

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



GEOSINTÉTICOS: TIPOS, USOS, MEDICIÓN Y UTILIZACIÓN DE SUS PROPIEDADES ÍNDICE Y DE INTERACCIÓN CON EL SUELO

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachillera en

Ciencias con mención en Ingeniería Civil

AUTORAS:

Joyce Lissette Aguilar Herrera

Naysha Verónica Montenegro Rios

Dayana Elizabeth Paucar Navarrete

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en

Ciencias con mención en Ingeniería Civil

AUTORES:

Ricardo Miguel Luna Torrejón

Edgard Jean Piere Todco Gutierrez

ASESOR:

Guillermo José Zavala Rosell

Lima, Diciembre, 2021

Resumen

Los geosintéticos tienen un elevado número de aplicaciones en la ingeniería geotécnica y su uso se incrementó en los últimos años, esto puede ser explicado por el avance tecnológico de estos y la economía que ellos brindan. Por eso, el presente trabajo de investigación consiste en la descripción de los tipos de geosintéticos, las funciones que cumplen y el uso que se les puede dar en proyectos de ingeniería. Además, se explican algunas de propiedades índice y de interacción con el suelo más importantes en el diseño de los mismos, así como los ensayos necesarios para obtener dichos parámetros. Este trabajo resulta importante ya que menciona las características de cada tipo de geosintético, que son necesarias para el proceso de planificación, análisis y diseño de proyectos de ingeniería civil, geotecnia, entre otros.

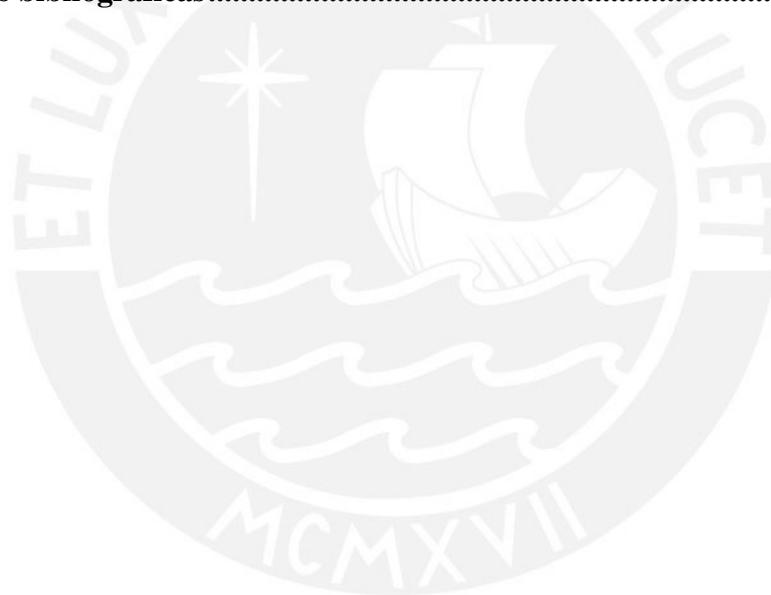
El objetivo principal de la presente investigación es explicar las funciones y propiedades de los geosintéticos aplicables en obras civiles. Para ello, se aplica una metodología de estudio de caso que consiste en la revisión de fuentes académicas confiables y documentos de empresas relacionadas al rubro de la ingeniería geotécnica.

Finalmente, como se detalla en la sección de conclusiones, se menciona que los geosintéticos pueden ser aplicados según la función que se desea cumplir, y la elección del tipo de geosintético a usar depende del análisis según las propiedades, el tipo de proyecto, aspectos económicos, entre otros.

CONTENIDO

1	Generalidades.....	5
1.1	Introducción	5
1.2	Objetivos	6
1.2.1	Objetivo general	6
1.2.2	Objetivos específicos	6
1.3	Justificación.....	6
1.4	Alcance.....	7
1.5	Metodología	7
2	Revisión de la literatura	9
2.1	Definición de geosintéticos	9
2.2	Tipos de geosintéticos	9
2.2.1	Geotextiles	10
2.2.2	Geomallas	12
2.2.3	Geonets	14
2.2.4	Geomembranas	15
2.2.5	GCL (Revestimiento geosintético de arcilla)	17
2.2.6	Geocompuestos	19
3	Funciones de los geosintéticos.....	20
3.1	Separación.....	20
3.2	Refuerzo	21
3.2.1	Mecanismo tipo membrana	21
3.2.2	Mecanismo tipo corte	22
3.2.3	Mecanismo tipo anclaje	23
3.3	Filtración	23
3.3.1	Permeabilidad	24
3.3.2	Retención del suelo	24
3.3.3	Compatibilidad del flujo a largo plazo	25
3.4	Impermeabilización.....	25
3.5	Drenaje	25
3.5.1	Permeabilidad	26
3.5.2	Retención del suelo	26
3.5.3	Compatibilidad del flujo a largo plazo	26

4	Propiedades y Ensayos de laboratorio.....	28
4.1	Propiedades de los geosintéticos según sus tipos.....	28
4.1.1	Geotextiles	30
4.1.2	Geomallas	50
4.1.3	Geonets	57
4.1.4	Geomembranas	60
4.1.5	GCL (Revestimiento geosintético de arcilla)	68
4.2	Propiedades De Interacción Entre El Suelo Y El Geosintético.....	69
4.2.1	Mecanismo de interacción entre el suelo y el geosintético	69
4.2.2	Factores que influyen en la interacción	70
4.2.3	Ensayos de laboratorio	71
5	Conclusiones.....	72
6	Referencias bibliográficas.....	76



1 Generalidades

1.1 Introducción

El diseño con geosintéticos, en el campo de la ingeniería, no es nuevo; sin embargo, se observa una tendencia creciente en el interés por utilizar estos materiales debido a sus propiedades y los beneficios relacionados a los costos y facilidad de instalación. Actualmente, el rango de aplicación de los geosintéticos es muy amplio, especialmente en proyectos de ingeniería civil, geotécnica y de transporte. Por ejemplo, se observa su aplicación en obras viales como carreteras y ferrovías, obras hidráulicas, sistemas de control de erosión, en proyectos medioambientales como control de relaves y materiales de desecho, entre otros.

Los geosintéticos utilizan materiales de fibras artificiales, hechos de polímeros como polipropileno, poliéster, poliamida, algodón, entre otros, dependiendo del tipo de geosintético y de la función principal a cumplir; siendo los dos primeros materiales los más usados actualmente.

En el presente trabajo de investigación se describirán los tipos de geosintéticos más usados en la industria, las funciones más relevantes al momento del diseño y las propiedades más importantes para cada tipo. Asimismo, se mencionan los ensayos normalizados que se usan para verificar que el material cumpla con las funciones principales y secundarias que requiere el proyecto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Explicar sobre características y aplicaciones de los geosintéticos en obras civiles, a partir de sus propiedades índice, interacción con el suelo, funciones y ensayos normativos. Así como especificar los métodos de ensayos normativos para obtener los parámetros útiles para el diseño de estos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Describir los tipos y las funciones de los materiales geosintéticos
- Explicar las aplicaciones prácticas más importantes de los geosintéticos
- Describir los ensayos de laboratorio que se realizan sobre los geosintéticos para comprobar el cumplimiento de los requerimientos mínimos normados y para obtener los parámetros útiles para el diseño.

1.3 Justificación

Las obras civiles atraviesan diversos problemas como suelos de mala calidad, afloramientos, entre otras restricciones, y es de suma importancia proveer la mejor solución que atienda todos los requisitos del proyecto, pues se trata de la primera etapa de toda construcción. En ese sentido, la búsqueda continua de diferentes métodos, y al mismo tiempo, económicos, para la mejora de diferentes tipos de suelos resulta de mucho interés de la comunidad científica.

El uso de geosintéticos es uno de los puntos claves para contrarrestar esta problemática, ya que abarca ampliamente diversos campos y ayuda a solucionar los diferentes problemas que se presentan en el suelo. La combinación de elementos naturales con sustancias químicas brinda

refuerzo y ayuda a prolongar el nivel de vida de las obras civiles. Su uso se encuentra enfocado en estabilización de taludes, subdrenajes y otras obras especiales. Al hacer uso de los geosintéticos se logra un mejor aprovechamiento del suelo.

Debido a lo expuesto anteriormente, es necesario contar con un sustento teórico sobre los geosintéticos, además de mencionar sus aplicaciones, sus características, la importancia, ventajas de su uso y de conocer los ensayos necesarios para obtener los parámetros de diseño, pues estos son de mucha utilidad para las oficinas de proyectos de estructuras y geotecnia.

1.4 Alcance

El presente trabajo de investigación busca describir brevemente los diversos tipos de geosintéticos existentes en la industria actual, además de mencionar y profundizar sus usos más comunes. Asimismo, se mencionan puntualmente los casos de su aplicación en proyectos de ingeniería. Luego, con la información recopilada, se analizarán las propiedades generales que presentan cada tipo de geosintéticos, desde la utilización de las propiedades índice hasta las de interacción con el suelo en el diseño, y se mencionan los ensayos normalizados relacionados a la evaluación de las mismas, incluyendo una breve descripción del procedimiento y equipos de laboratorio utilizados.

1.5 Metodología

El trabajo de investigación tiene carácter descriptivo; en él se detallan todos los componentes principales de los geosintéticos, sus tipos y sus aplicaciones. En base a dicha investigación se realizan las conclusiones, en las cuales se puede observar que existen diversas variedades de geosintéticos para las distintas exigencias en campo.

El trabajo se realizará a través de la revisión de literatura referente a los tipos de geosintéticos, las propiedades de los mismos, propiedades relacionadas a la interacción con el suelo, las

funciones de los geosintéticos y ensayos que se realizan para calcular los parámetros. Estas fuentes provienen de investigaciones científicas, libros, guías de laboratorios, y detalle de los procedimientos de ensayos realizados por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Normalización (ISO), entre otras instituciones similares. Luego del procesamiento de la información, se procederá a detallar los conceptos detallados anteriormente y el tipo de equipamiento necesario para realizar los ensayos. Finalmente, se muestran conclusiones y reflexiones obtenidas luego de realizar todo el trabajo de investigación.



2 Revisión de la literatura

2.1 Definición de geosintéticos

El término geosintético está formado por dos raíces: geo, el cual está referido a la tierra; y sintético, debido a que es un material obtenido por síntesis química o por procesos industriales.

Uniéndolos ambos conceptos, se puede decir que un geosintético es un material sintético que interactúa con el suelo para mejorarlo, y se fabrican a partir de sustancias químicas conocidas como polímeros.

La ASTM 4439 (2020) define los geosintéticos como “un producto planar manufacturado de material polimérico usado en contacto con: suelos, rocas, tierra, y otro material relacionado con la ingeniería geotécnica, al mismo tiempo que forma parte integral de un proyecto hecho por el hombre”.

Los geosintéticos tienen cinco funciones principales, las cuales serán descritas y explicadas durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Estas son: separación, refuerzo, filtración, drenaje y barrera contra el paso de líquidos. Además, tienen dos objetivos principales: permitir la realización más eficiente del trabajo, de manera que la colocación sea sencilla y sin deterioro de material; y hacer que la solución sea económica, mediante un bajo costo inicial o mayor durabilidad del material que permita reducir los costos de mantenimiento (Koerner, 1997).

2.2 Tipos de geosintéticos

Existe una gran variedad de familias de geosintéticos, y se listan a continuación: geotextiles, geomallas, geonets, geomembranas, GCL, geocompuestos y geo otros. Los dos grupos más

grandes de geosintéticos son los geotextiles y las geomembranas. A continuación, se explican cada uno de los tipos de geosintéticos a detalle.

2.2.1 Geotextiles

La ASTM D4439 define al geotextil como: “un geosintético permeable conformado solamente de textiles. Los geotextiles se utilizan con cimentaciones, suelo, roca, tierra, o cualquier otro material geotécnico relacionado a la ingeniería como una parte integral de un proyecto, estructura, o sistema hecho por el hombre”.

La mayoría de estos geosintéticos están hechos de polímeros de polipropileno o poliéster formado por fibras, en una tela tejida o no tejida.

2.2.1.1 Tipos

Existen dos tipos de geotextiles: tejidos y no tejidos. Los geotextiles tejidos son estructuras planas obtenidas por el entrelazado de dos o más series de hilos en dos direcciones preferidas. Estos se dividen en geotextiles tejidos de tipo monofilamento, multifilamento, y cintas achatadas o “bandalettes”. Del mismo modo, los geotextiles no tejidos son estructuras planas formadas por fibras o filamentos, orientados aleatoriamente, interligados por procesos mecánicos, térmicos o químicos. El proceso mecánico consiste en entrelazar las fibras mediante agujas dentadas; el proceso térmico consiste en ligar las fibras mediante la fusión parcial por calentamiento (termofijación), y el proceso químico consiste en utilizar resinas para ligar los filamentos. Los geotextiles no tejidos se dividen en subtipos según la extensión de sus fibras: de fibras cortas y de filamentos continuos.

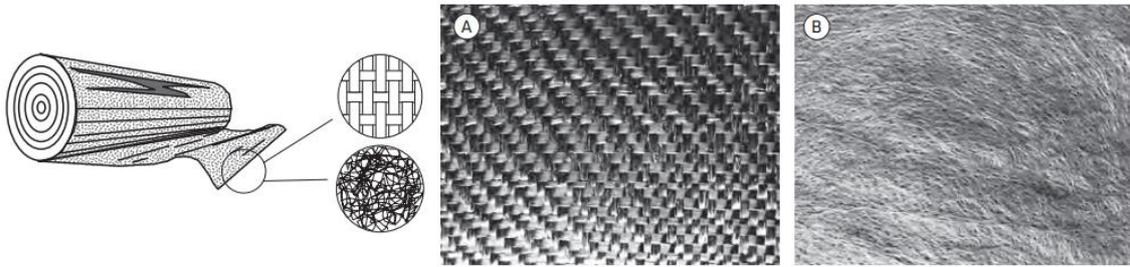


Figura 2.1: Geotextil Tejido (A) y no Tejido (B).

Tomado de Marques (2018).

2.2.1.2 Aplicaciones

Los geotextiles pueden cumplir la función de refuerzo, separación, filtración, drenaje y barrera impermeable.

- Como separación se pueden aplicar debajo de losas de veredas, entre diversas zonas de presas de tierra, entre rellenos y capas de base de piedra, entre suelos de cimentación y muros de retención rígidos, etc.
- Como refuerzo se pueden aplicar sobre suelos blandos para caminos no pavimentados, sobre suelos blandos para vías férreas, para construir muros de tela reforzada, etc.
- Como filtración se pueden aplicar como barreras contra la nieve, alrededor de núcleos moldeados en drenes de franja, como encofrado flexible para reconstruir pilotes deteriorados, etc.
- Como drenaje se pueden aplicar como dren para jardines de techo, como dren de chimenea para una presa de tierra, como un interceptor de drenaje de flujo horizontal, etc.
- Como barrera impermeable se puede aplicar en rellenos, como las geomembranas.

2.2.2 Geomallas

La ASTM D4439 (2020) define al geomalla como: “es un material geosintético formado por un conjunto de nervaduras o costillas de tensión, paralelas y conectadas, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra, u otro material geotécnico circundante”.

Las geomallas se caracterizan por sus aberturas, que típicamente tienen una dimensión de 10 a 100 mm entre costillas, que se denominan longitudinales y transversales, respectivamente.

2.2.2.1 Tipos

Existen dos tipos de geomallas: uniaxiales y biaxiales. Ambas parten de una lámina polimérica de una poliolefina (polipropileno o polietileno) que tiene una serie uniforme y controlada de agujeros. Las geomallas uniaxiales son para aplicaciones en las cuales la dirección de los esfuerzos principales es conocida. En estas geomallas, los agujeros circulares llegan a ser elipses alargadas. Por este motivo, su estructura molecular es fuertemente alargada y tiene mayor resistencia a la deformación por carga sostenida.

Por otro lado, las geomallas biaxiales son para aplicaciones en las cuales los esfuerzos movilizados son al azar, es decir, no se conoce una sola dirección en la que actúe el esfuerzo. En este tipo de geomallas se observan aberturas casi cuadradas o rectangulares que facilitan la transmisión de esfuerzos por las direcciones principales.

También se puede clasificar a las geomallas en tejidas y soldadas. Las tejidas se obtienen de un entrelazamiento de fibras de poliéster de alta tenacidad que forman las costillas, y, para unir las, se realiza el proceso Knit-stitched o simplemente enredadas. En el caso de las

geomallas soldadas, las fibras de poliéster se mantienen unidas por una cobertura envolvente de polipropileno y se realizan las uniones mediante el pegado por fusión.

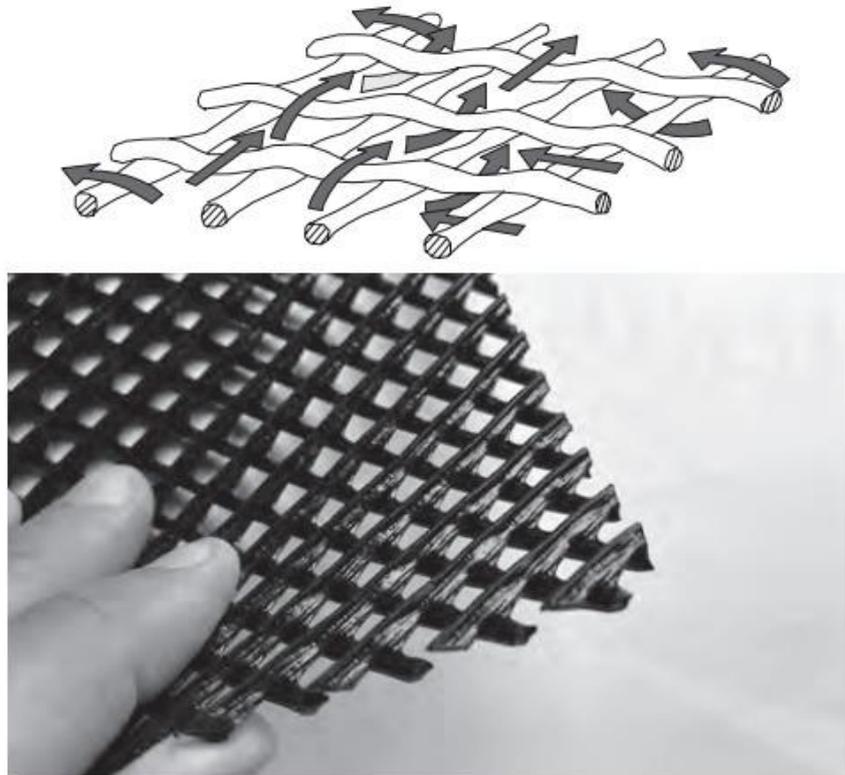


Figura 2.2. Geomalla biaxial.

Tomado de Marques (2018).

2.2.2.2 Aplicaciones

Las geomallas se utilizan principalmente como estabilizadores de taludes y terraplenes al igual que los geotextiles. También son utilizados para construir muros reforzados en vez de muros convencionales de concreto reforzado.

Además, se ha reportado que las geomallas minimizan el ahuellamiento en las carreteras cuando la superficie de desgaste está sometida a altas deformaciones. Asimismo, se utilizan directamente en pavimentos nuevos y sobrecapas asfálticas para resistir los esfuerzos térmicos inducidos.

En esta última aplicación, la función principal de la geomalla es de refuerzo, mientras que su función secundaria es la separación entre subrasante y relleno.

2.2.3 Geonets

La ASTM D4439 (2020) define a las geonets o georedes como: “material geosintético consistente de sistemas paralelos de costillas integralmente conectadas, sobreyaciendo a sistemas similares en ángulos variados, para permitir el drenaje planar de líquidos o gases. Las georedes están generalmente laminadas con geotextiles en una o ambas superficies y se denominan en ese caso como geocompuestos de drenaje”.

Los tipos existentes son los siguientes:

- Georedes biaxiales consistentes de costillas sólidas extruidas: son el tipo más común de geored.
- Georedes biaxiales consistentes de costillas extruidas espumadas: Tienen mayor espesor y mayor tasa de flujo.
- Georedes triaxiales consistentes de costillas sólidas extruidas: Estas permiten trabajar con un elevado flujo preferencial y puede soportar esfuerzos normales elevados.

2.2.3.1 Aplicaciones

Una de las aplicaciones de este tipo de geosintético se observa en sistemas de revestimiento de rellenos. Se usan como sistemas primarios de recolección de lixiviados sobre taludes laterales y como sistemas de detección y recolección entre los revestimientos primario y secundario.

También tienen bastantes aplicaciones en el campo del transporte, para evitar problemas de levantamiento por heladas en el terreno donde irá la carretera.

2.2.4 Geomembranas

La ASTM D4439 define a las geomembranas como “un geosintético esencialmente impermeable compuesto por una o más láminas sintéticas” (2020, pp. 3). Los valores de permeabilidad obtenidos por medio de las pruebas de transmisión de vapor de agua están en el rango de 1×10^{-12} a 1×10^{-15} m/s. Por ello, funciona como barrera o revestimiento de cualquier material geotécnico para el control de la migración de fluidos. Koerner (1998) señala que pueden ser (a) confeccionadas de láminas continuas relativamente finas hechas de material polimérico termoplástico, (b) resultado de la impregnación de geotextiles con asfalto o de la aspersión de elastómeros y (c) presentarse como geocompuestos formados por varias capas de bitumen. Estas son pre fabricadas industrialmente y se transportan al sitio del proyecto donde se realiza el despliegue y las uniones de campo respectivas.

A continuación, se mencionan algunos de los tipos de geomembranas y sus principales características:

- Polietileno de alta densidad (HDPE): presenta alta resistencia mecánica y a los rayos ultravioleta, principal responsable división de las cadenas y rotura de los enlaces. Pueden utilizarse en pilas de lixiviación, rellenos sanitarios, lagunas de contención, minería, lagunas de tratamiento de aguas residuales y granjas acuícolas (Grupo GHA, 2020).
- Polietileno muy flexible (VFPE): son ideales para cubrir embalses con la finalidad de evitar la evaporación del agua y evitar la contaminación ambiental de este. En procesos

mineros, el uso de este tipo de geomembrana es poco común. Este se clasifica en (a) polietileno de muy baja densidad (VLDPE), (b) polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) y (c) polietileno lineal de baja densidad (LDLPE) (Alza, 2020; Grupo GHA, 2020).

- Cloruro de polivinilo (PVC): permite realizar uniones entre las láminas a través de fusión térmica o química sin alterar sus propiedades y presenta mayor durabilidad cuando se encuentra enterrado (GEOSAI, 2016; Strecker, 2016).
- Polipropileno flexible (fPP): se caracteriza por su resistencia a altas y bajas temperaturas, a la intemperie y a los rayos ultravioleta, por su baja densidad y por no requerir plastificantes.
- Polipropileno flexible reforzado (fPP-R): muestran adecuada flexibilidad y un amplio rango de temperaturas para soldadura en campo.
- Polietileno reforzado clorosulfonado (CSPE-R): larga duración frente a condiciones ambientales extremas, resistente a altas temperaturas y a químicos oxidantes, y conservan su flexibilidad en condiciones de baja temperatura (GEOSAI, 2016).
- Aleación reforzada del interpolímero de etileno (EIA-R): se caracteriza por su resistencia a la fatiga por flexión, pero se degrada frente a compuestos aromáticos en altas concentraciones.

2.2.4.1 Aplicaciones

Las geomembranas presentan varias aplicaciones debido a su excelente desempeño como barrera de líquidos, vapores y desechos sólidos. Alza (2020) menciona los siguientes usos: (a) impermeabilización de canales o reservorios, (b) encapsulamiento de materiales que

generen lixiviados tóxicos, (c) recubrimiento de materiales y de zonas contaminantes, (d) recubrimiento de túneles y (e) aislamiento de cimentaciones del subsuelo. Cabe indicar que para la impermeabilización de canales es deseable que la sección de esta sea trapezoidal y triangular para flujos grandes y pequeños, respectivamente.

2.2.5 GCL (Revestimiento geosintético de arcilla)

También denominados mantos de arcilla, carpetas de bentonita o mantos de arcilla bentonítica prefabricados. Según la ASTM D4439, el revestimiento geosintético de arcilla es una “barrera hidráulica fabricada que consiste en arcilla unida a una capa o capas de materiales geosintéticos” (2020, pp. 3). Dichas capas pueden unirse mecánicamente mediante agujado, engrapado o con adhesivos químicos (Koerner, 1997). Se pueden usar en reemplazo de las geomembranas o de manera compuesta para mejorar las propiedades de revestimiento. La conductividad hidráulica está entre 1×10^{-11} y 5×10^{-11} m/s (Alza, 2020).

A continuación, se presentan los tipos de GCL y en la figura 1 se muestran sus secciones transversales:

- GCL-No reforzados: Se puede añadir un adhesivo a la arcilla bentonítica para mejorar su conexión al geotextil.
- GCL Semi-reforzados: la arcilla contiene un adhesivo y el geotextil que lo encapsula está unido por costuras en filas.
- GCL reforzados: los geotextiles están unidos mediante punzonado por aguja
- GCL laminados: en este caso, la arcilla está adherida a geomembranas.

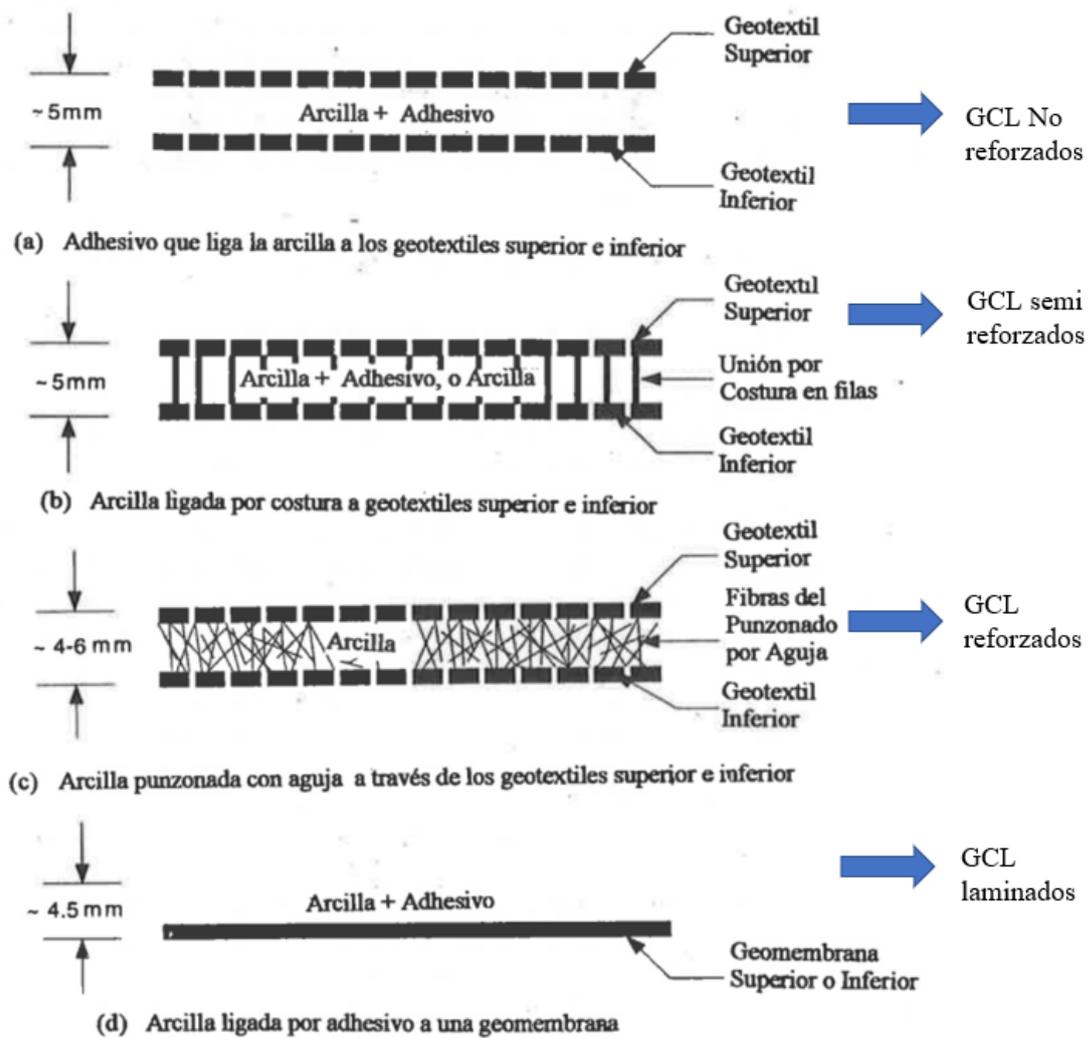


Figura 2.3: secciones transversales de los tipos de revestimientos geosintéticos de arcilla.

Adaptado de Koerner (1997).

2.2.5.1 Aplicaciones

Se puede usar debajo de las geomembranas para el revestimiento de depósitos de rellenos, pozas de lixiviación y cubiertas de terraplenes. Asimismo, también puede ir encima de las geomembranas, para protegerlas contra el punzonamiento de gravas gruesas. Finalmente, sirve como revestimiento de canales.

2.2.6 Geocompuestos

La ASTM D4439 lo define como un “producto compuesto por dos o más materiales, al menos uno de los cuales es un geosintético” (2020, pp. 3). Pueden ser la combinación de geotextiles, geomallas, georedes, geomembranas y otros materiales como láminas de plástico, cables de anclaje, etc. Este busca mejorar la performance del producto final uniendo las propiedades de los distintos materiales.

Existen geocompuestos de drenaje (geored con geotextil), de refuerzo (geotextil con geomalla), de impermeabilización (cualquier geosintético con una geomembrana), entre otros (Alza, 2020).

2.2.6.1 Aplicaciones

Se pueden usar para la separación de elementos, para el refuerzo de taludes, para reducir la filtración y drenaje de líquidos, gases o desechos sólidos, como también para contener líquidos o vapores (Koerner, 1997).

3 Funciones de los geosintéticos

En general, los geosintéticos pueden ser aplicados en diferentes tipos de proyectos ingenieriles dependiendo de los requerimientos a cumplir. Por ello, es importante entender la función o funciones que pueden cumplir con fines de diseño. Según el Departamento de Ingeniería de Geosistemas PAVCO (2012), existen 4 principales metodologías de diseño con geosintéticos: diseño por costos y disponibilidad, diseño por experiencia o método empírico, diseño por especificaciones, y diseño por función; siendo los dos últimos mencionados los más confiables ya que evalúan las propiedades de los geosintéticos considerados para escoger el más adecuado.

A continuación, se mencionan las funciones principales que se tienen en consideración al evaluar el diseño de un proyecto con geosintéticos. Aunque varios tipos de geosintéticos tienen una función primaria establecida, otros, como es el caso de los geocompuestos y los geotextiles, son usados para realizar varias funciones a la vez, lo que conlleva a la priorización de funciones dependiendo de los requerimientos del diseño.

3.1 Separación

Según EMCALI (2011), esta función consiste en la separación de dos capas de suelo con propiedades geomecánicas distintas (granulometría, densidad, capacidad, etc.), de modo que se evite la mezcla de material. Esta propiedad resulta importante en proyectos que requieran mantener las características físicas y mecánicas de ambas capas por cuestiones de diseño y aplicaciones. Es importante resaltar que el flujo libre de líquidos entre ambas capas no es limitado, por lo que no se pierde la capacidad de drenaje.

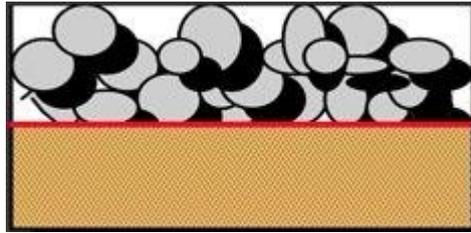


Figura 3.1: Ilustración sobre la separación con geosintéticos

Tomado de Reserved Soluciones Ambientales Integrales S.A.

Los geosintéticos que cumplen con esta función son los geotextiles.

3.2 Refuerzo

Esta función consiste en el mejoramiento de la capacidad de carga de un estrato o conjunto de capas de suelo con un comportamiento adecuado bajo cargas de compresión más pobre en tensión, gracias a la introducción de un geosintético con buena resistencia a la tensión. Por ello, los suelos limosos y arcillosos de gradación fina y de baja resistencia suelen requerir refuerzo con geosintéticos (Koerner, 1998).

Los geosintéticos que cumplen con esta función son los geotextiles, las geomallas y algunos geocompuestos de refuerzo, siendo las geomallas el geosintético de refuerzo por excelencia. Sin embargo, es importante resaltar que la elección del geosintético más adecuado dependerá de las necesidades y restricciones del proyecto a ejecutar.

Se pueden mencionar, entonces, tres mecanismos relacionados a esta función: membrana, corte y anclaje.

3.2.1 Mecanismo tipo membrana

Ocurre cuando una fuerza es aplicada en sentido vertical sobre un geosintético colocado en un suelo deformable. Se puede conocer el valor del esfuerzo horizontal a una profundidad z a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_h = \frac{P}{2\pi z^2} \left[3\text{sen}^2\theta - \frac{(1-2\mu)\theta}{1+\cos\theta} \right]$$

Donde:

σ_h = esfuerzo horizontal a una profundidad z y ángulo θ

P = Fuerza vertical aplicada

z = profundidad de cálculo

μ = coeficiente de Poisson

θ = ángulo a partir de la vertical

Como resultado de la aplicación de la expresión anterior, se pueden observar valores negativos del esfuerzo horizontal debido al coeficiente de Poisson; esto significa que la tensión se aplica en el geotextil. Además, a mayor valor de la fuerza y/o a menor valor de la profundidad, mayores esfuerzos resultantes.

3.2.2 Mecanismo tipo corte

Según Koerner (1998), sucede cuando se comprime al geosintético, que se encuentra sobre el suelo, en dirección normal, para luego ser cortados en su interfase. Para poder analizar la resistencia al corte, se deben evaluar la adhesión y el ángulo de fricción entre el geosintético y el estrato de suelo. Estos valores se pueden obtener mediante la siguiente expresión:

$$\tau = c_a + \sigma'_n \tan\delta$$

Donde:

τ = esfuerzo de corte entre el geosintético y el suelo

σ'_n = esfuerzo efectivo normal en el plano de corte

c_a = adhesión entre ambas superficies

$$\delta = \text{ángulo de fricción entre ambas superficies}$$

El valor de c_a y δ pueden obtenerse comparando los parámetros de cohesión y el ángulo de fricción propios del suelo.

3.2.3 Mecanismo tipo anclaje

Similar al mecanismo de corte, pero la fuerza de tensión actúa en ambos lados del geosintético, con una tendencia a jalarlo fuera del suelo. Usualmente, para cuantificar este efecto se superponen los resultados de calcular el esfuerzo de corte registrado entre el geosintético y ambas capas de suelo que lo rodean (ambos lados).

3.3 Filtración

Según Koerner (1998), la filtración en los geosintéticos, específicamente en los geotextiles, consiste en el equilibrio de un sistema suelo-geotextil que permite el paso de fluidos y con limitada pérdida del suelo a través del plano del geotextil. De este modo, se evita la contaminación del flujo, la pérdida de material y garantiza la estabilidad hidráulica durante el tiempo de vida estimado del sistema.

Dentro del concepto de filtración interviene la permeabilidad, la retención del suelo, y la compatibilidad del flujo a largo plazo.

3.3.1 Permeabilidad

La permeabilidad se refiere a la capacidad del pase del flujo en sentido perpendicular al plano del geosintético. Para evaluar esta característica, se usa el concepto de permisividad, o permeabilidad a través del plano, que puede calcularse a través de la siguiente expresión:

$$\psi = \frac{k_n}{t}$$

Donde,

ψ = permisividad

k_n = coeficiente de permeabilidad a través del plano

t = espesor a una determinada presión

3.3.2 Retención del suelo

Asimismo, la retención del suelo debe ser suficiente como para evitar la contaminación y paso de partículas a través de los poros del geosintético. Por ello, es importante verificar que el tamaño de los vacíos del geotextil sea menor al tamaño de las partículas del suelo. Existen diferentes recomendaciones relacionadas a la relación entre la abertura de del geotextil al 95% (O_{95}), y el tamaño de las partículas del suelo a considerar. Sin embargo, según Koerner (1998), se pueden recomendar las siguientes comparaciones:

- Para suelo $\leq 50\%$ pasando la malla #200: $O_{95} < 0.60 \text{ mm}$
- Para suelo $> 50\%$ pasando la malla #200: $O_{95} < 0.30 \text{ mm}$

Asimismo, se pueden comparar otras aberturas del geotextil (O_{95} , O_{50} , y O_{15}) con tamaños de partículas a ser retenidos (d_{90} , d_{85} , d_{50} , y d_{15}), dependiendo del tipo de proyecto a realizar y la importancia de la filtración del material (Koerner, 1997).

3.3.3 Compatibilidad del flujo a largo plazo

Este parámetro permite evaluar si se producirá una obstrucción parcial o excesiva en el geosintético, de modo que se observa un decrecimiento en el paso del flujo. A través de este análisis se podrá evaluar si el geosintético cumplirá con el desempeño mínimo deseado para el tiempo de vida del proyecto o si sufrirá un deterioro considerable que evite el cumplimiento de sus funciones. Para ello, se recomiendan ensayos de laboratorio con muestras del suelo y los geotextiles candidatos.

3.4 Impermeabilización

Esta función consiste en la capacidad que tiene un geosintético de evitar el paso de un fluido a través de un flujo transversal y longitudinal a sus planos. Si bien ningún geosintético es completamente impermeable, se puede reducir el valor del coeficiente de permeabilidad al aplicar una frontera o barrera impermeable (en el caso de los geotextiles y geocompuestos), o al utilizar un material compuesto por láminas poliméricas continuas relativamente finas, como es el caso de las geomembranas. Las barreras impermeables aplicadas en los geosintéticos se obtienen por el rociado de mezclas poliméricas, elastómeros o bitúmenes; sin embargo, los geosintéticos más adecuados para esta función son las geomembranas.

3.5 Drenaje

Según Koerner (1998), el drenaje es un sistema equilibrado de suelo-geosintético que permite el desplazamiento de un fluido dentro del plano del geotextil durante el tiempo de vida estimado del proyecto. Esta función permite, entonces, la evacuación del fluido sin registrar pérdidas de

material fino del estrato en contacto. Los geosintéticos que permiten el drenaje son los geotextiles, geonets y geocompuestos de drenaje; sin embargo, se observan varios grados dependiendo del geosintético escogido. Las geonets son las más adecuadas para esta función, mas la elección del material dependerá del diseño y los requisitos del proyecto.

Dentro del concepto de drenaje interviene la permeabilidad, la retención del suelo, y la compatibilidad del flujo a largo plazo.

3.5.1 Permeabilidad

La permeabilidad se refiere a la capacidad del pase del flujo en el plano interior del geosintético. Para evaluar esta característica, se usa el concepto de permisividad, o permeabilidad a través del plano, que puede calcularse a través de la siguiente expresión:

$$\theta = k_p t$$

Donde,

$$\theta = \textit{Transmitividad}$$

$$k_p = \textit{coeficiente de permeabilidad en el plano}$$

$$t = \textit{espesor a una determinada presión normal}$$

3.5.2 Retención del suelo

Los criterios para evaluar la retención del suelo son similares a los descritos en la sección 2.3.3.2.

3.5.3 Compatibilidad del flujo a largo plazo

Para evaluar la compatibilidad del suelo con el geosintético se utilizan los mismos criterios descritos en la sección 2.3.3.3, relacionada a la función de filtración.

A continuación, se muestra una tabla resumen que lista las funciones y los geosintéticos adecuados para cumplir con las mismas.

Tabla 3.1. Lista de geosintéticos y sus principales aplicaciones.

FUNCIONES	GEOSINTÉTICOS	GEOSINTÉTICO(S) MÁS APROPIADO(S)
Separación	Geotextiles	Geotextiles
Refuerzo	Geotextiles	Geomallas
	Geomallas	
	Geocompuestos	
Filtración	Geotextiles	Geotextiles
Impermeabilización	Geomembranas	Geomembranas
	Geocompuestos	
	GCL	
Drenaje	Geotextiles	Geonets
	Geonets	
	Geocompuestos	

4 Propiedades y Ensayos de laboratorio

4.1 Propiedades de los geosintéticos según sus tipos

Como se mencionó en las secciones anteriores, ya que los geosintéticos pueden ser aplicados en diferentes proyectos dependiendo de la función o funciones a realizar, es importante obtener las propiedades y/o parámetros necesarios para el diseño, además de evaluar si cumplen o no con los requerimientos necesarios, si podrán cumplir con su función principal por el tiempo de vida deseado, entre otros. Sin embargo, en la actualidad no existe ninguna guía de ensayos estandarizados a nivel mundial, por lo que se pueden encontrar diferentes guías de ensayos elaboradas por diferentes instituciones, grupos de investigación o empresas relacionadas al rubro, que luego son adaptadas y/o utilizadas como referencias en diferentes países.

Según Koerner (1998), algunas de las agrupaciones que se dedican a investigar y proponer estándares de ensayo, entre otras actividades relacionadas a los geosintéticos son las siguientes:

- Administración Nacional Sueca de carreteras (Suecia)
- Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte (AASHTO) (U.S.)
- Asociación Europea de Disponibles y No tejidos (EDANA)
- Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) (Francia)
- Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC)
- Asociación Internacional Permanente de Congresos de Navegación
- Centro Finlandés de Investigación Técnica (Finlandia)

- Comité Francés de Geotextiles y Geomembranas (Francia)
- Comunidad Europea de Normalización (CEN)
- Corporación Coreana de Carreteras (Corea del Sur)
- Cuerpo de ingenieros de la Armada Americana, Estación Experimental de Canales (U.S.)
- Institución Británica de Estándares (UK }
- Institución de Ingenieros Civiles (UK)
- Instituto Sueco de Geotecnia (Suecia)
- Joao de Matos Rosa (Portugal)
- Laboratorio Noruego de Investigación (NRRL) (Noruega)
- Instituto de Investigación de Geosintéticos (GRI) de la Universidad de Drexel
- Ministerio de Obras Públicas (Bélgica)
- Oficina Canadiense de Especificaciones Generales (CGSB) (Canadá)
- Organización Internacional sobre Estándares (ISO)
- Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos y de Investigación sobre los Materiales de Construcción (RILEM) (Francia)
- Schweizerisches Verband der Geo Textilfachleute (Suiza)
- Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) (U.S.)

A continuación, se presentan diferentes propiedades para los principales tipos de geosintéticos mencionados anteriormente. Asimismo, se mencionan los principales ensayos necesarios para cada propiedad o característica descrita.

4.1.1 Geotextiles

4.1.1.1 Propiedades físicas

Según Koerner (1998), los ensayos realizados para identificar las propiedades físicas de un geosintético se conocen como ensayos índices.

Gravedad específica

De acuerdo con Koerner (1998), se refiere a la gravedad específica del stock polimérico base usado en la fabricación del geosintético. A continuación, se presenta una tabla con algunos valores típicos de materiales comúnmente usados.

Tabla 4.1. Pesos específicos de materiales comúnmente usados.

Material	Peso específico (g/cm³)
Acero	7.87
Suelo/Roca	2.4 - 2.9
Vidrio	2.54
PVC	1.69

Algodón	1.55
Poliéster	1.22 - 1.38
Nylon	1.05 - 1.14
Polietileno	0.90 - 0.96
Propileno	0.91

Nota. Adaptado de Koerner (1998)

Ensayos relacionados:

- ASTM D792 - 00: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- ASTM D1505-18: Standard Test Method for Density of Plastics by the Density-Gradient Technique

Masa por unidad de área

Según Koerner (1998), usualmente se usan las unidades de gramos por metro cuadrado, aunque también se usan valores de gramos por metro lineal para una comparación más sencilla. Esta propiedad resulta importante ya que el costo y propiedades tienen una relación directa con la masa por unidad de área del geosintético.

Ensayos relacionados:

- ASTM D5261-10(2018): Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles
- ISO 9864: Geosynthetics — Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products

Espesor

Es la distancia entre ambas superficies del geotextil bajo una presión específica, que puede variar según las especificaciones de la guía de ensayo.

Ensayos relacionados:

- ASTM D5199-12(2019): Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics
- ISO 9863-1 (2016): Geosynthetics — Determination of thickness at specified pressures

Rigidez

Se refiere a la interacción entre el peso del geotextil y la rigidez a la flexión. Según Koerner (1998), para medir esta propiedad se debe tomar un espécimen del material (según el método de ensayo del ASTM, es una tira de 25 mm de ancho) y se desliza a lo largo de una superficie horizontal hasta que forme un ángulo de 41.5° con el plano horizontal; la rigidez a la flexión será entonces el cubo de la longitud de flexión por la masa por unidad de área, siendo la longitud de flexión la mitad de la longitud que sobresale de la superficie.

A través de esta propiedad se puede conocer la capacidad del geotextil de adaptarse a superficies flexibles de apoyo. Por ejemplo, en suelos muy blandos es preferible un geotextil rígido para evitar deformaciones considerables.

Ensayos relacionados:

- ASTM D1388-18 Standard Test Method for Stiffness of Fabrics

Equipos de laboratorio

Para el ensayo de gravedad específica o densidad relativa de sólidos plásticos se emplea la balanza electrónica presentada en la Figura 4.1.



Figura 4.1. Equipo de ensayo de gravedad específica ASTM D792.

Tomado de Infinita Lab (2021).

Para el ensayo de espesor de geotextil se emplea el thickness gauge presentado en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Thickness gauge HTG-8 según ASTM D 5199 ensayo de gravedad específica ASTM D792.

Tomado de BCQ (2021).

Para el ensayo de rigidez se emplea el equipo presentado en la Figura 4.3.



Figura 4.3. Equipo de ensayo de fábrica de rigidez de marca TESTEX según ASTM D 1388.

Tomado de TESTEX (2021).

4.1.1.2 Propiedades mecánicas

Compresibilidad

Se refiere a la variación del espesor debido a esfuerzos normales, y suele ser importante en geotextiles usados para conducir fluidos dentro de su estructura (Koerner, 1997).

Resistencia a la tensión

Importante en geotextiles con aplicaciones relacionadas a esfuerzos de tensión, especialmente aquellos que tengan como función principal o secundaria la de refuerzo. El ensayo común consiste en generar la curva de esfuerzo vs. deformación que resulta al aplicar una carga a través de ganchos y medir la deformación hasta el punto de falla.

Ensayos y estándares relacionados:

- Estándares de tamaño de los especímenes: ASTM D1682, D4632, D751 y D4595

- Ensayos: Ensayo de tensión Grab D4632, Ensayos de muestra ancha ASTM D4595 e ISO 10319.

Resistencia a la tensión confinada

Concepto similar a la resistencia a la tensión pero con presión de confinamiento lateral, para simular la condición a la que se someten los geotextiles en proyectos reales.

Resistencia de la costura

Es importante evaluar la resistencia del geotextil ya que, en la práctica, los extremos del geotextil son unidos a través de costuras para transferir esfuerzos de tensión.

Ensayos y estándares relacionados:

- ASTM D4884/D4884M-14a: Standard Test Method for Strength of Sewn or Bonded Seams of Geotextiles
- ISO 10321(2008): GEOSYNTHETICS — TENSILE TEST FOR JOINTS/SEAMS BY WIDE-WIDTH STRIP METHOD

Resistencia a la fatiga

Según Koerner (1998), es la capacidad del geotextil para soportar cargas repetidas antes de fallar. A través de esta propiedad se puede evaluar la resistencia que tendrá luego de un número determinado de ciclos de carga, además de conocer el número de ciclos que puede soportar.

Resistencia al estallido

Capacidad de resistir esfuerzos fuera de su propio plano hasta que se registre la falla.

Ensayos relacionados:

- ASTM D3786/D3786M-18: Standard Test Method for Bursting Strength of Textile Fabrics—Diaphragm Bursting Strength Tester Method

Ensayos de Rasgado

Ensayo relacionado a los esfuerzos de rasgado a los que se somete el geotextil durante su instalación. Según Koerner (1998), existen tres ensayos usados comúnmente: trapezoidal, en lengüeta y Elmendorf.

- El ensayo de rasgado trapezoidal (ASTM D4533) consiste en insertar el espécimen en una máquina de ensayo a tracción, en forma esviada, para medir la carga necesaria para que las hebras se rasguen progresivamente. También es conocido como rasgado atrapado
- El ensayo de rasgado en lengüeta (ASTM D751): Se genera un corte inicial en el espécimen para evaluar la carga en tracción necesaria para el desgarre usando una máquina de ensayo que sujete los extremos.
- El ensayo de rasgado de Elmendorf (ASTM D1424): Es un procedimiento que permite hallar la fuerza promedio necesaria para propagar un descosido simple en un ensayo de rasgado de lengüeta.

Ensayos de impacto

Son importantes ya que permiten medir el efecto que produce algún objeto sólido cuando cae e impacta en el geotextil. En proyectos reales, es normal observar que rocas u otros objetos usados en construcción caen y generan daños en el geotextil, ya sea debido al procedimiento de colocación de una capa de suelo sobre el material, desprendimiento de rocas, entre otros.

Según Koerner (1998), los ensayos, comúnmente, simulan esta situación usando un cono pesado o un dardo que cae desde una altura conocida sobre el geotextil, que está sujeto a un contenedor vacío. Luego, se mide el valor de penetración o la energía de impacto, dependiendo del ensayo.

Estándares relacionados:

- ASTM A370-20: Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products
- ASTM D256-10(2018): Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics

Ensayos de punzonamiento

Son importantes ya que permiten medir el efecto que produce algún objeto sólido punzante cuando cae e impacta en el geotextil. En proyectos reales, es normal observar que se generan daños en el geotextil, ya sea debido al procedimiento de colocación de una capa de suelo con partículas angulares sobre el material, colocación de estacas, entre otros.

Ensayos relacionados:

- ASTM D4833/D4833M-07(2020): Standard Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products
- ISO 12236:2006 GEOSYNTHETICS — STATIC PUNCTURE TEST (CBR TEST)
- DIN 54307:1982-01 - TESTING OF GEOTEXTILES AND GEOTEXTILE RELATED PRODUCTS; STATIC PUNCTURE TEST (CBR)

Comportamiento a la fricción

Son importantes ya que permiten medir el efecto que produce la interacción entre el suelo y el geotextil. El ensayo más usado es una adaptación del ensayo de corte directo ASTM D5321.

Ensayos de anclaje

Son importantes ya que permiten medir el efecto que se produce durante el contacto entre el suelo y ambos lados del geotextil. En proyectos reales, es normal observar este comportamiento cuando se usa el geotextil como refuerzo. Según Koerner (1998), para cuantificar este efecto se realiza un ensayo de anclaje o extracción, que resulta similar a un ensayo de corte más la inclusión de suelo estacionario en ambos lados del geotextil.

Equipos de laboratorio

Dentro de los ensayos experimentales estandarizados el ensayo de resistencia a la tensión, ASTM D4632, es ampliamente usado y aceptado. También es importante porque las aplicaciones de los geotextiles se relacionan con esta propiedad, es decir, esta propiedad resulta de utilidad para el diseño.

Según Koerner (1998), el ensayo consiste en utilizar una máquina mecánica, sujetar al material por medio de unos ganchos y tensar el material hasta que ocurra la falla. Las dimensiones de los especímenes están normadas de 100mm de ancho, 150mm de longitud y las mandíbulas que sujetan al material solo toman 25mm del centro del espécimen. Con esto se mide la deformación del geotextil y se obtienen las curvas de esfuerzo vs deformación unitaria, de donde se pueden obtener diversos parámetros como el módulo de elasticidad y esfuerzo último.

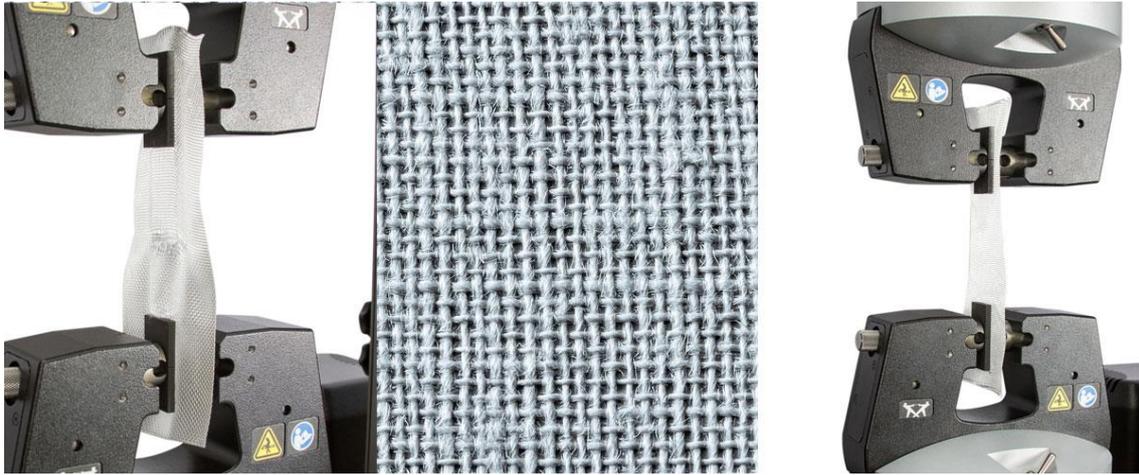


Figura 4.4. Ensayo de resistencia a la tensión ASTM D4632.

Tomado de Instron (2021).

4.1.1.3 Propiedades hidráulicas

Porosidad

Es la relación entre el volumen de vacíos respecto al volumen total. Se puede evaluar esta propiedad a través de la siguiente expresión:

$$n = 1 - \frac{m}{\rho t}$$

Donde:

n = porosidad (adimensional)

m = masa por unidad de área $\left(\frac{g}{m^2}\right)$

ρ = densidad $\left(\frac{g}{m^3}\right)$

t = espesor (m)

Tamaño de Abertura Aparente

El valor del Tamaño de Abertura Aparente (AOS), o Tamaño de Abertura Equivalente (EOS), permite medir el tamaño de los poros del geotextil.

Ensayos relacionados:

- ASTM D4751
- CW-02215 (Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos)
- ISO/DIS 12956 (Prueba húmeda de tamizado)

Sin embargo, según Koerner (1998), existen algunos problemas relacionados a las pruebas, pero, debido a su simplicidad, aún siguen siendo empleados para evaluar esta propiedad. Estos problemas son:

- En algunas situaciones, los granos de cristal, usados para medir la cantidad de material que pasa durante los ensayos, pueden quedar atrapados en el geotextil.
- Los resultados pueden variar dependiendo de factores externos, como la temperatura, humedad, variación del tamaño del grano y duración del ensayo.
- Las pruebas no permiten conocer los valores del resto de la curva, solo se dirige al tamaño del 5%.

Sin embargo, Koerner mencionó que las pruebas de tamizado por vía húmeda pueden ser más representativas y permiten reducir los efectos de los problemas listados anteriormente.

Permitividad

Se refiere a la permeabilidad en el plano transversal del geotextil, y puede evaluarse a través de la siguiente expresión:

$$\psi = \frac{k_n}{t}$$

Donde:

ψ = permitividad (s^{-1})

k_n = permeabilidad o conductividad hidráulica ($\frac{m}{s}$)

t = espesor (m)

Del mismo modo, se puede evaluar esta propiedad a través de la tasa de flujo en el caso de pruebas de carga constante.

$$\frac{k_n}{t} = \psi = \frac{q}{\Delta h A}$$

Donde:

q = tasa del flujo ($\frac{m^3}{s}$)

i = gradiente hidráulico

Δh = pérdida de carga total (m)

A = área total del espécimen de prueba del geotextil (m^2)

Ensayos relacionados:

- ASTM D4491

- ISO/DIS 11058

Permitividad bajo carga

Utiliza los conceptos descritos en la propiedad anterior, pero se incluyen restricciones que permiten simular una condición más real. Estos cambios usualmente consisten en la aplicación de tensiones normales a través de objetos como bolas de cerámica con dimensiones normadas.

Ensayo relacionado:

- ASTM D5493

Transmisividad

Consiste en evaluar la permeabilidad en el plano del geotextil. Se puede evaluar esta propiedad a través de la siguiente expresión:

$$k_p t = \theta = \frac{q}{i W}$$

Donde:

$$\theta = \text{transmisividad del geotextil } \left(\frac{m^2}{s} \text{ o } \frac{m^3}{s - m} \right)$$

$$k_p = \text{permeabilidad en el plano}$$

$$q = \text{tasa del flujo } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$i = \text{gradiente hidraúlico}$$

$$W = \text{ancho del geotextil (m)}$$

$$t = \text{espesor (m)}$$

Ensayos relacionados:

- ASTM D4491
- ISO/DIS 11058

Equipos de laboratorio

Como se mencionó, es importante medir la capacidad que los geotextiles tienen para transmitir un líquido perpendicular a través de este y transmitirlo a un sistema de drenaje, es decir, su permeabilidad, pues esta es una de las principales aplicaciones de estos. Para esto se tiene el ensayo ASTM D4491 que usa el dispositivo presentado en la Figura 4.5. En este se debe asegurar de tener agua desairada, acondicionar previamente las telas y tener una carga aplicada a este. Con esto se obtiene la permitividad de los geotextiles.



Figura 4.5. Dispositivo de ensayo de permeabilidad para medir la permitividad del geotextil.

Tomado de BTTechnology, (2021).

4.1.1.4 Propiedades de pervivencia

Daños de instalación

Este valor resulta importante ya que, dependiendo de la manipulación del geotextil, se puede generar fatiga, esfuerzos no deseados o daños significativos antes de que entre en uso. Incluso, en algunas situaciones, las tensiones de instalación pueden ser mayores a las consideradas durante el diseño.

Pruebas de flujo plástico o Creep

Debido a la composición de los geotextiles, que contienen materiales poliméricos, es posible que sufran de elongaciones bajo cargas constantes. Entonces, considerando el tipo de proyecto y uso que se le dará al geotextil, es más probable que exista un efecto más negativo a comparación de otros proyectos. Usualmente, los ensayos que se realizan para esta propiedad consisten en la selección de una carga y su aplicación durante un tiempo determinado. Durante este periodo, se registran los esfuerzos durante intervalos más cortos para generar al final curvas de respuestas con los datos de elongación o porcentaje de deformación y el tiempo de incremento.

Ensayos relacionados:

- ASTM D5262
- ISO/DIS 13431

Pruebas de Abrasión

En algunas situaciones, usualmente cuando falla la interacción entre el suelo y el geotextil, se pueden observar casos de abrasión en el material, que según Koerner (1998) puede definirse como el desgaste de cualquier parte del material debido al roce contra otra superficie.

En general, los métodos de ensayo consisten en desgastar el geotextil durante un número específico de repeticiones para comparar su resistencia frente a un espécimen intacto y observar la variación.

Ensayos relacionados:

- ASTM: D1175 y D4886
- ISO 13427
- Estándar Alemán DIN 5385 (recomendado por simular condiciones a gran escala)

Equipos de laboratorio

Para el caso de ensayo de abrasión, el ensayo normado D4886 resulta interesante debido a que el equipo de ensayo presentado en la Figura 4.6 se encuentra ampliamente en el mercado.



Figura 4.6. Equipo de ensayo de resistencia a la abrasión para geotextiles..

Tomado de EIE INSTRUMENTS PVT, (2021).

4.1.1.5 Propiedades de Degradación

Degradación por Luz Solar

Es importante evaluar el impacto de la luz solar en los geotextiles, especialmente la luz ultravioleta, teniendo en consideración el tipo de uso del material y su composición. En proyectos reales, se observa que los geotextiles no se encuentran expuestos al mismo porcentaje de luz UV durante su tiempo de vida por lo que es importante realizar ensayos que simulen este efecto. Según Koerner (1998), los fotones de luz consiguen romper los enlaces poliméricos y esto causa la degradación; por lo que es posible entender que las ondas de luz más cortas generan mayor daño.

Ensayos recomendados:

- ASTM D4355. Usa el equipo llamado Arco de Xenón.
- Método de Luz Fluorescente Ultravioleta. ASTM G53 y D5208
- ASTM: D1453, D5970.

Degradación por temperatura

Usualmente influyen en la velocidad de degradación generadas por otras condiciones. La temperatura puede colaborar en la dilatación y compresión de materiales, además aportar flexibilidad o rigidez al geotextil. Esto puede afectar negativamente su desempeño, hacer más difícil su colocación, aportar fragilidad, entre otros.

Ensayos recomendados:

- ASTM D794

Degradación por oxidación

Algunos geotextiles presentan efectos negativos de degradación al entrar en contacto con ambientes que contienen oxígeno. Esto significa que su uso en proyectos está limitado por el nivel de degradación que presenta, la función que va a desempeñar, las superficies en contacto, entre otros.

Degradación por hidrólisis

Este tipo de degradación se produce cuando el geotextil reacciona ante sustancias alcalinas. El impacto de la degradación puede analizarse a través de la medición de la resistencia mecánica antes y después de entrar en contacto con la sustancia base.

Degradación química

Se produce cuando el geotextil entra en contacto con compuestos químicos, principalmente ácidos, soluciones orgánicas y químicas, sustancias blanqueadoras, químicos usados para limpieza, entre otros. Este tipo de situaciones se dan en proyectos como botaderos en contacto con lixiviados agresivos, proyectos en contacto con suelos que contienen sales agresivas, proyectos de contención de relaves mineros, entre otros.

Ensayos recomendados:

- ASTM D543

Degradación biológica

Sucede cuando el geotextil entra en contacto con otra superficie que contiene cantidades considerables de bacterias y hongos. Estos organismos generan degradación en el plano de contacto ya que consumen las fibras como alimento. Si bien no hay procedimientos de ensayo relacionados, Koerner (1998) menciona un caso ejemplo que explica como Ion Ionescu, junto con otros colaboradores, evaluaron este efecto en diferentes geotextiles sometidos a diferentes condiciones. Los resultados se resumen en la detección de una pequeña variación en los valores de resistencia.

A continuación, se presenta la Tabla 2.10 del libro “Diseño con Geosintéticos” de Koerner, que muestra el rango típico de las propiedades descritas anteriormente, incluyendo otras propiedades adicionales.

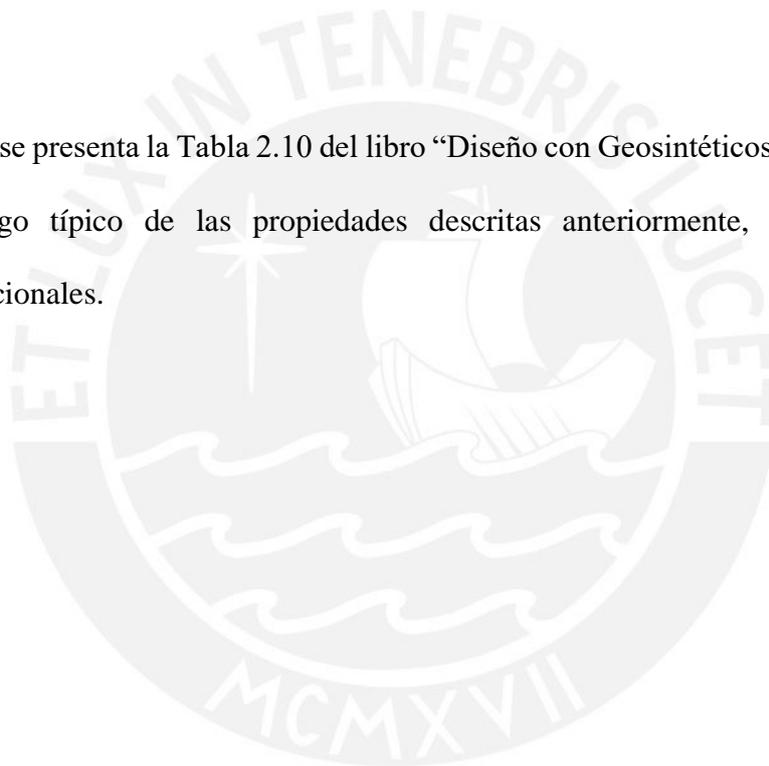


TABLA 2.10 RANGO TÍPICO DE PROPIEDADES PARA GEOTEXTILES NORMALMENTE DISPONIBLES

Propiedades Físicas	
Gravedad específica	0.9-17
Masa por unidad de área	135-1000 g/m ²
Espesor	0.25-7.5 mm
Rigidez	ninguna a 25,000 mg-cm
Propiedades Mecánicas	
Compresibilidad	ninguna a alta
Resistencia ala tensión (Grab)	0.45-4.5 kN
Resistencia a la tensión (muestra ancha)	9-180 kN/m
Resistencia a la tensión confinada	18-180 kN/m
Resistencia de la costura	50-100% de la tensión
Resistencia a la fatiga cíclica	50-100% de la tensión
Resistencia al estallido	350-5200 kPa
Resistencia a la desgarradura	90-1300 N
Resistencia al impacto	14-200 J
Resistencia al punzonamiento	45-450 N
Comportamiento a la fricción	60-100% de la fricción del suelo
Comportamiento a la extracción	0-100% de la resistencia del geotextil
Propiedades Hidráulicas	
Porosidad (no tejido)	50-95%
Porcentaje de área abierta (tejido)	ninguna a 36%
Tamaño de abertura aparente (tamaño de malla)	2.0 a 0.075 mm (# 10 a # 200)
Permitividad	0.02-2.2 s ⁻¹
Permitividad bajo carga	0.01-3.0 s ⁻¹
Transmisividad	0.01-2.0 x 10 ⁻³ m ² /min
Retención de suelo: cortinas de turbidez	d.s.e.
Retención de suelo: defensas de lodos	d.s.e.
Propiedades de Pervivencia	
Daños de instalación	0-70% de la resistencia de la tela
Respuesta al flujo plástico	g.n.p. si se usa una resistencia < 40%
Respuesta al flujo plástico confinado	g.n.p. si se usa una resistencia < 50%
Relajación de esfuerzos	g.n.p. si se usa una resistencia < 40%
Abrasión	50-100% de la resistencia del geotextil
Oclusión a largo plazo	d.s.e. para condiciones críticas
Tasa de gradiente de la oclusión	d.s.e. para condiciones críticas
Tasa de conductividad hidráulica	0.4-0.8 parece aceptable
Propiedades de Degradación	
Temperatura de degradación	temperatura alta acelera la degradación
Degradación por oxidación	d.s.e. para vidas de servicio largas
Degradación por hidrólisis	d.s.e. para vidas de servicio largas
Degradación química	g.n.p. a menos que se trate de químicos agresivos
Degradación radioactiva	g.n.p.
Degradación biológica	g.n.p.
Degradación por Luz Solar (UV)	los mayores problemas, a menos que esté protegida
Efectos sinérgicos	d.s.e.
Envejecimiento general	el registro a la fecha es excelente

Abreviaciones: d.s.e.: debe ser evaluado; g.n.p.: generalmente no es problema.

Figura 4.7.. Rango típico de las propiedades de los geotextiles.

Tomado de Koerner (1998).

Equipos de laboratorio

Uno de los principales motivos de la degradación de los geotextiles es la radiación ultravioleta, para esto, el ensayo normado por la ASTM D4355 establece el uso de las cámaras de arco de xenón, la cual está presentada en la Figura 4.8.

Para este se utilizan cinco muestras del geotextil y son expuestos a diferentes instantes de tiempo (LIB, 2021).



Figura 4.8. Cámaras de arco de xenón.

Tomado de LIB (2021).

4.1.2 Geomallas

4.1.2.1 *Propiedades físicas*

Varias de las propiedades físicas de las geomallas se pueden medir directamente. Estas son:

- Tamaño de abertura
- Tipo de unión
- Espesor
- Tipo de estructura
- Masa por unidad de área

También se puede evaluar la rigidez de la geomalla a través de la norma ASTM D1388. Las especificaciones son similares a las descritas en la sección de geotextiles.

4.1.2.2 Propiedades mecánicas

Resistencia de la costilla simple y de la unión (nudo)

Evalúa la resistencia del nudo ante cargas, especialmente de tensión, en las geomallas. Usualmente, se jala una costilla hasta registrar una falla y observar su comportamiento; también se puede evaluar el mismo comportamiento al jalar una costilla longitudinal y alejarla de la unión.

Koerner (1998), menciona dos ensayos:

- Resistencia a la tensión de la costilla simple: Se usa una máquina de ensayo con velocidad de extensión constante y se jala solo una costilla hasta su falla.
- Resistencia del nudo o de la unión en aislamiento.

Resistencia a la tensión de Tira Ancha

Permite evaluar la resistencia del material a gran escala, ya sea en dirección longitudinal y/o transversal, para evaluar si resisten todas las costillas en conjunto. Los procedimientos típicos de ensayo son similares a los ensayos de tensión anteriormente descritos en la sección de geotextiles; sin embargo, en este caso se usa un espécimen más grande para incluir más costillas longitudinales y transversales.

Ensayos:

- ASTM D4595: Ensayo de resistencia de tira ancha para geotextiles, adaptado a geomallas.
- ISO 10319

La ASTM D495 se modifica el ancho del espécimen para ser utilizado en geomallas, para este se utilizó la maquinaria Split cam wide tensile grips, que consta de agarraderas en los dos extremos con empuñaduras de rodillo. En esta máquina se monitorea la deformación del elemento colocado en base a un LVDT, óptico, láser, etc. El ensayo normado por la ISO 10319 es similar, a diferencia que la sujeción debe ser conforme a la guía mostrada.

Resistencia al corte

Similar a lo explicado en la sección de Geotextiles. En general, la diferencia radica en la forma de obtener los resultados de resistencia al corte en geomallas, ya que los ensayos usados resultan de la adaptación para este material en particular.

Según Koerner, para ensayar la resistencia al corte, se debe utilizar una gran caja de corte, aproximadamente de 10 veces el tamaño de la partícula más grande del suelo a ensayar. El procedimiento es el siguiente: Se fija la geomalla a un bloque y se procede a deslizar sobre un suelo fijo en una caja de corte.

Resistencia al anclaje por arrancamiento del suelo

Debido a que las geomallas son los geosintéticos por excelencia para cumplir la función de refuerzo, es importante evaluar su resistencia al anclaje, ya que las geomallas trabajan con la trabazón del suelo para proporcionar resistencia a la estructura.

Según Koerner (1998), esta resistencia resulta de los siguientes mecanismos: la resistencia al corte a lo largo de ambos planos longitudinales de la geomalla, la resistencia al corte a lo largo de ambos planos transversales de la geomalla, y la resistencia pasiva contra el frente de las costillas transversales.

Según Koerner, las consideraciones para los ensayos:

- Caja de ensayo lo suficientemente profunda como para permitir deformar el suelo por encima y por debajo de la geomalla,
- Caja de ensayo lo suficientemente largo para la completa disipación del esfuerzo aplicado en la geomalla,
- Los sistemas de soporte y sujeción de la caja de ensayo deben ser muy fuertes,
- La masa de suelo debe encapsular a la geomalla para que la sujeción de esta venga desde dentro de dicha masa,
- se requiere de un sistema de extracción de alta resistencia
- considerar cierto número de medidores (“alambres de acero adheridos a los nudos de la geomalla” (2002, pp. 11)).

Equipos de laboratorio

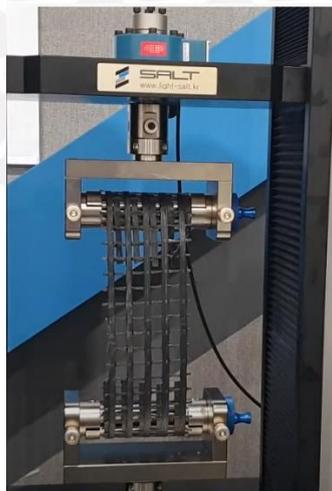


Figura 4.9. Ensayo de resistencia a la tensión de tira ancha.

Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=2-DeTHPR9Ps&t=41s>.

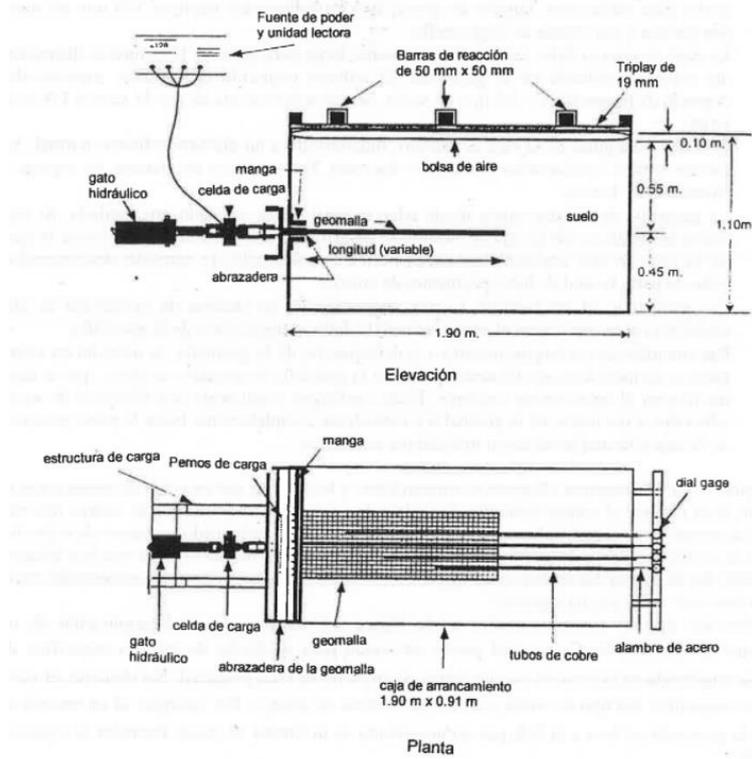


Figura 4.10. Caja de arrancamiento del suelo

Tomado de *Diseño con geosintéticos* (Koerner, 1998)

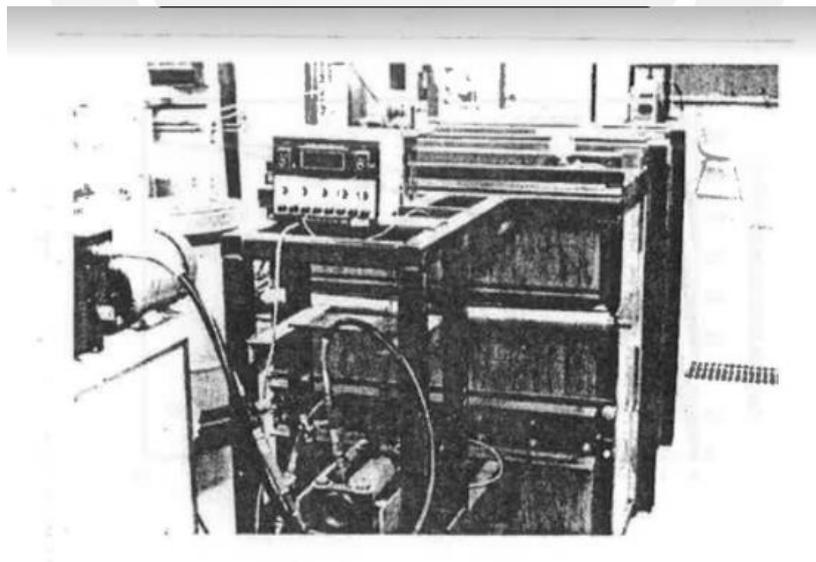


Figura 4.11. Frente de la caja de arrancamiento
Tomado de *Diseño con geosintéticos* (Koerner, 1998)

4.1.2.3 Propiedades de pervivencia

Daños de instalación

Se registran ante problemas con la manipulación, instalación, caídas de objetos, problemas con maquinaria pesada, entre otros.

Pruebas de flujo plástico o Creep

Según Koerner (1998), “debido a que los polímeros usados en la fabricación de geomallas consisten en moléculas de cadenas largas dispuestas en regiones cristalinas entremezcladas con regiones amorfas, la respuesta del creep refleja el porcentaje de la cristalinidad.”

Ensayo:

- Prueba de deformación bajo carga sostenida: ASTM D5262

Equipos de laboratorio

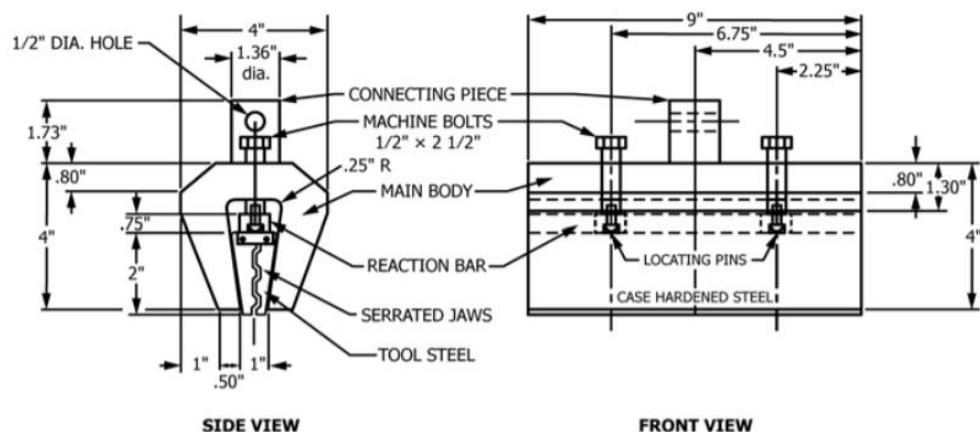


Figura 4.12. Agarres de rodillo para las pruebas de Creep
Fuente: ASTM D5262

4.1.2.4 *Propiedades de Degradación*

Degradación por Luz Solar

Es similar a lo expuesto en la sección de los geotextiles, aunque las geomallas pueden estar expuestas a la luz solar por más tiempo.

Ensayos::

- ASTM D4355: utiliza el arco de Xenon para simular la exposición solar máxima



Figura 4.13. Arco de Xenon.

Fuente: Desconocido

Degradación por temperatura

Es posible que un incremento de temperatura favorezca mayores deformaciones producidas por algunos de los daños descritos anteriormente, aunque no deberían representar daños serios.

Degradación por oxidación

Similar a lo explicado en la sección de los geotextiles.

Degradación por hidrólisis

Similar a lo explicado en la sección de los geotextiles.

Degradación química

En el caso de las geomallas, se observa que sus componentes resisten una amplia variedad de sustancias químicas. No obstante, se recomiendan estudios con los agentes químicos presentes en el proyecto real para tener resultados más adecuados.

Degradación biológica

Similar a lo explicado en la sección de los geotextiles.

4.1.3 Geonets

4.1.3.1 Propiedades físicas

- Densidad: ASTM D1505
- Gravedad específica: ASTM D792
- Tamaño y forma de abertura: medible directamente

- Dimensiones de las costillas: medible directamente
- Espesor: ASTM D5199
- Ángulos planares en las intersecciones y ángulos verticales en las uniones: medible directamente
- Masa por unidad de área: ASTM D5261

4.1.3.2 Propiedades mecánicas

Resistencia a la tensión

Para calcular la resistencia a la tensión se siguen procedimientos similares a los descritos en la sección de geotextiles. Sin embargo, ya que los geonets tienen una dirección preferencial en la resistencia, se deberá evaluar la resistencia longitudinal y transversal.

Según Koerner, al ensayar la resistencia a tensión se generan curvas, las cuales se resultan de ensayar una geored biaxial extruida de costillas sólidas de 5 mm de espesor, colocadas en la dirección misma de la máquina y en la dirección contraria a esta.

Resistencia a la compresión

Es importante evaluar la resistencia a la compresión ya que la deformación compresiva tiene un efecto negativo directo en la capacidad de conducción de líquidos, función principal de este tipo de geosintético.

4.1.3.3 *Propiedades hidráulicas*

Transmisividad

Si bien se describieron los conceptos en secciones anteriores, es importante indicar que, en el caso de las geonets, se usa un dispositivo de transmisividad planar para evaluar esta propiedad.

Ensayos:

- ASTM D4716
- ISO 12958

4.1.3.4 *Propiedades de durabilidad*

Material

El tipo de material usado para elaborar las geonets influye directamente en las propiedades de durabilidad que se registran durante los ensayos. En general, la densidad del material puede indicar el nivel de resistencia y comportamiento que se puede esperar de la geonet. La elección de la densidad adecuada dependerá de los requerimientos del proyecto.

A continuación, se muestra una tabla resumen con información descrita por Koerner (1998) relacionada a este tema.

Tabla 4.2. Tipo de material y su relación con sus propiedades de las geonets.

Material	Densidad (mg/l)	Mecanismos y/o propiedades
Resina de alta densidad	>0.950	- Módulos elevados - Resistencia elevada - Alta resistencia al creep

Resina de densidad intermedia	<0.945	-Mayor flexibilidad -Facilidad de deformación bajo esfuerzos de compresión significativos
Resina de baja densidad	-	-Mayor resistencia a esfuerzos de agrietamiento

Nota. Adaptado de Koerner (1998).

Pruebas de flujo plástico o Creep

Se refiere a los efectos que sufre la geonet respecto a su espesor cuando actúa sobre ella una carga continua de compresión.

4.1.4 Geomembranas

4.1.4.1 Propiedades físicas

Espesor

Medible directamente, aunque existen tres tipos de espesor que varían según el tipo de geomembrana a analizar.

Ensayos:

- ASTM D5199: Ensayo para medir el espesor de láminas lisas
- ASTM D5994: Ensayo para medir el espesor de láminas texturizadas
- No hay ensayo normado para medir el espesor de las asperezas en láminas texturizadas.

Densidad

Dependerá del material base, aunque es importante aclarar que también se presentan variaciones en densidad para un mismo material por lo que es importante evaluar si permitirá

cumplir con las especificaciones de uso. Según Koerner (1998), “el rango para todos los polímeros de geomembranas cae dentro de los límites de 0.85 a 1.5 g/ml”.

Ensayos:

- ASTM D792
- ASTM D1505

Masa por unidad de área

Relacionado al peso de la geomembrana.

Ensayos:

- ASTM D1910

Transmisibilidad de vapor

Permite evaluar el volumen de fluido que logra atravesar la geomembrana, y el tiempo que le toma hacerlo. Resulta importante ya que la función principal de estos geosintéticos es la de impermeabilización.

En general, se analizan dos tipos de sustancias: el vapor de agua y el vapor de diferentes solventes, que requieren otro tipo de análisis e introduce el concepto de permselectividad.

Ensayos:

- ASTM E96

4.1.4.2 Propiedades mecánicas

Comportamiento a la tensión

Esta propiedad es evaluada comúnmente para verificar que las geomembranas cumplan con los estándares de calidad adecuados.

Ensayos:

- ASTM: D6693, D882, D751.

Asimismo, se puede evaluar el mismo comportamiento en muestras más grandes para evaluar correctamente el fenómeno de contracción que se ve al medio de la geomembrana luego de ser sometida a esfuerzos de tensión. Para estos ensayos se analizan muestras más grandes.

Ensayos:

- ASTM D4885

En caso se desee evaluar el comportamiento a la tensión en la zona de empalme y unión entre rollos de geomembranas, se realizan los siguientes ensayos:

- ASTM D4437, D3083, D751 (Ensayos de corte).
- ASTM D4437, D413 (Ensayos de desgarre).

Resistencia al rasgado

Permite evaluar la capacidad de resistir cargas antes de fallar y rasgarse a través de la zona de falla.

Ensayos:

- ASTM: D2263, D1004, D751, D1424, D2261, D1938.

Resistencia al impacto

Si bien esta propiedad no es muy importante en los geosintéticos anteriores, puede representar un peligro mayor en el caso de las geomembranas ya que podría generar filtraciones en la zona de impacto, lo que evita que cumpla la función de impermeabilización.

Ensayos:

- ASTM: D1709 (caída libre de dardo), D3029 (caída libre de masa), D1822 (péndulo).

Resistencia al punzonamiento

Su importancia es similar a la señalada anteriormente, aunque, en este caso, los daños se producen debido al contacto con materiales angulares.

Ensayos:

- ASTM D5494 (ensayo piramidal de punzonamiento).
- ASTM D4833

Interfase de corte

Importante en proyectos que trabajan con la trabazón del suelo-geosintético y la resistencia al corte en el plano de contacto. Si bien las geomembranas estarían cubiertas por geotextiles para evitar daños, puede suceder que este sistema de protección falle.

Algunas condiciones específicas del terreno a considerar:

- Propiedades físicas del suelo (clasificación, granulometría, densidad)
- Condiciones y contenido de humedad

- Esfuerzos normales
- Deformaciones: corte, consolidación

Equipos de laboratorio

Para el ensayo de resistencia a la tensión, normado según la ASTM D6693 se emplea el equipo presentado en la Figura 4.14.



Figura 4.14. Equipo usado en el ensayo ASTM D6693 “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes,”.

Tomado de Geosynthetic Institute (n.d).

En el caso del ensayo de tensión tridimensional con simetría axial, es decir cuando se requiere caracterizar el comportamiento cuando la geomembrana es desplazada del plano de esfuerzos, se emplea el equipo presentado en la Figura 4.14.

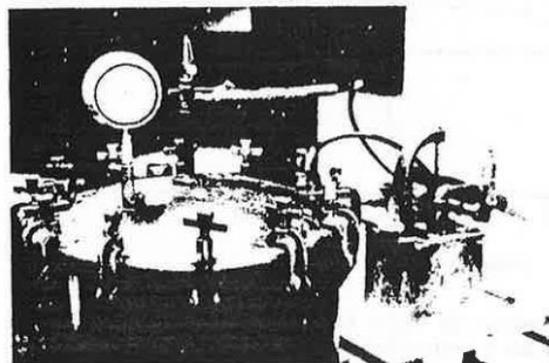
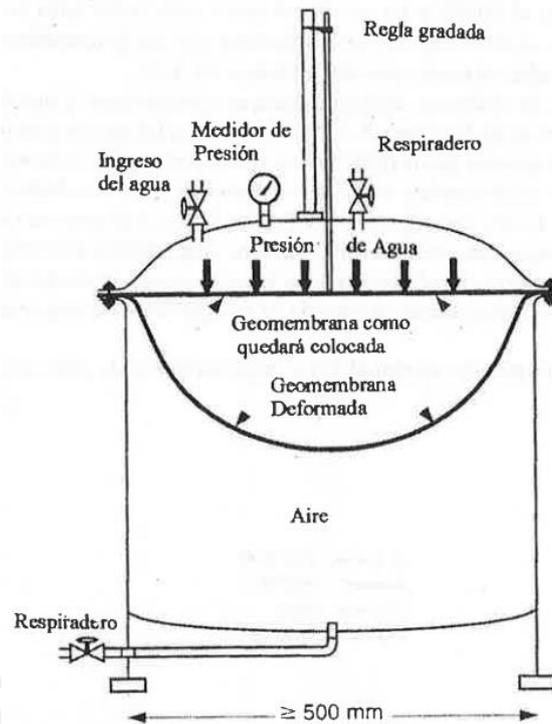


Figura 4.15. Equipo para el ensayo de tensión tridimensional con simetría axial según ASTM D5716..

Tomado de Koerner (1998).

En el caso del ensayo de punzonamiento el ASTM D4833 es empleado por los fabricantes con el propósito de controlar la calidad de sus productos (Koerner, 1998). Para esto se emplea el equipo presentado en la Figura 4.16.



Figura 4.15. Equipo para el ensayo de punzonamiento de geomembranas según ASTM D4833.

Tomado de TESTRESOURCES (2021).

4.1.4.3 Propiedades de durabilidad

Degradación por Luz Solar

Similar a lo descrito en la sección de Geotextiles, aunque, en el caso de las geomembranas, pueden resistir más a la exposición ante rayos UV.

Degradación por temperatura

Las geomembranas son altamente sensibles a las variaciones de temperatura y registran diferentes efectos para valores bajos y altos. Asimismo, sufre de esfuerzos generados por la expansión y contracción ante cambios de temperatura, lo que podría dejar efectos permanentes que influyan en su desempeño.

Según Koerner (1998), en el caso de temperaturas altas es normal ver un cambio en las propiedades físicas, mecánicas y químicas, dejando incluso efectos permanentes luego de un

ciclo de calor. Sin embargo, en el caso de las temperaturas bajas se observa menor flexibilidad.

Degradación biológica y química

Similar a la sección de geotextiles. Es importante añadir que, debido al tipo de proyectos en los que se usan geomembranas, pueden estar expuestos a un mayor número de componentes biológicos y sustancias químicas.

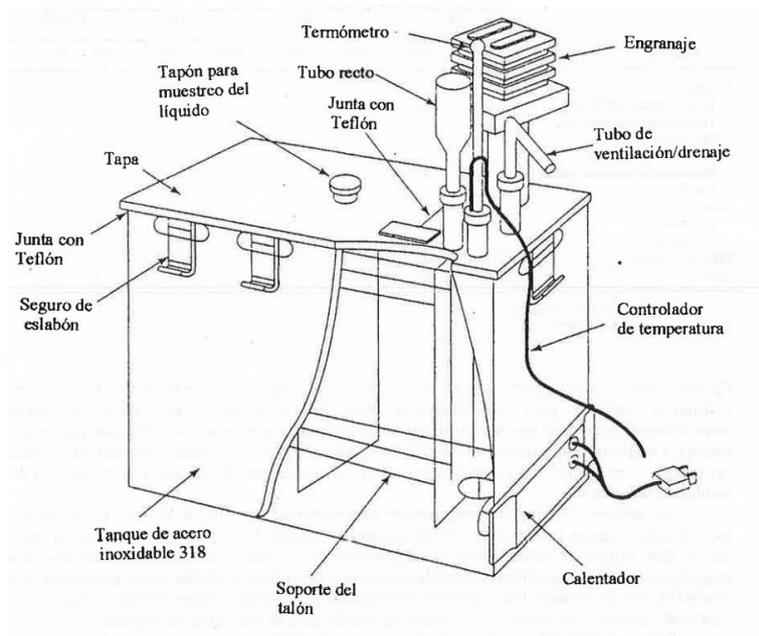


Figura 4.16. Esquema de un contenedor de incubación para evaluar el comportamiento de la resistencia química de las geomembranas..

Tomado de Koerner (1998).

4.1.5 GCL (Revestimiento geosintético de arcilla)

4.1.5.1 Propiedades físicas.

Tipo de arcilla.

El tipo de arcilla influye en el comportamiento de los GCL, por lo que es importante conocer las propiedades del material. Sin embargo, ya que no hay ensayos económicos directos para conocer esta propiedad, se realiza la prueba con un tinte azul de metileno, aunque con resultados no tan precisos.

Masa por unidad de área.

Los valores obtenidos pueden variar por factores como la humedad de la arcilla, condiciones bajo presión entre otros. Además, al ser un material compuesto, es más difícil obtener una muestra adecuada.

Ensayos:

- ASTM D5993

Coberturas.

Para evaluar ambos componentes se deben remover los geotextiles o geomembranas que cubren la arcilla para luego evaluarlas individualmente. Sin embargo, al ser removidas pueden sufrir debido a la adherencia con la arcilla y la manipulación, por lo que no se obtendrían resultados muy precisos.

4.1.5.2 Propiedades mecánicas.

Comportamiento a la tensión a todo lo ancho.

La forma más adecuada para evaluar este comportamiento requiere que la muestra se encuentre completamente seca y sellada en los bordes, para evitar problemas con la arcilla.

Ensayos:

- ASTM D4595

Resistencia al corte directo

Permite evaluar la capacidad de resistir cargas antes de fallar y rasgarse a través de la zona de falla.

Ensayos:

- ASTM: D2263, D1004, D751, D1424, D2261, D1938.

4.2 Propiedades De Interacción Entre El Suelo Y El Geosintético

Como se explicó anteriormente, los geosintéticos pueden usarse en diferentes tipos de proyectos, dependiendo de las necesidades a suplir. Por ello, se suelen evaluar diferentes propiedades que se relacionan a la interacción entre el suelo y el geosintético, especialmente en casos de refuerzo.

4.2.1 Mecanismo de interacción entre el suelo y el geosintético

Según Kumar (2002), existen tres mecanismos de interacción identificables en el caso de sistemas reforzados: fricción superficial a lo largo de la zona de refuerzo, fricción entre estratos del suelo, y el empuje pasivo en los elementos de apoyo de la zona de refuerzo. En general, en

proyectos de refuerzo se observan variaciones en el volumen del suelo debido a sus características, condiciones externas y su geometría, además de la influencia que se produce debido al confinamiento que ejercen las geonets. Asimismo, se observa que el geosintético distribuye los esfuerzos a lo largo de su estructura para evitar la falla del sistema.

Kumar (2002) mencionó que existen dos situaciones que son responsables de la movilización de fuerzas en la interface suelo-refuerzo: deslizamiento de suelo a lo largo de un plano del geosintético mientras se mantiene unido a otro estrato en el otro plano, el desplazamiento relativo del material con respecto al suelo (*pullout*). En el primer caso, la falla se produce por el efecto de corte directo, mientras que el segundo caso se relaciona a fuerzas de extracción.

4.2.2 Factores que influyen en la interacción

4.2.2.1 Características del suelo

Tamaño de partículas

Según Kumar (2002), el tamaño de las partículas del suelo resulta importantes (especialmente cuando se usan geomallas), ya que el coeficiente de deslizamiento directo es directamente proporcional al tamaño y alcanza el máximo valor cuando la partícula es del mismo tamaño que la apertura del geosintético. Además, Kumar (2002) mencionó que se recomienda un ratio (tamaño mínimo de apertura/tamaño promedio de la partícula) mayor o igual a 3 para geomallas usadas en funciones de refuerzo.

4.2.2.2 Tensión de confinamiento

Este factor resulta importante debido a que, según Kumar (2002), afecta el ángulo de fricción del suelo, y, al incrementar su valor, puede impedir la expansión de suelos densos, lo que incrementa el desempeño entre la fuerza de interfaz suelo-geosintético.

4.2.2.3 Estructura del geosintético

Según Kumar (2002), las propiedades del suelo, y el diámetro, espaciamiento y número de núcleos de apoyo son los principales factores que controlan la interacción entre las uniones del geosintético. Además, mencionó que existe la posibilidad de observar patrones de comportamiento variados debido a la longitud y extensión de los refuerzos, existencia de tangencia entre nudos, y a las rejillas en las que el rozamiento a lo largo de las barras longitudinales es una parte importante de la resistencia de la interfaz suelo-geosintético.

4.2.3 Ensayos de laboratorio

Para analizar y cuantificar las fuerzas existentes en la interfaz suelo-geosintético se realizan los siguientes ensayos:

Ensayo de corte directo:

Según Kumar (2002), el material es fijado a una superficie fija plana en la zona inferior del equipo de ensayo. De esta forma, el equipo permite simular una interacción real entre el geosintético y el suelo durante el deslizamiento directo para analizar los valores de la fricción superficial en la zona de contacto. Los ensayos de corte directo pueden depender de factores como posiciones relativas entre ambos materiales, el control del esfuerzo normal, espesor del suelo, y los coeficientes de fricción entre ambas superficies (Kumar, 2002).

Ensayo Pullout

Una de las variables a analizar es el coeficiente de adherencia, que puede hallarse al analizar los resultados obtenidos a través de ensayos de arrancamiento, o *pullout*. Sin embargo, es más complicado obtener resultados directos y/o confiables ya que dependen de condiciones externas, manipulación de los equipos y materiales, ejecución de los procedimientos de laboratorio y las condiciones de las pruebas. Kumar (2002) mencionó que se puede inferir el valor del coeficiente de unión, a través de los resultados obtenidos en ensayos de corte directo ya que no se observan variaciones significativas. Sin embargo, para geomallas, el coeficiente de unión sólo se puede medir mediante pruebas de extracción ya que se observa un desarrollo de resistencia “mediante la movilización de empujes pasivos en los miembros transversales de la cuadrícula, por la fricción suelo-suelo a través de las aberturas de la cuadrícula y por la fricción de la piel sobre las superficies planas de la geomalla” (Kumar, 2002).

5 Conclusiones

- Los geosintéticos tienen múltiples aplicaciones en distintos campos como la minería, el medio ambiente, la ingeniería y la geotecnia.
- Según Grand View Research, Inc. (2020), los geotextiles han sido los geosintéticos más demandados en el mercado mundial, seguido por las geomembranas, y se espera que el mercado siga creciendo durante los próximos años. El uso principal del primero es más variado, ya que se pueden emplear en proyectos que requieran funciones de separación, refuerzo, filtración, drenaje y separación, mientras que las geomallas se usan en proyectos de drenaje. Asimismo, para proyectos geotécnicos de refuerzo se recomienda

el empleo de geomallas, y las geomembranas resultan las más adecuadas para la impermeabilización.

- Hay una variedad de ensayos que sirven para determinar las propiedades físicas, químicas, mecánicas y biológicas de los distintos tipos de geosintéticos. Sin embargo, no existe un organismo que normalice los ensayos a nivel internacional. Debido a eso, se observa que varios países utilizan ensayos propuestos por agrupaciones como la ASTM e ISO para dictaminar los procedimientos de ensayo y evaluación de las propiedades.
- La elección de un geosintético dependerá de las distintas características que se precisan para el fin de dicho geosintético. Asimismo, se debe considerar las variables de costo, disponibilidad y transporte del mismo dentro del mercado peruano. También es necesario analizar el presupuesto del proyecto, si se trata de una de pequeño porte, en una zona remota, la solución tradicional puede resultar económicamente viable a diferencia de una con el empleo de geosintéticos que, por lo general, demanda un control de calidad superior y mano de obra especializada.
- Algunas de las funciones explicadas anteriormente pueden abastecerse usando más de un tipo de geosintéticos: los geotextiles pueden usarse para cumplir todas las funciones principales, aunque son los geosintéticos por excelencia para las funciones de separación y filtración. Las geomallas son los geosintéticos por excelencia para la función de refuerzo; las geomembranas, para la impermeabilización; y las geonets, para la función de drenaje. Los geocompuestos pueden usarse para abastecer las funciones de refuerzo, impermeabilización y drenaje, y los GCL ayudan a cumplir funciones de impermeabilización.

- En general, los geotextiles pueden abastecer las necesidades relacionadas a las funciones principales por lo que se convierten en una buena alternativa en proyectos que no requieren consideraciones muy detalladas y específicas.
- En los geosintéticos mencionados, especialmente en las geomembranas y los GCL, se observa que el tipo de material influye notoriamente en las características y comportamiento obtenidos. Del mismo modo, el espesor puede influenciar en algunas propiedades hidráulicas, y el peso es un factor importante en los costos por material.
- Varios ensayos, especialmente los descritos en la sección de geotextiles, se adaptan para evaluar las propiedades de otros geosintéticos, lo que resalta de nuevo la necesidad de ensayos normados a nivel internacional. Asimismo, representan la importancia de promover más proyectos de investigación para entender mejor el comportamiento ante diferentes cargas y esfuerzos.
- Algunos geosintéticos muestran problemas de degradación ante diferentes componentes externos. Algunos son los componentes bioquímicos, problemas de manipulación durante la instalación, caída de objetos y, especialmente, la exposición a los rayos UV.
- Los problemas de degradación ante rayos UV pueden determinar qué geosintéticos son los más adecuados en ciertos proyectos; algunos geosintéticos, como los geotextiles y las geomembranas, por ejemplo, no pueden usarse en proyectos al aire libre debido a que poseen mayor sensibilidad ante este factor.
- La interacción entre suelo y geosintéticos resulta importante ya que permite analizar y cuantificar los efectos en la zona de contacto. Esta cuantificación se realiza a través de

diferentes ensayos, siendo los más importantes los ensayos de corte directo y de arrancamiento, o *pullout*.

- La interacción suelo-geosintético es importante especialmente en diseños de refuerzo de suelos, y son especialmente importantes para las geomallas.
- El tamaño de las partículas del suelo es importante en el caso de refuerzo con geomallas ya que el coeficiente de deslizamiento directo es directamente proporcional al tamaño.



6 Referencias bibliográficas

Alza, A. M. (2020). *Diseño con geosintéticos*.

ASTM International (2020). ASTM D4439: Standard terminology for geosynthetics.

<https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CD4439-20%7Cen-US>

ASTM International - Site Search. (2020). Astm.org. [https://www.astm.org/search/fullsite-](https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=A370)

[search.html?query=A370](https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=A370)

BQC (s.f.). Thickness gauge HTG-8 according to ASTM D 5199. Disponible 10 de diciembre

de 2021, de [https://www.bqc.be/en/thickness-measurement/high-precision/thickness-](https://www.bqc.be/en/thickness-measurement/high-precision/thickness-gauge-htg-8-according-to-astm-d-5199/a-25986-10000124)

[gauge-htg-8-according-to-astm-d-5199/a-25986-10000124](https://www.bqc.be/en/thickness-measurement/high-precision/thickness-gauge-htg-8-according-to-astm-d-5199/a-25986-10000124)

BTTECHNOLOGY (s.f.). ASTM D4491 PERMITTIVITY DEVICE. Disponible 19 de

noviembre de 2021, de [https://www.bttechnology.com/product/astm-d4491-](https://www.bttechnology.com/product/astm-d4491-permittivity-device/)

[permittivity-device/](https://www.bttechnology.com/product/astm-d4491-permittivity-device/)

Colin J F. (1996). *Earth reinforcement and soil structures* (6th ed.). American Society of Civil Engineers.

Cristopher, Barry and HOLTZ, Robert (1988) Geotextiles Design & Construction Guidelines.

Illinois, USA. U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.

Departamento de Ingeniería de Geosistemas PAVCO. (2012). *Manual de diseño con*

Geosintéticos PAVCO (Novena edición).

<http://www.geosoftpavco.com/manualvirtual/document.pdf>

EIE Instruments PVT. LTD. (s.f.). Abrasion Resistance Testing Machine For Geotextile.

Disponible 10 de diciembre de 2021, de

<https://www.eieinstruments.com/geotextile/abrasion-resistance-testing-machine-for-geotextile>

EMCALI EICE ESP. (2011). NORMA TÉCNICA DE GEOTECNIA NDC-SE-GE-003

GEOSAI. (18 de febrero de 2016). ¿Qué son las geomembranas?. Soluciones ambientales.

<https://www.geosai.com/que-son-las-geomembranas/>

Geosynthetic Institute. (n.d.). Youtube.Com; Youtube. Retrieved December 13, 2021, from

<https://www.youtube.com/channel/UC-YxTQaEXbzMBsdRF9iGwpQ>

Geotextile Wide-width tensile test ISO 10319, ASTM D4595, ASTM D4632 (지오텍스타일

광폭 인장시험). (2020, julio 9). Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=2-](https://www.youtube.com/watch?v=2-DeTHPR9Ps)

[DeTHPR9Ps](https://www.youtube.com/watch?v=2-DeTHPR9Ps)

Grand View Research, Inc. (2020). *GVR Report cover Geosynthetics Market Size, Share &*

Trends Analysis Report By Product (Geotextiles, Geomembranes, Geogrids, Geonets,

Geocells), By Region (North America, Europe, APAC, MEA), And Segment Forecasts,

2021 - 2028. [https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/geosynthetics-](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/geosynthetics-market)

[market](https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/geosynthetics-market)

Grupo GHA. (12 de setiembre de 2020). ¿Cuáles son los tipos de geomembranas disponibles

en el mercado?. Grupo Empresarial GHA. [https://grupogha.com/2020/12/09/cuales-son-](https://grupogha.com/2020/12/09/cuales-son-los-tipos-de-geomembranas-disponibles-en-el-mercado/)

[los-tipos-de-geomembranas-disponibles-en-el-mercado/](https://grupogha.com/2020/12/09/cuales-son-los-tipos-de-geomembranas-disponibles-en-el-mercado/)

Industrial Fabrics Association International. (2002). *GFR*. Roseville, MN: Industrial Fabrics

Association International.

INSTRON (s.f.). ASTM D4632 - Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles. Disponible 19 de noviembre de 2021, de <https://www.instron.com/en/testing-solutions/by-standard/astm/astm-d4632?region=Global%20Site&lang=en>

INFINITA LAB (s.f.) Specific Gravity and density ASTM D792, ISO 1183. Disponible 10 de diciembre de 2021, de <https://infinalab.com/astm/specific-gravity-and-density-astm-d792-iso-1183/>

International Geosynthetics Society. (2021). *Las Funciones de los Geosintéticos (Geosynthetic Functions 2021)*. International Geosynthetics Society. https://growwithhtml.website/educational_document/las-funciones-de-los-geosinteticos/

Koerner, R. M., Wilson-Fahmy, R. F., Geosynthetic Liner Systems Seminar, & Annual Geosynthetic Research Institute Conference. (1994). *Geosynthetic liner systems: Innovations, concerns and designs*. St. Paul: Industrial Fabrics Association International.

Koerner, Robert M. (1998). *Designing with geosynthetics*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

Kumar, S. (Ed.). (2002). *Geosynthetics and Their Applications*. Thomas Telford.

LIB (s.f) ASTM D4355-2014 Standard Test Method for Aging of Geotextile. Disponible 10 de diciembre de 2021, de <https://www.temperature-humiditychamber.com/news/astm-d4355-2014-standard-test-method-for-aging-of-geotextile-80940.html>

Marques, E. (2018) GEOSSINTÉTICOS em geotecnia e meio ambiente. Oficina de textos. São Paulo, Brasil.

Orrego, A. Análisis técnico-económico del uso de geomallas como refuerzo de bases granulares en pavimentos flexibles. TESIS PUCP

OSSA DEFILIPPIS, Mauricio Andrés (2000) Carpetas Impermeables Geosintéticas. Santiago de Chile

Richardson, Gregory; KOERNER, Robert and others (1992) A Design Primer: Geotextiles and Related Materials. Minnesota, USA. International Fabrics Association International, Geotextile Division.

Strecker, A. (28 de setiembre de 2016). 3 Extra Reasons Geomembranes Are Superior for Containment Applications. *XR Geomembranes Blog*.
<https://www.xrgeomembranes.com/blog/not-convinced-additional-reasons-geomembranes-are-superior-for-primary-and-secondary-containment-applications>

TESTEX (2021) ASTM D1388 Fabric Stiffness Tester, Shirley Stiffness Tester. Disponible 10 de diciembre de 2021, de <http://www.testing-equipments.net/sale-8603069-astm-d1388-fabric-stiffness-tester-shirley-stiffness-tester.html>

TESTRESOURCES (2021) ASTM D4833 Index Puncture Resistance Test Equipment for Geomembranes. Disponible en 10 de diciembre de 2021, de <https://www.testresources.net/applications/standards/astm/astm-d4833-index-puncture-resistance-test-equipment-for-geomembranes/>

The Tensar Corporation (1997) Design Guideline for Flexible Pavements with Tensar Geogrid Reinforced Base Layers. Atlanta, USA

The Tensar Corporation (1994) Design Guideline for Subgrade Improvement under Dynamic
Loading with Tensar Geogrids. Atlanta, USA

