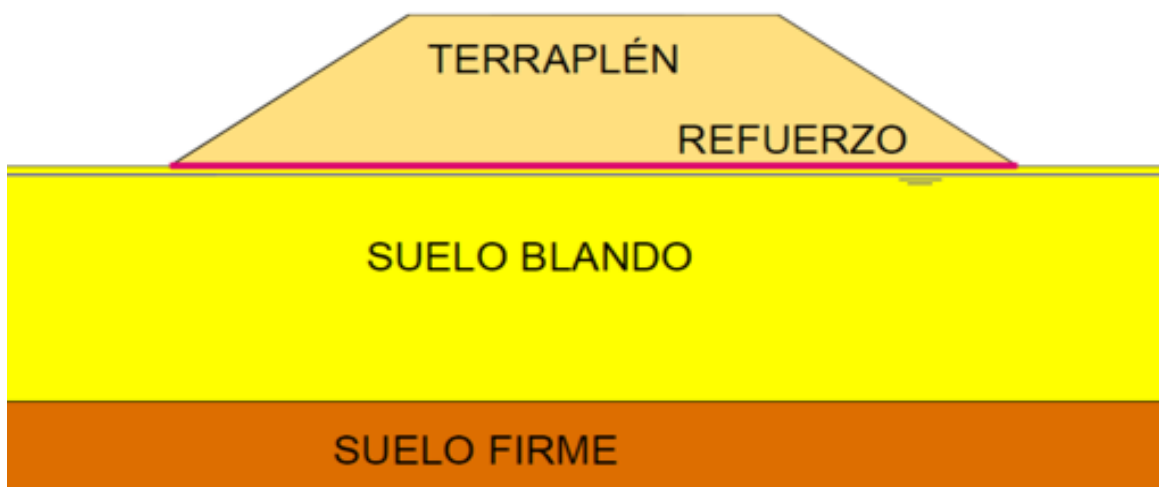


Figura 28: Esquema General Refuerzo de Terraplenes Sobre Suelos Blandos (elaboración propia)

## Capítulo II

### 2.0 Metodología

#### 2.1. Generalidades del Diseño

Para utilizar un geotextil tejido como elemento de separación, refuerzo y drenaje, es necesario conectar dos procesos. El primero es un desarrollo productivo controlado con una serie de ensayos de laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas e hidráulicas. El segundo y paralelamente, se debe realizar un diseño o cálculo de las propiedades mecánicas e hidráulicas requeridas del geotextil tejido dentro de una obra de ingeniería, estas propiedades técnicas se pueden obtener a partir de un diseño por función o diseño por especificación (normas internacionales).

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que se debe realizar para el adecuado funcionamiento de un geotextil tejido dentro de una obra de ingeniería.

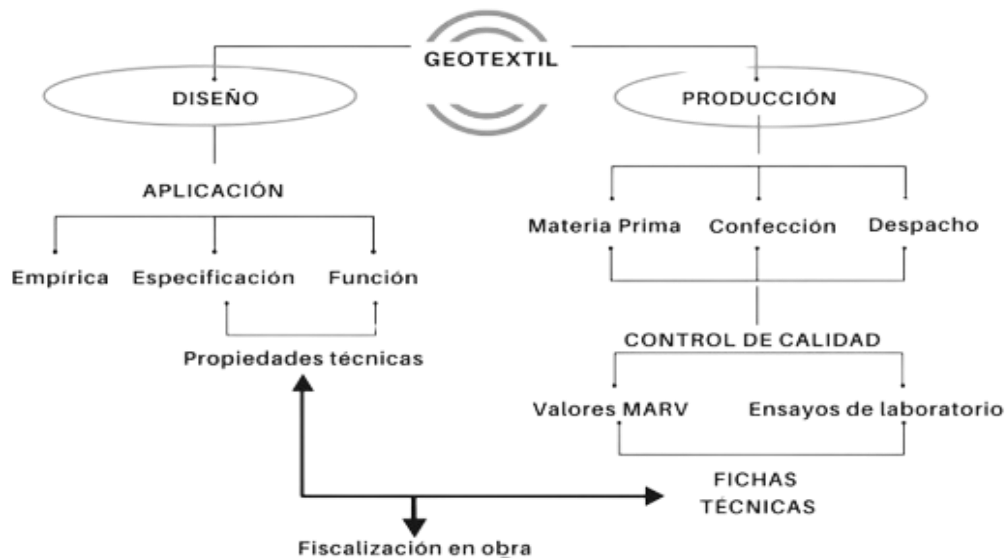


Figura 29: Diagrama de flujo para la fabricación y especificación de un geotextil (elaboración propia)

Dentro de este capítulo se presentará la relación que existe entre el diseño por función o especificación de un geotextil tejido y los ensayos que se debe realizar para el adecuado control de calidad.

## 2.2. Diseño por especificación o norma

Con la propagación de la tecnología de los geosintéticos y la masificación de su uso, muchos países han desarrollado normas o especificaciones de construcción para cada aplicación, controlando las propiedades técnicas de los geotextiles tejidos. Esto genera un gran número de criterios que hacen imposible el realizar comparación entre productos de uno u otro país.

Las normas o especificaciones presentan valores típicos mínimos que debe cumplir un geotextil, estos valores pueden ser mayores o menores a los requeridos, por esta razón, siempre se recomienda realizar un diseño por función.

Cuando se utiliza el método de diseño por especificación o norma se listan los requerimientos de las propiedades del geotextil y el fabricante debe listar, dentro de su ficha técnica, el valor mínimo promedio del rollo o valor MARV, con el fin de compararlos.

La norma más conocida y utilizada en la aplicación de geotextiles tejidos como elementos de separación, refuerzo y drenaje es la AASHTO M288 21, el último número hace referencia al año en el que fue emitido la última versión.

Requisitos de propiedades de resistencia del geotextil			Clase 1		Clase 2		Clase 3	
Propiedades	Métodos de ensayo	Unidad	elongación <50%	elongación ≥50%	elongación <50%	elongación ≥50%	elongación <50%	elongación ≥50%
		s						
Método Grab	ASTM D4632/ D4632M	N	1400	900	1100	700	800	500
Resistencia a la tensión en la costura	ASTM D4632/D4632M	N	1260	810	990	630	720	450
Resistencia al rasgado trapecoidal	ASTM D4533/D4533M	N	500	350	400	250	300	180
Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permitividad	ASTM D4491	sec <sup>-1</sup>	Los valores mínimos de propiedad para permitividad, AOS y estabilidad UV se basan en la aplicación del geotextil. Consultar la Tabla 3 para el drenaje, la Tabla 4 para separación y la Tabla 5 para estabilización.					
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm						
Resistencia UV (% retenido)	ASTM D4355/D4355M	%						

*Tabla 2: Requisitos de propiedades de resistencia del geotextil, norma M288-17 (elaboración propia)*

- a) La clase de geotextil requerida se designa en las Tablas 3,4,5 o 6 para la aplicación indicada. La severidad de las condiciones de instalación para la aplicación generalmente dicta la clase de geotextil requerida. Las clases 1A y 1 se especifican para condiciones de instalación más severas o duras en las que existe un mayor potencial de daño en el geotextil, y las clases 2 y 3 se especifican para condiciones menos severas.
- b) Todos los valores numéricos representan MARV en la dirección principal más débil.
- c) Medido de acuerdo con la norma ASTM D4632/D4632M.
- d) La resistencia al rasgado MARV requerida para los geotextiles monofilamento tejidos es de 250N.

Propiedades	Métodos de ensayo	Unidades	REQUISITOS		
			% de suelo in situ que pasa 0.075mm		
			<15	15 a 50	>50
			Geotextil de Clase 2 de la Tabla 1		
Permitividad	ASTMD4491	sec <sup>-1</sup>	0.5	0.2	0.1
Tamaño de abertura aparente	ASTMD4751	mm	0.43	0.25	0.22
			(Valor medio max de rollo)	(Valor medio max de rollo)	(Valor medio max de rollo)
Resistencia UV (% retenido)	ASTMD4355/D4355M	%	50% después de 500 h de exposición.		

*Tabla 3: Requisitos de geotextiles para drenaje, norma M288-17 (elaboración propia)*

- a) Basado en el análisis del tamaño de las partículas del suelo in situ de acuerdo con la norma T 88.
- b) Selección de geotextil por defecto. El ingeniero podrá especificar un geotextil de clase 3 a partir de la Tabla 2 para aplicaciones de drenaje de trincheras sobre la base de uno o más de los siguientes elementos: 1. El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 3 tienen suficiente capacidad de supervivencia basándose en la experiencia de campo. 2. El ingeniero ha encontrado que los geotextiles clase 3 tienen suficiente capacidad de supervivencia basándose en ensayos de laboratorio e inspección visual de una muestra de geotextil extraída de una sección de campo de prueba construido bajo condiciones previstas. 3. La profundidad de drenaje

subterráneo es inferior a 2m, el diámetro agregado de drenaje es inferior a 30mm, y los requisitos de compactación son inferiores al 95% de T 99.

- c) Estos valores de propiedad de filtración por defecto se basan en los tamaños de partículas predominantes del suelo in situ. Además del valor de permitividad por defecto, el ingeniero puede requerir pruebas de permeabilidad y/o rendimiento del geotextil, basadas en el diseño de ingeniería para los sistemas de drenaje en entornos de suelos problemáticos.
- d) El diseño de geotextil específico del sitio debe realizarse especialmente si se encuentran uno o más de los siguientes entornos de suelos problemáticos: suelos inestables o altamente erosionables como limos no cohesivos, suelos pobremente gradados, suelos laminados alternados entre arena y limos, arcillas dispersivas y/o harina de roca.
- e) Para suelos cohesivos con un índice de plasticidad de acuerdo con T 90 superior a siete, el valor máximo medio de rollo del geotextil para el tamaño de abertura aparente es 0.30mm

<b>REQUISITOS DE PROPIEDADES DE GEOTEXILES DE SEPARACIÓN</b>			
Propiedades	Métodos de ensayo	Unidades	Requisitos
Clase de geotextil			Ver Tabla 4
Permitividad	ASTM D4491	sec <sup>-1</sup>	0.05
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	0.60 (Valor medio max de rollo)
Resistencia UV (% retenido)	ASTM D4355/D4355M	%	50% después de 500 h de exposición

*Tabla 4: Requisitos de geotextiles para separación, norma M288-17 (elaboración propia)*

Valor predeterminado. La permitividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ( $\Psi_g > \Psi_s$ ). El ingeniero puede requerir también que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ( $K_g > K_s$ ).

REQUISITOS DE PROPIEDADES DE GEOTEXTILES DE ESTABILIZACIÓN			
Propiedades	Métodos de ensayo	Unidades	Requisitos
Clase de geotextil			Clase 1 de la Tabla 2
Permitividad	ASTM D4491	sec <sup>-1</sup>	0.05
Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm	0.43 (Valor medio max de rollo)
Resistencia UV (% retenido)	ASTM D4355/D4355M	%	50% después de 500 h de exposición

*Tabla 5: Requisitos de geotextiles para estabilización, norma M288-17 (elaboración propia)*

- a) Elección de geotextil por defecto. El ingeniero podrá especificar un geotextil de clase 2 o 3 de la Tabla 2 basado en uno o más de los siguientes elementos: 1. El ingeniero ha encontrado que la clase de geotextil tiene suficiente capacidad de supervivencia basándose en la experiencia de campo. 2. El ingeniero ha encontrado que la clase de geotextil tiene suficiente capacidad de supervivencia basándose en ensayos de laboratorio e inspección visual de una muestra de geotextil extraída de una sección de campo de prueba construido bajo condiciones previstas.
- b) Valor predeterminado. La permitividad del geotextil debería ser mayor que la del suelo ( $\Psi_g > \Psi_s$ ). El ingeniero puede requerir también que la permeabilidad del geotextil sea mayor que la del suelo ( $K_g > K_s$ ).

### 2.3. Diseño por función

El diseño por función tiene en cuenta las características del proyecto, para esto es necesario conocer cuál es la aplicación del geotextil tejido (separación, refuerzo o drenaje) y con las variables de entrada (condiciones del proyecto) se puede determinar la resistencia requerida en cada una de sus funciones del geotextil dentro de una obra de ingeniería, de esta forma se realiza la elección del geosintético atendiendo aspectos cualitativos y cuantitativos. Por lo general, cuando usamos geotextiles tejidos, estos cumplen con más de una función.

Para que los geotextiles tejidos puedan proporcionar un grado de seguridad suficiente en el desarrollo de sus funciones, la producción del filamento y confección deben estar estrictamente controladas mediante procesos de calidad estandarizados.

No obstante, la forma en que el geotextil desarrollara sus funciones no depende únicamente del proceso de fabricación, sino que depende en gran parte de un diseño o dimensionamiento de las propiedades técnicas requeridas y de un adecuado proceso constructivo.

Es importante tener presente que en cualquier diseño con el uso de geotextiles tejidos es necesario comparar la resistencia requerida con la resistencia admisible, es común que los fabricantes reporten dentro de las fichas técnicas la resistencia ultima.

La resistencia admisible ( $R_{adm}$ ) es el resultado del cociente entre la resistencia ultima (reportada en la ficha técnica,  $R_{ult}$ ) y los factores de seguridad (FS). Los factores de seguridad varían dependiendo de la aplicación y función del geotextil.

$$R_{adm} = \frac{R_{ult}}{FS}$$

El factor de seguridad total (FS) es el producto entre los factores de seguridad que aplican dentro de un proyecto, la selección de estos se deriva de su función y periodo de retorno. Los factores de seguridad o factores de reducción son los siguiente:

- FS<sub>di</sub>: Factor de seguridad por daños de instalación
- FS<sub>fl</sub>: Factor de seguridad por fluencia o creep
- FS<sub>dqb</sub>: Factor de seguridad por degradación química y biológica
- FS<sub>c</sub>: Factor de seguridad por uniones o costuras

Paralelo a la definición de la resistencia admisible ( $R_{adm}$ ) se debe calcular la resistencia requerida ( $R_{req}$ ), esta resistencia se determina a partir de cálculos matemáticos según la aplicación del geotextil. A continuación, se presentan las resistencias requeridas para un geotextil aplicado a separación, refuerzo y drenaje.



### 2.3.1. Geotextil de separación

Para que el geotextil tejido funcione como elemento de separación, este debe resistir el proceso de instalación y los efectos mecánicos a los cuales estará sometido durante su tiempo en servicio, garantizando sus propiedades hidráulicas y el tamaño de abertura aparente.

#### 2.3.1.1. Resistencia a la tensión (GRAB)

Uno de los fenómenos que actúa sobre el Geotextil es el esfuerzo de tracción que se genera en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil este “atrapado” por una capa granular y un suelo de subrasante. Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el Geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano. El ensayo de tensión según el método GRAB (ASTM D4632) simula este proceso en el laboratorio determinando la carga de rotura (resistencia GRAB) del Geotextil y su elongación correspondiente (deformación – elongación GRAB). El Geotextil que se coloca en la interfaz subrasante–capa granular debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

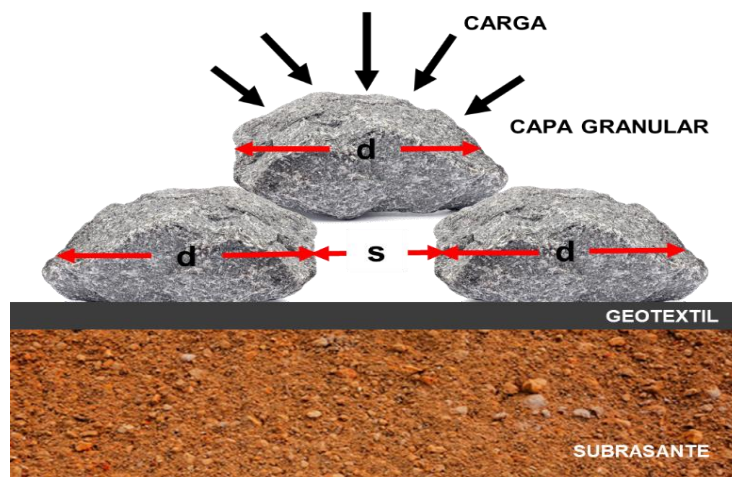


Figura 30: efecto GRAB sobre un geotextil tejido (elaboración propia)

#### 2.3.1.2. Resistencia al punzonamiento

Durante la vida útil del geotextil, materiales punzonantes, piedras angulares, ramas de árboles, desechos de construcción y otro tipo de objetos que se encuentren sobre el suelo

en contacto con el geotextil, pueden romperlo y desgastarlo durante el proceso de instalación o al soportar las cargas de la estructura. Se debe calcular la fuerza vertical que actuará sobre el geotextil bajo estas condiciones, y verificar que el geotextil que se coloque resista el punzonamiento que se genere. El ensayo de resistencia al punzonamiento ASTM D6241, simula esta condición en laboratorio y permite calcular la máxima resistencia que tiene un geotextil bajo la acción del punzonamiento.

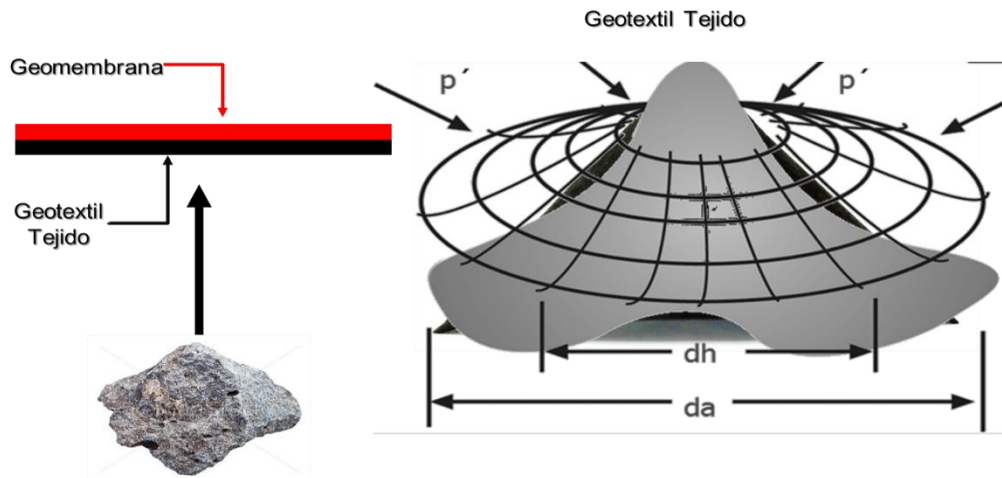


Figura 31: Efecto de punzonamiento sobre un geotextil tejido (elaboración propia)

### 2.3.1.3. Resistencia al rasgado trapezoidal

En el proceso de instalación se pueden presentar cortes o rasgaduras en el geotextil tejido, el elemento debe tener una resistencia a la propagación del corte o falla a lo ancho o largo del geotextil, evitando así la pérdida de su función de separación o refuerzo. El ensayo para determinar la resistencia al rasgado trapezoidal es el ASTM D4533, simulando el efecto de propagación de un corte inducción en laboratorio.



Figura 32: Rasgado trapezoidal sobre un geotextil tejido (elaboración propia)

#### 2.3.1.4. Criterio de retención (TAA)

El criterio de retención por Tamaño de Abertura aparente (TAA) permite determinar el tamaño máximo de las aberturas del geotextil requerido para evitar la migración de suelo fino hacia las capas granulares o mezcla de dos materiales con diferentes características. El ensayo para determinar el tamaño de apertura aparente (TAA) es el ASTM D4751, simulando en el laboratorio el paso de partículas de suelo de diferentes tamaños a través de un tamiz y del geotextil tejido.



*Figura 33: Criterio de retención con un geotextil tejido (elaboración propia)*

### **2.3.1.5. Criterio de supervivencia**

El Geotextil en el proceso de instalación y a lo largo de su vida útil puede estar sometido a condiciones extremas, las cuales deben ser soportadas por el mismo, de tal manera que no afecten drásticamente sus propiedades hidráulicas, mecánicas y físicas.

Los geotextiles son materiales fabricados a partir de resinas poliméricas derivadas del petróleo, las cuales adquieren diferentes resistencias a los ataques químicos y biológicos.

Los geotextiles se degradan con los rayos UV, por consiguiente, no deben ser expuestos por largo tiempo a estos rayos.

### **2.3.2. Geotextil de refuerzo**

Cuando un geotextil tejido es utilizado como elemento de refuerzo tenemos que determinar diferentes valores geomecánicos para determinar el comportamiento del material dentro de una estructura. Estos son: la resistencia a la tensión requerida de geotextil tejido, la interacción suelo – geotextil requerido y/o la interacción geotextil – geotextil requerido. Dependiendo de la aplicación puede ser necesario determinar las tres propiedades, teniendo en cuenta las condiciones del proyecto.

#### **2.3.2.1. Resistencia a la tensión**

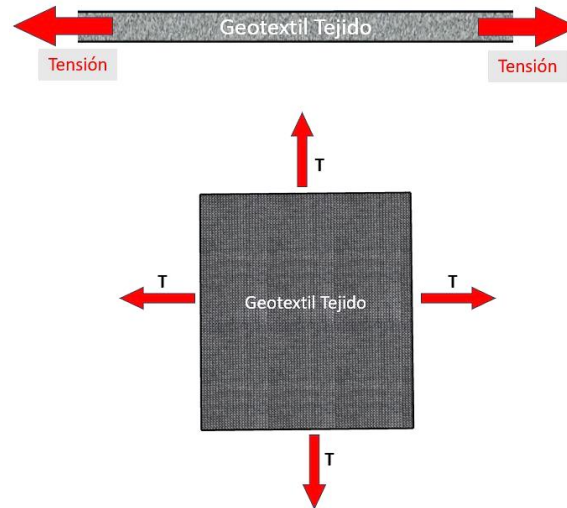
La resistencia a la tensión de un geotextil tejido se refiere a la capacidad del material sintético para soportar fuerzas aplicadas en sentido longitudinal o transversal. Hay geotextiles tejidos uniaxiales o que su máxima tensión la soportan en una sola dirección y hay geotextiles tejidos biaxiales que soportan la misma tensión en las dos direcciones. Es una propiedad importante en aplicaciones de ingeniería geotécnica, donde los geotextiles se utilizan para mejorar la estabilidad y durabilidad de diferentes tipos de suelos y estructuras geotécnicas.

La resistencia a la tensión de un geotextil tejido puede medirse de diferentes maneras, pero generalmente se expresa en términos de fuerza o tensión máxima que el material puede soportar antes de romperse o deformarse permanentemente. Las unidades

comunes para esta propiedad son kilonewtons por metro (kN/m) o libras por pulgada (lb/in).

Es importante tener en cuenta que la resistencia a la tensión de un geotextil tejido puede variar según el tipo de fibra utilizada en la fabricación, la construcción del tejido, el espesor del material y el tratamiento de acabado aplicado. Los geotextiles se clasifican en diferentes clases de resistencia a la tensión (como Clase 1, Clase 2, etc.) según sus capacidades de carga.

Al seleccionar un geotextil para una aplicación específica donde se requiere refuerzo, es esencial evaluar la resistencia a la tensión del material para asegurarse de que sea adecuado para soportar las fuerzas y cargas esperadas en el sitio de construcción.



*Figura 34: Resistencia a la tensión biaxial de un geotextil tejido (elaboración propia)*

### **2.3.2.2. Interacción suelo – geotextil**

La interacción entre un suelo y un geotextil tejido principalmente se desarrolla por fricción y adhesión, interacción entre las partículas de suelo y la superficie del geotextil tejido. La interacción friccional se refiere a la resistencia que se desarrolla entre el suelo y las fibras o filamentos del geotextil cuando se someten a cargas o fuerzas externas.

Cuando se utiliza un geotextil tejido para reforzar un suelo, la interacción entre el suelo y el geotextil tejido es crucial para el rendimiento del sistema reforzado. Algunos puntos clave sobre la interacción suelo-geotextil tejido son:

La interacción por fricción o adhesión entre el geotextil y el suelo permite la transferencia de fuerzas entre ambos, lo que mejora la resistencia del suelo al repartir las cargas a través del geotextil.

El geotextil tejido suele tener una textura rugosa o áspera en su superficie, lo que aumenta el ángulo de fricción interna entre el suelo y el geotextil. Esto mejora la capacidad del geotextil para mantener su posición relativa con respecto al suelo y resistir el deslizamiento entre las capas.

La tensión aplicada al geotextil tejido durante el proceso de instalación o carga puede influir en la magnitud de la interacción por fricción y adhesión. Una tensión adecuada en el geotextil puede mejorar la interacción y, por lo tanto, su capacidad para reforzar el suelo.

La interacción por fricción y adhesión puede variar según el tipo de suelo con el que se utilice el geotextil. En general, los geotextiles tejidos son más efectivos en suelos finos granulares o finos cohesivos, donde la fricción interna es más pronunciada. Las propiedades de interacción entre un suelo y un geotextil se pueden medir mediante un ensayo de corte directo a gran escala o ensayo de pull out.

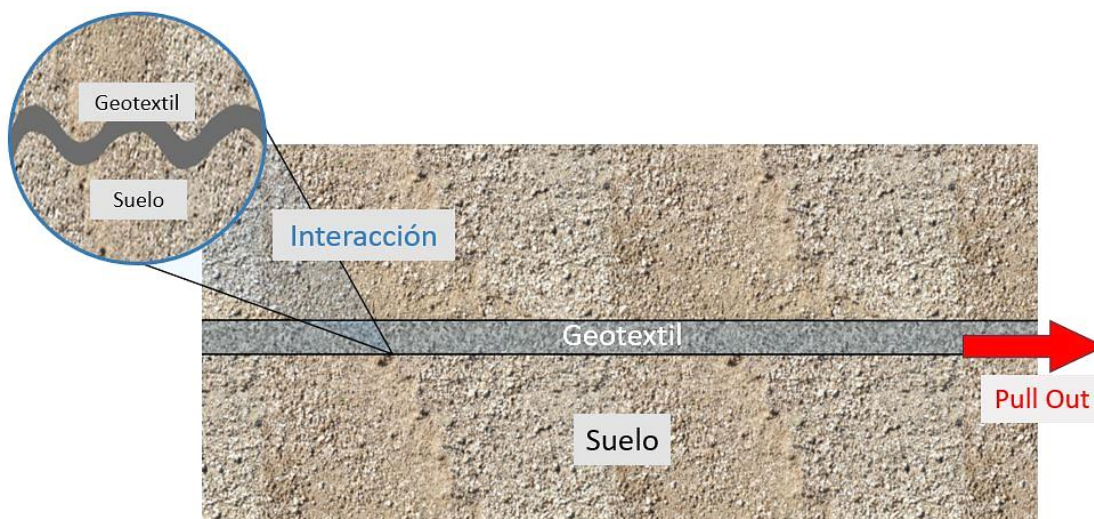


Figura 35: Interacción suelo con geotextil tejido (elaboración propia)

### **2.3.2.3. Interacción geotextil – geotextil**

La interacción entre un geotextil tejido y otro geotextil tejido se presenta en obras de ingeniería donde existe un elemento geosintético directamente sobre otro elemento geosintético, un ejemplo de esto son las formaletas flexibles apiladas una sobre otra. Esta interacción es principalmente formada por fricción y adhesión entre geotextiles y ocurre cuando dos capas de geotextil se encuentran en contacto y se aplican fuerzas tangenciales una sobre la otra.

La interacción entre los geotextiles es un aspecto importante para considerar, ya que puede afectar la capacidad de transmisión de esfuerzos entre las diferentes capas y, por lo tanto, la eficacia de la función que cumplen. En general, se busca que haya una interacción adecuada entre los geotextiles para lograr una distribución uniforme de las fuerzas y prevenir posibles deslizamientos o desplazamientos.

La magnitud de la interacción por fricción depende de varios factores:

- Propiedades de los geotextiles: El tipo de geotextil, su textura superficial, coeficiente de fricción y resistencia mecánica influyen en la interacción.
- Condiciones de carga: La magnitud y dirección de las fuerzas aplicadas y las condiciones de carga dinámica o estática.
- Condiciones ambientales: La humedad, la temperatura y otros factores ambientales pueden afectar la interacción por fricción.
- Rugosidad de las superficies: La rugosidad de las superficies de los geotextiles puede aumentar la resistencia a la fricción.
- Interacción con el suelo: El comportamiento de la interacción por fricción puede variar según el tipo de suelo en el que se encuentran los geotextiles.

La interacción por fricción entre geotextiles se evalúa mediante pruebas de laboratorio, ensayos de corte directo a gran escala o ensayo de pullo out.

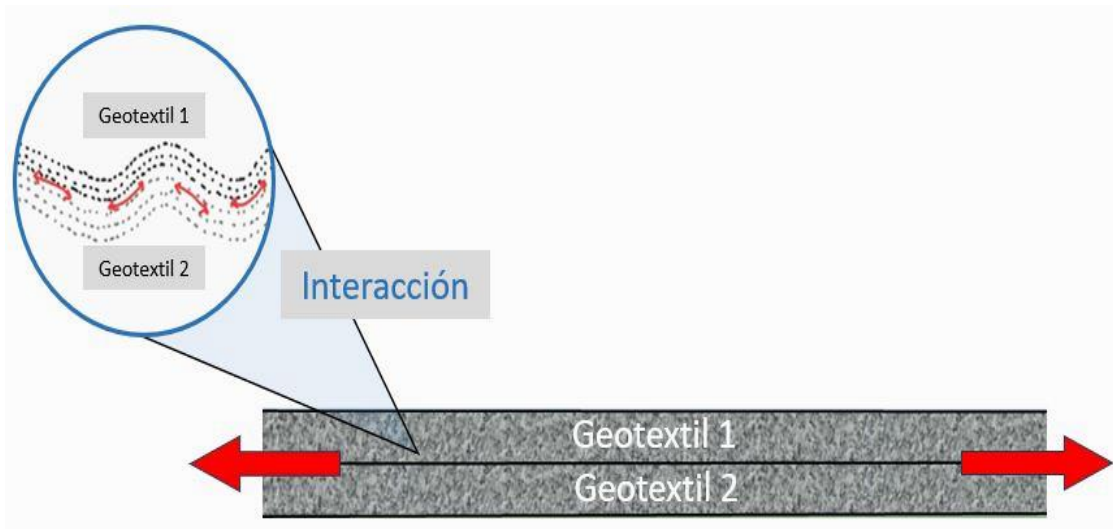


Figura 36: Interacción geotextil tejido con geotextil tejido (elaboración propia)

### 2.3.3. Geotextil de drenaje

No es común que se utilicen los geotextiles tejidos como elemento de drenaje o subdrenaje. Normalmente sus propiedades hidráulicas son muy bajas comparadas con un geotextil no tejido o un geocompuesto drenante. Sin embargo, tener un geotextil tejido que cumpla la función de drenaje es una ventaja técnica, económica y constructiva.

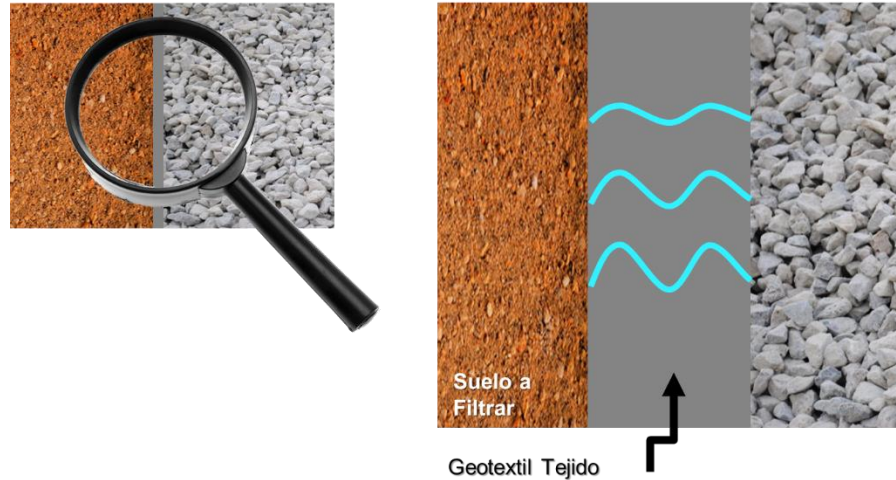
Las siguiente son las características principales que debe tener un geotextil tejido para funcionar como elemento de drenaje.

#### 2.3.3.1. Permeabilidad a través del plano

El coeficiente de permeabilidad  $k$ , se define como la propiedad hidráulica que tiene un Geotextil, para permitir un adecuado paso de flujo, perpendicular a su plano. El geotextil nunca se debe convertir en una barrera hidráulica que evite el paso de agua, por esta razón la permeabilidad del geotextil tejido debe ser superior a la permeabilidad de los suelos en contacto. Por lo general la permeabilidad de lo geotextiles tejidos es baja en comparación con los geotextiles no tejidos y algunos materiales granulares. El ensayo



para determinar la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad es el ASTM D4491.



*Figura 37: Criterio de permeabilidad, flujo de agua a través de un geotextil tejido (elaboración propia)*

### **2.3.3.2. Tasa de flujo en el plano**

La tasa de flujo en plano de un geotextil, también conocida como transitividad hidráulica, se refiere a la cantidad de agua que puede moverse a lo largo del geotextil en un tiempo determinado en un ancho determinado ( $m^3/seg - m$ ), cuando se somete a un gradiente hidráulico específico (1 vertical, 0 horizontal). La transitividad hidráulica no es una propiedad común de los geotextiles tejidos, ya que normalmente su bajo espeso o su característica física limitan esta propiedad.

La tasa de flujo en plano de un geotextil se puede medir en laboratorio mediante ensayos específicos, como el ensayo de transitividad en plano bajo carga constante o el ensayo de permeabilidad en plano bajo gradiente hidráulico constante. Estos ensayos permiten determinar la cantidad de agua que atraviesa el geotextil en función de una diferencia de carga hidráulica y/o un gradiente hidráulico controlado.

La tasa de flujo en plano de un geotextil puede variar significativamente dependiendo de sus características, como el tipo de filamento utilizado, la estructura del tejido, el

espesor y la densidad del geotextil. También puede verse influenciada por las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad.

Actualmente la tasa de flujo en plano de un geotextil no es una propiedad relevante. Otros factores, como la resistencia mecánica, la resistencia a los productos químicos y la durabilidad, son los más considerados en el diseño y selección de geotextiles para una aplicación específica.

### **2.3.3.3. Conductividad hidráulica**

La conductividad hidráulica de un geotextil es una medida de su capacidad para facilitar el flujo de agua a través de su estructura. Esta propiedad es relevante en aplicaciones geotécnicas donde se necesita controlar el drenaje, la filtración o la separación de diferentes materiales del suelo. Pero la mayoría de los geotextiles tejidos carecen de dicha propiedad.

La conductividad hidráulica de un geotextil se expresa en unidades de velocidad, como metros por segundo (m/s). Es una medida de cuán fácilmente el agua puede pasar a través del geotextil sin la necesidad de un flujo constante o una diferencia de presiones.

La determinación de la conductividad hidráulica de un geotextil se puede realizar mediante ensayos donde el geotextil trasfiere el agua de un lado a otro sin necesidad de una cabeza de presiones o un flujo constante.

La conductividad hidráulica puede variar puede variar ampliamente dependiendo de diversos factores, tales como:

- Tipo de geotextil: Los geotextiles pueden ser fabricados con diferentes tipos de fibras o filamentos y estructuras de tejido.
- Densidad del geotextil: Una mayor densidad puede influir en la capacidad del geotextil para permitir el paso del agua.
- Espesor del geotextil: Un geotextil más delgado puede tener una conductividad hidráulica diferente a uno más grueso.
- Condición de compactación: La conductividad hidráulica puede variar dependiendo de cómo se ha compactado o instalado el geotextil en el terreno.

La conductividad hidráulica es una propiedad para considerar en aplicaciones donde se necesita drenar agua, evitar la saturación o contralar las presiones hidrostáticas, se pueden preferir geotextiles con conductividad hidráulica para permitir un flujo rápido del agua, aumentando el drenaje de la estructura.

## **2.4. Ensayos de laboratorio**

Las características o propiedades de un geotextil tejido se deben medir y controlar con ensayos de laboratorio, en el desarrollo de un geotextil tejido que separe, refuerce y drene, es muy importante verificar que sus propiedades mecánicas e hidráulicas se encuentran dentro de los estándares para cumplir estas funciones.

A continuación, se describen los ensayos y normas con las cuales se controla la fabricación y el desarrollo del geotextil tejido, verificando y garantizando su función como elemento de separación, refuerzo y drenaje.

### **2.4.1. Método Grab resistencia a la tensión y elongación (ASTM D4632)**

Esta norma consiste en aplicar una carga que se incremente continuamente a muestras de Geotextiles Tejidos sentido longitudinal o transversal, la carga se aplica hasta alcanzar la rotura. Los valores para la carga de rotura (tensión Grab) y la elongación (elongación Grab) del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las máquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. Esta norma determina una propiedad índice.

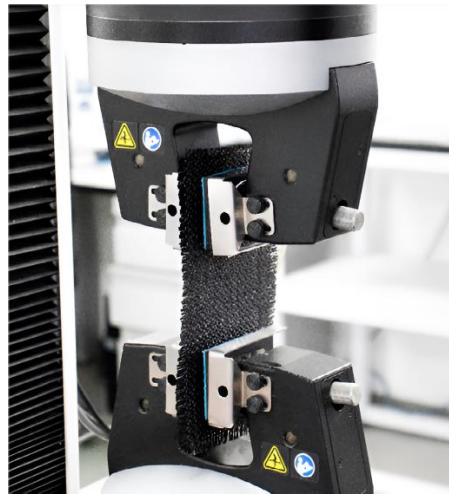
La norma incluye los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método Grab, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normalmente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.

El equipo requerido para realizar el ensayo es el siguiente:

- Máquina para el ensayo de Tracción: La máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo

y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el Geotextil que va a ser ensayado.

- Mordazas: Las mordazas deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. Las superficies de las mordazas deben ser iguales y estar alineadas, una respecto de la otra.



*Figura 38: Ensayo tensión Grab en un geotextil tejido (Pavco Wavin geosintéticos)*

#### **2.4.2. Método de la tira ancha y elongación (ASTM D4595)**

Esta norma cubre la medición de la resistencia a la tracción y elongación de geotextiles. Los procedimientos para medir las propiedades de tracción de geotextiles acondicionados y húmedos por el método de banda ancha también están cubiertos por esta norma. A partir de esta norma también se pueden medir parámetros como módulos y tenacidad a la fractura.

El objetivo principal del ensayo es evaluar la resistencia y la elongación del geotextil cuando se somete a fuerzas unidireccionales. Esto es importante porque las propiedades mecánicas son fundamentales para la selección y el diseño adecuado de geotextiles en aplicaciones de refuerzo.

Equipo necesario:

- Máquina de ensayo universal: se utiliza para aplicar una fuerza de tracción al geotextil.
- Mordazas: aunque la norma permite usar mordazas planas o circulares, los resultados más confiables se obtienen al utilizar elementos circulares donde la falla o rotura de geotextil se presenta en la zona intermedia de la muestra, mientras que con elementos planos la falla se presenta en el contacto entre el geotextil y la mordaza



*Figura 39: Ensayo tensión tira ancha en un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosintéticos)*

### **2.4.3. Resistencia al punzonamiento CBR (ASTM D6241)**

Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia al punzonamiento estático de los Geotextiles tomando una muestra que es sujeta por medio de abrazaderas sin ser tensionada entre placas circulares y es asegurada en una máquina de tensión o compresión, o ambas. Una fuerza es ejercida en el centro de la parte que esta sin apoyar por un pistón de acero fijo al indicador de carga hasta que ocurre la ruptura. La fuerza máxima registrada es el valor de la resistencia al punzonamiento.

Esta metodología de ensayo es un índice usado para medir la fuerza requerida para punzonar un Geotextil. El tamaño relativamente grande del pistón provee una fuerza multidireccional en el Geotextil.

El equipo requerido para realizar este ensayo es el siguiente:

- Máquina de Ensayo de Penetración: debe ser del tipo tasa - constante de Extensión (CRE), con registrador gráfico que se ajuste a la especificación D 76.
- El pistón: con un diámetro plano de 50 milímetros  $\pm$  1mm con un borde radial de 2.5mm  $\pm$  0.5mm.
- Aparatos de fijación: constan de platos concéntricos con un diámetro interno de 150mm, capaz de sujetar el espécimen sin que este se deslice (Él límite del deslizamiento de la muestra durante la prueba es de 5mm). El diámetro externo se sugiere sea de 250mm. El diámetro de los agujeros usados para asegurar la abrazadera en anillo se sugiere sea de 11mm y estén igualmente espaciados en un diámetro de 220mm.
- Las superficies de estas placas pueden ser de estrías de caucho en forma de O, o papel lija áspero pegadas en ambas superficies. Se recomienda que los pernos de 9.5mm estén soldados al plato inferior de modo que la placa superior pueda montar sobre los pernos y las tuercas se puedan apretar con facilidad. Un bloque guía puede facilitar la puesta de la muestra que se quiere fijar. Otros métodos de fijación que eviten el deslizamiento de la muestra son aceptables.



Figura 40: Ensayo punzonamiento CBR en un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosintéticos)

#### **2.4.4. Resistencia al rasgado trapezoidal (ASTM D4533)**

Este método de ensayo es un índice que permite determinar la fuerza requerida para continuar o propagar un rasgado en Geotextiles Tejidos por el método trapezoidal.

La resistencia al rasgado trapezoidal de Geotextiles Tejidos es determinada básicamente por las propiedades de las cintas o filamentos que los constituyen, los cuales están sujetos por las mordazas.

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- Máquina para el ensayo de tracción: La máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante en el tiempo y debe constar de un par de mordazas entre las cuales se coloca el Geotextil que va a ser ensayado.
- Mordazas: Deben tener superficies de agarre paralelas, planas y capaces de prevenir el deslizamiento del espécimen durante el ensayo. Las dimensiones de cada mordaza deben ser 50.8mm por 76.2mm (como mínimo), con la dimensión más larga perpendicular a la dirección de aplicación de la carga.
- Molde trapezoidal: Este molde es opcional y se utiliza para marcar el espécimen.

El número de especímenes necesario es de 10, tomados a una distancia mínima de 1/20 del ancho a partir del borde de la tela o a 150 mm, escogiendo el menor. De cada muestra se cortan especímenes rectangulares de 76.2 mm por 201.6 mm. Se cortan sentido longitudinal y en sentido transversal.



*Figura 41: Ensayo rasgado trapezoidal un geotextil tejido (Pavco Wavin Geosintéticos)*

#### **2.4.5. Tasa de flujo en el plano, transividad (ASTM D4716)**

La tasa de flujo por unidad de ancho es determinada midiendo la cantidad de agua que pasa por un espécimen de prueba en un intervalo específico de tiempo bajo un esfuerzo normal y un gradiente hidráulico específico.

La transmisividad hidráulica debería ser determinada solo por pruebas que exhiben una tasa de flujo lineal por unidad de ancho contra el gradiente relacionado, es decir, flujo laminar.

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- Base: Es una superficie plana y lisa, con una medida suficiente para poder alojar al espécimen de prueba. Para pruebas con Geotextiles, todas las superficies deberán estar cubiertas con una capa de caucho para filtraciones.
- Reservorio: Este puede ser de material plástico, de vidrio o metal. Su altura debe ser al menos igual a la longitud total del espécimen, este debe tener la capacidad de mantener un nivel constante de agua para cualquier altura de ensayo.
- Mecanismo de carga: Este mecanismo debe ser capaz de generar un esfuerzo normal a la compresión sobre el espécimen de la prueba en un rango desde los 10kPa hasta por lo menos 500kPa sobre un área aproximada de 300mm por 300mm que son las dimensiones recomendadas para el tamaño del espécimen.
- Vertedero de desagüe: Debe ser por lo menos del ancho de la base o ancho del espécimen, puede ser rectangular o triangular y debe estar localizado a una altura mayor a la del espécimen.
- Colector de desagüe: El colector debe tener el tamaño suficiente para poder captar el flujo de salida del aparato para poder ser medido para posteriores cálculos.
- Manómetros: Están ubicados a la entrada y a la salida del espécimen, los manómetros deben ser en tubería transparente y deben tener una altura por lo menos igual a la altura del nivel máximo de agua alcanzado en el reservorio.



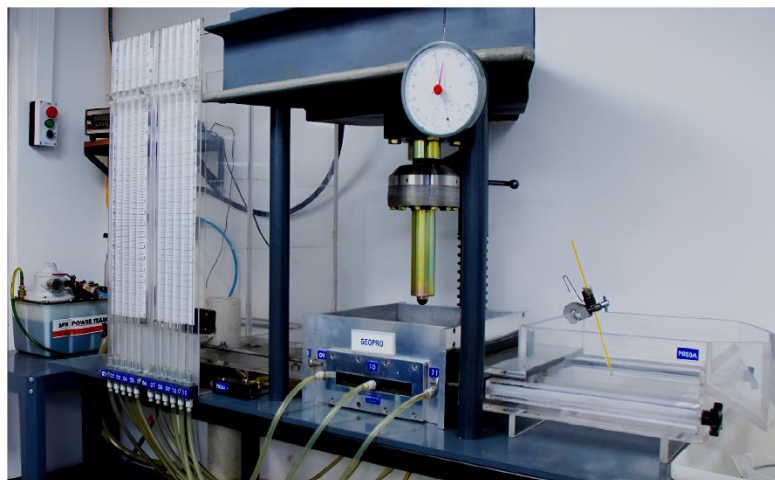


Figura 42: Equipo para ensayo de tasa de flujo (Pavco Wavin geosintéticos)

#### 2.4.6. Conductividad hidráulica, velocidad.

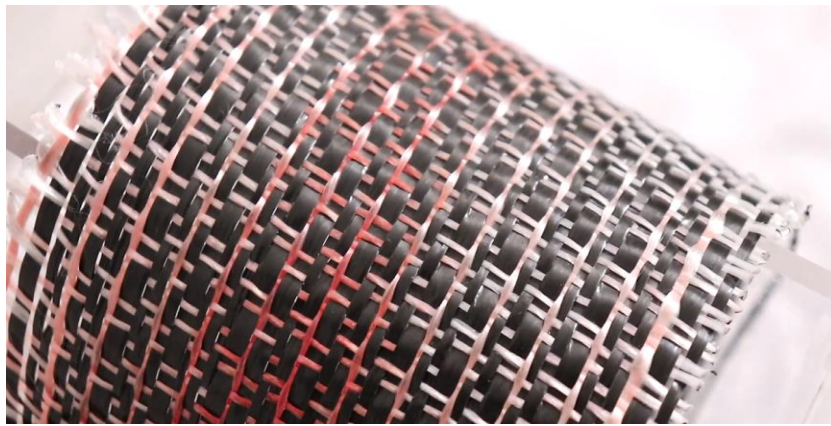
La conductividad hidráulica en un geotextil tejido es la velocidad que puede alcanzar un fluido (agua) a través de sus filamentos o poros sin que ninguna energía externa lo mueva o lo impulse. Esto quiere decir que es la velocidad que alcanza el fluido a través del geotextil producto de la capilaridad del material.

Esta es la capacidad que pueden tener estos elementos en transportar o distribuir el agua a través de su estructura porosa. Algunos aspectos claves son la capacidad del geotextil para absorber agua donde influyen el tipo de fibra y poros que tenga el geotextil, el tipo de materia y porcentaje de materia prima con el que es fabricado el geotextil tejido, la orientación de los filamentos o cinta con los que es fabricado el geotextil tejido.

Con el fin de medir la velocidad del agua a través del geotextil, se utilizaron dos recipientes, uno lleno de agua tinte (recipiente 1) y el otro vacío. El geotextil se instaló en la parte intermedia, sin pendiente positiva o negativa, pero con la necesidad de absorber agua del recipiente 1 y trasladarla hasta el recipiente 2. Configurando un punto de inicio y un punto final dentro de la zona plana y gracias a la marca que dejaba la coloración del geotextil, fue posible medir la velocidad del agua.



*Figura 43: Ensayo de conductividad hidráulica (Pavco Wavin geosintéticos)*



*Figura 44: Coloración ensayo de conductividad hidráulica (Pavco Wavin geosintéticos)*

#### **2.4.7. Tamaño de Abertura Aparente (ASTM D4751)**

Este método de ensayo consiste en colocar un espécimen de Geotextil en un marco de tamiz y sobre él se colocan unas partículas de cristal graduadas. El conjunto se agita enérgicamente para inducir el paso de las partículas a través del Geotextil. El procedimiento se repite para el mismo espécimen con varios tamaños de partículas de cristal hasta determinar el Tamaño de Abertura Aparente (TAA). Esta propiedad también se conoce como AOS (Apparent Opening Size). Al usar un Geotextil como un medio para retener partículas de suelo, se necesita una compatibilidad entre el Geotextil y el suelo adyacente. Este método de ensayo es usado para indicar el TAA en un Geotextil, donde

se refleja la dimensión de la abertura más grande disponible para que un suelo pueda atravesarlo.

El equipo requerido para realizar este ensayo es el siguiente:

- Tamizador: Se usa un tamizador mecánico que imparta movimientos laterales y verticales al tamiz, causando que las partículas salten y giren al mismo tiempo, presentando así diferentes orientaciones sobre la superficie del Geotextil. El tamizador deberá ser un mecanismo de frecuencia constante que utiliza un brazo recubierto de corcho o caucho que propicia impactos.
- Fondo, tapa y tamiz de 200 mm de abertura: Designación U.S. estándar.
- Material para el tamizado: Consiste en unas partículas esféricas de cristal en fracciones de tamaños variables, se deben preparar por lo menos 50 gramos de cada fracción de tamaño para ser usados antes de empezar el ensayo.
- Balanza: De la capacidad adecuada para la masa que se anticipa usar y una precisión de  $\pm 0.05g$ .
- Eliminación de la estática: para prevenir la acumulación de electricidad estática, cuando las partículas son tamizadas sobre la superficie del Geotextil. Dispositivos comerciales disponibles o compuestos anti-estáticos se pueden usar para este fin.
- Horno de secado.
- Fondo: Necesario para la recolección de partículas tamizadas.



*Figura 45: Equipo para ensayo de tamaño de abertura aparente TAA (Pavco Wavin geosintéticos)*

#### **2.4.8. Permeabilidad (ASTM D4491)**

Este método de ensayo proporciona procedimientos para determinar la conductividad hidráulica (permeabilidad al agua) de los Geotextiles en términos de permitividad bajo condiciones de ensayo estandarizadas, sin someter el espécimen a carga normal. Esta norma incluye dos procedimientos:

El ensayo de cabeza constante y el ensayo de cabeza variable.

- **Ensayo de cabeza constante:** Se mantiene una cabeza de 50 mm de agua sobre el espécimen de Geotextil durante el ensayo. Se determina el caudal por método volumétrico. El ensayo de cabeza constante es usado cuando el caudal de agua que pasa a través del Geotextil es tan grande que se dificulta tomar lecturas en el cambio de la cabeza con respecto al tiempo.
- **Ensayo de cabeza variable:** Se establece una columna de agua que pasa a través del espécimen de Geotextil y se toman las lecturas de los cambios de cabeza con respecto al tiempo. El caudal de agua a través del Geotextil debe ser lo suficientemente lento para obtener medidas exactas.

Se ha demostrado que los datos obtenidos utilizando cualquiera de los dos ensayos arrojan resultados concordantes. La selección del método de ensayo se deja a criterio del responsable del ensayo.

El equipo requerido para realizar este ensayo está sujeto a uno de los siguientes arreglos:

- Los aparatos deben ser capaces de mantener una cabeza constante de agua en el Geotextil que está siendo probado.
- Los aparatos deben ser capaces de ser usados como el aparato del ensayo de cabeza variable.

El aparato en sí no debe intervenir en el establecimiento de los parámetros del ensayo (caudal, cabeza, sección transversal, tiempo). Se debe establecer una curva de calibración (caudal vs cabeza) para el aparato solo con el propósito de establecer las correlaciones correspondientes.

El dispositivo consiste en una unidad alta y una baja, las cuales están sujetas la una de la otra. El espécimen Geotextil es colocado en la parte inferior de la unidad alta. El dispositivo tiene además un tubo para la medición del valor de la cabeza constante. La válvula colocada en el tubo de descarga permite ajustes de la cabeza de agua en la parte inferior del espécimen.

Para obtener resultados confiables, se debe usar agua limpia y desaireada usando una bomba de vacío de 710 mm de mercurio (Hg) por un periodo de tiempo que lleve el contenido de oxígeno disuelto del nivel más bajo hasta un máximo de seis (6) partes por millón. El contenido de oxígeno disuelto podrá ser determinado por un aparato químico comercial disponible o por un medidor de oxígeno disuelto. El agua desaireada se debe almacenar en un tanque cerrado hasta alcanzar la temperatura de laboratorio.

El sistema de eliminación de aire podrá ser un sistema comercial disponible o podrá consistir en una bomba de vacío capaz de remover un mínimo de 150 l/min de aire conectado con un tanque de almacenamiento no colapsable, con capacidad suficiente para almacenar una serie de pruebas o por lo menos una prueba al mismo tiempo.

Con el propósito de obtener un valor representativo de la permitividad se deben tomar especímenes de cada metro cuadrado a ensayar y seleccionar cuatro (4) especímenes cortados de acuerdo con las dimensiones y las recomendaciones del aparato disponible. El diámetro de los especímenes deber ser mínimo de 25 mm.

Para acondicionar los especímenes, estos deben saturarse en la muestra de agua deaireada dentro de un recipiente cerrado, manteniéndolo por un periodo de dos (2) horas bajo las condiciones de laboratorio.



*Figura 46: Equipo para ensayo de permitividad y permeabilidad (Pavco Wavin geosintéticos)*

#### **2.4.9. Interfase suelo – geosintético o geosintético - geosintético mediante corte directo a gran escala (ASTM D5321B)**

Mediante este ensayo podemos determinar la resistencia al corte del suelo y el geosintético o la interfaz entre geosintético y geosintético pretende ser una prueba de rendimiento para proporcionar al usuario un conjunto de valores de diseño para las condiciones de prueba examinadas. Las muestras y condiciones de prueba, incluidas las tensiones normales, generalmente son seleccionadas por el usuario.

La prueba es desarrollada con un mínimo de tres diferentes esfuerzos normales, seleccionados por el usuario, para modelar las condiciones apropiadas de campo. Los valores tomados de esfuerzo cortante son graficados contra los esfuerzos normales aplicados usados en la prueba. Los datos de la prueba son representados por la línea de falla cuya inclinación es el coeficiente de fricción entre los materiales y el punto de corte en el eje de las ordenadas será el valor de adhesión.

El equipo necesario para realizar este ensayo es el siguiente:

- Equipo de corte: El equipo consiste en dos contenedores, uno fijo y uno móvil, ambos deben ser capaces de contener la muestra de suelo húmeda o seca, y deben ser lo suficientemente rígidos para no distorsionar los resultados durante el ensayo de corte. El contenedor móvil debe tener un mecanismo que asegure el movimiento de la caja con una fricción mínima y únicamente en la dirección paralela a la fuerza de corte aplicada.
- Contenedores de la muestra: Estos pueden ser cuadrados y rectangulares y deben tener una dimensión mínima de 30mm o 15 veces el D<sub>85</sub> del suelo de muestra o 5 veces el máximo de la abertura de poros del geosintético de la muestra. La profundidad de cada caja debe ser de al menos 50mm o 6 veces el tamaño máximo de la partícula del suelo de muestra.
- Equipo de aplicación de carga vertical: Debe ser capaz de aplicar y mantener una fuerza normal constante sobre la muestra durante la prueba. El tipo de aplicación de carga puede ser por peso, por sistemas hidráulicos o neumáticos, o pistones.
- Equipo de aplicación de carga de corte: Debe ser capaz de aplicar y mantener una fuerza cortante sobre la muestra a una tasa de desplazamiento constante en dirección paralela a la caja móvil. La tasa de desplazamiento debe ser controlada con una precisión de  $\pm 10\%$  con un rango de desplazamiento de al menos 6.35 mm/min a 0.025mm/min. Este equipo debe ser conectado al aparato de prueba de tal manera que el punto de aplicación de la fuerza este en el plano de la interfase de corte y se mantenga igual para todas las muestras.
- Indicadores de desplazamiento: Estos indicadores deben ser capaces de medir desplazamiento de al menos 75mm para desplazamientos horizontales y 25mm para desplazamientos verticales. La sensibilidad de estos indicadores debe ser de 0.02mm para desplazamientos horizontales.
- Preparación del suelo de muestra: En pruebas que utilicen suelo como superficie de fricción se deben llevar las recomendaciones de compactación dadas en las normas ASTM D698 o D1557 o D3080.



Figura 47: Equipo de corte directo a gran escala (Ausenco laboratorio geotécnico)

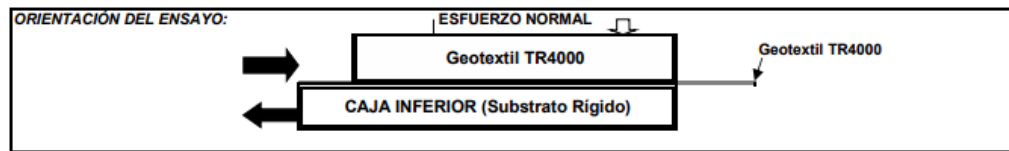


Figura 48: Esquema típico ensayo geotextil contra geotextil (Ausenco laboratorio geotécnico)



#### **2.4.10. Desarrollo del geotextil tejido**

Con el fin de desarrollar un geotextil tejido que cumpla con las funciones de separación, refuerzo y drenaje, se confeccionaron y evaluaron diferentes muestras de geotextiles tejidos combinando dos tipos de resinas plásticas y dos tipos de filamentos.

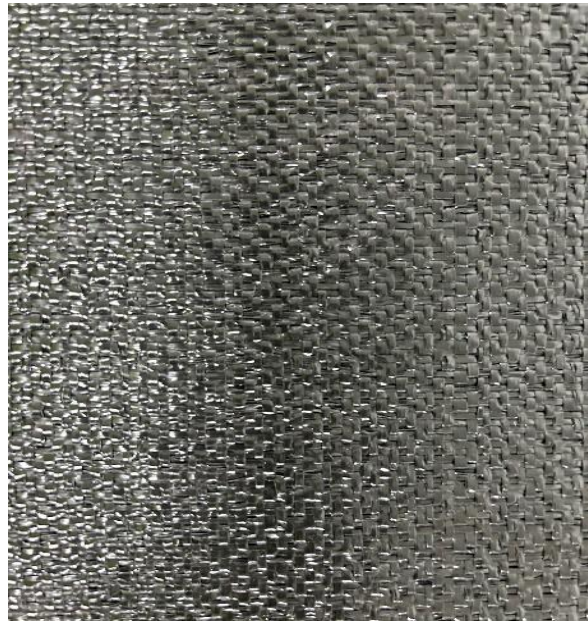
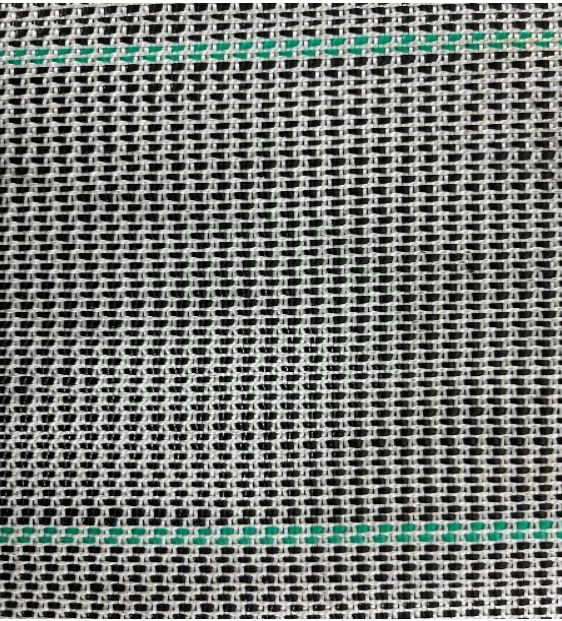
Dentro de esta investigación se tomaron 25 muestra de geotextiles tejidos fabricados en Pavco Wavin, dichas muestra fueron evaluadas mediante ensayos de laboratorio con el fin de determinar su comportamiento hidráulico o mecánico para que el geotextil pueda ser utilizado como elemento de separación, refuerzo y drenaje.

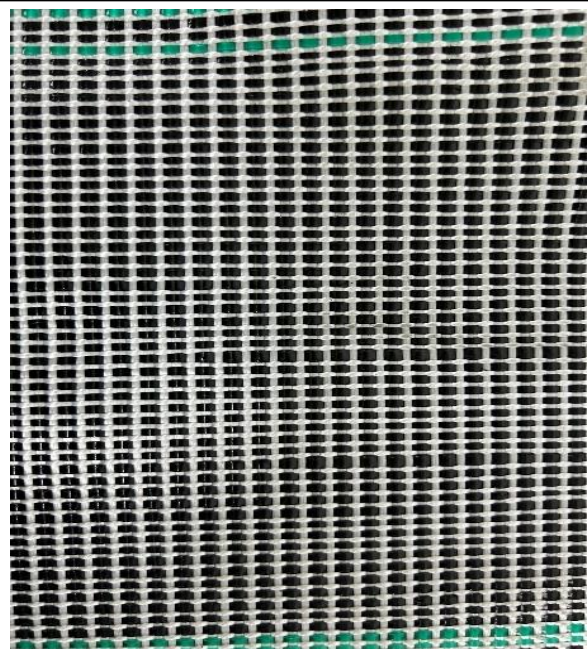

Adicional a los geotextiles tejidos compuesto por diferentes tipos de resinas y filamentos, en el desarrollo, también se evaluó el comportamiento de muestras de geotextiles tejidos compuestos por un solo filamento y tipo de resina plástica, esto con el fin de comparar los resultados de los geotextiles tejidos tradicionales con los nuevos geotextiles tejidos.

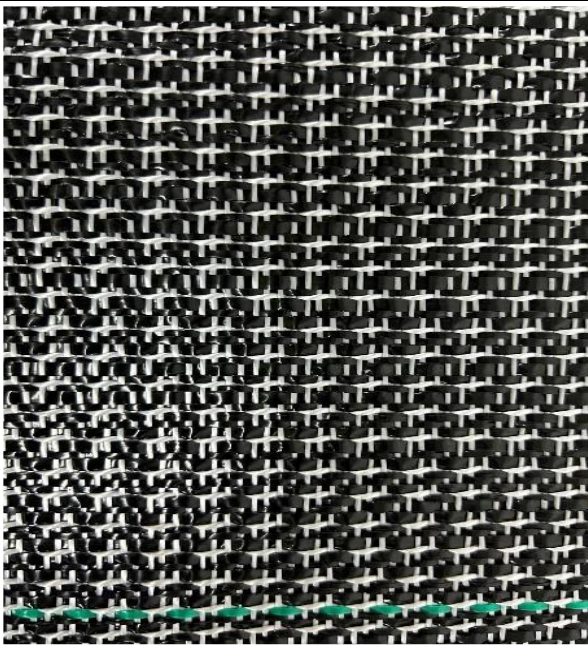
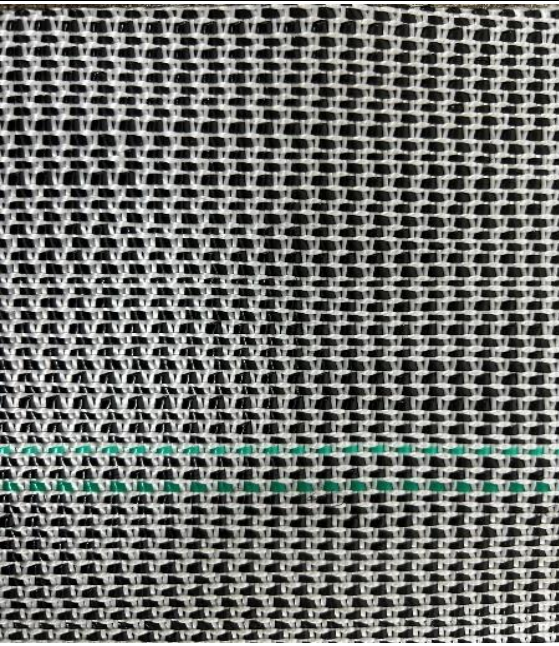
#### **2.5. Confección y selección de las muestras**

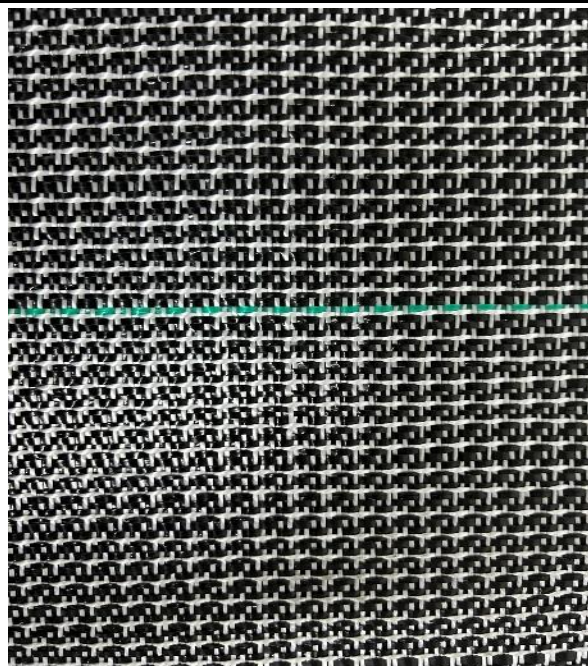
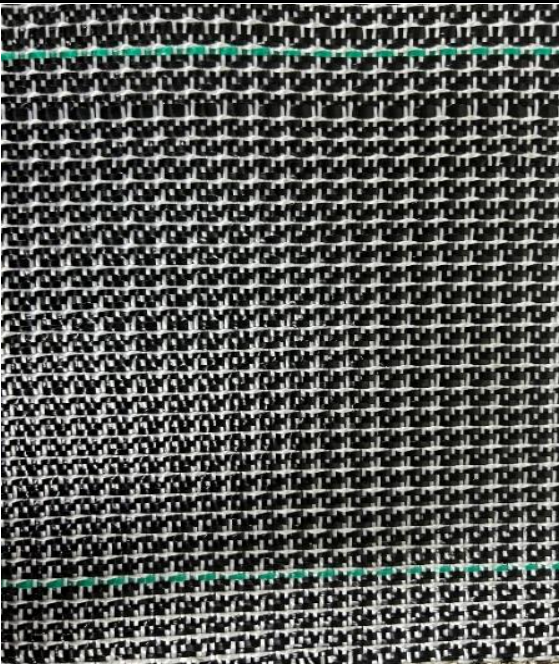
Las muestras fueron confeccionadas en la planta de producción de Pavco Wavin Geosintéticos utilizando un telar que entreteje los filamento o hilos, los geotextiles son confeccionados en sentido de urdimbre y trama aplicado técnicas de ligamento tafetán o sarga. En nuestro desarrollo se utilizó una configuración tipo tafetán para que los filamentos tengan continuidad en un plano y una dirección. Los geotextiles confeccionados en una técnica de liga tipo sarga tienden a tener mejores propiedades mecánicas, sin embargo, en este caso la configuración transversal de los filamentos limitada la conductividad hidráulica del agua. En la confección de los geotextiles tejidos se utilizando un porcentaje diferente de multifilamentos de poliéster y cintas planas de polipropileno.

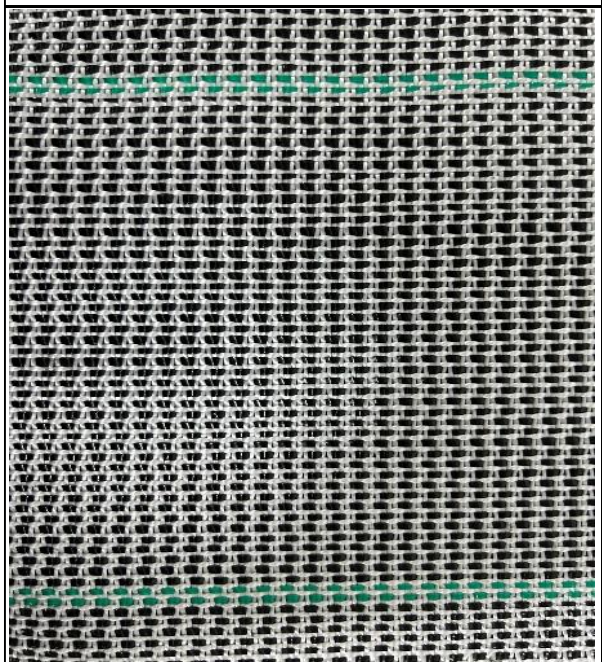
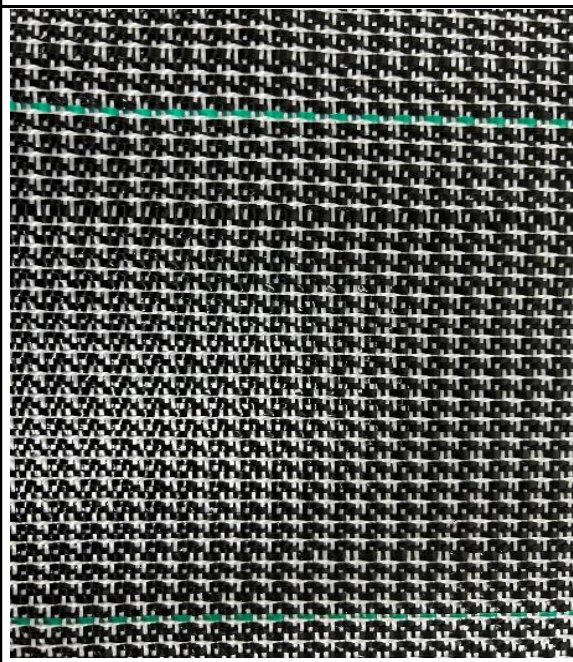
A continuación, se presentan y enumeran las muestras utilizadas en el desarrollo.

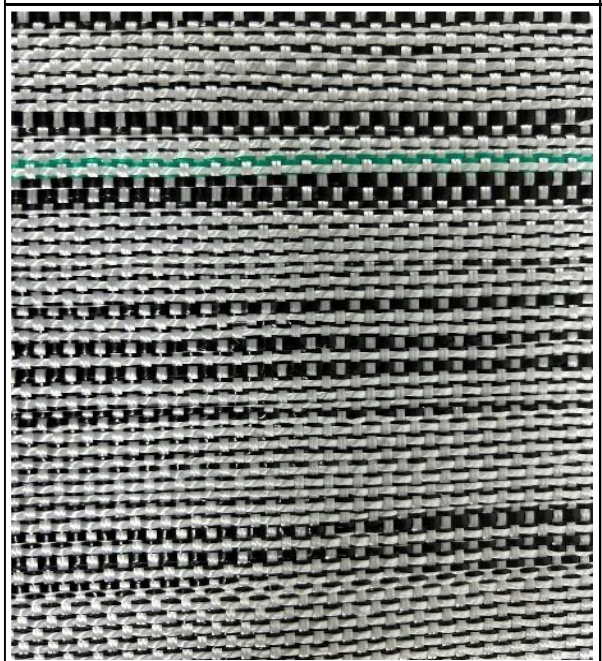
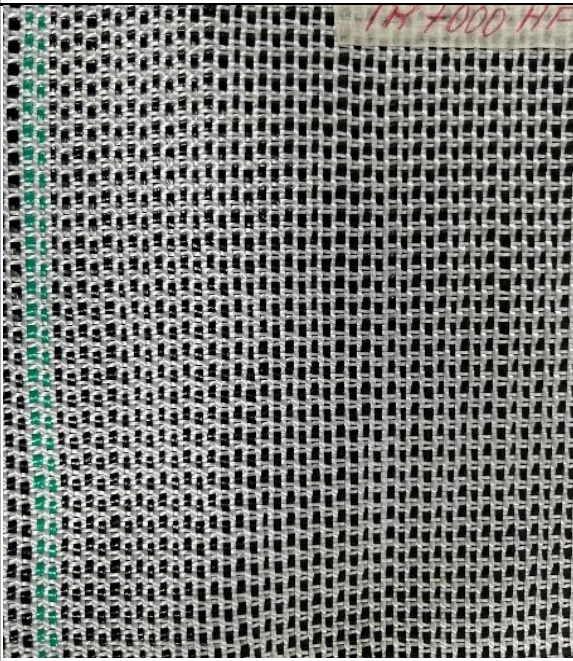
MUESTRA N°1	MUESTRA N°2
	
<p>Muestra 1: Cintas planas de polipropileno</p>	<p>Muestra 2: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

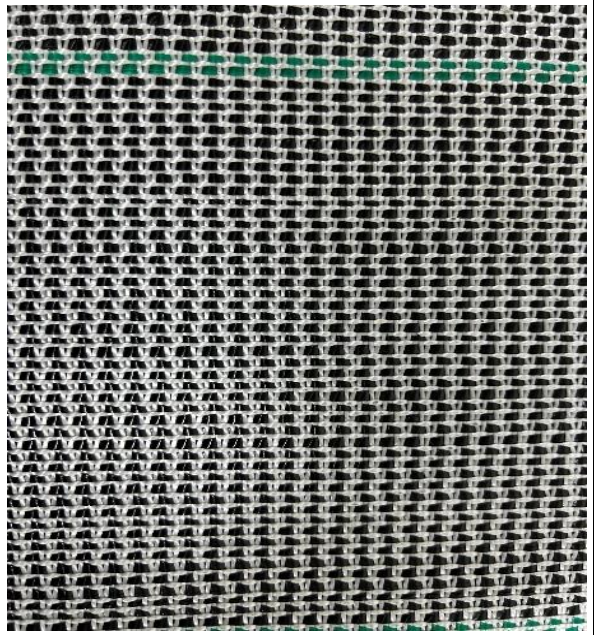
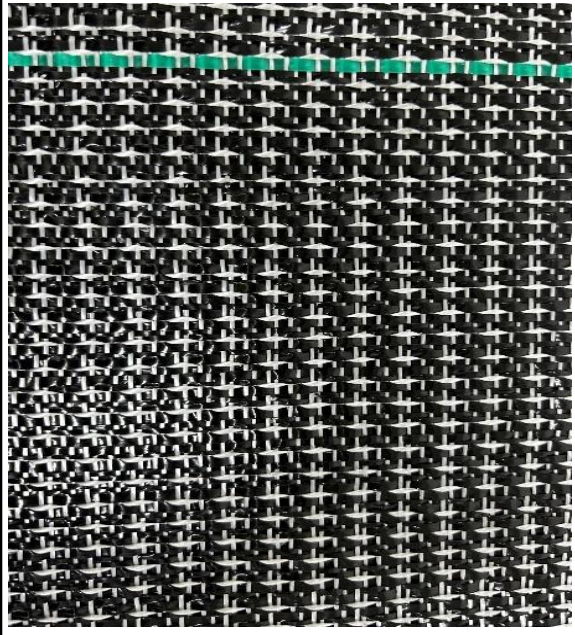
MUESTRA N°3	MUESTRA N°4
	
<p>Muestra 3: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 4: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

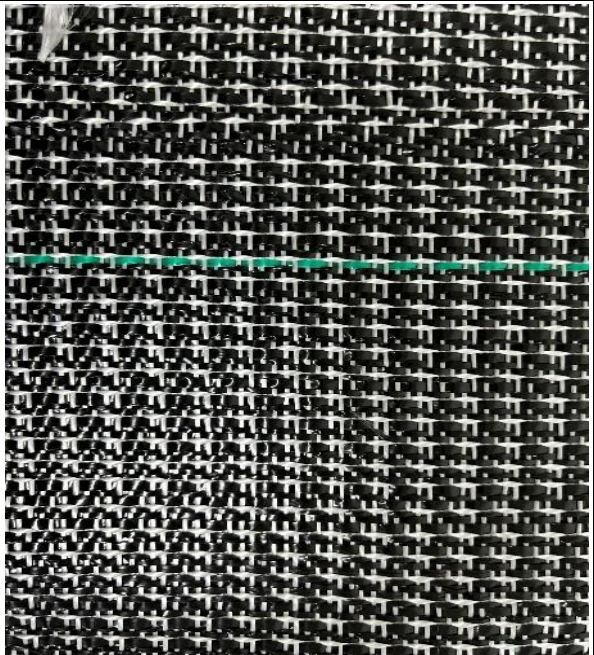
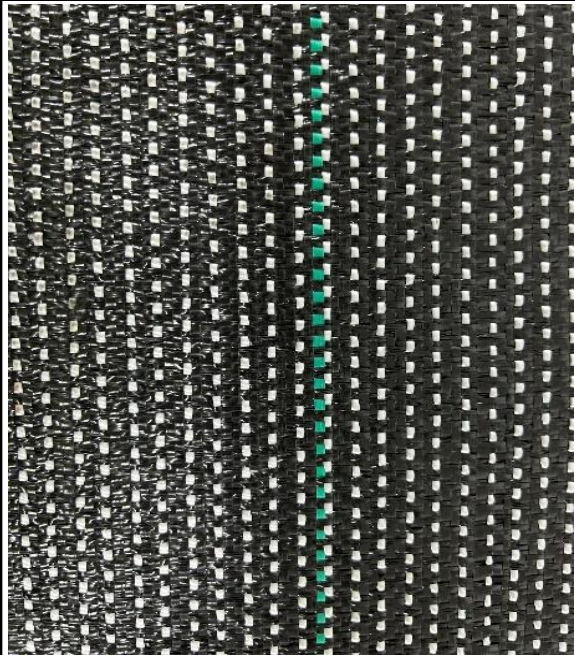
MUESTRA N°5	MUESTRA N°6
	
<p>Muestra 5: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 6: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>


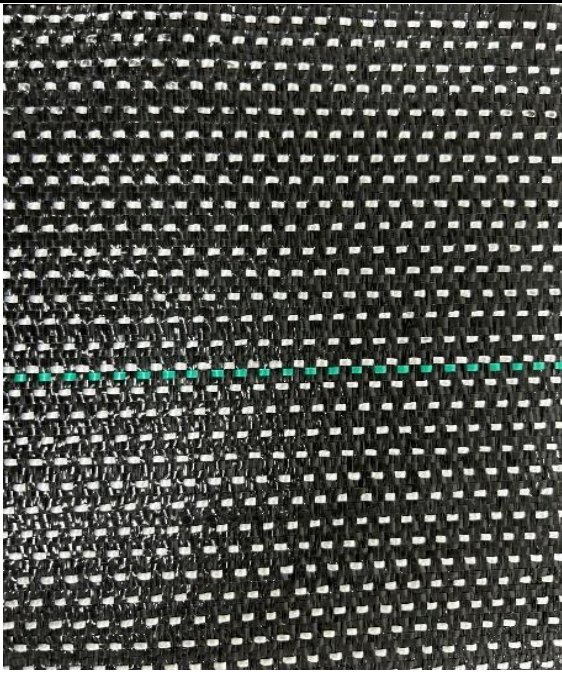
MUESTRA N°7	MUESTRA N°8
	
<p>Muestra 7: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 8: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

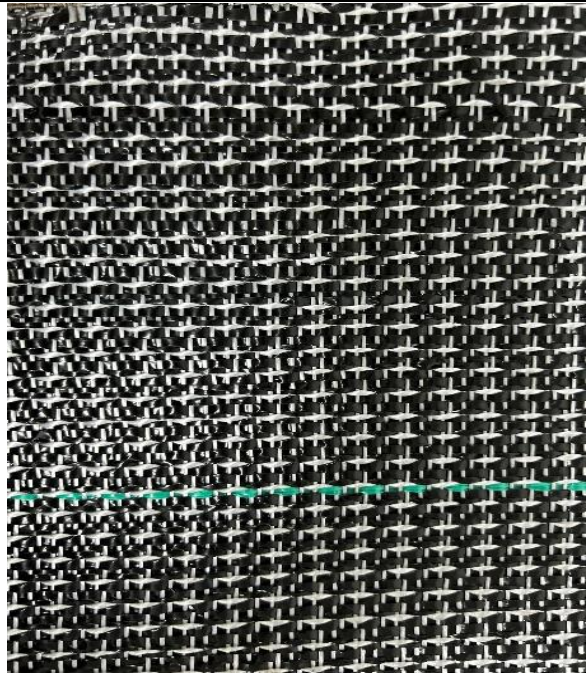
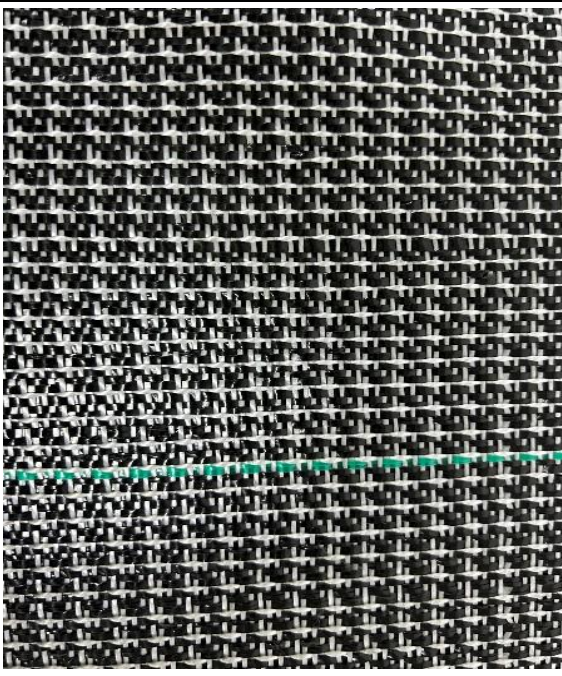
MUESTRA N°9	MUESTRA N°10
	
<p>Muestra 9: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 10: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

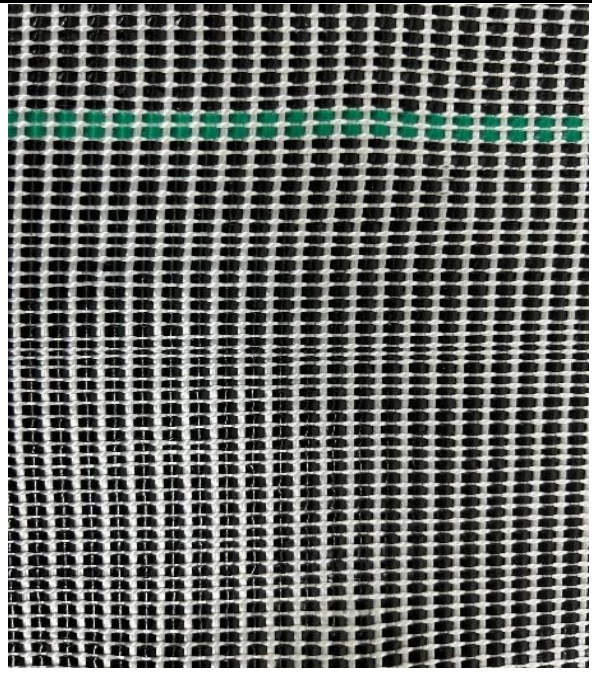
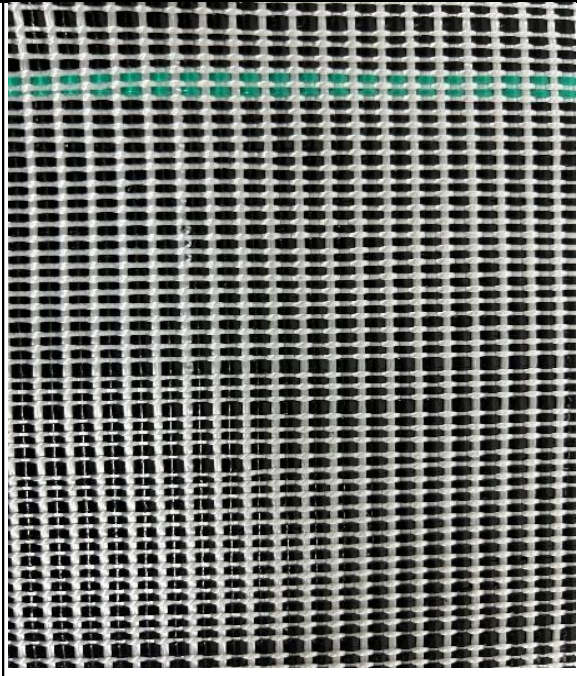
MUESTRA N°11	MUESTRA N°12
	
<p>Muestra 11: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 12: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

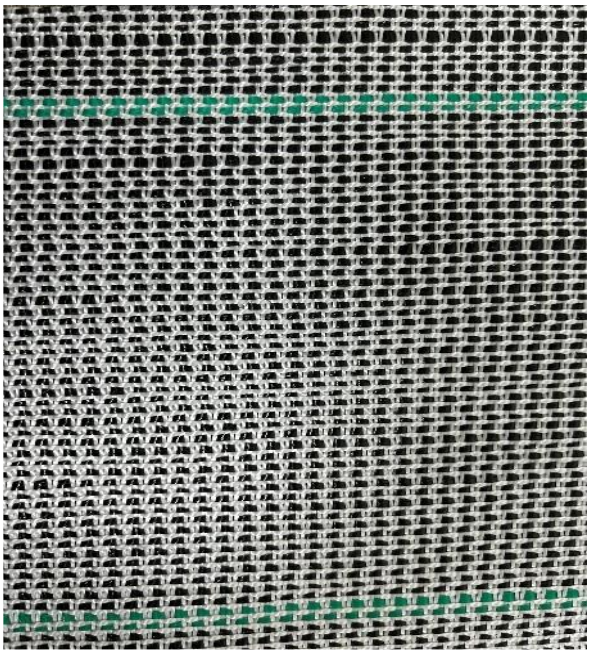
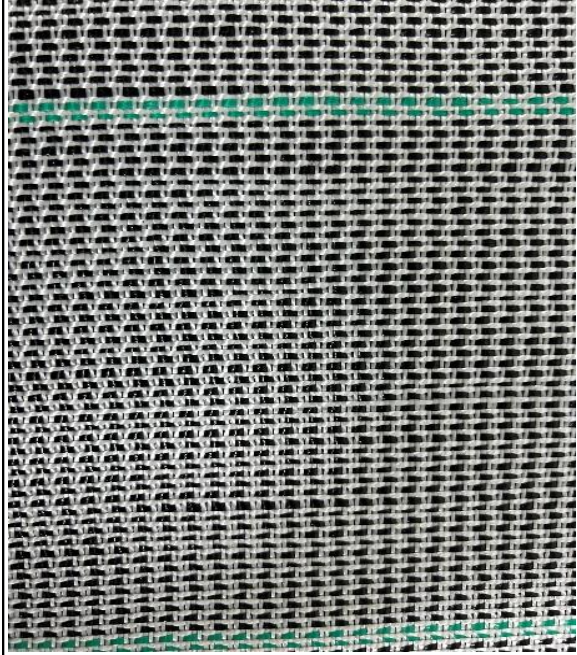
MUESTRA N°13	MUESTRA N°14
	
<p>Muestra 13: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 14: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

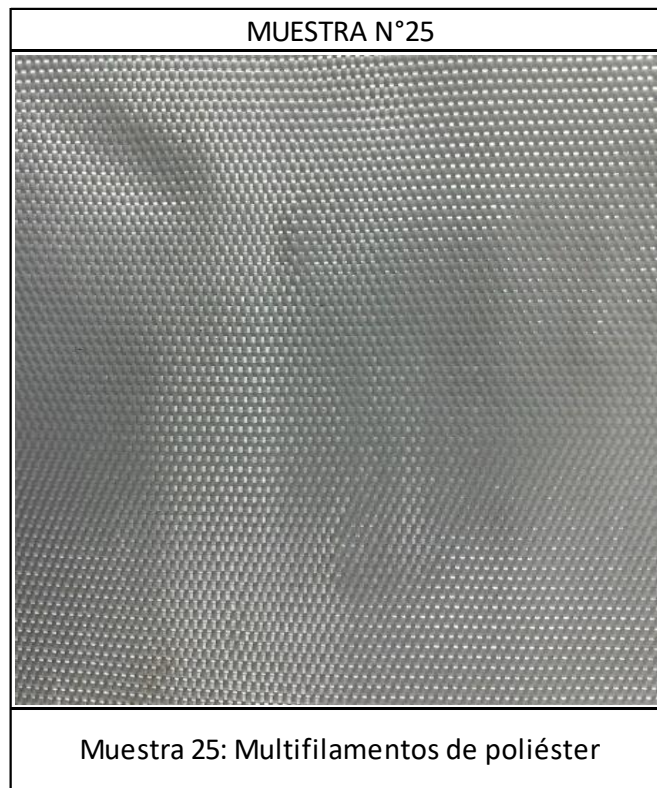
MUESTRA N°15	MUESTRA N°16
	
<p>Muestra 15: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 16: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

MUESTRA N°17	MUESTRA N°18
	
<p>Muestra 17: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 18: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

MUESTRA N°19	MUESTRA N°20
	
<p>Muestra 19: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 20: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

MUESTRA N°21	MUESTRA N°22
	
<p>Muestra 21: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 22: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>

MUESTRA N°23	MUESTRA N°24
	
<p>Muestra 23: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>	<p>Muestra 24: Cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster</p>



### Capítulo III

#### 3. Resultados ensayos en laboratorio

Cada una de las muestras seleccionadas en el proceso de fabricación fue analizada en laboratorio, realizando ensayos hidráulicos y mecánicos con el fin de determinar cuál presentan el mejor comportamiento como geotextil de separación, estabilización y refuerzo.

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a cada una de las muestras de geotextil.

##### 3.1 Método Grab Resistencia a la Tensión y Elongación (ASTM D4632)

Para el ensayo de resistencia a la tensión Grab se ejecutaron ensayos de esfuerzo deformación. En este caso se ensayan tres especímenes, tomando el promedio de los



tres como resultado final. El ensayo fue ejecutado en sentido urdimbre (SL) y en sentido trama (ST)

A continuación, se presentan los resultados de los ensayos ejecutados a cada una de las muestras.

<b>RESISTENCIA TENSION GRAB (ASTM D4632)</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia Grab (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Resistencia Grab (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>#</b>	<b>SL</b>		<b>ST</b>	
1	2905	18	2915	17
2	3922	15	3502	16
3	3362	15	3174	16
4	2968	16	2922	16
5	2910	15	2845	16
6	3512	14	3471	15
7	3187	14	3158	14
8	3124	15	3119	15
9	3636	14	3544	14
10	3471	15	3398	15
11	3784	15	4037	14
12	4260	14	4215	14
13	3638	15	3607	15
14	2982	16	2913	16
15	2935	16	2793	17
16	2712	17	2684	18
17	2846	17	2908	17
18	2901	17	2941	17
19	3178	16	3211	16
20	3386	15	3310	15
21	3124	16	3042	17
22	3086	16	2982	17
23	3854	14	3813	14
24	3562	14	3521	14
25	2930	16	2915	16

*Tabla 6: Resultado ensayo de tensión Grab ASTM D4632 (elaboración propia)*

### 3.2 Método de la Tira Ancha Elongación (ASTM D4595)

El ensayo de tira ancha es la representación de la resistencia a la tensión de un Geosintético de refuerzo, con este ensayo se puede obtener los valores pico o valores intermedios para deformaciones limite.

A continuación, se presenta el resultado de la resistencia a tensión en tira ancha para valores pico con su respectiva deformación asociada.

<b>RESISTENCIA TENSIÓN TIRA ANCHA (ASTM D4595)</b>				
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia Grab (KN)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Resistencia Grab (KN)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>#</b>	<b>SL</b>		<b>ST</b>	
1	90	11	88	12
2	135	9	132	9
3	114	10	109	11
4	92	11	92	11
5	89	10	88	10
6	123	10	124	9
7	118	11	118	11
8	115	11	113	11
9	128	10	125	12
10	117	11	119	11
11	136	11	140	10
12	142	11	141	11
13	134	11	135	10
14	93	10	92	10
15	92	11	92	12
16	83	12	85	12
17	86	12	87	11
18	92	12	83	12
19	111	12	111	12
20	113	11	112	11
21	115	11	112	12
22	117	10	115	11
23	124	9	123	10
24	122	10	121	11
25	109	12	110	11

Tabla 7: Resultado ensayo de tensión tira ancha ASTM D4535 (elaboración propia)

### 3.3 Resistencia al Punzonamiento CBR (ASTM D6241)

La resistencia al punzonamiento máximo se termina usando un pisto tipo CBR con el fin de determinar la resistencia máxima a la falla, en este caso los geotextiles tejidos tienden a falla súbitamente producto de la presión ejercida entre las argollas y el pistón.

A continuación, se presentan los resultados:

<b>RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO CBR (ASTM D6241)</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (KN)</b>
1	9
2	12,5
3	11,2
4	9,2
5	8,8
6	11,2
7	11,4
8	11,3
9	11,9
10	11,4
11	12,6
12	13
13	12,5
14	9
15	9,1
16	8,5
17	8,8
18	9,2
19	11
20	11,1
21	11,1
22	11,3
23	12
24	11,5
25	11

Tabla 8: Resultado ensayo de punzonamiento CBR ASTM D6241 (elaboración propia)

### 3.4 Resistencia al Rasgado Trapezoidal (ASTM D4533)

La resistencia al rasgado trapezoidal no es un valor muy determinante dentro de un sistema suelo geotextil, sin embargo, es necesario controlar este fenómeno ya que pueden ocurrir cortes dentro del proceso constructivo.

A continuación, los resultados para los especímenes analizados.

<b>RESISTENCIA AL RAZGADO TRAPEZOIDAL (ASTM D4533)</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (N)</b>
1	1562
2	3182
3	2426
4	1634
5	1526
6	2750
7	2570
8	2462
9	2930
10	2534
11	3218
12	3434
13	3146
14	1670
15	1634
16	1310
17	1418
18	1634
19	2318
20	2390
21	2462
22	2534
23	2786
24	2714
25	2246

Tabla 9: Resultado ensayo de rasgado trapezoidal ASTM D4533 (elaboración propia)

### 3.5 Tasa de Flujo en el Plano, Transitividad (ASTM D4716\*)

Dentro de la investigación quizás este es uno de los ensayos más importantes, con este ensayo podemos estimar cual es la cantidad de caudal que puede conducir nuestro geotextil en el plano, para este ensayo se utilizó una única cabeza de presión de 200kPa y un gradiente hidráulico de 0.1 simulando una posición horizontal.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos para cada una de las muestras analizadas.

<b>TASA DE FLUJO EN EL PLANO (ASTM D4716*)</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Caudal (l/h - m)</b>
1	6,3
2	13,9
3	9,9
4	8,2
5	8,5
6	13,2
7	12,1
8	12,4
9	13,8
10	12,8
11	7,3
12	14,1
13	14
14	11,1
15	11,5
16	9,8
17	10,6
18	10
19	11,2
20	11
21	12,4
22	13,2
23	13,9
24	14
25	5,5

Tabla 10: Resultado ensayo de tasa de flujo en el plano ASTM D4716\* (elaboración propia)

### 3.6 Conductividad hidráulica, velocidad.

La conductividad o velocidad del fluido a través de geotextil es importante dentro de nuestra investigación porque así conoceremos a qué velocidad se puede mover el fluido dentro del geotextil para ser evacuado. El ensayo se realizó dentro de un laboratorio bajo condiciones atmosféricas típicas y con flujo libre, el geotextil no tenía elementos de contacto que retardaran o aumentaran la velocidad del fluido.

Los siguientes son los resultados.

<b>CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Velocidad (m/hora)</b>
1	0
2	11.58
3	3.3
4	2.48
5	5.31
6	2.93
7	4.65
8	6.2
9	3.29
10	9.85
11	3.04
12	7.05
13	3.59
14	3.7
15	3.48
16	2.33
17	7.07
18	2.22
19	2.87
20	5.5
21	4.43
22	8.25
23	11.41
24	4.24
25	4.23

Tabla 11: Resultado ensayo de conductividad hidráulica\* (elaboración propia)

### 3.7 Tamaño de Abertura Aparente (ASTM D4751)

El tamaño de poros es importante en nuestra investigación debido a que es un componente que controla el comportamiento del geotextil como elemento de separación. La combinación de diferentes tipos de filamentos y la consistencia del tejido pueden ser un factor determinante en los resultados.

A continuación, se presentan los valores registrados.

<b>TAMAÑO DE ABERTURA APARENTE (ASTM D4751)</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Tamaño (mm)</b>
1	0.425
2	0.256
3	0.435
4	0.256
5	0.294
6	0.435
7	0.313
8	0.417
9	0.263
10	0.345
11	0.455
12	0.345
13	0.476
14	0.455
15	0.333
16	0.4
17	0.286
18	0.357
19	0.385
20	0.385
21	0.417
22	0.263
23	0.333
24	0.357
25	0.18

*Tabla 12: Resultados ensayo de tamaño de apertura aparente (ASTM D4751) (elaboración propia)*

### 3.8 Permeabilidad (ASTM D4491)

En la actualidad el valor de permeabilidad en el plano o perpendicular al geotextil es valor que controla que un geotextil se pueda instalar dentro de un medio drenante. La capacidad de no retener y permitir el paso de fluidos es de vital importancia en cualquier tipo de obra geotecnia o de pavimentos.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos.

<b>PERMEABILIDAD EN EL PLANO (ASTM D4491)</b>	
<b>Muestra</b>	<b>K (cm/seg)</b>
1	0.037
2	0.11
3	0.0526
4	0.0909
5	0.0521
6	0.0877
7	0.0709
8	0.0917
9	0.0592
10	0.0513
11	0.0685
12	0.0575
13	0.087
14	0.0971
15	0.0709
16	0.098
17	0.0535
18	0.0467
19	0.115
20	0.0488
21	0.0518
22	0.0488
23	0.0741
24	0.112
25	0.014

Tabla 13: Resultados ensayo de permeabilidad (ASTM D4491) (elaboración propia)



### 3.9 Corte directo a gran escala contacto geotextil geotextil (ASTM D5321B)

Con el fin de evaluar la interacción entre los diferentes tipos de tejido confeccionados, se realizó un ensayo de corte a gran escala para obtener los valores de resistencia al corte en un modelo Mohr Coulomb. Se realizaron los siguientes ensayos:

- Geotextil tejido de filamentos PP en contacto con Geotextil Tejido de Filamentos PP
- Geotextil tejido de filamentos mezclados de PP y PET en contacto con Geotextil Tejido de Filamentos mezclados de PP y PET
- Geotextil tejido de filamentos PET en contacto con Geotextil Tejido de Filamentos PET

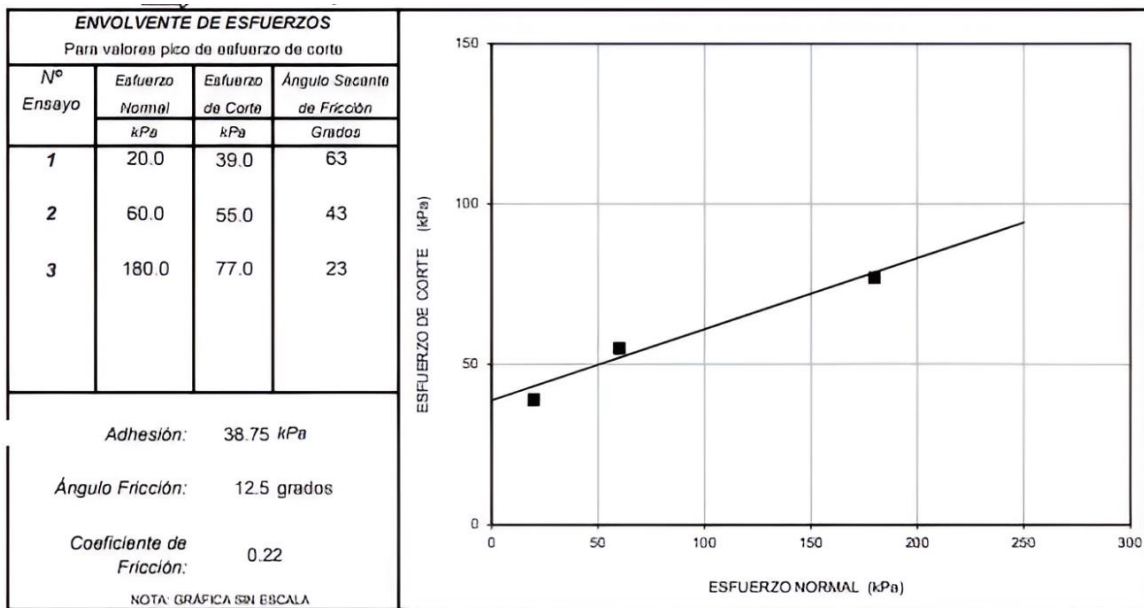


Tabla 14: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

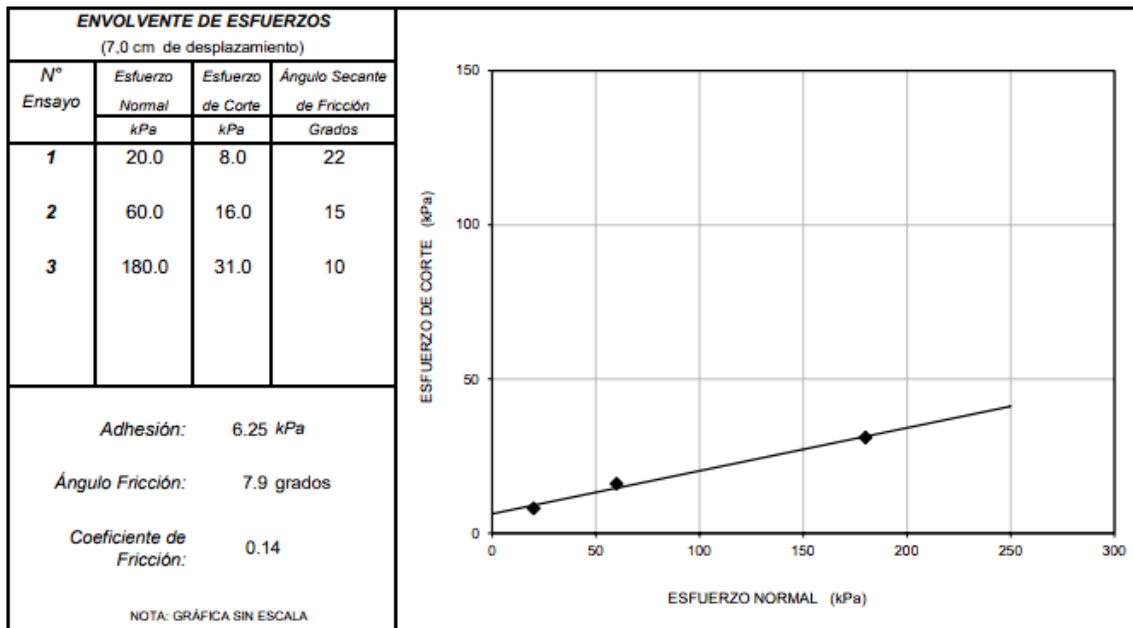


Tabla 15: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

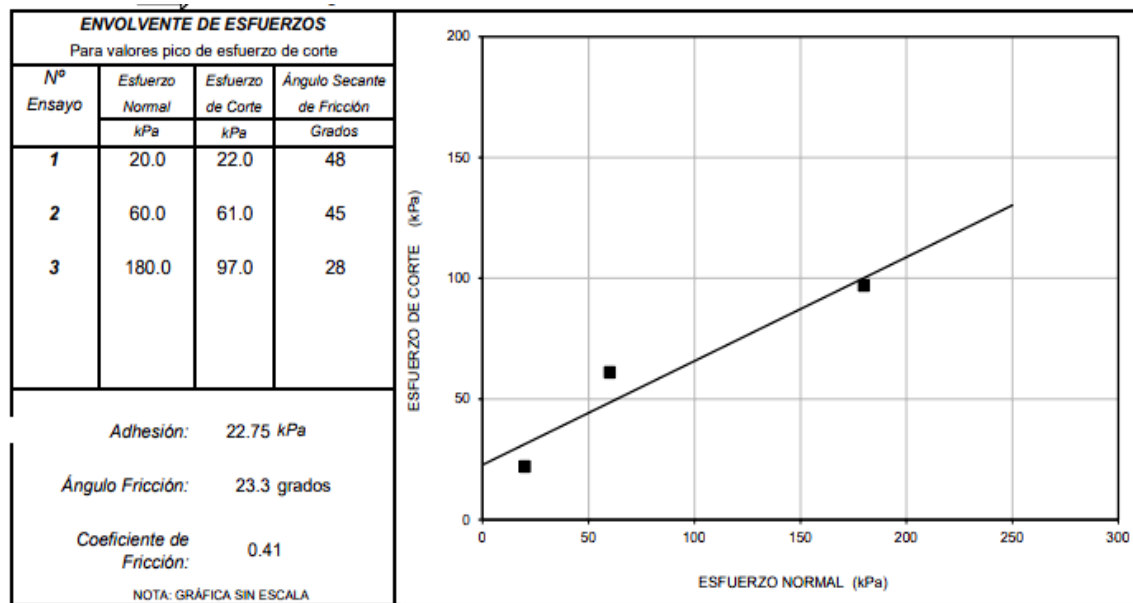


Tabla 16: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PET y PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

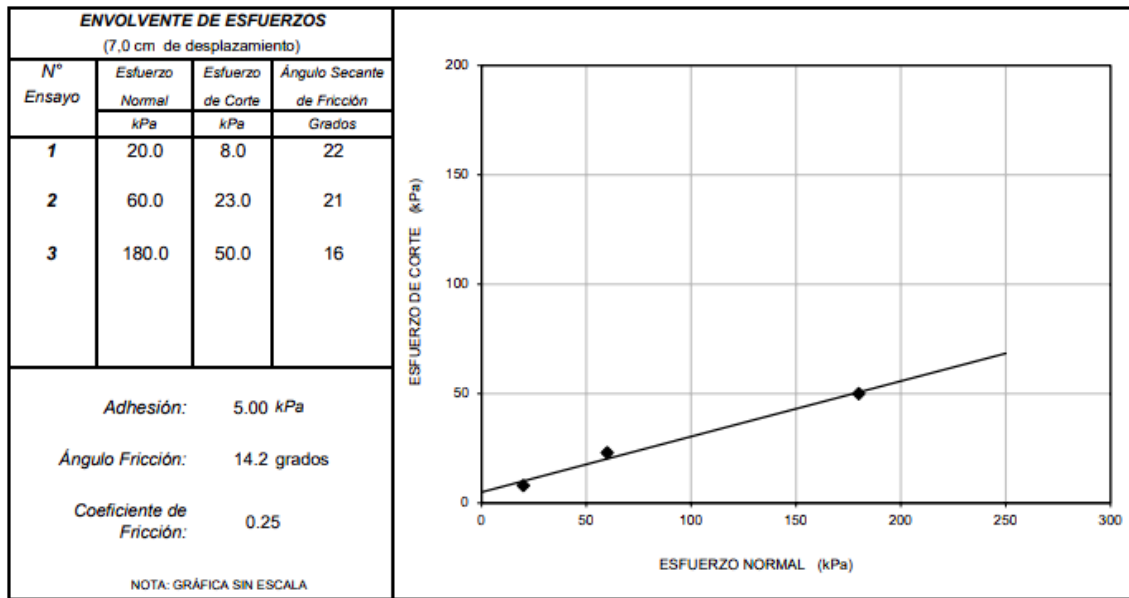


Tabla 17: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PET y PP (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

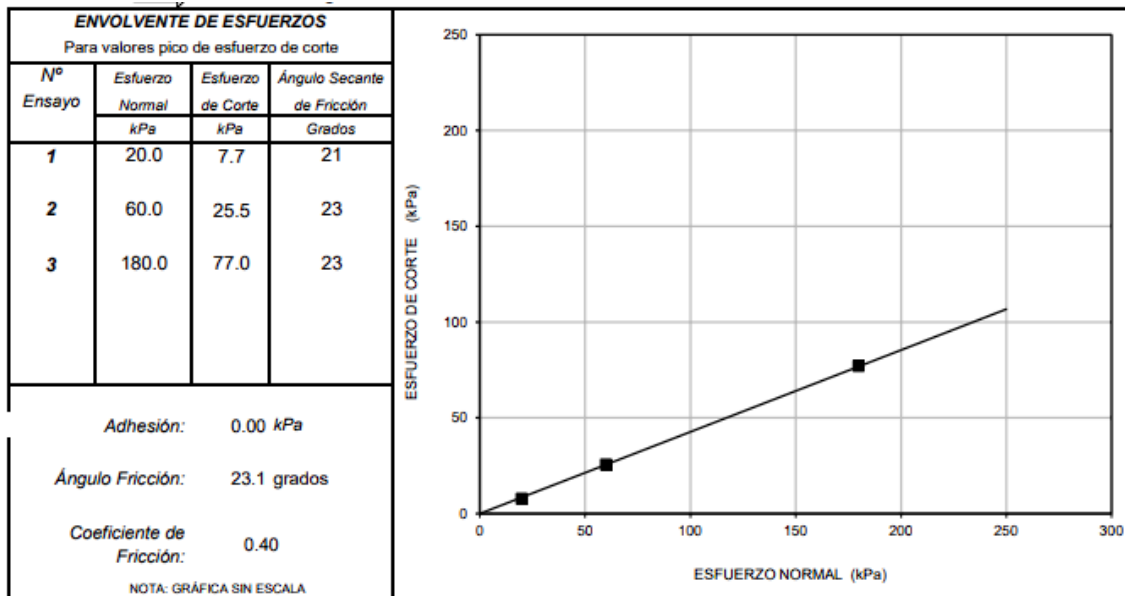


Tabla 18: Resultados ensayo de corte a gran escala, geotextil PET (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

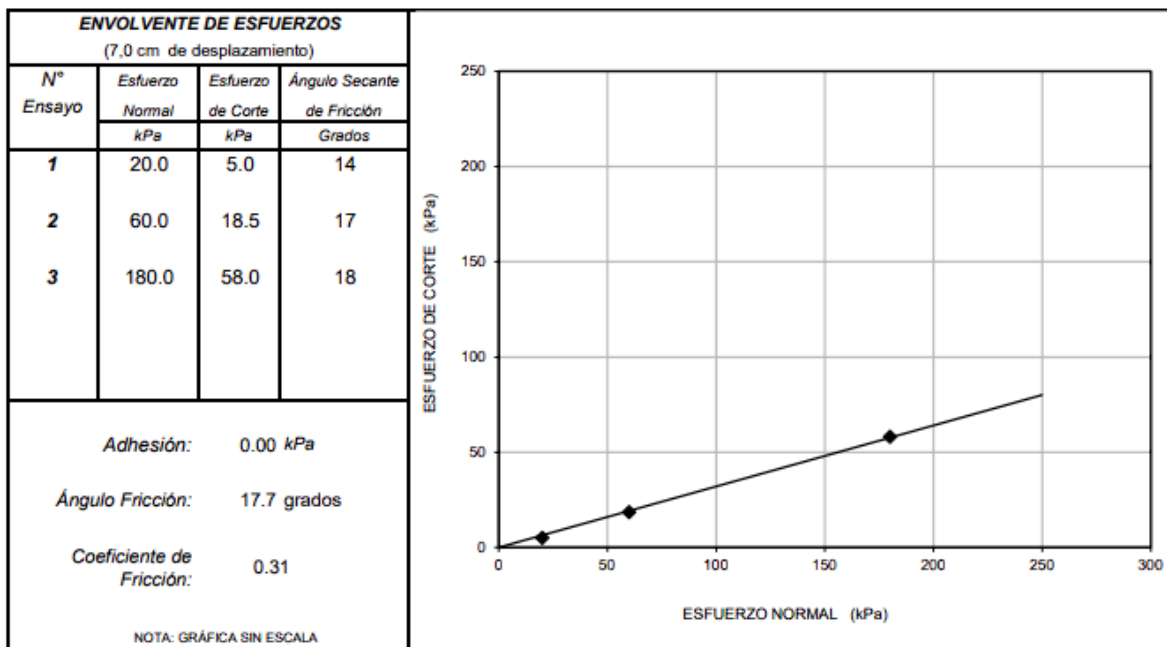


Tabla 19: Resultados ensayo de corte a gran escala, 7cm de desplazamiento, geotextil PET (ASTM D5321B) (AUSENCO Laboratorio Geotécnico)

## Capítulo IV

### 4.0 Análisis de resultados

Con los resultados obtenidos se realiza un análisis profundo para determinar cuál de las muestras ensayadas presenta mejor comportamiento dentro de los tres componentes a evaluar. El objetivo de la investigación es determinar si los geotextiles tejidos conformado a partir de diferentes resinas plásticas y tipo de filamentos, pueden actuar como elemento de drenaje dentro de una estructura conformada por suelo. Para llegar a una conclusión, es necesario evaluar los resultados de los ensayos en conjunto dentro de cada una de sus aplicaciones.

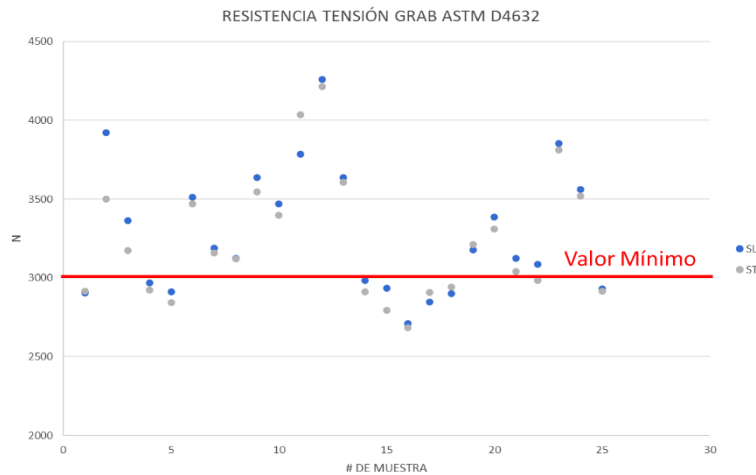
A continuación, se presenta un análisis de resultados, para cada una de las aplicaciones del geotextil tejido.

## 4.1 Geotextil de separación

Como lo mencionamos en el capítulo 2 para utilizar un geotextil tejido de separación, es necesario evaluar el Geosintético como mínimo bajo los siguientes 4 ensayos: Resistencia a la tensión Grab, resistencia al punzonamiento, resistencia al rasgado trapezoidal y criterio de retención (tamaño de abertura aparente)

Evaluamos cada uno de los ensayos realizados en cada función para conocer cuáles de las muestras de geotextil tejido tienen mejores resultados.

- Resistencia a la tensión Grab y elongación



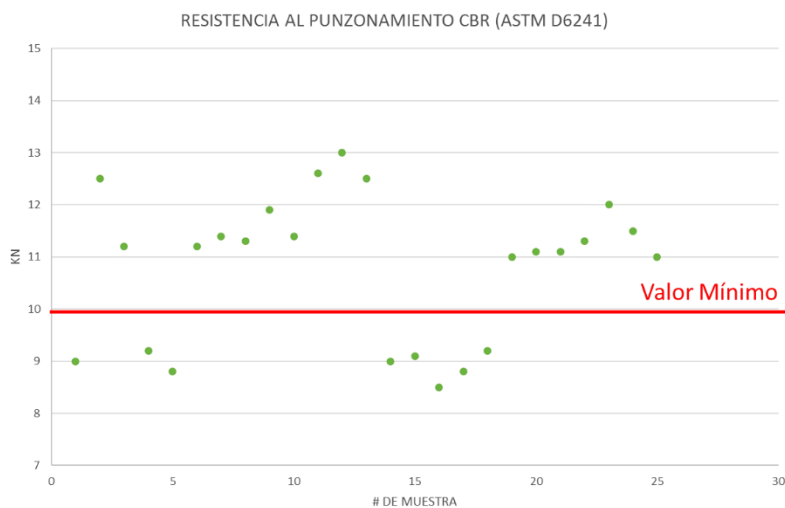
Gráfica 1: Análisis de resultados ensayo de resistencia Grab (elaboración propia)



Gráfica 2: Análisis de resultados ensayo de resistencia Grab, elongación (elaboración propia)

Encontramos valores que varían entre los 2500 y 4500 N, lo que se considera una dispersión muy alta para ser geotextiles similares, no siendo así en los resultados de elongación que mantienen una dispersión aceptable. Aunque en su mayoría son resultados admisibles dentro de las aplicaciones de ingeniería, a partir de los resultados se definió rangos de valores aceptables mínimos para la tensión y máximos para la elongación, tomando como base el tipo de Geosintético y su aplicación. Se considera como opción las muestras que igualen o superen dichos valores.

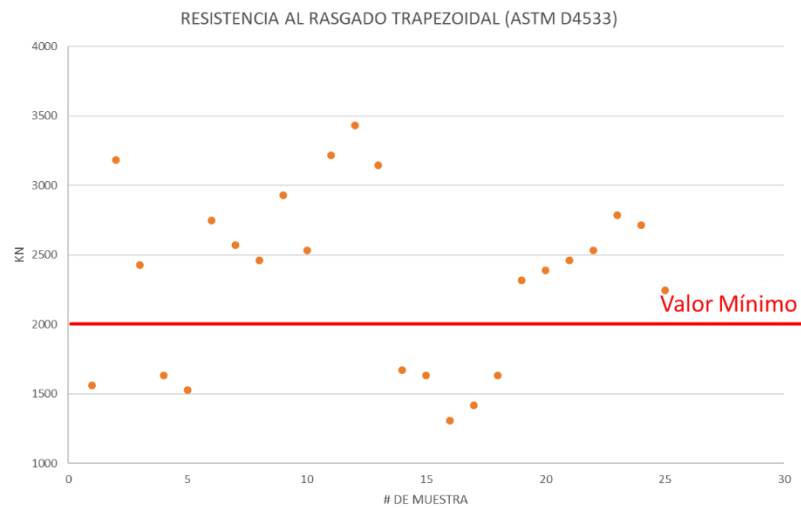
- Resistencia al punzonamiento CBR



Gráfica 3: Análisis de resultados ensayo punzonamiento CBR (elaboración propia)

En este caso se encontró una diferencia notoria entre los tipos de muestras, obteniendo unos valores por debajo de 9.5 kN y otros por encima de 11 kN. Para este ensayo se consideró un valor mínimo aceptable de 10 kN, el resultado de la resistencia al punzonamiento es uno de los más importantes cuando utilizamos un geotextil tejido como elemento separador.

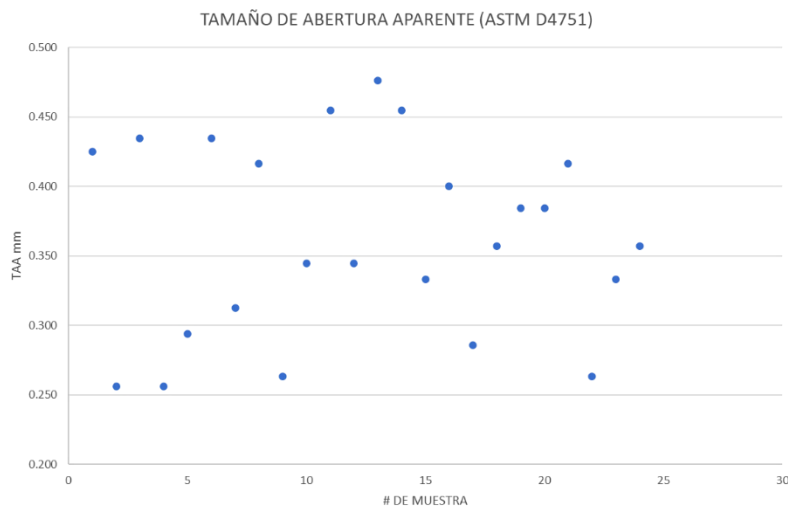
- Resistencia al rasgado trapezoidal



Gráfica 4: Análisis de resultados ensayo rasgado trapezoidal (elaboración propia)

En los resultados de un ensayo de rasgado trapezoidal es común encontrar una alta dispersión ya que su comportamiento es controlado por la calidad de los filamento y tejidos, cualquier diferencia en estos aspectos puede generar resultados por debajo de lo esperado. En este caso se defino como valor mínimo 2000N.

- Criterio de retención, tamaño de abertura aparente (TAA)



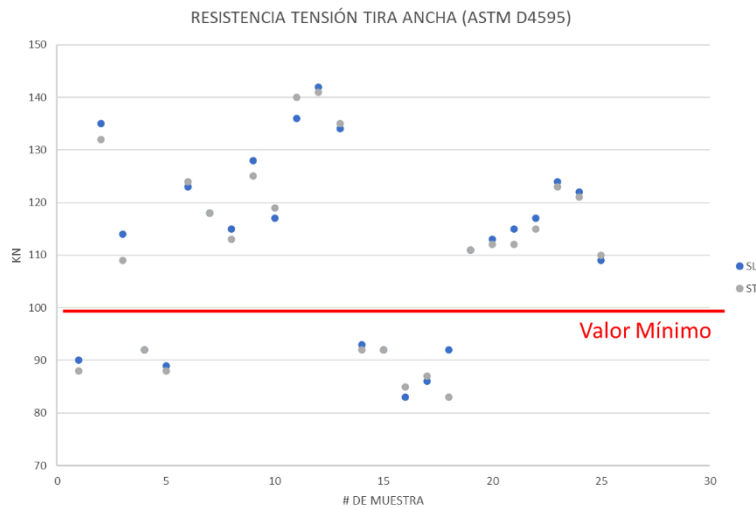
Gráfica 5: Análisis de resultados ensayo tamaño de abertura aparente (elaboración propia)

Era de esperar que para el ensayo ASTM D4751 se presenta una alta dispersión, la fusión de porcentajes diferentes de filamentos de poliéster y polipropileno varían directamente el tamaño de los vacíos del tejido a esto se suma la diferencia entre los tipos de filamentos y la consistencia del tejido. Para el criterio de retención se determinó como valor mínimo el recomendado por la norma de la AASTHO M288-21 de 0.6mm.

## 4.2 Geotextil de refuerzo

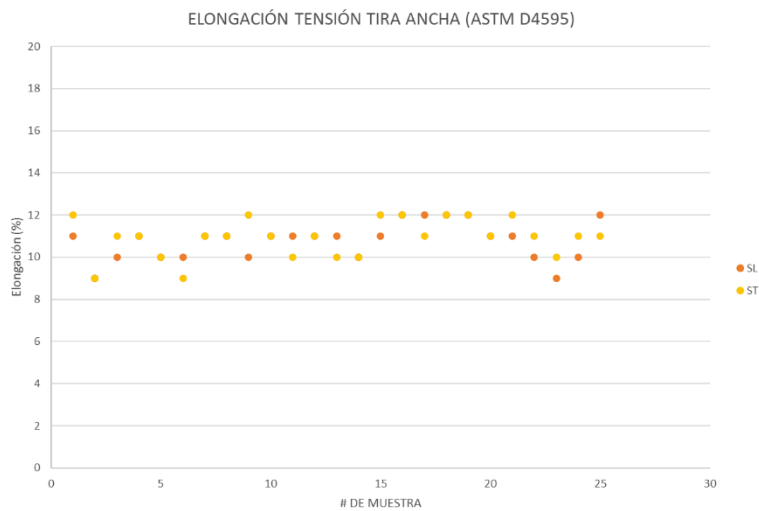
Un geotextil tejido utilizado como refuerzo debe tener una resistencia a la tensión mínima requerida, definida en el diseño, aceptables elongaciones y una buena interacción con los materiales pétreos utilizados en el relleno o con otros geosintéticos instalados dentro de una misma estructura. Para este estudio se realizaron ensayos de resistencia a la tensión en tira ancha, elongación en tira ancha e interacción entre geotextiles de un mismo tipo.

- Resistencia a la tensión y elongación, tira ancha



Gráfica 6: Análisis de resultados ensayo de tensión, tira ancha (elaboración propia)

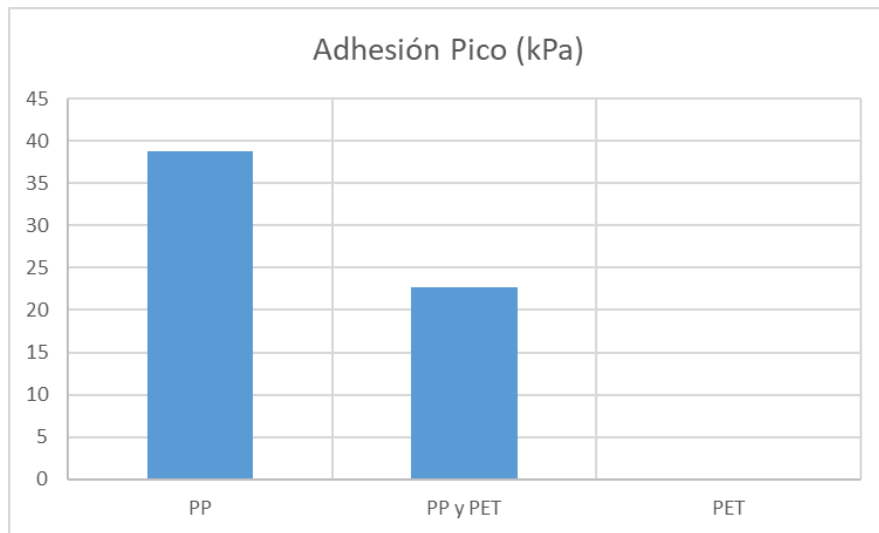




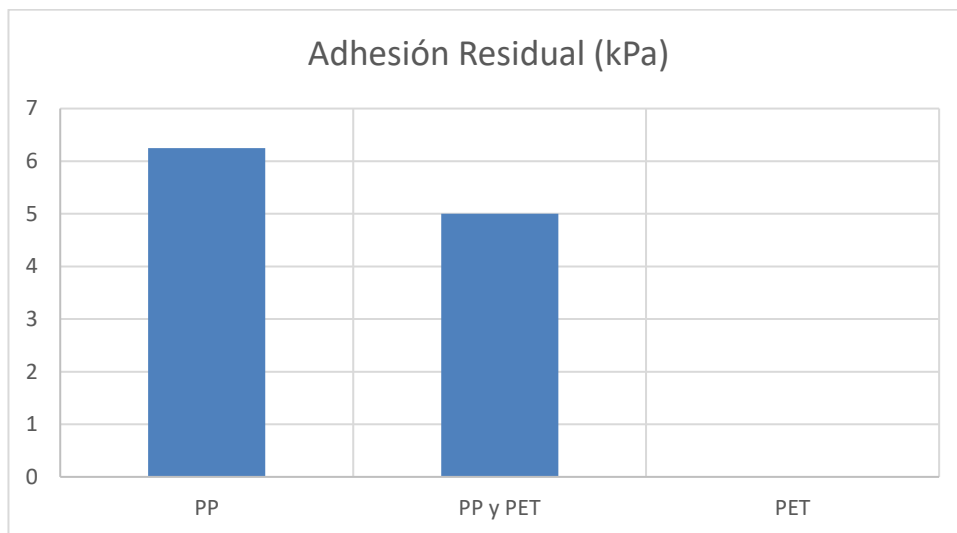
Gráfica 7: Análisis de resultados ensayo de elongación a la tensión, tira ancha (elaboración propia)

Es importante aclarar que no existe un valor mínimo de resistencia a la tensión, la selección de la resistencia a la tensión mínima depende de un diseño o evaluación técnica de cada proyecto en particular. Actualmente se pueden encontrar geotextil desde 10 hasta 2500 kN/m, pero su selección depende de las necesidades del proyecto. Para esta investigación definimos como valor mínimo 100 kN/m, teniendo en cuenta el orden de magnitud que los geotextiles analizados pueden alcanzar con base en los resultados de los otros ensayos y sus propiedades físicas. En cuanto a la elongación, se encontraron valores muy similares con deformaciones máximas del 12%, estos valores están dentro de los rangos máximos necesarios para aplicarlos en una solución de refuerzo.

- Interacción entre geotextil y geotextil
  - **Adhesión**



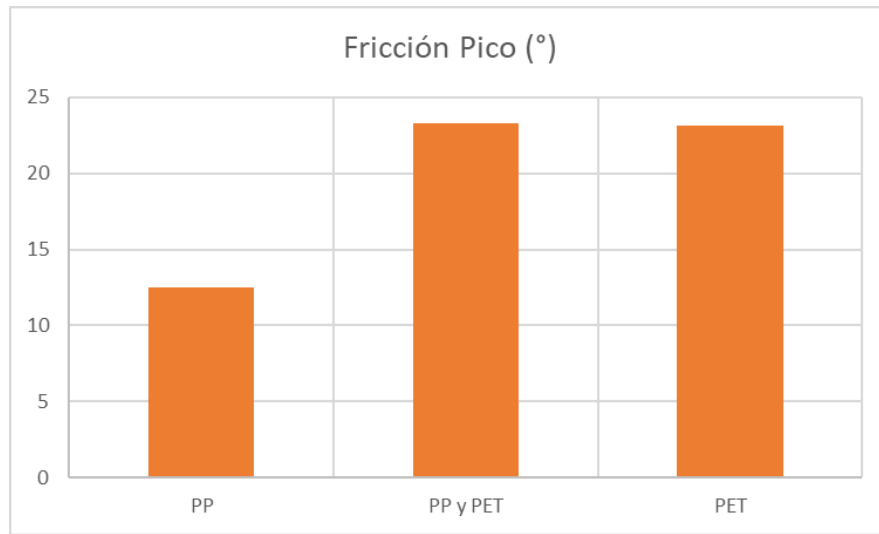
Gráfica 8: Análisis de resultados ensayo de corte, adhesión pico (elaboración propia)



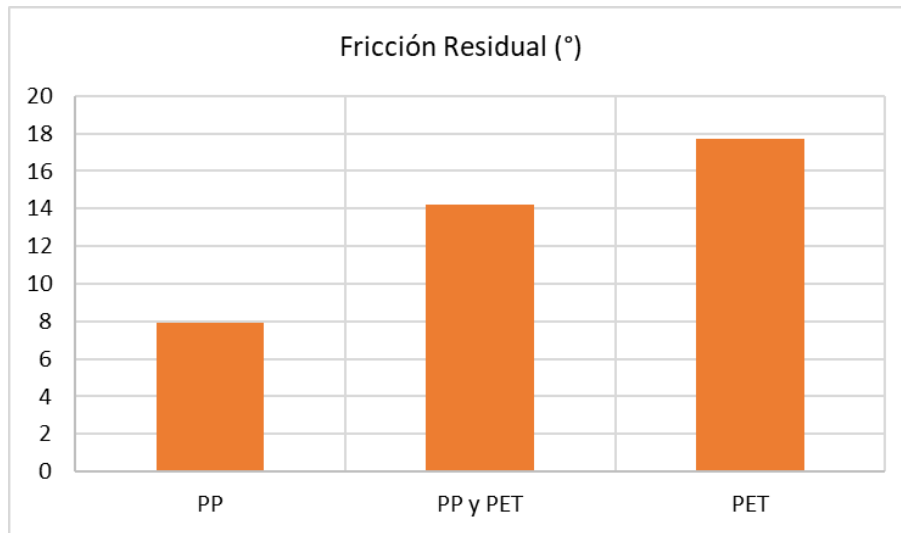
Gráfica 9: Análisis de resultados ensayo de corte, adhesión residual (elaboración propia)

Debido a la rugosidad o macroestructura de los geotextiles tejidos confeccionados a partir de filamentos del PP y PET+PP, se obtiene una adhesión entre los materiales. Lo que garantiza una mejor estabilidad cuando los elementos están en contacto directo. La rugosidad de este tipo de geotextiles se produce por la no uniformidad de sus filamentos o fibras, esto se intensifica cuando se mezclan dos tipos de resinas con diferentes filamentos.

○ **Fricción**



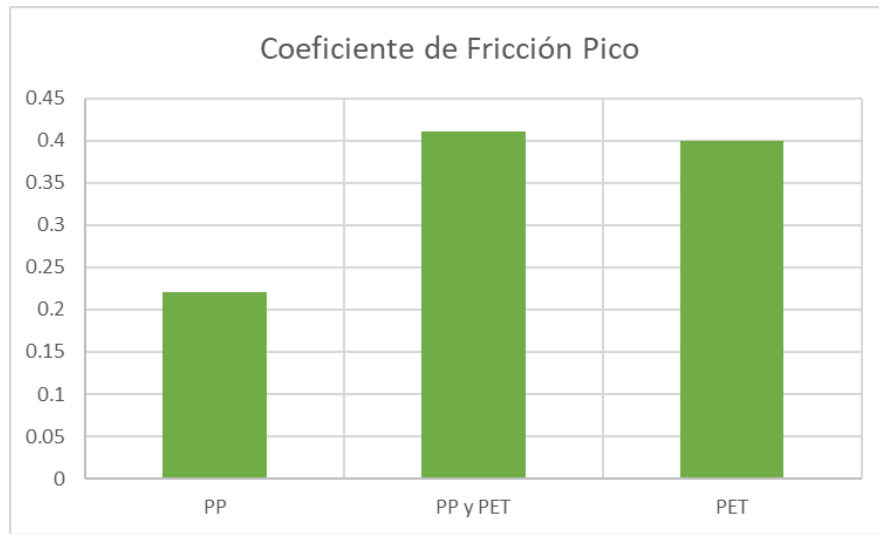
Gráfica 10: Análisis de resultados ensayo de corte, fricción pico (elaboración propia)



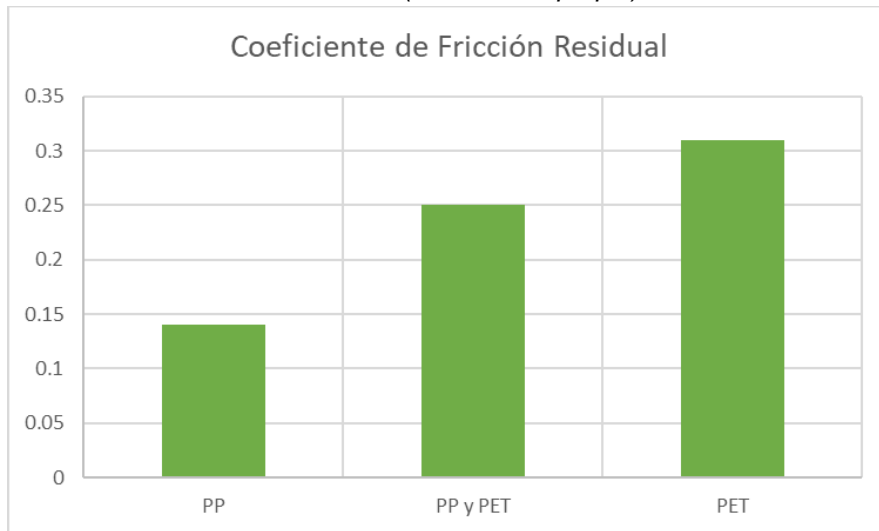
Gráfica 11: Análisis de resultados ensayo de corte, fricción residual (elaboración propia)

Para la fricción encontramos resultados de interacción mejores resultados en los geotextiles confeccionados a partir de filamentos de PET+PP y PET lo que hace pensar que es la microestructura del multifilamento la que controla la fricción, siendo una estructura lisa en el caso de los geotextiles tejidos de filamentos del PP y una estructura rugosa en para los otros tipos. La fricción entre los materiales mejora la estabilidad de soluciones donde los geotextiles están en contacto directo.

○ **Coefficiente de fricción**



*Gráfica 12: Análisis de resultados ensayo de corte, Coeficiente de fricción Pico (elaboración propia)*



*Gráfica 13: Análisis de resultados ensayo de corte, Coeficiente de fricción Residual (elaboración propia)*

El coeficiente de fricción o la pendiente de la recta, relaciono entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal, es mejor para geotextil con microestructuras rugosas, sus multifilamentos interactúan adecuadamente entre materiales.

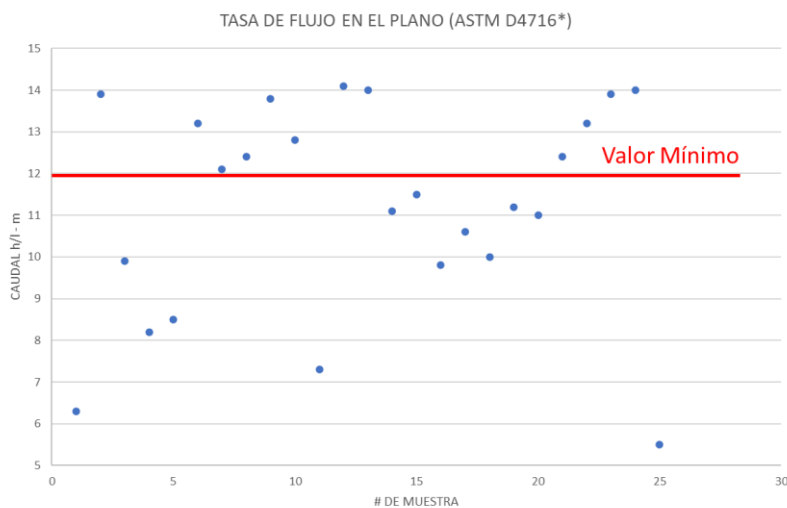
Con los resultados obtenidos y tomando en cuenta los dos componentes de resistencia al corte es claro concluir que el geotextil que presenta mejor interacción consigo mismo el

geotextil tejido confeccionado a partir de cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster.

### 4.3 Geotextil de drenaje

Los aspectos más relevantes para que un Geosintético funcione como elemento de drenaje es la tasa de flujo o caudal que puede manejar a través del plano, este ensayo determina cual es la cantidad de fluido que puede transportar el elemento a través de su propio cuerpo bajo un esfuerzo normal o condiciones de confinamiento vertical, en este caso los ensayos se realizaron bajo una presión de 200 kPa. En esta investigación complementamos este ensayo con un ensayo de conductividad hidráulica o velocidad que puede alcanzar el fluido a través de plano sin ningún elemento en contacto con el geotextil y en condiciones de presión atmosférica.

- Tasa de flujo a través del plano



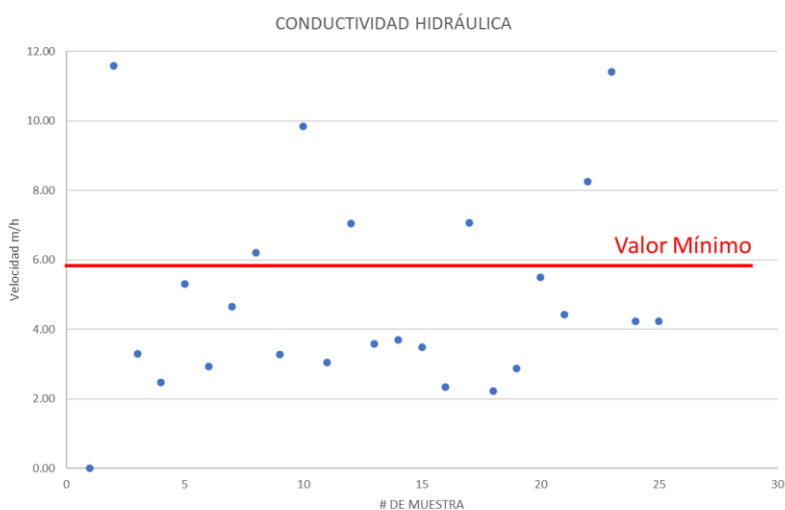
Gráfica 14: Análisis de resultados ensayo de tasas de flujo a través del plano bajo 200kPa de compresión y gradiente hidráulico de 0.1 (elaboración propia)

Comparando los resultados con sistemas de subdrenaje como geocompuestos drenantes, los valores alcanzados por las muestras de geotextil tejido analizadas son muy inferiores a los valores que pueden alcanzar los geocompuestos drenantes. Esto imposibilita la posibilidad de utilizar los geotextiles tejidos analizadas como elementos de drenaje principales. Sin embargo, al contar con una capacidad de flujo en el plano puede

disminuir las presiones hidrostáticas, controlar la humedad o saturación y aumentar los factores de seguridad en los sistemas suelo geotextil.

En este caso se definió un valor de aceptación o rechazo de 12 l/h-m intentando ser lo más rigurosos posible debido a la importancia de la propiedad. Es importante resaltar los bajos resultados de las muestras 1 y 25, geotextiles fabricados a partir de un único tipo de filamento y resina plástica.

- Conductividad hidráulica

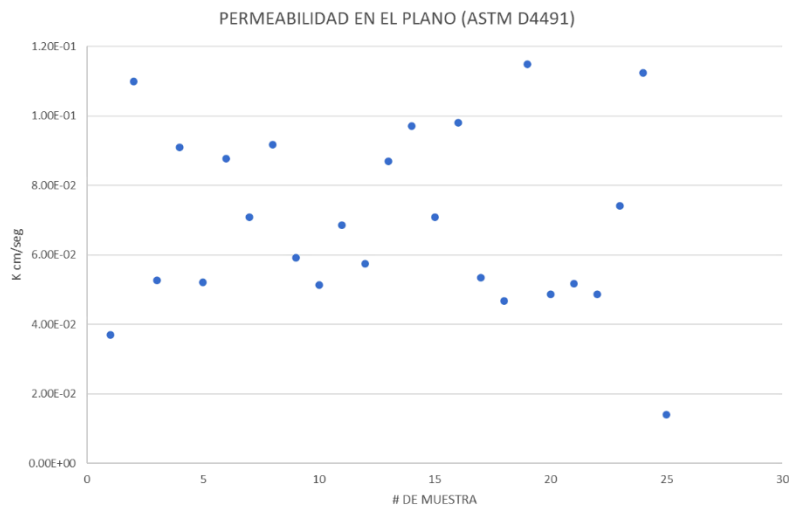


Gráfica 15: Análisis de resultados ensayo de conductividad hidráulica (elaboración propia)

Las velocidades que pueden alcanzar los fluidos por efecto capilaridad varían entre 2 y 11 metros/hora, en realidad son valores bajos para considerarlos como elementos de drenaje, lo que limita la utilización de estos elementos como sistema de drenaje principal. Al igual que los resultados anteriores, estos valores obtenidos se puede ver reflejados en efectos positivos de control de humedad, saturación y mayores factores de seguridad.

Con el fin de selección los geotextiles con mayor velocidad o capacidad hidráulica se considera un valor mínimo de 6 m/h. El geotextil tejido filamento PP no presenta conductividad hidráulica en el plano y las muestras donde predomina el filamento PET se saturaban y el líquido no avanzaba, disminuyendo drásticamente la velocidad.

- Permeabilidad en plano



*Gráfica16: Análisis de resultados ensayo de permeabilidad en el plano (elaboración propia)*

Es de esperar altos valores de permeabilidad perpendicular al plano, valores similares a los de algunos geotextiles no tejidos, esto se debe a su configuración y alta relación de vacíos. La mezcla entre diferentes tipos de filamentos y polímeros facilitan el paso del fluido a través del plano. Estos valores hacen que estos geotextiles se puedan aplicar en soluciones de subdrenaje como colchones drenantes, donde el medio de drenaje es el material granular, pero el fluido necesita atravesar el geotextil. En el resultado se muestra la gran diferencia de permeabilidad de los geotextiles confeccionados a partir de un único tipo de filamento y los geotextiles mezclados.

#### **4.4 Geotextil de separación, refuerzo y drenaje**

Con el fin de definir la selección del geotextil tejido con los mejores resultados, realizamos un análisis mediante una matriz de decisión con los valores mínimos o máximos establecidos, verificando cuales muestras de geotextiles tejidos ensayados cumplen con todos los criterios.

Se determino utilizar el color rojo cuando el valor no cumple y el color verde cuando el valor cumple. Al final de la matriz tenemos un resultado global usando color azul para aprobado y color naranja para no aprobado.

Muestra	MATRIZ DE DECISION												
#	RESISTENCIA TENSION GRAB (ASTM D4632)	ELONGACION TENSION GRAB (ASTM D4632)	RESISTENCIA TENSION TIRA ANCHA (ASTM D4595)	ELONGACION TENSION TIRA ANCHA (ASTM D4595)	RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO CBR (ASTM D6241)	RESISTENCIA AL RAZGADO TRAPEZOIDAL (ASTM D4533)	TASA DE FLUJO EN EL PLANO (ASTM D4716)	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	TAMANO DE ABERTURA APARENTE (ASTM D4751)	PERMEABILIDAD EN EL PLANO (ASTM D4491)	ADHESION	FRICCION	RESULTADO
1	2905	18	90	11	9	1562	6.3	0.00	0.425	3.70E-02	38.7	12.5	
2	3922	15	135	9	12.5	3182	13.9	11.58	0.256	1.10E-01	22.75	23.3	
3	3362	15	114	10	11.2	2426	9.9	3.30	0.435	5.26E-02	22.75	23.3	
4	2968	16	92	11	9.2	1634	8.2	2.48	0.256	9.09E-02	22.75	23.3	
5	2910	15	89	10	8.8	1526	8.5	5.31	0.294	5.21E-02	22.75	23.3	
6	3512	14	123	10	11.2	2750	13.2	2.93	0.435	8.77E-02	22.75	23.3	
7	3187	14	118	11	11.4	2570	12.1	4.65	0.313	7.09E-02	22.75	23.3	
8	3124	15	115	11	11.3	2462	12.4	6.20	0.417	9.17E-02	22.75	23.3	
9	3636	14	128	10	11.9	2930	13.8	3.29	0.263	5.92E-02	22.75	23.3	
10	3471	15	117	11	11.4	2534	12.8	9.85	0.345	5.13E-02	22.75	23.3	
11	3784	15	136	11	12.6	3218	7.3	3.04	0.455	6.85E-02	22.75	23.3	
12	4260	14	142	11	13	3434	14.1	7.05	0.345	5.75E-02	22.75	23.3	
13	3638	15	134	11	12.5	3146	14	3.59	0.476	8.70E-02	22.75	23.3	
14	2982	16	93	10	9	1670	11.1	3.70	0.455	9.71E-02	22.75	23.3	
15	2935	16	92	11	9.1	1634	11.5	3.48	0.333	7.09E-02	22.75	23.3	
16	2712	17	83	12	8.5	1310	9.8	2.33	0.400	9.80E-02	22.75	23.3	
17	2846	17	86	12	8.8	1418	10.6	7.07	0.286	5.35E-02	22.75	23.3	
18	2901	17	92	12	9.2	1634	10	2.22	0.357	4.67E-02	22.75	23.3	
19	3178	16	111	12	11	2318	11.2	2.87	0.385	1.15E-01	22.75	23.3	
20	3386	15	113	11	11.1	2390	11	5.50	0.385	4.88E-02	22.75	23.3	
21	3124	16	115	11	11.1	2462	12.4	4.43	0.417	5.18E-02	22.75	23.3	
22	3086	16	117	10	11.3	2534	13.2	8.25	0.263	4.88E-02	22.75	23.3	
23	3854	14	124	9	12	2786	13.9	11.41	0.333	7.41E-02	22.75	23.3	
24	3562	14	122	10	11.5	2714	14	4.24	0.357	1.12E-01	22.75	23.3	
25	2930	16	109	12	11	2246	5.5	4.23	0.180	1.40E-02	0	23.1	

Tabla 20: Matriz de decisión, geotextil tejido (elaboración propia)

Con base en la matriz de decisión se puede concluir que solo 6 de las 25 muestras de geotextiles tejidos ensayados cumplen con los criterios mínimos establecidos. Los ensayos más rigurosos y donde la mayoría de los geotextiles no cumplieron fueron los ensayos de drenaje.

De las muestras aprobadas, los especímenes 2 y 23 son las que presenta mejores propiedades mecánicas e hidráulicas, controlado el tamaño de abertura aparente.

## Capítulo V

### 5.0 Aplicaciones

Para evaluar las posibles aplicaciones y efectos que puede producir un geotextil tejido dentro de una estructura se realizó el diseño de un muro en suelo reforzado y una estabilización de subrasantes. La evaluación considera las condiciones típicas de una estructura de contención y la estabilización de una vía, con base en las propiedades del



geotextil seleccionado, a este análisis se suma la evaluación del elemento como un sistema drenaje.

A continuación, se presentan los resultados típicos dentro de la evaluación de estas dos estructuras y las condiciones, suposiciones y análisis que se tuvieron en cuenta para evaluar el aporte del geotextil tejido como un elemento de drenaje, concluyendo la viabilidad de su aplicación y las limitaciones de este.

Para el diseño y análisis se utilizan los resultados obtenidos en la muestra 2, la cual en promedio es la que presenta mejor comportamiento.

### **5.1 Muros en suelo reforzado**

Para el análisis de la solución se tienen en cuenta las siguientes condiciones y suposiciones.

- Se evaluó y analizó una única estructura, manteniendo todas sus variables constantes.
- La estructura analizada simula un muro en suelo reforzado de 5m de altura libre, solución típica para estribos de puente donde se utiliza el mismo material de relleno en el espaldón y en el muro
- Se definieron unas propiedades mecánicas e hidráulicas típicas o promedio para materiales de relleno tipo afirmado o terraplén como suelo de relleno y suelo a confinar
- Las propiedades del material de fundación fueron establecidas con el fin de que sus valores no influenciaran los resultados de la estabilidad interna, se utilizó un suelo con buenas características
- No se consideran sobre cargas
- Para el análisis de estabilidad interna y externa del muro en suelo reforzado se utilizó el programa Geosoft Pavco, donde se seleccionó un geotextil con resistencia similares a los evaluados y aprobados.
- El diseño fue realizado mediante la metodología ASD, diseño por esfuerzo de trabajo.

## Geometría MSR

Se define un muro en suelo reforzado de 5m de altura libre y 1m de profundidad de desplante

Numero de Niveles	1
Altura Total H	6.00 m
Base Total B	4.50 m
Desplante D	1.00 m
Inclinación cara muro. $\beta_1$	90.00 grados
Inclinación terreno cim. $\beta_2$	10.00 grados

Tabla 21: Geometría muro en suelo reforzado (reporte Geosoft)

## Propiedades de los materiales que conforman el modelo

Para los análisis de estabilidad se utiliza las siguientes propiedades de los suelos de fundación, confinar y de relleno.

Propiedad	Unidad	Relleno	Fundación	Confinar	Desplante
Cohesión	kPa	5.00	15.00	5.00	15.00
Fricción	grad	30.00	35.00	30.00	35.00
Peso Unitario	kN/m <sup>3</sup>	19.00	18.00	19.00	18.00

Tabla 22: Propiedades mecánicas de los materiales que conforma el modelo (reporte Geosoft)

## Resultados estabilidad interna

Capa i	Z [m]	Sv diseño [m]	Geosintético	Li [m]	La [m]	Le [m]	Lt [m]	Tmax [kN/m]	Sv Calculado [m]	Verificar Sv	Le (est) Mínimo	Verificar Le
1	0.40	0.40	TR6000 HF	4.50	3.23	1.27	5.90	6.52	2.79	OK	0.31	OK
2	0.80	0.40	TR6000 HF	4.50	3.00	1.50	5.90	7.83	2.32	OK	0.29	OK
3	1.20	0.40	TR6000 HF	4.50	2.77	1.73	5.90	9.15	1.99	OK	0.28	OK
4	1.60	0.40	TR6000 HF	4.50	2.54	1.96	5.90	10.47	1.74	OK	0.27	OK
5	2.00	0.40	TR6000 HF	4.50	2.31	2.19	5.90	11.79	1.54	OK	0.26	OK
6	2.40	0.40	TR6000 HF	4.50	2.08	2.42	5.90	13.10	1.39	OK	0.26	OK
7	2.80	0.40	TR6000 HF	4.50	1.85	2.65	5.90	14.42	1.26	OK	0.25	OK
8	3.20	0.40	TR6000 HF	4.50	1.62	2.88	5.90	15.74	1.16	OK	0.25	OK
9	3.60	0.40	TR6000 HF	4.50	1.39	3.11	5.90	17.06	1.07	OK	0.25	OK
10	4.00	0.40	TR6000 HF	4.50	1.15	3.35	5.90	18.37	0.99	OK	0.25	OK
11	4.40	0.40	TR6000 HF	4.50	0.92	3.58	5.90	19.69	0.92	OK	0.25	OK
12	4.80	0.40	TR6000 HF	4.50	0.69	3.81	5.90	21.01	0.87	OK	0.24	OK
13	5.20	0.40	TR6000 HF	4.50	0.46	4.04	5.90	22.33	0.81	OK	0.24	OK
14	5.60	0.40	TR5000 HF	4.50	0.23	4.27	5.90	23.64	0.63	OK	0.24	OK

Tabla 23: Resultados estabilidad interna muro en suelo reforzado (reporte Geosoft)

Para la estabilidad interna se utilizó un geotextil de 110 kN/m de resistencia pico. Este valor está por debajo de la resistencia alcanzada por las muestras aprobadas en nuestra matriz de decisión, por esta razón los geotextiles tejidos son más favorables en el modelo.

## Resultados estabilidad externa

Deslizamiento	
Σ Fuerza resistente [kN] Condición estática	215.94
Σ Fuerza resistente [kN] Condición con sismo	277.24
Σ Fuerza actuante [kN] Condición estática	111.99
Σ Fuerza actuante [kN] Condición con sismo	175.34
Factores de Seguridad Deslizamiento Condición estática	1.93
Verificacion Deslizamiento Condición estática	CUMPLE
Factores de Seguridad Deslizamiento Condición con sismo	1.58
Verificacion Deslizamiento Condición con sismo	CUMPLE
Volcamiento	
Σ Momento resistente [kN.m] Condición estática	1387.03
Σ Momento resistente [kN.m] Condición con sismo	1415.8
Σ Momento actuante [kN.m] Condición estática	253.98
Σ Momento actuante [kN.m] Condición con sismo	395.49
Factores de Seguridad Volcamiento Condición estática	5.46
Verificacion Volcamiento Condición estática	CUMPLE
Factores de Seguridad Volcamiento Condición con sismo	3.58
Verificacion Volcamiento Condición con sismo	CUMPLE

Capacidad portante	
Excentricidad [m] Condición estática	0.37
Esfuerzos de contacto [kN/m2] Condición estática	200.39
Capacidad portante [kN/m2] Condición estática	1451.83
Factores de Seguridad Capacidad portante Condición estática	7.25
Verificación Capacidad portante Condición estática	CUMPLE

Tabla 24: Resultados estabilidad externa muro en suelo reforzado (reporte Geosoft)

El muro en suelo reforzado cumple con los criterios mínimos de estabilidad externa bajo metodología ASD (diseño por esfuerzo de trabajo).

### Estabilidad Global

Se utiliza un modelo planar dentro del programa Slide 7.0, dentro de este modelo se introducen las propiedades de los suelos, las características del geotextil y las condiciones de drenaje o permeabilidad que condiciones las presiones hidrostáticas dentro del modelo. Un caso evalúa el factor de seguridad global tomando encuentra únicamente la permeabilidad de los suelos para drenar el agua y alivianar presiones, el otro caso evalúa el factor de seguridad tomando en cuenta la permeabilidad de los suelos y la conductividad hidráulica del geotextil tejido de la muestra 2 para drenar el agua y aliviar presiones.

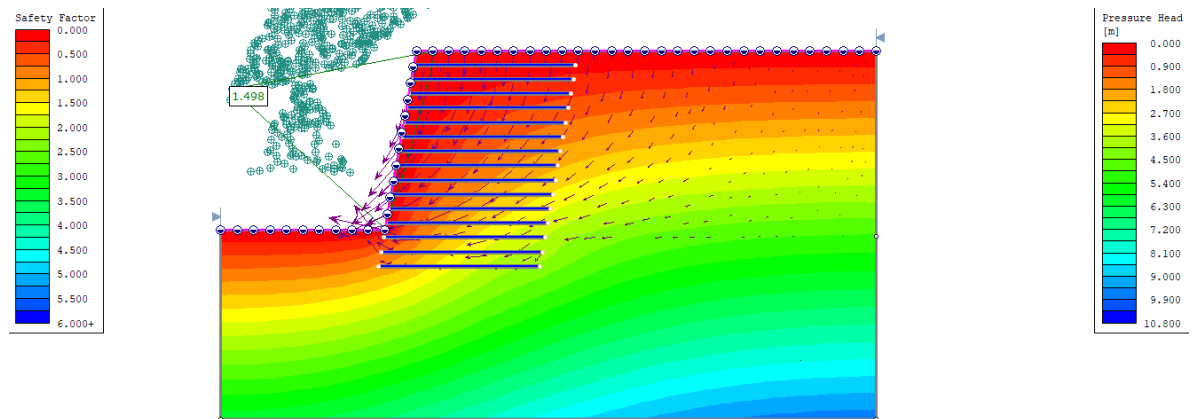
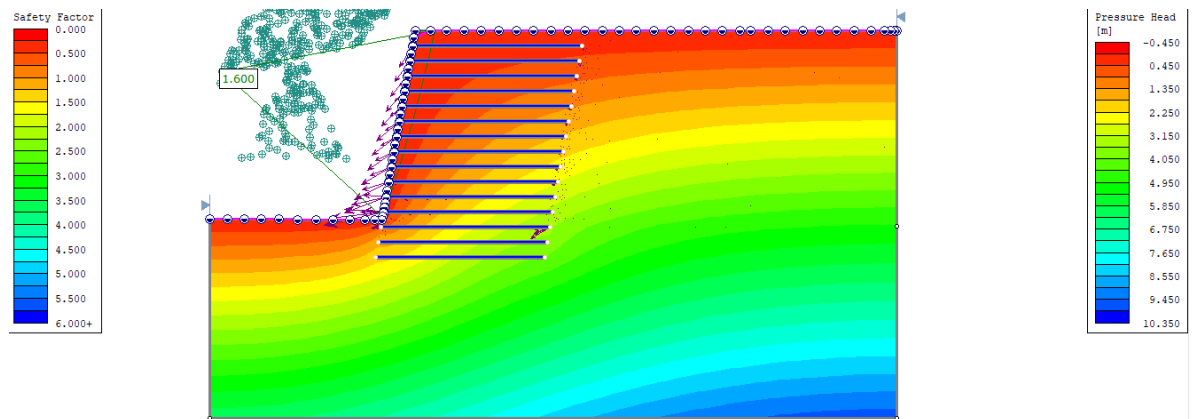


Figura 49: análisis de estabilidad sin considerar drenaje a través del plano del geotextil (elaboración propia)



*Figura 50: análisis de estabilidad considerando drenaje a través del plano del geotextil  
(elaboración propia)*

Para los análisis de estabilidad tenemos los siguientes resultados: 1.498 cuando el geotextil no posee conductividad hidráulica y 1.600 cuando el geotextil posee la conductividad hidráulica

Con base en los resultados, para este único modelo típico comparativo, es evidente que la inclusión de un geotextil tejido que tenga conductividad hidráulica a través del plano ayuda a controlar las presiones hidrostáticas y aumenta los factores de seguridad de la estructura reforzada y drenado. Sin embargo, el geotextil tejido no puede reemplazar un sistema de drenaje con geodren tradicional o geocompuestos drenantes.

## **5.2 Estabilización de subrasantes**

Al igual que con el muro en suelo reforzado para la estabilización de subrasantes se evaluará un único escenario. En este caso se diseñará la estabilización de una subrasante y adicionalmente se evaluará la capacidad de drenar a través del plano del geotextil.

- Se proyecta un único escenario con valores de entrada y propiedades de los materiales constantes.
- Se proyecta que el geotextil drene hacia las zonas laterales de la vía donde se encuentra el sistema de drenaje principal.
- Los modelos se analizarán para una vía nueva de 8m de ancho, tomando en cuentas los factores de infiltración, una longitud de tramo de 4m (la mitad de la vía) y una pendiente transversal del 1%.

- Estimaremos la precipitación máxima horaria, capaz de evacuar el geotextil hacia las zonas laterales, desde la mitad de la vía, bajo condiciones típicas de factores de infiltración de los suelos en una estructura de pavimento nueva.
- Para el análisis de la estructura se utilizará el programa Geosoft Pavco en su módulo de estabilización de subrasante y sistema drenaje en vías.

### Diseño de estabilización, variables de entrada

Las siguientes son las variables de entrada para el diseño de estabilización y estimativo del espeso de mejoramiento. en este análisis se pretende aumentar el CBR equivalente de la subrasante a través de un geotextil tejido y un material tipo afirmado, el CBR del material de relleno debe ser mínimo del 20%.

Carga por eje	P	80 kN
Presión de inflado	p'	550 kPa
Número de repeticiones		1000.0
Ahuellamiento máximo permitido		50 mm
CBR Material Granular (%)		20.0
CBR Subrasante (%)		1.0

Tabla 25: Parámetros de entrada diseño de estabilización (reporte Geosoft)

### Parámetros calculados y resultados

A partir de la metodología Giro y Han, se estima un espesor de material tipo afirmado sin refuerzo y con refuerzo, el geotextil tejido que se plantea para el refuerzo es similar a la muestra 2

Radio de Carga	0.108 m
Relación de módulos calculada	8.544
Relación de módulos recomendada	5

Tipo de Refuerzo	Sin Refuerzo	Geotextil TR6000 HF
Espesor Material Granular Calculado [m]	0.432	0.273
Espesor Material Granular Recomendado [m]	0.45	0.3
Optimización de Granulares	0%	0.305%

Tabla 26: Resultados, espesor material de mejoramiento con geotextil tejido (reporte Geosoft)

### Estimativo caudal en el plano y condiciones del modelo típico

Según los resultados de los ensayos la muestra 2 presenta una tasa de flujo a través del plano en un gradiente hidráulico de 0.1 y una presión de aplastamiento de 200kPa de 0.0039 l/seg.

Esta muestra es capaz de evacuar el caudal por infiltración hacia las zonas laterales de la vía bajo la siguiente condición típica.

#### Caudal por infiltración

Precipitación máxima horaria de frecuencia anual  $I_R$   mm/h i

Ancho de la semibanca de la vía B  m v

Longitud del tramo de drenaje L  m v

Factor de infiltración  $F_i$   i

Carpetas asfálticas muy bien conse... v

Factor de retención de la base  $F_r$   i

Bases bien gradadas, en servicio m... v

Caudal por infiltración  l/s

Suelo de sitio  v

Tabla 27: Resultados, cálculo del caudal de infiltración máximo para un modelo típico (reporte Geosoft)

Según los resultados el geotextil tejido de la muestra 2 es capaz de separar, reforzar y drenar. Sin embargo, el geotextil tejido de la muestra 2 presenta algunos limitantes respecto al caudal máximo que puede conducir, derivado de una condición buena de la estructura de pavimento y una máxima precipitación horaria de 35mm/h.

## **Capítulo VI**

### **6.0 Conclusiones**

Los geotextiles tejidos y en general los geosintéticos son elementos muy importantes dentro de las obras geotécnicas y de pavimentos. Gracias a sus ventajas, en los últimos años ha aumentado su utilización en diferentes aplicaciones.

Se pueden fabricar diferentes tipos de geotextiles tejidos, estos varían de acuerdo con su materia prima, tipo de hilo y tipo de tejido. Cada configuración de estas tres variables puede representar características y comportamiento diferentes.

Históricamente los geotextiles tejidos son elementos orientados al refuerzo y separación de material. Sin embargo, en los últimos años existen algunos desarrollos donde el geotextil tejido se puede utilizar como elemento de drenaje.

Son múltiples las aplicaciones donde son utilizados los geotextiles tejidos, siendo este uno de los geosintéticos que más aplicaciones para obra de ingeniería posee.

Los geotextiles tejidos se pueden diseñar por función y por especificación o norma, sin embargo, siempre es recomendable un diseño por función donde se determinen las características requeridas del material.

El diseño por función contempla varias etapas y metodologías definidas, en la actualidad existe varias investigaciones que definen los criterios mínimos para que un geosintético pueda ser utilizado como un elemento de separación, refuerzo o drenaje,



según su aplicación. Es importante investigar y definir cuáles son esos criterios mínimos que debe cumplir el geotextil en cada una de sus aplicaciones.

No todas las aplicaciones de los geotextiles tejidos tienen los mismos criterios de evaluación o procesos de diseño, es importante analizar los efectos a los cuales se ve sometido el geotextil y definir una resistencia o propiedad mínima requerida bajo una metodología establecida.

Complementario al diseño de geotextil, es necesario controlar y verificar los valores máximos y mínimos que pueden alcanzar los tejidos con ensayos de laboratorio.

Para esta investigación definimos ensayos que evalúan propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas.

Las muestras de geotextil tejidos son confeccionadas en la planta de Pavco Wavin Geosintéticos, se seleccionaron 25 especímenes: uno conformado a partir de cintas planas de polipropileno (muestra 1), otro conformado con multifilamentos de poliéster (muestra 25) y los otros 23 se conformaron mezclado diferentes porcentajes y configuraciones de cintas planas de polipropileno y multifilamento de poliéster.

Las 25 muestras de geotextiles tejidos fueron sometidas a 9 ensayos de laboratorio, normalizados y no normalizados, esto con el fin de determinar sus propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas.

Los ensayos de laboratorios realizados buscan evaluar el comportamiento del geotextil tejido para ser utilizado como elemento de separación, refuerzo y drenaje.

Aunque todas las muestras de geotextiles tejidos cumplen con los valores mínimos establecidos en la norma AASHTO M288-21 como geotextil de separación, se definieron valores mínimos aceptables con base en la experiencia y datos históricos de resultados para geotextiles similares.

Las muestras analizadas cumplen en gran porcentaje los valores mínimos establecidos para utilizar el geotextil como elemento de separación. Sin embargo, la aplicación o no del geotextil tejido se debe definir con base en un diseño detallado por función para cada caso puntual.

Al igual que en la función de separación, todas las muestras de los geotextiles tejidos analizados cumplen con los valores mínimos establecidos en la norma AASHTO M288-21 como geotextil de refuerzo. En este caso también definimos valores mínimos aceptables, ejecutando análisis complementarios no exigidos por la norma, como los son de resistencia a la tensión tira ancha y la resistencia al corte entre geotextiles tejidos.

En promedio la resistencia a la tensión tira ancha, principal variable de diseño en un geotextil tejido de refuerzo, varían un 30%, esto se debe a la variación en el porcentaje de los diferentes tipos de filamentos y resinas plásticas. Aunque no tenemos un patrón definido, se puede concluir que entre mayor sea el peso del geotextil (gramos/metro cuadrado) mayor es la resistencia a la tensión del geotextil.

Es importante aclarar que los geotextiles conformados a partir de un único tipo de filamento y resina plástica presenta valores de resistencia mecánica bajas comparadas con las demás muestras, debido a que fueron incluidos en los análisis con el fin de comparar sus propiedades hidráulicas, pero son geotextiles de menor especificación mecánica.

Cuando evaluamos la interacción de los geotextiles tejidos dentro del ensayo de corte a gran escala, se identifica que la macroestructura del tejido controla la adhesión entre los elementos y la microestructura del filamento controla la fricción entre los elementos.

Como resultado del ensayo de interacción podemos concluir que los geotextiles conformados a partir de cintas planas de polipropileno presentan alta rugosidad en su macroestructura con valores altos de adhesión y los geotextiles conformados a partir de multifilamentos de poliéster presentan alta rugosidad en su microestructura con valores

altos de ángulo de fricción. Estas propiedades hacen que los geotextil tejidos mezclados funcionen los dos componentes de la resistencia al corte y presenten mejores resultados.

La interacción entre geotextiles tejidos es importante cuando los dos geotextiles quedan en contacto directo, esto es común en soluciones de contención para defensas ribereñas o costeras con geocontenedores. En este caso y según los resultados es mejor utilizar un geotextil tejido conformado a partir de cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster.

Para el análisis de geotextil tejido como elemento de drenaje se analizaron tres propiedades diferentes: tasa de flujo a través del plano, conductividad hidráulica, permeabilidad en el plano. La dos primera son la capacidad del elemento de transportar un fluido a través de su estructura.

Al comparar los valores de caudal y velocidad a través del plano de los geotextiles tejidos analizados contra otros tipos de geosintéticos aplicados al drenaje, como geocompuestos drenantes, los valores obtenidos son bajos. Sin embargo, si comparamos estos mismos valores entre los geotextiles conformados por varios tipos de filamentos y los geotextiles conformados por un único filamento, también encontramos grandes diferencias.

Los geotextiles tejidos conformados a partir de cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster presentan mejor capacidad de conducción de un fluido a través de su plano que otros tipos de geotextiles.

Basado en la matriz de decisión las muestras 2, 8, 10, 12, 22 y 23 superaron los criterios mínimos de evaluación y podrían ser utilizados como geotextiles tejidos de separación, refuerzo y drenaje.

En promedio los mejores resultados fueron presentados por la muestra número 2.

Al realizar un análisis teórico bajo un modelo único tipo, utilizando las propiedades obtenidas en la muestra 2, se puede concluir que el geotextil tejido, separa materiales, refuerza estructuras y aumenta las condiciones de drenaje.

En los análisis de estabilidad global teóricos del muro en suelo reforzado pudimos evidenciar como su característica de conductividad hidráulica a través del plano puede aliviar las presiones hidrostáticas y aumentar los factores de seguridad.

También pudimos determinar teóricamente como el geotextil tejido de la muestra 2 facilita el drenaje transversal en una vía, disminuyendo el periodo de concentración del agua dentro de la estructura de pavimento y conduciendo el fluido hacia los drenajes laterales de la vía.

El geotextil tejido de la muestra 2, conformado a partir de cintas planas de polipropileno y multifilamentos de poliéster, funciona como elemento de separación, refuerzo y drenaje en estructuras de contención y estabilización de vías. Sin embargo, es necesario definir los modelos y evaluaciones pertinentes de diseño para cada caso puntual, con el fin de evaluar si el geotextil tiene las propiedades necesarias para cumplir con los requerimientos del proyecto.

No se recomienda utilizar geotextiles similares al presentado en la muestra número 2 como elemento de drenaje principal, pero este desarrollo puede facilitar el drenaje de las estructuras y aumentar los factores de seguridad por lo que su aplicación genera un valor agregado en comparación con otro tipo de geotextiles tejidos.

Geotextiles tejidos similares a los analizados y que cumplieron con los criterios mínimos establecidos se pueden utilizar en muros en suelo reforzado, estabilización de subrasantes, plataforma de transferencia de carga, defensa ribereñas y costeras con Geocontenedores. Aplicaciones donde los elementos geosintéticos refuercen, separen y drenen.

En próximas investigaciones y con los datos obtenidos se puede evaluar el comportamiento y aporte de la estabilidad para diferentes modelos de estructuras reforzadas con geosintéticos, utilizando las propiedades mecánicas e hidráulicas de geotextil, pero variando el tipo de suelo y condiciones del proyecto.

También se puede realizar mediciones en campo en proyectos donde se han instalado este tipo de geosintéticos con el fin de evaluar su comportamiento, capacidad de drenaje, comportamiento a mediano y largo plazo.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

- Pavco Wavin. (2021) Diseño de infraestructura con Geosintéticos, décima edición.
- ASTM INTERNATIONAL (2015 – 2022), American Society for Testing and Materials, <https://www.astm.org/>
- ASTM D4632 Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles
- ASTM D4595 Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method
- ASTM D6241 Standard Test Method for Static Puncture Strength of Geotextiles and Geotextile-Related Products Using a 50-mm Probe
- ASTM D4533 Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles
- ASTM D4751 Standard Test Methods For Determining Apparent Opening Size Of A Geotextile
- ASTM D4491 Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity
- ASTM D4355 Standard Test Method for Deterioration of Geotextiles by Exposure to Light, Moisture, and Heat in a Xenon Arc-Type Apparatus

- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS, (2018), Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. LRFD Bridge Design Specifications, 9th Edition
- M288, Standard Specification for Geosynthetic Specification for Highway Applications
- R50, Standard Practice for Geosynthetic Reinforcement of the Aggregate Base Course of Flexible Pavement Structure
- R69, Standard Practice for Determination of Long-Term Strength for Geosynthetic Reinforcemen
- R 051-22 Compost for Erosion/Sediment Control (Filter Berms and Filter Socks)
- R 052-22 Compost for Erosion/Sediment Control (Compost Blankets)
- NTPEP-Technical Committee on Geotextiles and Geosynthetics
- Geosynthetic Institute GSI, Standard Geosynthetic Institute, <https://geosynthetic-institute.org/>
- Geosynthetic Institute GSI, GRI Test Methods, <https://geosynthetic-institute.org/meth.htm>
- IGS International Geosynthetics Society, (20 IGS Technical Committee, (2006), Guide to the Specification of Geosynthetics.
- Instituto Nacional de Vías INVIAS, Especificaciones Técnicas
- Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP14
- Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras
- Manual de diseño de cimentaciones superficiales y profundas para carreteras
- Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito
- National Cooperative Highway Research Program, (2019), Structures in AASHTO LRFD Bridge
- Design Specifications, Proposed Refinements to Design Procedures for Geosynthetic Reinforced Soil (GRS)
- Robert M. Koerner (2012), Designing With Geosyntheitics, 6Th Edition
- Juan Carlos Vertematti (2012), Manual Brasileiro de Geosintéticos, 2Th edicao.

- U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, USE OF GEOGRID IN PAVEMENT CONSTRUCTION, Technical Letter No. 1110-1-1899, 2003.
- Giroud, J.P. and Han, J. (2004) "Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads", Journal of Geotechnical Engineering
- Giroud, J.P. and Noria, L. (1981) "Geotextile-reinforced unpaved road design", Journal of Geotechnical Engineering,
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Geosynthetics Design And Construction Guidelines,
- Publication No. HI – 95 038, 11995.
- American Association of state Highway Transportation Officials – AASHTO-93. Guide for design of pavement Structures. Washington D.C. ASSOCIATION SUISSE DES PROFESSIONNELS DE GEOTEXTILES, Le Manuel Des Géotextiles, 2 ED., Suisse, 1988.
- KOERNER R.M., Designing With Geosynthetics, 5 ED. U.S.A., 2005.
- KOERNER R.M., GSI White Paper # 4: Reduction Factors Using In Geosynthetics Design., U.S.A., 2005.
- CIRIA, Soil Reinforcement With Geotextiles, 1 ED., England, 1996.
- DON AND LOW LTD., A Geotextiles Design Guide, 2 ED., Scotland, 1989.
- ADVANCE TEXTILES ASSOCIATION, <https://www.textiles.org/>
- GEOSYNTHETIC MATERIALS ASSOCIATION <https://geosyntheticsmagazine.com/>
- INTERNATIONAL GEOSYNTHETICS SOCIETY, <https://www.geosyntheticssociety.org/>
- TENCATE GEOSYNTHETICS AMER SOLMAX, <https://www.tencategeo.us/es-la/>
- HUESKER <https://www.huesker.lat/geosinteticos/productos/tejidos/stabilenka/>
- INSTITUTO TEXTIL NACIONAL <https://www.institutotextilnacional.com/2021/02/10/tipos-de-ligamentos/>