

Tesis que para obtener el grado de
maestra en diseño industrial presenta:

Patricia López Figueroa

POSGRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
México, 2006



NUEVAS TECNOLOGÍAS TEXTILES
DESIGNÉTICAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Comité tutorial:

Tutor principal: MDI Margarita Alina Landázuri Benitez
MDI Tamara León Camacho
ING Luis González Lobo

Sinodales:
MDI Alejandro Rodea Chávez
MDI Ana María Losada Alfaro

DEDICATORIAS

A ti Luis Gerardo que eres el motor de mi vida
A mi papá Rafa, a mi mamá Eva y a mi hermana Bety,
gracias por hacer que todo valga la pena.
"Tú eres lo que tu deseo mas profundo es".

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mis tutores y
sinodales Margarita Landázuri, Tamara León, Alejandro
Rodea y Ana María Losada por la entrega a este trabajo,
la paciencia y ayuda a lo largo de todo su desarrollo.

Muy especialmente a Luis González, gracias por compartir
conmigo todo tu conocimiento, me hiciste ver las cosas
fáciles, reconozco y aprecio tu cooperación en este
proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

CAPÍTULO 1

NUEVOS MODELOS

- 1.1 Más allá de los textiles tradicionales, nuevos modelos
- 1.2 De reciclable a reciclado

CAPÍTULO 2

GEOSINTÉTICOS

- 2.1 GEOSINTÉTICOS
- 2.2 Antecedentes
- 2.3 Clasificación general
- 2.4 Soluciones técnicas con materiales geosintéticos

CAPÍTULO 3

GEOTEXTILES

- 3.1 GEOTEXTILES
 - 3.1.1 Clasificación de geotextiles
 - 3.1.2 Manufactura de fibra e hilo
- 3.2 GEOTEXTILES TEJIDOS
 - 3.2.1 Primeros desarrollos en geotextiles tejidos
 - 3.2.2 Clasificación de geotextiles tejidos
 - 3.2.3 Materia prima para geotextiles tejidos
 - 3.2.4 Proceso de producción de geotextiles tejidos
 - 3.2.5 Funciones y principales aplicaciones de geotextiles tejidos
- 3.3 GEOTEXTILES NO TEJIDOS
 - 3.3.1 Primeros desarrollos en geotextiles no tejidos
 - 3.3.2 Clasificación de geotextiles no tejidos
 - 3.3.3 Materia prima para geotextiles no tejidos
 - 3.3.4 Proceso de producción de geotextiles no tejidos
 - 3.3.5 Principales Aplicaciones de geotextiles no tejidos

CAPÍTULO 4

GEOMEMBRANAS

- 4.1 GEOMEMBRANAS
 - 4.1.1 Primeros desarrollos en geomembranas
 - 4.1.2 Clasificación de geomembranas
 - 4.1.3 Materia prima para elaborar geomembranas
 - 4.1.4 Diferencias entre geomembranas y geotextiles
 - 4.1.5 Proceso de producción de geomembranas
 - 4.1.6 Principales aplicaciones

CAPÍTULO 5

MATERIALES DIVERSOS

- 5.1 GEORREDES (MALLAS ESTRUCTURALES)
 - 5.1.1 Primeros desarrollos en georredes
 - 5.1.2 Materia prima para georredes
 - 5.1.3 Proceso de producción de georredes
 - 5.1.4 Principales Aplicaciones
- 5.2 GEOMALLAS
 - 5.2.1 Primeros desarrollos en geomallas
 - 5.2.2 Materia prima para geomallas
 - 5.2.3 Principales Aplicaciones
- 5.3 GEOMANTAS
 - 5.3.1 Proceso de producción de geomantas
 - 5.3.2 Principales Aplicaciones
- 5.4 GEOCELDAS
 - 5.4.1 Proceso de producción de geoceldas
 - 5.4.2 Principales Aplicaciones
- 5.5 GEOCOMPUESTOS
 - 5.5.1 Primeros desarrollos en geocompuestos
 - 5.5.1.1 Aplicaciones
 - 5.5.2 Geocompuesto geotextil-georred bi orientada
 - 5.5.2.1 Aplicaciones
 - 5.5.3 Geodren triplanar de alto flujo
 - 5.5.3.1 Aplicaciones
 - 5.5.4 Geodren geotextil-georred-geotextil
 - 5.5.4.1 Aplicaciones
 - 5.5.5 Geodren georred no orientada-geotextil
 - 5.5.4.2 Aplicaciones
 - 5.5.6 Geodren geotextil-georred no orientada-geotextil
 - 5.5.6.1 Aplicaciones

CAPÍTULO 6

EL FUTURO DE LOS GEOSINTÉTICOS

- 6.1 El futuro de los geosintéticos

CONCLUSIONES

GLOSARIO

Términos geosintéticos en inglés

FUENTES DE REFERENCIA

- Básica
- Complementaria
- Direcciones electrónicas

ANEXOS

- Matriz comparativa
- Directorio de proveedores
- Precios de geosintéticos

INTRODUCCIÓN

El tema central de este documento deriva de la carencia de investigaciones documentales referentes al conocimiento, diseño, aplicación, función, etc., de geosintéticos en México y su posible aplicación, no solo en ingeniería, sino también en otras materias. Este proceso implica un trabajo que presente de manera lógica y ordenada la información interdisciplinaria más relevante, que proporcione los elementos que permitan guiar a todas aquellas personas que requieran información sobre algún geosintético en específico y que dé los suficientes elementos para el conocimiento de cada uno de estos productos. La intención es utilizar una estrategia de investigación enfocada al campo del diseño de geosintéticos.

El propósito y justificación de estudio de los materiales geosintéticos¹ es porque representa una tecnología desconocida en el ámbito del diseño, en donde como diseñadores podemos ofrecer y aportar ventajas, intercambiando conocimientos con otras áreas, para lograr proyecciones significativas en el diseño con estos productos, dando una interpretación desde el campo del diseño a esta área.

Desde que la humanidad empezó a realizar construcciones, buscó soluciones a problemas en el suelo y subsuelo para poder mantenerlas en pie. Actualmente y gracias a la innovación en materiales sintéticos se está llevando a cabo un cambio revolucionario en cuanto a técnicas en los procesos de construcción dando nuevas soluciones a largo plazo a problemas tan comunes como los baches en la carpeta asfáltica, generando diferentes alternativas que no solo se encuentran en las capas inferiores de la tierra, sino también al exterior, como es el caso de su aplicación en pendientes pronunciadas con peligro de derrumbes².

Esta tecnología ha evolucionado, encontrando nuevos productos y otras aplicaciones que rápidamente toman fuerza y aceptación en mercados actuales resolviendo efectos provocados por fuerzas naturales como: erosión³ (desgaste por fricción ocasionado por mareas, lluvias, viento,

¹ Materiales geosintéticos: definición en capítulo 2

² Derrumbe: Acción y efecto de derrumbar o derrumbarse. Precipitar, despeñar.

³ Erosión: Destrucción lenta producida por un agente físico.

pantanos) deslaves⁴, y por fuerzas artificiales como: maquinaria, tránsito vehicular, peatonal y tráfico marítimo, entre otras. Por lo que en este documento se da a conocer una amplia gama de productos que resuelven un sin fin de problemas tanto en el suelo como en el subsuelo.

OBJETIVOS

- Diferenciar los tipos de geosintéticos que existen hasta ahora, procesos de producción, funciones y aplicaciones, estableciendo las similitudes y diversidades entre ellos.
- Promover el interés en el tema, usando esta área de conocimiento en el ámbito educativo, para fomentar en los diseñadores la especialización en la misma.
- Difundir las posibilidades de desarrollo de este tipo de productos en México.
- Dar a conocer algunas tecnologías en polímeros para la realización de geoproductos.
- Brindar a la comunidad de diseño un panorama amplio sobre las posibilidades de desarrollo y campo de trabajo que ofrecen los materiales geosintéticos.

⁴ Deslave: Tierra que se desmorona por causa del agua.

CAPÍTULO 1

1.1 MÁS ALLÁ DE LOS TEXTILES TRADICIONALES, NUEVOS MODELOS

Todos los días desde que nos levantamos estamos en contacto con textiles, dormimos arropados en sábanas y cobertores, al pararnos envolvemos nuestros pies en unas deliciosas pantuflas, caminamos sobre una acogedora alfombra hacia la ventana y abrimos las cortinas, nos damos una ducha y nos secamos con una afelpada toalla, nos vestimos, nos sentamos sobre sillas tapizadas en tela, desayunamos en una mesa vestida con un mantel, etc.

Estamos tan acostumbrados a ver los textiles en ambientes predeterminados, que causa curiosidad ver un talud¹ revestido con alguna tela o malla de enormes proporciones, sin embargo, conforme avanza el tiempo nos estamos acostumbrando a vivir con ellos.

También hemos buscado nuevas aplicaciones de materiales conocidos dentro de otros campos, y éste es un fenómeno que ocurre en todas las disciplinas; por ejemplo utilizamos pigmentos naturales que originalmente eran usados en telas, para aplicarlos en alimentos; tomamos silicones para hacer botones flexibles que sean resistentes al lavado, formando cadenas interminables de intercambios entre diferentes áreas, y por supuesto la industria de la construcción no iba a ser la excepción, es así como ahora toca a los textiles apoyar a esta industria en nuestro país.

De ésta forma en la incansable búsqueda de innovaciones tecnológicas nos encontramos ante la introducción de los textiles dentro de una nueva rama, en la cual destaca el esfuerzo realizado por ingenieros que han participado de forma primordial en este campo: químicos en polímeros y geotecnistas, que se han dedicado con especial atención a comprender, conocer e investigar este campo, surgiendo nuevos expertos en geosintéticos, conformados por ingenieros en mecánica de suelos que utilizan estos materiales, ingenieros textiles y químicos especialistas en polímeros entre otros, que desarrollan nuevos y mejores materiales constantemente.

¹ Talud: declive del parámetro de un muro o del suelo.

Así surgen nuevos tipos de textiles extraordinariamente resistentes y con un ancho nunca antes visto. Son materiales con los que se experimenta, la mayoría de las veces, con gran éxito y algunas con fracasos. Es una constante prueba, en la que no siempre se logran los objetivos, pero solo así se pueden descubrir nuevas formas de solucionar problemas, lo que es un hecho es que son más los aciertos que los errores y gracias a esto se han resuelto de manera práctica grandes problemas con geosintéticos.

La industria textil tiene aún poco conocimiento en el área de la construcción, y no existe todavía una teoría completa acerca de los geosintéticos, y aunque la hubiera, cada uno de los problemas son diferentes y requieren de métodos diferentes de resolución, todo lo que existe se ha hecho basándose en experimentación y pruebas de laboratorio, la mayoría de los libros, (que son compilaciones de congresos internacionales)² son ejemplos de problemas y de su solución a través de estos materiales, para que de alguna forma sirva de plataforma para resolver problemas similares o de igual magnitud, formándose de este modo la teoría que hasta ahora existe.³

² Ejemplo: Den Hoedt, G. "4th International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products", 1st. Edition Netherlands. Ed. Balkema. 1990.

³ Algunos de estos libros se encuentran en la bibliografía de este documento.

1.2 DE RECICLABLE A RECICLADO

En los últimos años se ha hecho un esfuerzo muy importante para la implantación de un modelo de gestión de los residuos; moderno, eficaz y ambientalmente correcto.

El nuevo modelo garantiza un tratamiento de residuos respetuoso hacia el medio ambiente y apuesta, decidida y prioritariamente, por la reducción, el reciclaje y el cierre y mejora del ciclo de los materiales y de la energía.

Se trata de disminuir al máximo la producción de residuos sólidos y de reciclar aquellos que no se hayan podido evitar. Sólo así podremos disminuir el desperdicio, para así evitar el derroche de recursos.

No obstante, no es suficiente con reciclar, es necesario encontrar una salida a los nuevos productos reciclados, crear un mercado para los productos que se obtienen mediante el reciclaje de los residuos y promocionar este tipo de materiales y productos, este es un elemento esencial para el éxito de un posible modelo en gestión ambiental.

Actualmente, por ejemplo, en la Oficina de Promoción de los Productos Reciclados en Cataluña, que es una entidad motora de reducción de residuos y materiales recuperados, se está llevando a cabo una experiencia piloto con el fin de ocupar materiales reciclables para producir productos para la industria de la construcción: como geosintéticos, geotextiles y paneles aislantes térmicos y acústicos, productos para señalización vial, conos, barreras, paneles de señalización, palos indicadores y limpieza vial, así como bolsas y contenedores, todo esto mediante la identificación de materiales recuperados, creando un vínculo entre plantas de selección, fabricantes y distribuidores de productos con contenido reciclado. De ésta manera se garantiza que su producción no se hará directamente con materia prima nueva.⁴

⁴ www.icerda.es/oppr

CAPÍTULO 2

2.1 GEOSINTÉTICOS

El término genérico, geosintético se refiere a geoproductos incorporados dentro, en o sobre la tierra, con la finalidad de modificar las propiedades originales de la capa natural, que producen una considerable reducción de costos en los procesos de construcción, dentro de los cuales entran todos los productos relativos, como geotextiles, geomembranas, georredes, geomallas, geocompuestos y todos sus derivados.

El prefijo *geo* implica un uso final asociado a mejorar el avance de trabajos de ingeniería civil desarrollados específicamente, relacionados con la tierra. El sufijo *sintético* implica que estos materiales se producen con polímeros hechos por el hombre, sin embargo, pueden hacerse ciertos geotextiles específicos con fibras naturales y también algunas geomembranas que pueden contener asfalto natural¹ y bentonitas².

Los geotextiles son básicamente tejidos textiles permeables a fluidos, sus aliados son los productos relacionados como georredes, geomantas y geomallas. El común denominador son los huecos o poros en los geotextiles y productos relacionados, que permiten el paso de fluidos. Los procesos industriales usados para la fabricación y los productos resultantes tienen una amplia gama de propiedades mecánicas e hidráulicas para determinados usos finales, como separación y filtración.

Las geomembranas, en contraste con los geotextiles, son impermeables a los fluidos por lo que sus funciones son totalmente diferentes comparadas con los anteriores, aunque algunas veces son usados de manera conjunta.³

Han surgido nuevos geoproductos y con ellos palabras para nombrarlos como; geopanales o geoceldas, encapsulados o geobloques (gaviones),

¹ Asfalto: Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asfaltites o mar Muerto, lo que se llamó betún de Judea. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeable de muros y tejados

² Bentonita: arcilla suave y porosa; se usa como cemento y en la elaboración de materiales absorbentes y abrasivos.

³ Ingold, t., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. UK, 1994. Pág. 1.

geotubos (geocompuestos), geomatrices (georedes) y biomatrices (georedes).⁴

Por lo que se refiere a la clasificación de geosintéticos hasta el momento la mayor división engloba principalmente a los geotextiles, geomembranas, georedes y geocompuestos.

Las funciones de éstos son múltiples y, en general, en una obra de ingeniería, estos materiales tienen una función principal y otras secundarias.

En la actualidad se reconocen cuatro funciones principales:

- **Separación;** al evitar o minimizar la mezcla de materiales de diferente granulometría⁵.
- **Filtración y drenaje;** al evitar la migración de partículas de suelo y permitir el libre flujo de agua y gases.
- **Refuerzo;** al soportar tensiones, estabilizar la masa del suelo y proteger geomembranas.
- **Impermeabilización;** al formar una barrera que impide el paso de fluidos y partículas de suelo.⁶

⁴ Alejandro Ramírez M. Director de Geo-Productos Mexicanos, S.A. de C.V.

⁵ **Granulometría:** Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos. Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo.

⁶ Braddock, Sarah E. Marie, O'Mahony, "Techno Textiles", 1ª edición, Thames and Hudson, Inglaterra, 1999.



Este es uno de tantos problemas que se pueden evitar utilizando productos geosintéticos.
(Fotografía de carretera dañada en Alba, Italia)

Existen tejidos y materiales impermeables usados en ingeniería civil que exteriormente tienen una apariencia similar a geotextiles o geomembranas, pero no son clasificados como geosintéticos. Por lo que los materiales impermeables como productos para techos no se consideran geosintéticos.

Las aplicaciones de geosintéticos entran principalmente dentro de la ingeniería civil, pero debido al uso de estos materiales directamente con la tierra, se asocian también con la ingeniería geotécnica.

Los materiales que se utilizan para la fabricación de los geosintéticos como se mencionó anteriormente, son generalmente polímeros, aunque también se pueden utilizar fibras naturales, fibra de vidrio u otros compuestos de origen natural, como la bentonita.

2.2 ANTECEDENTES

Desde la antigüedad, se han colocado materiales naturales (como pieles o fibras vegetales) sobre los suelos muy blandos, para reforzarlos y evitar la incrustación de materiales de préstamo⁷ en la construcción de caminos, bordos⁸, chinampas⁹, etc. Los primeros intentos que hizo el hombre para modificar las propiedades del suelo que usaba para apoyar sus obras, se remontan a tiempos muy antiguos, donde se cree que el hombre primitivo comenzó estabilizando pantanos y suelos lodosos utilizando troncos de árboles y pequeños arbustos.

El refuerzo probablemente es una de las aplicaciones más tempranas de los precursores de geotextiles. 5000 años a.C. se usó tierra reforzada con caña para la construcción de moradas en la meseta iraní, así como en las construcciones bíblicas más significativas, como la Torre de Babel, hecha en el año 1000 a.C.

Uno de los primeros ejemplos de geosintéticos fue construido en Bagdad entre 1595 y 1171 a.C.: llamada la estructura Ziggurat Aquar Quf, que actualmente tiene 54m de altura, y que en 1977 se encontró aún funcionando. Originalmente medía cerca de 70m de alto sobre una superficie de 68m². Fue construido con bloques de arcilla reforzados con tapetes tejidos de caña tendidos horizontalmente.¹⁰

⁷ Materiales de préstamo: Son materiales de relleno para carreteras y caminos, para estabilizar.

⁸ Bordo: Elevación de palos, tierra y piedras que se hace a ambos lados de un río o quebrada para evitar inundaciones o para retener o estancar las aguas.

⁹ Chinampa: Terreno de corta extensión en las lagunas vecinas a la ciudad de México, donde se cultivan flores y verduras. Antiguamente estos huertos eran flotantes.

¹⁰ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 2.

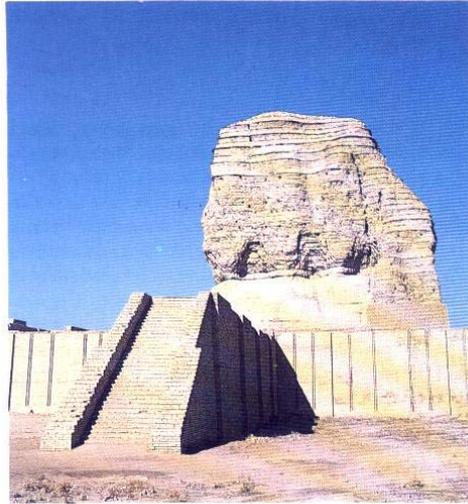
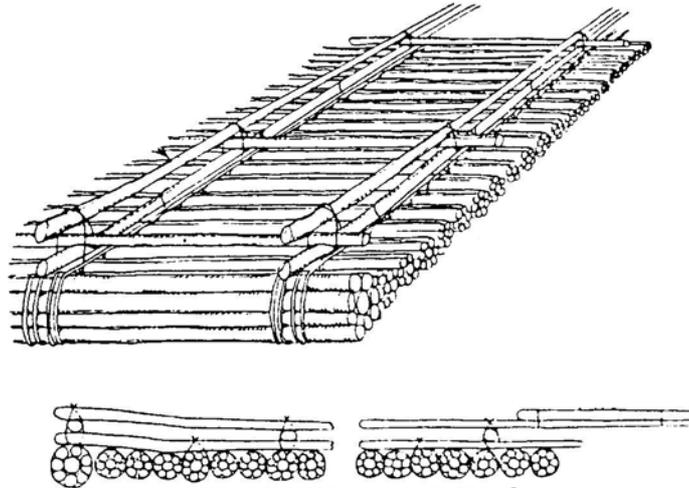


Imagen actual de lo que aún queda de Ziggurat Aqar Quf en Bagdad

El uso más amplio de tierra reforzada se implementó en la construcción de ríos y diques en el tercer milenio a.C. a lo largo de los bancos del Tigris y Éufrates. Los italianos usaron también métodos similares entre los siglos XIII y XVII cuando construyeron diques¹¹ a lo largo de la mayoría de sus ríos más grandes.

El apogeo de este tipo de construcción fue en el siglo XIX cuando la caña o refuerzo de ramas se reemplazó por bultos bien ordenados de sauce o matorral para sostener las orillas de los ríos. Las aplicaciones más notables como medio de contención se dieron en Holanda, Reino Unido y Estados Unidos dónde se usó ampliamente para la construcción de los diques del Mississippi en el siglo XIX. Esta técnica se siguió utilizando ampliamente hasta años recientes.

¹¹ Dique: Muro hecho para retener las aguas.



En esta ilustración se muestra una aplicación interesante del uso de estos medios de contención a la reintegración de cuestas de tierra falladas.

Hay pruebas que demuestran que esta técnica se llegó a dominar a tal punto que se obtuvieron superficies rígidas y lisas, en países como Inglaterra e Italia. También fue empleada en México en el antiguo lago de Texcoco, según se constató durante la construcción de las obras del metro. Es razonable su utilización debido a la facilidad que representaba el conseguir los materiales estabilizantes de manera natural, sin embargo, las dificultades que se les podían presentar eran desalentadoras, como serían: insuficiencia de materiales reforzadores o dificultad para transportarlos a grandes distancias; la falla del suelo blando a través de los materiales de refuerzo y la degradación del material fibroso a través del tiempo regresando el suelo a las condiciones que presentaba originalmente.

Para reforzar el suelo de Inglaterra 2500 años a.C., arqueólogos afirman que se utilizaron varas y ramas para hacer caminos en zonas pantanosas; constructores romanos tejían entre sí ramas, paja y carrizos antes de colocar piedras; en Mesopotamia se emplearon materiales semejantes cuando se construyeron algunos edificios; y también en China y otros países cercanos se usaron camas de bambú.

Como se puede ver hasta ahora, el concepto de reforzar suelos pobres es algo que el hombre siempre ha hecho.

En los últimos siglos se han aplicado los principios de refuerzo de tierra también en paredes y cuestas empinadas. En 1822 Lieutenant-Colonel Pasley miembro de los Ingenieros Reales informó los resultados de una serie de pruebas en las que colocaron horizontalmente capas de matorrales, tablonces de madera u hojas de lona incorporadas en los terraplenes como muro de contención, reteniendo las paredes para reducir significativamente las presiones laterales de la tierra. Al final del siglo XIX este uso fue muy frecuente en Suiza, para la construcción de caminos y barreras de avalanchas en lugares empinados, en forma de terraplenes reforzados con capas horizontales y verticales de leños. También se emplearon técnicas similares por la División de California de Carreteras, a mediados de los años treinta, cuando usaron leños de madera de 6m de largo como refuerzo en los terraplenes de las carreteras, la misma División usó a los precursores de las georedes que se utilizan hoy en día en forma de capas horizontales con malla de alambre en los bordes exteriores de terraplenes, para estabilizar cuestas y reducir la erosión. En 1949 y 1951, los japoneses usaron rejillas de acero como refuerzo basal, para construir una isla de arena encima de los depósitos suaves de arcilla en la Bahía de Ariake con 9m de altura y 178m de diámetro.¹² En 1965 en Francia, se usaron mallas de acero para construir balsas de tierra reforzada.

Los materiales orgánicos mencionados, se descompusieron inevitablemente con el tiempo, por lo que la invención de las fibras sintéticas comienza la evolución de los plásticos en todo tipo de productos y en consecuencia surge la era de los geosintéticos.

¹² Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 3.

ANTECEDENTES CON MATERIALES SINTÉTICOS

Los materiales sintéticos comúnmente empleados en geosintéticos, como el poliéster y el polipropileno HDPE¹³, nylon¹⁴, fueron desarrollados entre principios y mediados de la década de los años 1930; sin embargo, su uso como geoproductos data de la década de los años 1950. Las primeras aplicaciones y la mayoría de los avances tecnológicos se realizaron inicialmente en Europa y posteriormente en América en 1958.

Los geotextiles modernos fueron usados a mediados de los años 1950 en un ambicioso proyecto alemán llamado "Plan Delta" que pretendía prevenir las inundaciones del mar en la región suroeste del Delta, ellos usaron como protección del fondo marino un tejido grueso hecho de cintas de nylon extruído que formaba matrices¹⁵, para sumergirlas se unieron a la matriz bolsas de nylon rellenas de arena.

Las primeras publicaciones se hicieron en la década de los años 1960, y los primeros textiles fabricados específicamente para obras de ingeniería aparecen a principios de los años 1970, aquí se incrementa considerablemente su uso llegando a un desarrollo impresionante. Actualmente en los Estados Unidos el ritmo anual de crecimiento de estos materiales según Ingold, es cercano al 40%.

En 1970 es cuando se adoptan los términos geotextil y geomembrana como denominación de los materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotecnia. Se puede decir que estos son la primera generación de geosintético.

A partir de los años 1980 aumentan los volúmenes de producción de estos materiales, se desarrollan las georedes, geomallas y geodrenes, productos que representan la segunda generación de geosintéticos y que fueron diseñados para satisfacer necesidades particulares en obras realizadas en todo el mundo.

¹³ HDPE: Resinas de polietileno de alta densidad.

¹⁴ Nylon: Es un polímero sintético que pertenece al grupo de las poliamidas.

¹⁵ Matriz: Molde de cualquier clase con que se da forma a algo.

Esta tecnología ha seguido evolucionando encontrándose otras aplicaciones; así mismo se han descubierto nuevos productos con base en mallas plásticas conocidas como geomallas o georedes.

Durante las décadas de 1980 y 1990, la praxis se adelantó a la teoría, por la variedad y cantidad de obras en las que se usaron geoproductos con base en métodos empíricos y cálculos de ingeniería.¹⁶

Como ya se mencionó anteriormente durante los años 1980 se observó un crecimiento dinámico en esta industria como consecuencia de un gran número de factores relacionados, como los que a continuación se presentan:

- Una competencia fuerte e identificable entre muchos tipos de geotextiles estandarizados
- Una innovación considerable de productos geosintéticos interrelacionados como mallas de reforzamiento, redes para drenaje y un largo número de componentes para usos específicos.
- El establecimiento de normas mejoradas por para usos más comunes, como carreteras.
- Estandarización entre grupos industriales en la formulación de métodos, procedimientos y valores más recomendados.¹⁷

Como toda nueva tecnología, los geosintéticos solamente pueden lograr credibilidad y respeto a través de un proceso largo y laborioso consistente en numerosos estudios teóricos y experimentales, tanto en campo como en laboratorio, hasta que se defina progresivamente una metodología de diseño. Debe reconocerse que la mayor parte de los productos disponibles se encuentran todavía en esta etapa.

La Sociedad Internacional de Geotextiles (IGS) fue fundada en Paris en 1983 para promover el uso de geosintéticos y para difundir información a individuos o corporaciones de todas partes del mundo, quienes estén involucrados en el diseño, desarrollo, venta, uso o pruebas con

¹⁶ Braddock, Sarah E. Marie, O'Mahony, "Techno Textiles", 1ª edición, Thames and Hudson, Inglaterra, 1999.

¹⁷ Robert M. Doerner, PhD., P:E: Professor and Director Geosynthetic Research Institute Drexel University Philadelphia, PA

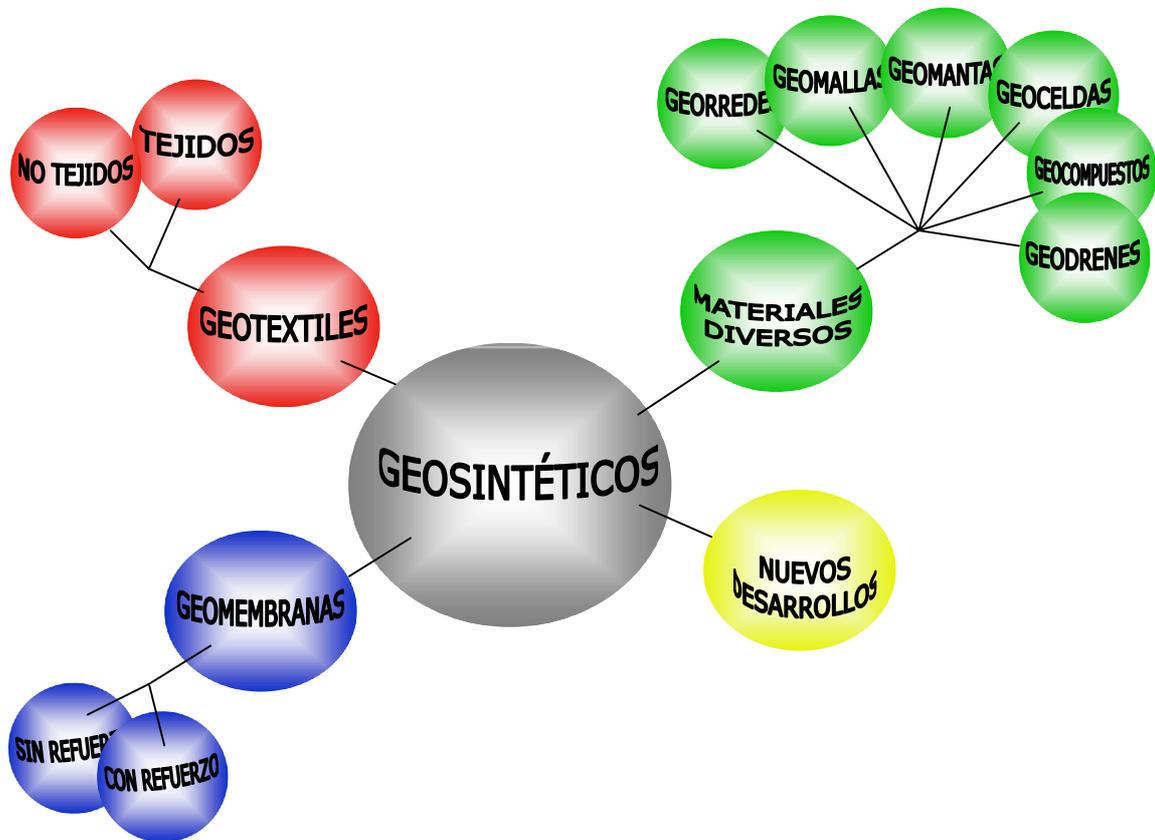
geotextiles, geomembranas o productos relacionados o quienes enseñan o conducen el desarrollo de estos productos.¹⁸

En México se fabrican algunas variedades de estos productos como: geotextiles no tejidos de fibra corta, geotextiles tejidos, georedes extruídas, geomallas tejidas, geomembranas en lámina, tubulares y mixtas.¹⁹

¹⁸[http://www.iseg.giees.uncc.edu/dictionary.cfm?term=INTERNATIONAL%20GEOTEXTILE%20SOCIETY%20\(IGS\)](http://www.iseg.giees.uncc.edu/dictionary.cfm?term=INTERNATIONAL%20GEOTEXTILE%20SOCIETY%20(IGS))

¹⁹ Tendencias actuales en el desarrollo y uso de geosintéticos. Gabriel Auvinet G., DEPMI; UNAM, Rodrigo Murillo F., IMTA; CNA, Carlos Oliva A., CNA

2.3 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS GEOSINTÉTICOS



2.4 SOLUCIONES TÉCNICAS CON MATERIALES GEOSINTÉTICOS

1.-Tipo de producto: "tejidos de fibras sintéticas" tales como poliéster²⁰, nylon, polietileno²¹ o polipropileno²² (en varios tipos de tejido y malla, con o sin recubrimiento polimérico²³).

Aplicaciones: Industrias transformadoras como fabricantes de accesorios de automóvil, empresas de eliminación de residuos, fabricantes de

²⁰ Poliéster: Resina termoplástica obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

²¹ Polietileno: Polímero preparado a partir de etileno. Se emplea en la fabricación de envases, tuberías, recubrimientos de cables, objetos moldeados, etc.

²² Polipropileno: El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estereo específico.

²³ Polimérico: Perteneciente o relativo al polímero.

equipos deportivos, fabricantes de silos flexibles, fabricantes de accesorios para invernaderos, suministradores de albercas, etc.

2.- Tipo de producto: "tejidos tricotados"²⁴ con recubrimiento polimérico.

Aplicaciones: redes de peces para piscicultura (por ejemplo piscicultura de salmón).

3.- Tipo de producto: "no tejidos punzonados" de poliéster y polipropileno.

Aplicaciones: material de impermeabilizantes y aislamiento.

a) INGENIERIA HIDRÁULICA

En la actualidad es difícil concebir una ingeniería hidráulica sin geosintéticos. Se emplean tejidos, no-tejidos, compuestos y revestimientos geosintéticos de arcilla bentonítica en obras hidráulicas y agrícolas, tales como la canalización de vías fluviales o áreas de cultivo, construcción de embalses y protección de costas. En estas obras los geosintéticos cumplen funciones de separación, filtración, drenaje, protección, embalaje, refuerzo e impermeabilización.



Aplicación de geosintético en canal fluvial.

b) CONSTRUCCIÓN DE VÍAS FERREAS

En la construcción de vías férreas las aplicaciones de los geosintéticos son múltiples y variadas, están basadas en conceptos convincentes que

²⁴ Tejidos tricotados: tejidos en tejido de punto.

aseguran protección duradera para obras que exigen soluciones técnicas importantes. Por ejemplo, en el campo del refuerzo de suelos, con terrenos inestables se puede ahorrar el enorme y costoso trabajo de reemplazar el terreno, utilizando geomallas o tejidos de alta resistencia a tracción²⁵. Los geosintéticos también actúan como capa de separación, evitando que se mezclen los suelos de la capa base con los de las capas superiores estabilizando el suelo.

En la construcción de vías férreas los geosintéticos cumplen las siguientes funciones:

Cimentación de terraplenes en suelos poco resistentes, refuerzo de las cabezas del pilotaje en un terraplén sobre suelo blando o taludes con gran pendiente y muros de contención. Protección de terraplenes de ferrocarril en regiones con hundimientos del terreno. Construcción en drenaje subterráneo.



La grava se cubre con geotextil, mientras se construye el encofrado de plataforma de vía, Tranvía Denver, USA

²⁵ Tracción: Alargamiento que se produce en el sentido de las fuerzas que lo provocan.



Ejemplos de vías terminadas usando geotextil, en Denver y Barcelona

c) REFUERZO DE SUELOS Y CIMENTACIÓN

Las limitaciones de espacio y las exigencias de protección del medio ambiente nos obligan cada vez más a construir sobre terrenos pobres y de menor capacidad portante²⁶, lo que supone un reto en todo el mundo. Los geosintéticos ofrecen soluciones técnicas duraderas, económicas y ecológicas para la construcción de terraplenes en terrenos poco resistentes, taludes con gran pendiente, para la protección de dichas pendientes, así como en muros de contención de suelo reforzado.

Ventajas:

Bajos costos, seguridad que respeta al medio ambiente, se reduce la duración de la obra y no es necesario reemplazar el suelo.



Ejemplo de utilización de geogrid, en la construcción de un camino

d) REFUERZO DE ASFALTO

Está comprobado que el asfalto es un material ideal para la construcción, tanto de carreteras como de pistas de aeropuertos. Sin embargo; hasta las nuevas capas presentan grietas debido a la reflexión de las capas

²⁶ Capacidad portante: Capacidad de un material de aceptar agregados y de su resistencia a la presión.

inferiores. Tales fisuras diferidas (baches) son resultado de la fatiga debida a los cambios térmicos y al tránsito. Con el uso de geosintéticos se ha logrado aumentar su estabilidad mecánica y su longevidad de un 700% a un 1500%²⁷.

Por otra parte, cuando se tiene una capa de asfalto sobre un pavimento de hormigón, se producen movimientos horizontales de las losas de hormigón al dilatarse y contraerse, debido a los cambios térmicos diarios o estacionales, estos movimientos causan altas deformaciones en la capa de asfalto superior, en el lugar donde coincide con las juntas de la losa de hormigón inferior, se produce la aparición de las grietas de reflexión.

Utilizando geotextiles de refuerzo es posible evitar por completo o retrasar estos daños del firme asfáltico.



Geotextil colocado entresuelo de mala calidad y el suelo agregado, para establecer una frontera permeable que evite la incrustación y la contaminación del material selecto.

²⁷ Manual técnico para el empleo del geotextil Polyfelt TS. Diseño y Práctica.

e) CONSTRUCCION DE RELLENOS SANITARIOS

La progresiva sensibilización con respecto a la protección del medio ambiente, los problemas de eliminación de desechos así como la protección de agua subterránea de la contaminación por las filtraciones de los vertederos, nos ha llevado en los últimos años a realizar progresos técnicos, a fin de evitar el deterioro de nuestro entorno. Una de las ideas básicas que se han desarrollado es el sistema "multi barrera" que consiste en varias capas de material impermeable para impermeabilizar tanto la base como la superficie.

Los geosintéticos son parte imprescindible en estos sistemas de impermeabilización. Por ejemplo, separan las capas de aislamiento mineral del subsuelo o protegen las geomembranas de impermeabilización contra posibles daños. Los geosintéticos también se emplean como filtro entre el desecho y la capa de drenaje o bien para reforzar las capas superficiales y los taludes muy inclinados. Los materiales compuestos con gran capacidad de drenaje pueden sustituir las capas de grava drenante. Para la impermeabilización se utilizan capas geosintéticas de aislamiento y de arcilla bentonítica. Las arcillas expansibles se encuentran encapsuladas entre dos capas de geotextil, manteniendo intactas sus propiedades de impermeabilización.

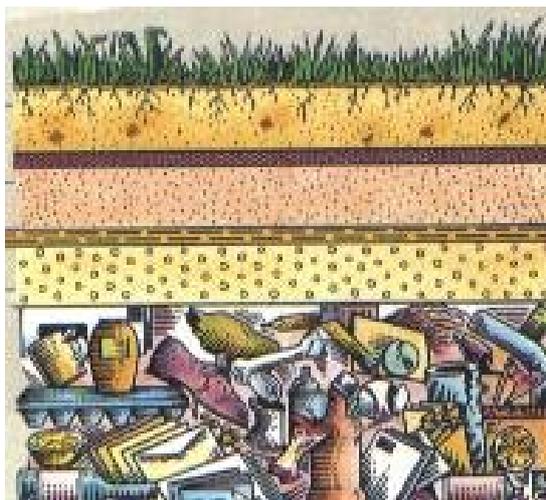


Ilustración de capas del relleno sanitario.

f) AGRICULTURA Y GANADERIA

En la agricultura y ganadería se opta por soluciones con textiles para construir, dar seguridad y proteger.

Se producen sistemas técnicos con textiles para agricultura, ganadería, horticultura, pesca y la protección del medio ambiente. Para esos sectores se han desarrollado una serie de productos que ayudan a mejorar la explotación del sector agropecuario.

AgroTextil (Textiles para agricultura)

- sistemas de protección frente al viento
- mallas protectoras de silos²⁸
- mallas para el refuerzo de suelos

Horticultura

Recubrimiento de invernaderos

Tejido para dar sombra en huertos

- Tejido para el cultivo de setas
- Textiles no-tejidos para cultivo hidropónico²⁹
- Tejido de protección contra insectos y aves

g) CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Los geotextiles no tejidos se utilizan para filtrar y drenar la explanada de una carretera y para separar dos capas inferiores de diferentes propiedades.

Con las geomembranas de refuerzo de asfalto se evitan o se retrasan las grietas de reflexión causadas por el tráfico y por los cambios térmicos. Los casos más típicos en los que se utilizan las geomallas de refuerzo de asfalto son:

²⁸ Silos: Lugar subterráneo y seco en donde se guarda el trigo u otros granos, semillas o forrajes. Modernamente se construyen depósitos semejantes sobre el terreno.

²⁹ Hidroponía: Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.

1. En las juntas³⁰ longitudinales de las ampliaciones de calzada.
2. En las juntas de dilatación de antiguos pavimentos de hormigón, cuando se ejecutan nuevas capas asfálticas.
3. En los refuerzos con nuevas capas de asfalto de pavimentos asfálticos ya fisurados³¹.

Para impermeabilizar los bordes de las carreteras y las bermas³² a lo largo de las carreteras se utilizan revestimientos de capas de arcilla bentonítica.



Estabilización de camino, estacionamiento y pista del aeropuerto de Montana.

³⁰ Junta: Parte en que se juntan dos o más cosas.

³¹ Fisura: Hendidura que se encuentra en una masa mineral.

³² Berma: Espacio al pie de la muralla y declive exterior del terraplén, que servía para que la tierra y las piedras que se desprendían de ella al batirla el enemigo, se detuviesen y no cayeran dentro del foso.

h) RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

El suelo es un recurso no renovable, de acuerdo con la definición dada por el Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados (en Canarias), deberá entenderse como suelo contaminado aquel espacio en el que “su calidad natural ha sido alterada por la presencia de componentes de carácter tóxico y peligroso de origen antrópico³³ con el consiguiente desequilibrio en las funciones propias del suelo”³⁴.

La contaminación del suelo afecta a la vida desde las formas más elementales, como los microbios, que intervienen en los ciclos básicos de materia y energía hasta las especies más desarrolladas, tanto de flora como de fauna.

Actualmente utilizando geosintéticos modernos de alta calidad se pueden recuperar suelos contaminados con bajo costo, respetando el medio ambiente. Los materiales ofrecen un sistema a base de varias capas, concebido para el saneamiento de terrenos industriales y basureros municipales abandonados, que otorga soluciones individuales ajustadas a las necesidades de los proyectos de construcción. Bajo ciertas condiciones también es posible volver a edificar sobre estos suelos, como es el caso de Santa Fe, Cd. de México.



Ejemplo de suelo contaminado en las afueras de la Ciudad De México

³³ **Antrópico:** Relativo al Hombre. Que tiene su origen o es consecuencia de las actividades del hombre. Referido al efecto ambiental provocado por la acción del hombre. Elementos que se encuentran en el medio natural cuyo origen es la actividad humana.

³⁴ <http://www.gobcan.es/medioambiente/revista/2002>

i) CONSTRUCCION DE PISTAS DE AEROPUERTOS

Los geosintéticos se utilizan en la construcción de pistas de aeropuertos para múltiples aplicaciones. Los geotextiles no tejidos tienen funciones de filtración y drenaje del subsuelo o de separación entre la capa superficial y los materiales del suelo.

Los tejidos de alta resistencia y las geomallas se usan para estabilizar y armar las capas superficiales de las pistas de aterrizaje aumentando su resistencia y longevidad, al tránsito continuo de aviones.

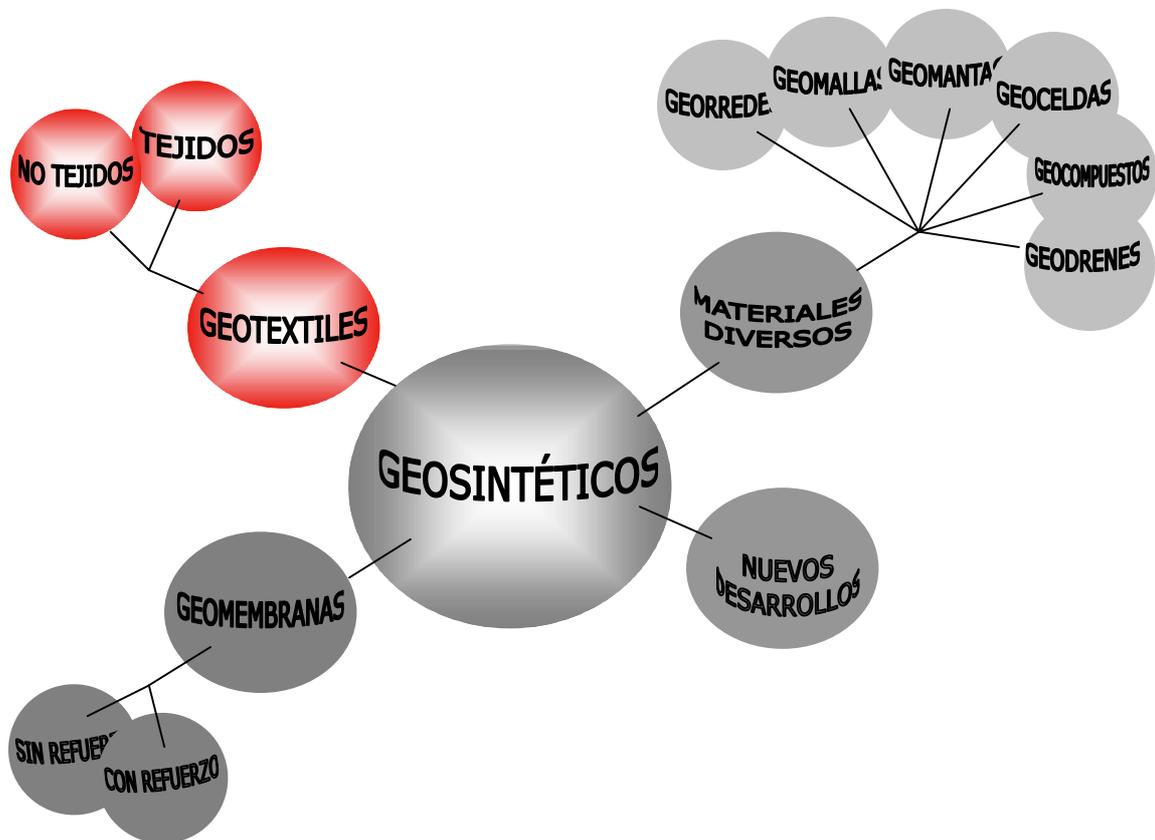
Con las geomallas de refuerzo de asfalto se evitan o retrasan las grietas debidas a las reflexiones y la fatiga causada bien por el tráfico o por los cambios térmicos, como ya se ha venido mencionando. Las zonas en las que frecuentemente se producen grietas suelen ser capas de asfalto sobre viejas placas de hormigón (juntas de dilatación) y capas de asfalto colocadas sobre firmes de asfalto para reparar las grietas. Los revestimientos geosintéticos de arcilla bentonítica impermeabilizan el fondo y protegen la pista de aguas subterráneas.



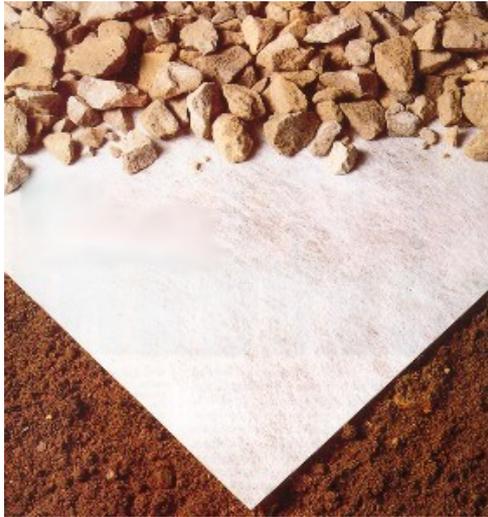
Aplicación de geotextil en pista de aeropuerto.

CAPÍTULO 3

Este capítulo nos da a conocer la primera rama importante de los geosintéticos, que son los geotextiles, explicando su definición y clasificación por su composición química. Comenzando por la manufactura del hilo o la fibra que los integran, para posteriormente entrar en la gran división entre geotextiles tejidos y los no tejidos. Dando a conocer los primeros desarrollos, materia prima con la que se elaboran, los diferentes tipos de procesos de producción y finalizando con sus funciones y aplicaciones.



3.1 GEOTEXTILES



De acuerdo con la ASTM (Subcomité on Geotextiles and Geotextile Applications), se considera geotextil cualquier material textil permeable usado con el suelo, rocas, tierra o cualquier material relacionado con la geotecnia, que sea parte integral de un proyecto hecho por el hombre, estructura o sistema.¹

Los dos principales tipos de geotextiles son los tejidos y los no tejidos. Ocasionalmente se usan fibras naturales para hacer geotextiles, pero son más usadas las fibras poliméricas, como el polipropileno, poliamida o poliéster. El tejido elegido depende del costo y de las propiedades físicas (espesor por masa), propiedades mecánicas (fuerza y deformación) y propiedades hidráulicas (permeabilidad y resistencia a la corrosión²).

La mayor parte de los geotextiles están compuestos por filamentos de plástico o polímero, que siguiendo determinados patrones de distribución en sus elementos individuales se unen entre sí mediante procesos textiles, formando estructuras continuas, flexibles y permeables en forma de láminas relativamente delgadas, que poseen resistencia en su plano. Se emplean combinados con suelo, roca y otros materiales geotécnicos en estructuras realizadas por el hombre.

¹ GIROUD. Geotextile Products. 1.1 Pp. 12.

² Corrosión: Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

El campo de aplicación de los geotextiles tejidos y no tejidos es muy amplio. Un uso en la construcción de caminos temporales es para separar los materiales por su granulometría. En situaciones donde el desgaste de la superficie vegetal es muy alta los geotextiles pueden ser usados para separar el suelo como soporte físico. El rol de estos materiales se extiende más en construcción de caminos permanentes, en los cuales pueden ser usados solos o combinados con georedes para refuerzo. Individualmente o combinados pueden proveer subestructuras de soporte, drenaje de terrenos, control de erosión y prevenir grietas.³

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE GEOTEXTILES

Por su composición química⁴

POLIMERO BASE DEL GEOTEXTIL	RESISTENCIA A LA INTEMPERIE	RESISTENCIA A LA BIODEGRADACIÓN EN SUELOS NORMALES
<i>Polipropileno</i>	Es muy estable y más aún los nuevos polipropilenos.	Prácticamente no biodegradable para el uso en carreteras.
<i>Poliéster</i>	Estable por lapsos relativamente largos de exposición	Prácticamente no biodegradable para el uso en carreteras.
<i>Nylon</i>	Estable dependiendo de la humedad, por lapsos relativamente largos de exposición	Prácticamente no biodegradable para el uso en carreteras pierde resistencia con el agua.
<i>Poliétileno</i>	Estable para lapsos relativamente largos de exposición	Prácticamente no biodegradable para el uso en carreteras.
<i>Arreglo o mezcla de los anteriores</i>	Depende de la combinación y del tipo de aditivo de protección.	Prácticamente no biodegradable para el uso en carreteras.

³ Estabilización de suelos, bordos, muros y taludes, rellenos sanitarios e industriales
www.evi.com.mx

⁴ Manual de normas utilizadas para la Secretaría de Comunicaciones y transportes.
Geo-Productos Mexicanos.

3.1.2 MANUFACTURA DE FIBRA E HILO

MATERIA PRIMA (MATERIAL POLIMÉRICO)

Para la fabricación de los geotextiles, es fundamental respetar aspectos como tipo de fibra, tipo de polímero y estilo de fabricación, de acuerdo a la aplicación final del geotextil. Los porcentajes en los que se fabrican de acuerdo al material polimérico son:

- Polipropileno 83%
- Poliéster 14%
- Polietileno 2%
- Nylon 1%

La aplicación de cada uno depende de que afecte a la fibra de acuerdo al lugar en donde será colocado el geotextil, factores como la elasticidad, ruptura y plasticidad, así como las propiedades anisotrópicas⁵ y las propiedades de cada uno.

El proceso para la fabricación de las fibras textiles sintéticas se divide en dos etapas, la primera de ellas es la etapa química que consiste en la formación del monómero⁶ y posteriormente la polimerización⁷; la segunda etapa es la etapa física que consiste en la extrusión, tensado, corte y embalado⁸.

La etapa física consta de cuatro procesos:

1.- Área de Extrusión

El poliéster es un termoplástico⁹ que se puede convertir en fibras, ya sea por fundición de gránulos, centrifugado de fibras o directamente de la polimerización continua. La materia prima de poliéster es derretida en una

⁵ Anisotropía: Propiedad de un material de resistencia en el sentido longitudinal diferente a la resistencia en el sentido perpendicular.

⁶ Monómero: Molécula pequeña que se encuentra repetitivamente en otra más grande.

⁷ Polimerización: Se denomina polimerización al proceso mediante el cual se forman polímeros a partir de monómeros.

⁸ Embalado: Hacer que adquiera gran velocidad un motor desprovisto de regulación automática, cuando se suprime la carga.

⁹ Termoplástico: Dicho de un material: Maleable por el calor.

máquina de moldeo por inyección, y alimentada a 290° C. con una bomba especial, que mide el flujo del polímero y genera una presión requerida para que fluya a través de la hiladera. Ésta es usualmente compuesta por una pared gruesa de metal que contiene un filtro de arena o metal, que es añadido entre la tapa superior y el fondo de la tobera¹⁰, conteniendo una numerosa cantidad de pequeños orificios que son usualmente redondos, con un diámetro de 0.20-0.45mm. El material de la tobera es usualmente de acero inoxidable, con aumento de dureza. La hiladera es sometida a un proceso de manganeso caliente en un distribuidor, para asegurar que cada orificio se mantenga a una temperatura uniforme de 290° C.

Tipos de orificios de las Toberas:

Debido a los usos finales del poliéster en el mercado mexicano, sólo se cuenta con dos tipos de orificios:

● **Circular:** Para el mercado de tejido plano, circular, no-tejidos y fibra corta. La única diferencia estriba en el tamaño del orificio, a menor tamaño de orificio deniers¹¹ más bajos y viceversa.

● **Trilobal:** Para el mercado alfombrero, ya que en este sector es importante el poder cubriente, es decir, menor número de filamentos para cubrir más metros de alfombra.



Fotografía de hilo extraído a través de una tobera.

Posteriormente el hilo extruído se somete a una solidificación, este proceso se conoce como hilatura por fusión, a través de enfriamiento, utilizándose un difusor donde pasa una corriente de aire frío y lo orienta de forma uniforme, filtrando las impurezas del aire. En esta etapa es

¹⁰ Tobera: Pieza de la hiladera que se compone de numerosos orificios por donde pasa el material ya extruído.

¹¹ Denier: Unidad usada para medir la fineza de los hilos, igual a la masa en gramos de 9,000 metros de hilo.

importante controlar la temperatura y la presión del aire. La temperatura a la que se debe trabajar el aire es entre los 15.3 y 18° C.

Después de la solidificación se pasa a la fase de entrelazado, una vez que ya han sido formados los filamentos de fibra y están ya solidificados, es importante volver a reunir todos los pequeños filamentos para formar un haz de ellos, para su mejor manejo en los procesos posteriores.

En esta fase se le aplica a la fibra un antiestático, ya que el proceso de hilatura genera mucha estática y el polímero se puede atascar en ese proceso. Aquí se entrelazan los filamentos del polímero, hasta formarse un cable de filamentos, para posteriormente pasar al proceso de tensado. Hasta aquí el proceso es continuo.

2.- Área de Tensado

Una vez que el cable de filamentos sale del área de extrusión, este se recoge en botes, con los que se van a formar filas para obtener un cordón más grueso de filamentos para esta área.

El objetivo de esta área es proporcionarle a los filamentos el estirado necesario para darle al polímero una orientación molecular¹², además de determinar la fuerza de elongación y resistencia a la tensión con la que contarán.

La fibra pasa por diferentes tinas, el equipo cuenta con 24 rodillos, donde cada rodillo tiene un sistema de temperatura a través de vapor, cada ocho rodillos se puede modificar la temperatura y se hacen variaciones de temperatura, de tal modo que en el último rodillo se tenga una temperatura de 180° C. En estas etapas, la diferencia de temperaturas y la diferencia de velocidades, con las que se van a determinar las propiedades físicas de la fibra.

¹² **Orientación molecular:** Forma en que se orientan las moléculas del polímero para obtener la máxima propiedad anisotrópica.



Equipo de rodillos de estirado a través de temperatura con vapor.

En el siguiente paso se le aplican algunos aditivos disueltos en agua, para que el comportamiento en el proceso de hilatura sea el óptimo.

Más adelante la fibra pasa a través de un rizador, donde se le da el tamaño de rizo necesario, con base en el uso final del material; si no se rizará la fibra, ésta no se podría convertir en hilo, ya que se desfilamentaría. La característica del rizo se controla a través de la temperatura y de la presión de la prensa.

Por último el cable de filamentos pasa por una cámara de humedad, con el objeto de secar la fibra y que el aire absorba el exceso de humedad de la misma (si se utilizara aire frío éste no secaría la fibra, por lo que se aplica aire caliente).

3.- Área de Corte

Del proceso anterior se obtiene un cable de filamentos continuo, que se recolecta en cajas de metal, donde se distribuye de manera uniforme para que en el área de corte no se enrede.

Se toman tres puntas del filamento y se pasan a través de una cortadora donde se le programa la longitud deseada de acuerdo al uso final del material. Las fibras cortas se recolectan en recipientes rectangulares para pasar posteriormente al área de embalado.

4.- Área de Embalado

En esta área se compacta la fibra en una embaladora de transporte neumático en pacas de 320 a 340Kg dentro de un volumen de 1m³.

Una vez ya empacado el material, este se almacena como producto terminado para ser distribuido.¹³

3.2 GEOTEXTILES TEJIDOS

La construcción de geotextiles tejidos sigue un patrón geométrico claramente definido, se logra gracias al entrelazamiento de filamentos o hilos en dos direcciones mutuamente perpendiculares, siendo posible controlar a voluntad las propiedades de resistencia en las dos principales direcciones de fabricación. Estos geotextiles son menos rígidos en el sentido diagonal (anisotropía).



Fotografía de geotextil tejido.

Los tipos de tejido que más se utilizan son:

● **Tejido sencillo.** Es un tejido básico también conocido como “uno arriba y otro abajo”, dentro del área textil se conoce como “tejido plano”.

● **Tejido de canasta.** En este tejido se entrelazan dos fibras formando una sola, posteriormente se entrelazan varias unidades como ésta entre sí.

● **Tejido de doble hilo.** Es un tejido paralelo en líneas diagonales.

¹³ Torres, C., Maldonado, C. “Estudio de la influencia del Bióxido de Titanio en el teñido de fibras poliéster con colorantes dispersos” (tesis). UIA, México, D.F., 1995. (76-85).

● **Tejido satín.** Es cuando se sobreponen varios tejidos y se logra un solo tejido liso y brillante (este casi no se utiliza en la fabricación de geotextiles).

Tejidos de acuerdo a las fibras con las que están hechos:

● **De cinta plana con acabado térmico.** El tejido se somete a un proceso de acabado para reducir el movimiento relativo de las cintas. Las aberturas son típicamente pequeñas.

● **De monofilamentos.** Son hilos resultado del sistema de derretido y enfriado. Los filamentos relativamente gruesos y rígidos son entrelazados, resultando un geotextil con aberturas en tamaños claramente establecidos y mensurables mediante procedimientos sencillos. Estos geotextiles son los que presentan la mayor eficacia para filtrar suelos críticos.

● **De multifilamentos.** Son el resultado de entrelazar gran cantidad de monofilamentos, los filamentos base resultantes son producto del trenzado de varios filamentos de menor diámetro. Al ser entrelazados los multifilamentos, se obtienen geotextiles que poseen mucha resistencia a la tensión.

3.2.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEOTEXTILES TEJIDOS

El antecedente más claro de los geotextiles, como los conocemos actualmente se remonta al año de 1926 en California, en E.U. donde se estabilizó un camino utilizando una pesada capa de algodón como base, luego se colocó una capa asfáltica acompañada de una delgada capa de arena fina como sello.

Se hicieron varias pruebas separadas sobre el camino estabilizado y hasta antes de comprobar el deterioro de la capa de algodón se observaron resultados satisfactorios sobre las condiciones de funcionamiento del camino, ya que se redujeron considerablemente los agrietamientos y los baches¹⁴ sobre el pavimento.

¹⁴ Bache: Colapso de las capas del sustrato.

Posteriormente en el año de 1935 los geotextiles se utilizaron como refuerzo de pavimentos, cuando el departamento de carreteras de Carolina del Sur (E.U.), colocó tela de algodón impregnada de asfalto en varios caminos, con el propósito de reforzar las carpetas asfálticas y constituir una barrera impermeable que impidiera el paso de agua; algunos años después se determinó que las telas podrían reducir el agrietamiento, el desmoronamiento y las averías en los caminos. Debido a la corta vida del algodón el uso de esta técnica decayó hasta que fue sustituido posteriormente por fibras sintéticas de mayor duración, de alta resistencia a esfuerzos de tensión, abrasión y punzonamiento¹⁵, resistentes al ataque de productos químicos y bacterias, entre los cuales se encuentran las fibras de polipropileno, nylon, poliéster, fibra de vidrio e inclusive una mezcla de estos, lo que ha dado origen a un tipo de geotextil especial para trabajos de refuerzo en pavimentos.

En un principio se utilizaron para prevenir los diferentes tipos de erosión en concreto y en el suelo, también fueron utilizados como filtros de suelos granulares. Todos se caracterizaban por tener entre un 6 a 30% de área abierta, posteriormente se discutió la necesidad de fabricarlos con la suficiente permeabilidad y capacidad para retención de suelos, esto último para su uso como separador de dos tipos de materiales, además de que se debía fabricar con suficiente resistencia y maleabilidad.

3.2.2 CLASIFICACIÓN DE GEOTEXTILES TEJIDOS

Comercialmente se clasifican en:

GEOTEXTILES PARA TERRACERÍAS

Son materiales auxiliares que se emplean para simplificar procedimientos constructivos, suplir agregados procesados¹⁶ poco disponibles por otros más abundantes, proteger la funcionalidad de las capas con características especiales dentro de la terracería o varios de los objetivos a la vez.

GEOTEXTILES PARA OBRAS DE DRENAJE Y SUBDRENAJE

Son materiales que se emplean para suplir filtros de agregados bien graduados por materiales con una granulometría menos restringida, pero

¹⁵ Punzonamiento: Es el proceso de agujado o punzonado.

¹⁶ Agregados procesados: Diferentes tipos de gravas que se agregan a un material para estabilizarlo.

más permeables y disponibles, simplificar procedimientos constructivos y reducir el mantenimiento de las obras.

GEOTEXILES PARA PAVIMENTOS

Estos son materiales que se emplean como parte de sistemas constructivos que prolongan la vida útil de la estructura tanto en obras nuevas como en trabajos de conservación.

GEOTEXILES PARA OBRAS TEMPORALES DE TIERRA REFORZADA

Son elementos estructurales que se utilizan para obras de taludes y muros reforzados de duración temporal.

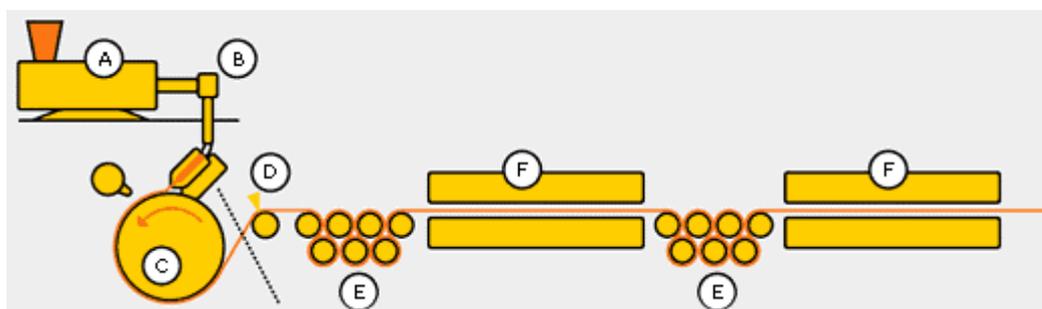
GEOTEXILES PARA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Son el elemento principal de cercas pequeñas que forman presas, cuya función es retener los sedimentos transportados por el agua desde áreas de construcción, previniendo la contaminación de cuerpos de agua y terrenos aledaños a las obras, así como el asolvamiento de drenajes.

3.2.3 MATERIA PRIMA PARA GEOTEXILES TEJIDOS

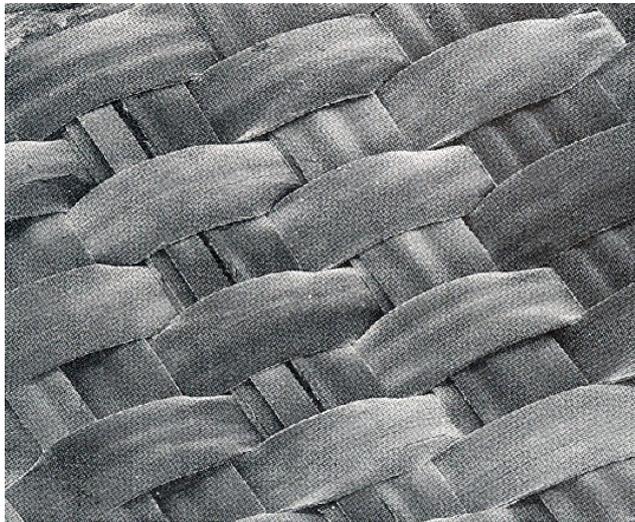
Cinta plana extruída

Los elementos usados para tejer un geotextil pueden producirse de diferentes maneras. Uno de los más comunes, particularmente para el polipropileno, es la extrusión de cintas planas. La cinta extruída se pasa por una serie de rodillos, como se muestra en la ilustración, en donde los rodillos giran a diferentes velocidades. El efecto de esta diferencia de velocidades es poner la cinta en tensión cada vez que sale de un rodillo hacia el siguiente.



A.Extrusión. B.Fundido de la pulpa. C.Enfriamiento en rodillo. D.Corte y fibrilación.
E.Estiramiento en rodillos. F.Horno lineal.

Se aplica suficiente tensión a la cinta, para estirla y se induce a una orientación molecular. Antes de que la cinta se enrolle finalmente en los carretes, al final del proceso, puede atravesar hornos lineales y varios bancos de rodillos, como parte del proceso de orientación molecular progresiva para mejorar la fuerza tensil, el módulo de deformación y sus características de deslizamiento. La cinta extruída puede empezar con varios milímetros de ancho, y terminar comúnmente alrededor de 1 a 2mm de ancho con menos de 0.1mm de grosor. Los carretes con la cinta, se usan para alimentar el telar de tejeduría que produce la estructura del tejido plano ejemplificada en la siguiente fotografía:



Ejemplo de tejido plano hecho con cinta plana.

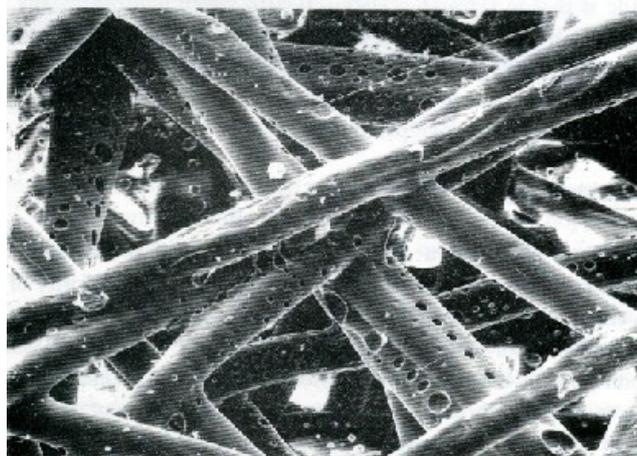
Como puede verse, el tejido es muy firme y por consiguiente las aperturas, o poros, entre las cintas son comparativamente pequeñas. A este tejido se le llama tejido de cinta extruída sobre cinta extruída.

Cinta de membrana

Otro método común para producir cinta plana, particularmente cinta de polipropileno, es cortar una lámina ancha de este material, en tiras estrechas. La película puede producirse por extrusión o fundición y pasa a través de un banco de alta presión con motores de aire y navajas como cortadores que se introducen en la cinta. Una vez formada, la cinta se conduce hacia los carretes, lista para tejer.

La anchura de estas cintas planas es controlada por el espacio que existe entre los cortadores. Si la cinta es cortada con un ancho mayor a 2 o 3mm no puede producir un tejido firme. Para una membrana de un

espesor dado y un tejido estable puede producirse por fibrilación una cinta plana y ancha antes de tejerse. La fibrilación es discontinua y longitudinal, son huecos que se hacen en la cinta, antes de enrollarla, por un cilindro delgado con dientes afilados. En el tejido, estas fibrilaciones permiten un embalaje más cercano entre las cintas y por consiguiente una masa más grande por área para un espesor dado. Cuando las cintas se aprietan durante la tejeduría con proceso de fibrilación pueden montarse entre si y así producir una textura con superficie más dura que un tejido de cinta plana extruída.

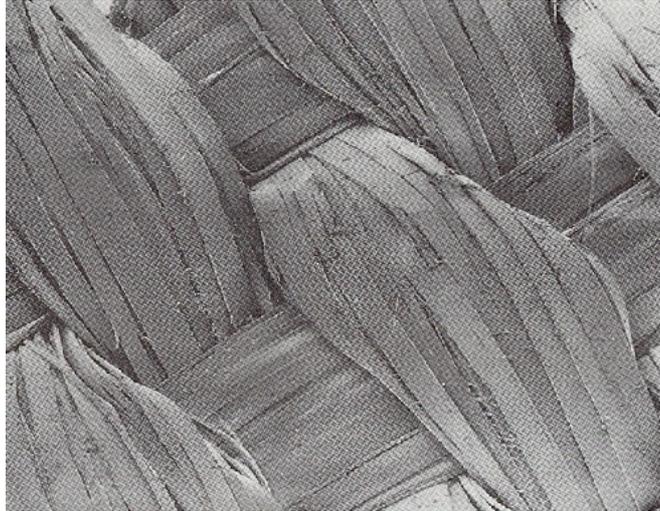


Fotomicrografía donde la fibrilación aparece como una serie de huecos que corren a lo largo de cada cinta.

También puede verse que los bordes de la cinta están rasgados, comparados con la cinta mostrada anteriormente.

Hilo de cinta.

El hilo de cinta deriva del tejido de cinta pero con fibrilación, se usa para tejer geotextiles de peso normalmente mayor con una masa por área de más de 500 g/m² por unidad. Este hilo se produce de cinta con fibrilación con un ancho de 10 a 15mm. La fibrilación permite torcer la cinta e hilar el hilo que es posteriormente tejido.

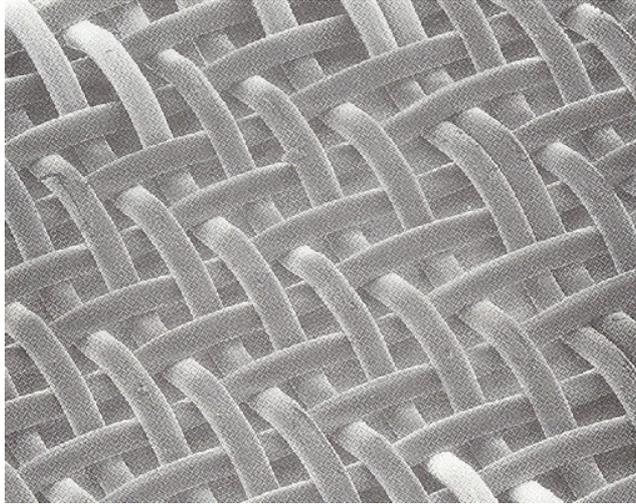


Fotomicrografía de estructura de tejido hecho con hilo de cinta.

Monofilamento

Cualquier elemento que es extruído como un solo filamento se llama monofilamento. Por consiguiente una cinta plana extruída puede llamarse monofilamento. Sin embargo hay un uso ligeramente diferente de terminologías en Europa y Estados Unidos. En Europa el término monofilamento se toma para nombrar un elemento con una sección cruzada redonda. Esta diferenciación no es hecha en Estados Unidos donde el término puede usarse para describir a una cinta plana extruída o a un elemento con la sección cruzada redonda. De manera similar, el elemento que se cruza dentro del tejido en la máquina suele ser llamado *fill* en Estados Unidos y trama en Europa.

La producción de geotextiles con monofilamento tejido es esencialmente igual para las cintas planas extruídas que para el monofilamento circular, el polímero que se usa es polietileno de alta densidad. Sin embargo, la diferencia en el resultado de la estructura tejida es muy notable, como puede verse en la fotomicrografía:



Tejido plano con monofilamento circular.

En parte debido al hecho que los monofilamentos forman una cruz más pequeña dimensionalmente que la cinta plana, normalmente el diámetro es de 0.5mm lo contrario al ancho de la cinta plana de 1 a 2mm, la estructura tiene un área abierta mucho más alta. Esto es asociado con los tamaños de los espacios más grandes y la normal permeabilidad mayor. Una vez que el tamaño del poro excede de 1 a 2mm, el geotextil tejido tiende a ser considerado como una geomalla en lugar de un geotextil.

Hilo multifilamento.

Los hilos de monofilamentos y cintas extruídas se producen con una máquina de extrusión conectada a un dado con un solo orificio u orificios múltiples, sin embargo, las cintas y los hilos de multifilamento se tejen como elementos distintos. En contraste, los multifilamentos se extruyen a través de un dado especial, que produce centenares de filamentos continuos simultáneamente. El dado puede asemejarse a la llave de una regadera doméstica; este tiene agujeros finos que producen filamentos redondos de alrededor de 1/2mm. de diámetro.

También se usan dados similares en la producción de geotextiles no tejidos, sin embargo, cuando es empleado en la producción de geotextiles tejidos, ellos proveen el alimentador del hilo multifilamento. Normalmente se usa poliéster para el hilo de multifilamento y en este caso pueden alimentarse las bombas de hilado que suplen a los dados con una unidad de polimerización continua. Los dados están normalmente montados en lo alto de la planta para que los filamentos sean extruídos verticalmente hacia abajo. Los filamentos extruídos son recolectados en bultos,

posteriormente son tratados calientes y estirados para dar un alto grado de orientación molecular. El estirado le imparte alta tenacidad¹⁷ y refuerza sus características. Los bultos pueden tejerse con una baja torsión, sin torsión, o algunos hilos de baja torsión se pueden combinar en un cable de baja torsión.

El resultado de la estructura tejida puede verse claramente a continuación:



Tejido multifilamento sobre multifilamento.

3.2.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEOTEXILES TEJIDOS

GEOTEXILES EN TEJIDO PLANO

Los geotextiles tejidos son hechos por métodos de tejeduría tradicionales en que se entrelazan dos juegos paralelos de elementos, uno a 90° del otro, para formar una estructura textil tradicional. Las propiedades del geotextil resultante serán en función de la naturaleza de los elementos tejidos, el material con el que estos elementos están hechos, y el tipo de tejido. Aunque los telares de tejeduría modernos son sumamente versátiles y sofisticados, operan con los principios elementales de un telar básico.

¹⁷ Tenacidad: Fuerza tensil a la ruptura.

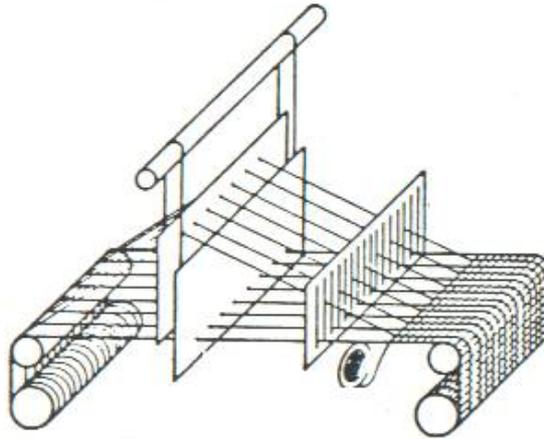


Ilustración de un telar básico.

Una serie paralela de hilos, llamada urdimbre, se enrolla en el telar, unida a un cilindro al extremo opuesto del telar donde se encuentra el producto acabado. La dirección de la urdimbre define la dirección en que la producción procede, esto también se llama dirección de la máquina. En un modelo de tejido ordinario, el peine se aleja del tejido, y posteriormente presiona los elementos alternados de la urdimbre. Al levantarse la urdimbre, aparece un hueco a través de ésta y un transbordador arrastra un elemento transverso llamado trama en dirección cruzada de la máquina. Al alcanzar el lado extremo de la urdimbre el transbordador vuelve, en dirección opuesta, atravesando el hueco creado por el peine que aprieta la urdimbre.

El tejido resultante es un tejido plano simple.

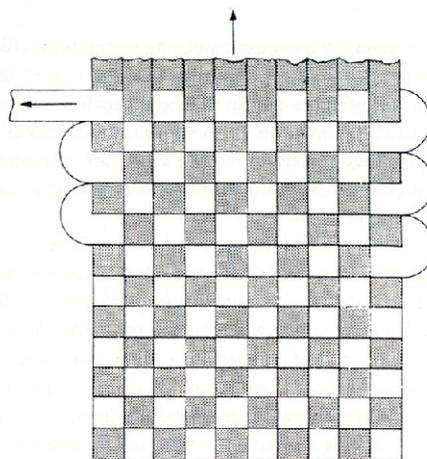


Ilustración de un tejido plano simple.

Pueden emplearse muchos otros modelos de tejido, incluso el tejido ilustrado en la siguiente figura, que produce un tejido muy abierto, como malla, estructura que puede usarse como base de georedes textiles y refuerzo de geomembranas.

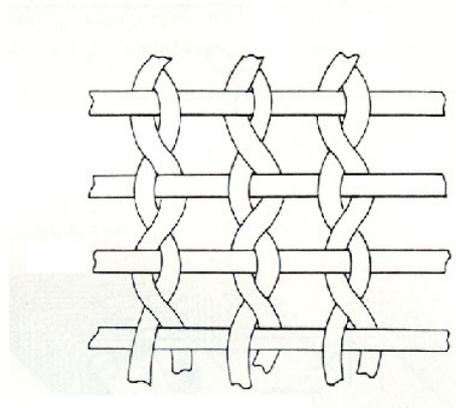
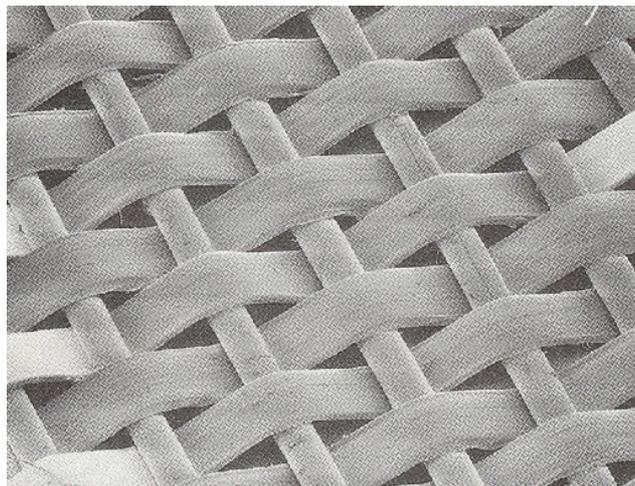


Ilustración tejido abierto.

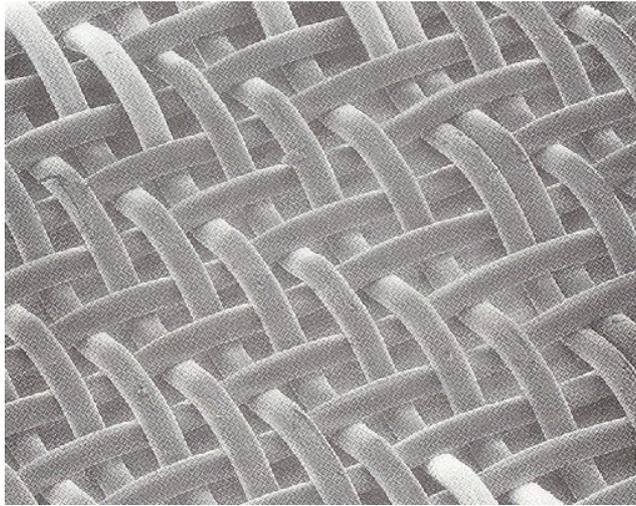
Combinación de tejidos planos

Las figuras anteriores muestran que tanto en la urdimbre como en la trama el material es el mismo. Esto puede parecer extraño, pero, tejer es un proceso versátil de producción en que la urdimbre y la trama no necesitan ser del mismo material. Esto se pone en evidencia en la siguiente fotomicrografía:



Tejido con polipropileno extruido de cinta plana en dirección de la urdimbre y un monofilamento de polietileno en la trama.

Como podemos ver claramente, el tejido de cinta plana extruída sobre monofilamento tiene poros más grandes que los poros entre el tejido de cinta plana extruída sobre cinta plana extruída, pero más pequeños que aquéllos para el tejido de monofilamento sobre monofilamento:

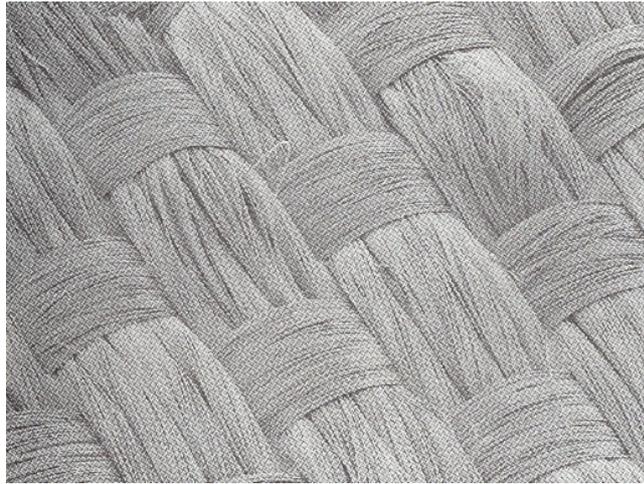


Tejido de monofilamento sobre monofilamento.

Por consiguiente, para una selección apropiada de urdimbre y trama, es posible llegar a tejidos combinados que exhiben propiedades que son un balance en comparación de aquéllos logrados usando los mismos elementos en la urdimbre y trama. A continuación se muestra un ejemplo de tejido en combinación de multifilamento sobre monofilamento, el cual puede proveer una fuerza tensil alta en dirección de la máquina y una permeabilidad mayor que el tejido de multifilamento sobre multifilamento mostrado posteriormente.



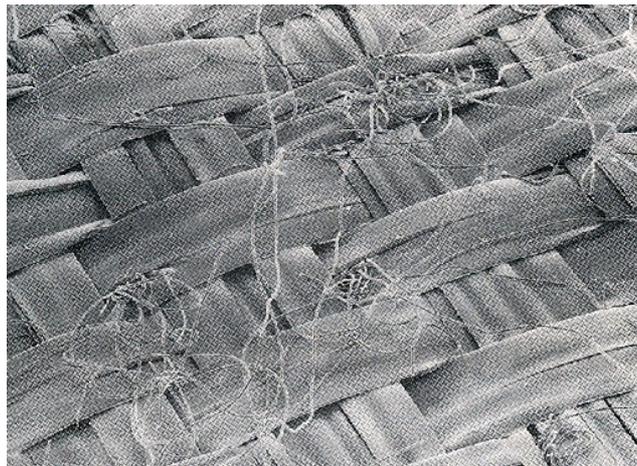
Tejido multifilamento sobre monofilamento.



Tejido multifilamento sobre multifilamento.

Debe recordarse que aun cuando el mismo tipo de elemento se usa en la urdimbre y trama, estos pueden tener fuerzas tensiles muy diferentes, lo que produce una distribución de fuerzas en el geotextil. Para un tejido, siempre es importante la fuerza tensil en dirección tanto de la urdimbre como de la trama.

Los geotextiles compuestos han empezado a ganar terreno, ya que pueden combinarse tejidos con tejidos, encimando dos hojas de geotextil y cosiéndolos juntos, o insertando filamentos de longitud corta o cinta delgada, llamada mechón sobre una base tejida.

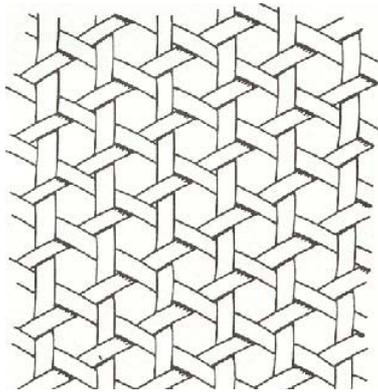


Esta imagen muestra la parte inferior de un tejido que tiene insertadas longitudes cortas de filamento continuo, por medio de agujas.

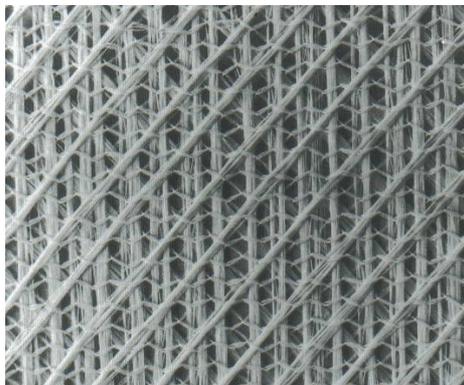
Este tipo de geotextiles no se usan ampliamente, pero en esta foto podemos observar la diferencia de magnitud en el tamaño del filamento comparado con el de la cinta. Como es de esperarse, el punzonado con

agujas, durante el proceso de costura, daña y perjudica a las cintas de la base del tejido por lo que disminuye su fuerza.

La versatilidad del tejido se extiende al uso de tejido triaxial, en que se tejen tres elementos juntos. El objetivo del tejido triaxial, contrario al tejido normal biaxial con urdimbre y trama rectangular, es producir un geotextil con una mayor distribución isotrópica de fuerza tensil. Sin embargo, esta noción parece no haber tenido éxito.¹⁸



Estructura básica de tejido triaxial.

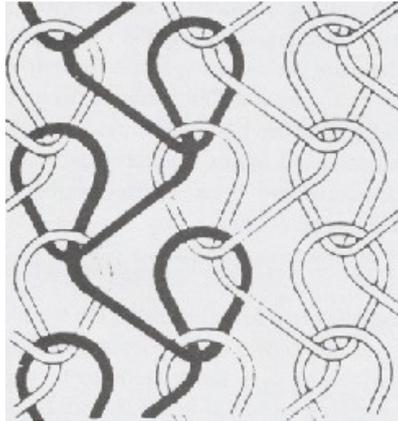


Esta fotografía muestra una estructura de tejido triaxial más compleja.

GEOTEXTILES EN TEJIDO DE PUNTO Y UNIDOS POR COSTURA

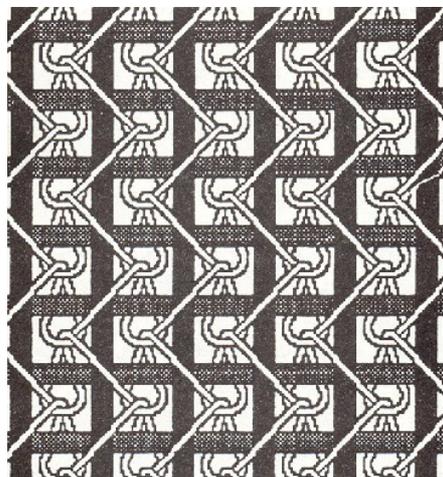
El tejido de punto es una manera de entrelazar el hilo, particularmente lana, para producir una estructura estable.

¹⁸ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. UK, 1994. Pág. 111.



Estructura en tejido de punto.

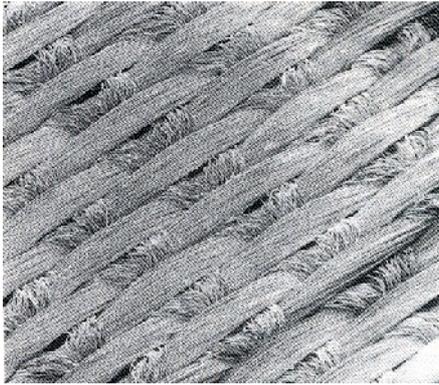
Debido principalmente a la geometría de la estructura de tejido de punto, la tela resultante tiende a ser muy extensible, de la misma manera como un suéter de cardigan de lana. Las estructuras en tejido de punto, como tal, no son convenientes para el uso en geotextiles pero pueden usarse como base para un tejido más grueso, menos extensible. Como se muestra en la imagen donde se han insertado elementos más fuertes en dirección de la urdimbre y trama. Los tipos de elementos insertados varían pero normalmente toman la forma de líneas de multifilamentos de poliéster de alta tenacidad.



Tejido de punto con inserción de elementos en la urdimbre y en la trama.

También se insertan por medio de tejido de punto elementos más fuertes en dirección ya sea de la urdimbre o de la trama y las estructuras resultantes son conocidas como urdimbre tejida o trama tejida respectivamente. Las superficies superiores e inferiores de estas telas tienden a ser muy diferentes como se observa en las imágenes.

Superficie superior:



Superficie inferior:



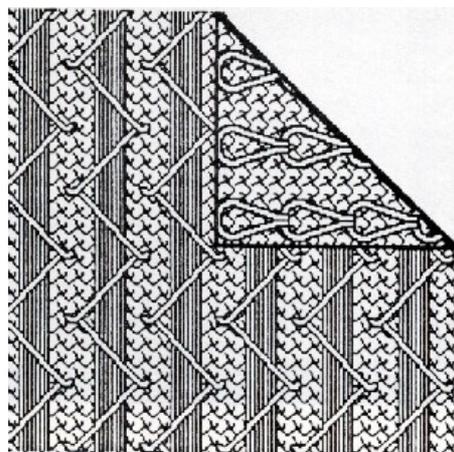
Como puede verse en la superficie superior de la tela, la inserción del multifilamento es evidente, sin embargo, cuando se ve la parte inferior, la superficie es predominantemente una superficie con tejido de punto con multifilamentos escasamente visibles.

El uso intencional de una trama o urdimbre en estructuras de tejido de punto es el refuerzo del suelo, ya que la tela en tejido de punto es barata y el multifilamento de alta tenacidad es caro. Así en lugar de usar una estructura en tejido plano, con una trama fuerte y una urdimbre más débil, la idea es usar una estructura de tejido de punto en la base con una inserción de trama más fuerte. Esto da mucha fuerza en una dirección que, teóricamente, refuerza el suelo. Sin embargo, evaluando estas estructuras debe investigarse la magnitud de fricción de la tierra con el geotextil que puede ser muy diferente en los dos lados de la tela, para que el resultado sea exitoso.

Las telas unidas por costuras son aquellas en que los elementos, particularmente multifilamentos, pueden ser unidos con puntadas. Por medio de esta técnica se pueden producir rápidamente tejidos fuertes y de gran peso, sin embargo, estos geotextiles no están disponibles en grandes anchos, por lo que se exigen altos volúmenes de producción, ya que el costo es muy elevado. Por consiguiente, a menos que se emparejen suministro y demanda, la producción tiende a no ser económicamente viable.

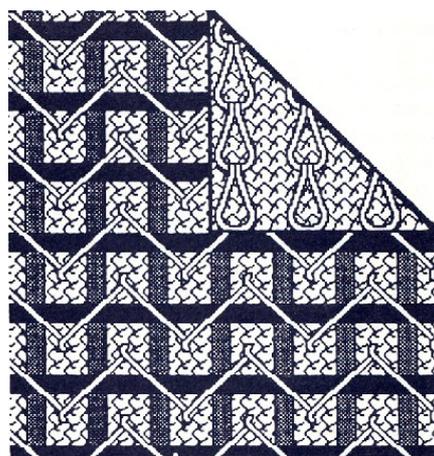
Cuando las puntadas de unión en el tejido se efectúan directamente sobre telas ligeras suele faltarle cuerpo al tejido resultante. Una solución a este

problema es coser con hilos muy resistentes a una base para lograr la misma función que un tejido de urdimbre y trama.



Estructura unida por puntadas, la base es de tela ligera, y una aguja delgada fue introducida en el tejido, se usa para reforzar la urdimbre con hilos fuertes cosidos sobre el tejido.

Los elementos fuertes pueden ser cosidos en dirección tanto de la urdimbre como de la trama.¹⁹



Tejido con hilos fuertes cosidos en dirección de la trama.

3.2.5 FUNCIONES Y PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS GEOTEXILES TEJIDOS

El empleo de los geotextiles puede definirse mediante sus funciones, y se utilizan principalmente para la modificación de las propiedades del suelo:

Separación

El geotextil establece una frontera permeable entre diferentes masas de suelo o roca, segregando a dos o más tamaños de partículas. De esta

¹⁹ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. UK, 1994. Pág. 127.

manera se preserva la resistencia y permeabilidad de agregados, previniendo su contaminación con suelos cohesivos²⁰. Algunas aplicaciones típicas son la construcción de caminos, terraplenes²¹, así como en las obras de mantenimiento en vías de ferrocarril que presenten asentamientos por contaminación del balasto^{22, 23}.



Capa separadora y refuerzo en plataforma de tránsito.

Refuerzo

El geotextil imparte resistencia a la tensión en un sistema tierra-geotextil, incrementando la estabilidad estructural. Algunos ejemplos son el refuerzo de terraplenes construidos sobre suelos inestables, la construcción de muros de contención mediante encapsulados de suelo y el desplante de taludes con ángulos de inclinación pronunciados.²⁴



Geotextil como sistema de refuerzo en camino.

²⁰ Suelos cohesivos: Los suelos cohesivos poseen la propiedad de la atracción intermolecular, como las arcillas.

²¹ Terraplén: Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante. Desnivel con una cierta pendiente.

²² Balasto: Capa de grava o de piedra machacada, que se tiende sobre la explanación de los ferrocarriles para asentar y sujetar sobre ella las traviesas. Capa de grava o de piedra machacada que se tiende sobre la explanación de las carreteras para colocar sobre ella el pavimento.

²³ Koerner, R. "Designing with goesynthetics". Prentice-Shall. New Jersey, USA., 1986.

²⁴ John, N.; "Geotextiles". Blackie and Son. New York, USA., 1987.

Filtración²⁵

Cuando se utiliza un geotextil en el interior de una masa de suelo como filtro, se requiere en forma simultánea que la abertura entre las fibras sea lo suficientemente grande para que el agua fluya en forma casi libre durante un lapso indefinidamente largo, y que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para que no haya migración de partículas a las capas inferiores. Esta técnica se usa en la construcción de subdrenes de carreteras y aeropistas, en combinación con estructuras pesadas como gaviones²⁶ y enrocamientos para evitar la erosión de taludes y cortes, y en la contención de rellenos hidráulicos entre otros.²⁷

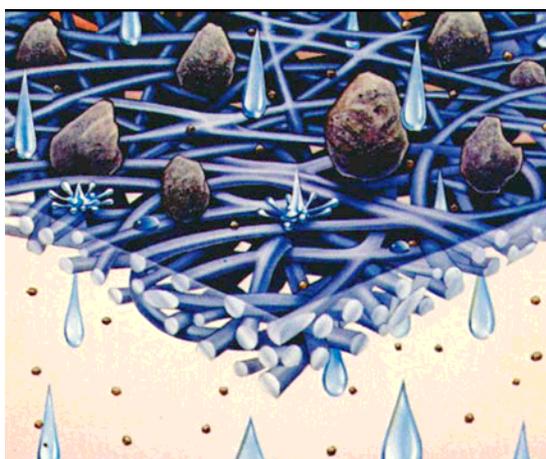


Ilustración que muestra la función del geotextil como medio de filtración.

Drenaje²⁸

Es el sistema en equilibrio geotextil-suelo, que permite el libre flujo de agua sin pérdida de suelo, en el plano del geotextil, durante un lapso indefinidamente largo. Algunas aplicaciones comunes son: drenes de chimenea en presas, drenes atrás de muros de contención, capas rompedoras de capilaridad²⁹ y otras. Esta aplicación es privativa de los geotextiles fabricados por entrelazado mecánico, que por su construcción y espesor presentan también un componente de permeabilidad en su

²⁵ **Filtración:** Un medio filtrante permite la retención de pequeñas partículas mientras el agua fluye a través. Filtrar: Hacer pasar un fluido por un filtro.

²⁶ **Gavión:** Cilindro de grandes dimensiones, tejido de mimbres o ramas, relleno de tierra o piedra usado en obras hidráulicas.

²⁷ Koerner, R. "Designing with geosynthetics". Prentice-Hall. New Jersey, USA., 1986.

²⁸ **Drenaje:** Medio o utensilio que se emplea para drenar. **Drenar:** Dar salida y corriente a las aguas muertas o a la excesiva humedad de los terrenos, por medio de zanjas o cañerías.

²⁹ **Capas rompedoras de capilaridad:** Sirven para romper la tensión superficial del material con el que estén en contacto.

plano. En los últimos años, con la aparición de los geocompuestos para drenaje, esta aplicación ha ido cayendo en desuso.³⁰

En la construcción de carreteras los geotextiles tejidos de alta resistencia y las geomallas sirven para estabilizar y reforzar las capas de cimentación, aumentando la capacidad portante de éstas.



Geotextil actuando como elemento drenante, y protección de muros enterrados.

3.3 GEOTEXTILES NO TEJIDOS

Los geotextiles no tejidos son hechos normalmente de filamentos continuos extruídos o de fibra o filamentos que se afianzan usando los medios mecánicos o térmicos. Una aguja presiona y une por medio de calor a los geotextiles no tejidos, siendo actualmente usados con gran éxito como material de construcción en conjunción con otros materiales geotécnicos en aplicaciones de ingeniería civil tal como sólidos y rocas en conjunto con la ingeniería civil natural. Las telas producidas por punzonado³¹ de aguja o afianzando de hilos termalmente en telas de filamentos continuos son comúnmente conocidas como telas punzonadas.

³²

³⁰ Ingold, T., Miller, K; "Geotextiles Handbook". Thomas Telford Limited. Londres, Inglaterra, 1988.

³¹ Punzonado: Proceso mediante el cual se inserta un punzón caliente en la tela para unirla.

³² www.evi.com.mx



Forma de aplicación en rollo de geotextil no tejido en el parque de Schloss Drottningholm en Suecia.

3.3.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEOTEXILES NO TEJIDOS

Los geotextiles no tejidos, son un producto del siglo veinte. Las fabricas de telas no tejidas se introdujeron comercialmente a finales de los años 1920 e inicio de los años 1930. La idea básica de esta tecnología es la producción de telas directamente de las fibras sin el proceso intermedio de la conversión de hilos en forma tejida. Sin embargo, en algunas estructuras no tejidas, se pueden utilizar hilos u otros materiales con el fin de unir o reforzar la estructura. Aquí el rango de posibles combinaciones para formar un no tejido es sumamente variado con continuas adiciones de nuevas tecnologías.

En la década de los años 60, se comenzaron a usar telas no tejidas en la construcción de caminos no pavimentados y los primeros textiles fabricados específicamente para obras de ingeniería aparecen a principio de la década de los 70; se adoptan entonces los términos geotextil y geomembrana como denominación de materiales elaborados con polímeros que se emplean en geotecnia³³.

Tradicionalmente las telas son producidas en tejido plano o tejido de punto, como se mencionó anteriormente las telas tejidas son producidas por entrelazamiento de urdimbre y trama, o con tejido de un solo hilo como en el caso del tejido de punto, con hilos de monofilamento o multifilamento, así la estructura se forma con una multitud de ángulos entre ella, en cambio las telas no tejidas, son hechas por una gran variedad de procesos de adición³⁴ entre la fibra, éstos pueden ser mecánicos, químicos, térmicos o por medio de solventes o la combinación de éstos.

La filtración y el drenaje en las telas no tejidas es superior, en comparación con las telas tejidas y es por esto que son usadas en ingeniería, ya que cubren las características requeridas. Sin embargo, la estructura mecánica es generalmente inferior a las telas tejidas, por lo que para algunos propósitos su estructura mecánica es inadecuada.

³³ Geotécnica: Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.

³⁴ Proceso de adición: Proceso en el que dos o más moléculas se combinan para formar una sola.

La utilización de los materiales no tejidos en México se remonta al año de 1979, cuando se empezaron a hacer ensayos de textiles no tejidos elaborados con poliéster y polipropileno, principalmente del tipo punzonado.

VENTAJAS

El comportamiento de drenaje y filtración de las telas no tejidas es superior a las telas tejidas, esas telas pueden usarse para la mayoría de las aplicaciones, ya que su desempeño mecánico es bastante adecuado. Además de las características superiores de desempeño hidráulico, el proceso de producción es mucho más corto y la velocidad de producción es muy alta logrando con esto mayores ventajas económicas. Las telas no tejidas han llegado a ser por lo tanto sumamente importantes en aplicaciones de ingeniería civil.

3.3.2 CLASIFICACIÓN DE GEOTEXILES NO TEJIDOS

Por su estructura

No tejidos. Se caracterizan porque las fibras que los componen se distribuyen en forma desordenada, en todas direcciones.

No tejidos punzonados. La unión entre sus fibras se logra por entrelazamiento mediante un proceso de punzonado con agujas, obteniéndose estructuras moldeables pues las fibras tienen una gran libertad de movimiento entre sí.

No tejidos punzonados con refuerzo. Se obtienen punzonando la fibra sobre una malla o tela de mayor resistencia, para reducir la elongación inicial y aumentar la resistencia a la tensión en el producto final.

No tejidos termosellados por fusión y compresión. Se obtiene por medio de la fusión de sus fibras, sobre las que se aplica presión con rodillos calientes (calandreado), pudiendo ser lo anterior en toda el área del geotextil, usando rodillos lisos o en áreas selectas del material, usando

rodillos que hacen contacto con las fibras solo en algunos puntos. El resultado son geotextiles relativamente delgados en los que las fibras no tienen libertad de movimiento y su comportamiento es tenaz. La permeabilidad es menor cuando se usan rodillos lisos.

Otros no tejidos. Existen otros procesos para fabricar textiles no tejidos que eventualmente pueden lograr la combinación de propiedades requeridas para las aplicaciones de construcción, aunque en la actualidad su producción es muy limitada, como la colocación de hilos desordenadamente directamente sobre la tierra. El mecanismo que se usa para este efecto es a base de aire.



Sistema Landstrand de aire para la aplicación de hilos sintéticos en forma desordenada.



1. Aplicación de hilos sintéticos con aire. 2. Capa de hilos desordenada a la orilla del camino terminada. 3. Aplicación de asfalto encima de la capa desordenada de hilos.

3.3.3 MATERIA PRIMA PARA GOEOTEXTILES NO TEJIDOS

Todos los tipos de fibras pueden ser usados para la producción de telas no tejidas, pero para su producción se usan comúnmente fibras sintéticas como el poliéster, polipropileno, polietileno y nylon. Los factores que

afectan las propiedades de las telas no tejidas son el tipo de fibra, su resistencia a tensión, la orientación, uniformidad y estructura geométrica del tejido.

Los geotextiles en especial son frecuentemente producidos por una combinación de dos diferentes tipos de procesos. El primero es la formación de la fibra ya sea filamento continuo o fibra corta, y el segundo es la unión entre las fibras por medio de agujado, calandria caliente u otros procesos o combinaciones.

Los pasos esenciales involucrados en la producción de telas no tejidas para aplicaciones de ingeniería civil son la formación y el afianzando. Ambas operaciones pueden efectuarse como dos pasos separados pero usualmente se desarrollan uno después del otro en una operación continua terminando con tratamientos para modificar las propiedades mecánicas de superficie que pueden formar también una parte de la producción pero este no es un paso esencial en la producción de geotextiles no tejidos. Desde el punto de vista de materiales en bruto, las fibras tienen una longitud entre 50 y 150mm.

Existen muchos métodos para la producción de telas no tejidas tal como, atar el hilado, fundir las fibras, etc., los cuales son apropiados para aplicaciones geotextiles. Otros métodos como puntadas, afianzados, adhesivos de afianzados, engrapados de fibra, afianzados térmicos, etc. son con menor frecuencia o rara vez usados para aplicaciones geotextiles.

La selección de un correcto tipo de fibra es crucial para su uso final, ésta se hace de acuerdo a cada caso. El interés principal en este papel, es la conversión de esta fibra en una tela no tejida con las características requeridas de desempeño. Por lo tanto los diversos métodos de producción de tela y afianzado en la fabricación de geotextiles es determinante para la elección correcta y su uso.

3.3.4 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEOTEXTILES NO TEJIDOS

Los geotextiles pueden producirse con fibra corta o filamento continuo. Basado en el método de producción, las telas de fibra de corta son

colocadas secas, mojadas o fundidas. Secas pueden utilizarse mediante cardado o por un método de aire que coloca hilos cardados paralelos, cruzados, o al azar.

El aire colocado en el tejido formado por la disposición aerodinámica de las fibras sobre una superficie perforada forma una orientación aleatoria de las fibras. Si se coloca mojado las telas se producen en coladeras con fibras en agua, este proceso es similar al de papel hecho a mano. En la técnica de derretir, el polímero es extruído con aire a alta velocidad que revienta el polímero en las fibras y los dirige al transportador para alimentar la máquina.

El método de cardado cruzado y el cardado aleatorio es el más usado en la producción de geotextiles. Las telas de filamento producidas por hilado del polímero, colocando el filamento extruído directamente sobre un transportador puede describirse como hilado colocado, la orientación de la fibra en estas telas es normalmente al azar.

PRODUCCION DE GEOTEXTILES CON FIBRA CORTA

Cuando se usan fibras cortas para producir geotextiles con fibra corta seca, se usa una línea apropiada de apertura y mezclado para estas fibras. Generalmente es necesario aplicar un lubricante de fibra en esta etapa para mitigar las agujas en el cardado subsiguiente si lo necesita. Se debe asegurar también que las fibras no se sequen demasiado a fin de evitar generación de carga electrostática. Esto también ayuda a reducir el vuelo de fibras especialmente en el caso de fibras más finas. La apertura y mezclado en las máquinas son más parecidos a los que se usan en la mayoría de los molinos de hilatura para fibras largas.

Después de abrir y mezclar, las fibras se cardan³⁵. El cardado con un rodillo descargador es muy común. La orientación de fibra de un tejido cardado es longitudinal. La tela que se produce desde una carda es normalmente muy delgada para cualquier aplicación geotextil, por lo que la tela se cruza para crear una estructura de peso requerido. Durante el cruzado que se realiza se cambia la dirección a 90° y esto cambia la orientación de la fibra en la máquina. El número de capas y dobleces para

³⁵ Cardar: Preparar con la carda un material textil para el hilado.

crear diferentes telas depende de la relación entre la velocidad de colocación, anchura y velocidad de secado. Para producir una tela regular cruzada con fines geotextiles se deben colocar un mínimo de 6 capas de tela.

Las máquinas integradas de cardado y tejido neumático forman sistemas que se han desarrollado recientemente. Las unidades aleatorias normalmente trabajan con el principio aerodinámico y transforman una colocación paralela o una colocación cruzada en una tela colocada al azar. La ventaja fundamental de este tipo de tela es un alto grado de fibra abierta debido al cardado. El resultado es una tela tan fuerte que se utiliza en aviones, es considerada de mayor resistencia que el tejido cruzado de fibra corta.

PRODUCCION DE TELA CON FILAMENTO CONTINUO

La colocación del hilado en telas hecho de filamentos, se produce directamente desde el polímero en un proceso integrado con la elaboración de fibras. Normalmente los polímeros tales como poliamidas, poliésteres, polipropileno y polietileno se funden para ser hilados, contraídos y depositados sobre una banda transportadora móvil.

Los gránulos de polímero se funden y posteriormente se forzan con bombas mediante extrusión a través de un gran número de perforaciones. Después se enfrían por conductos con aire acondicionado y se sacan usando alta velocidad en donde se ventilan con corrientes que se usan para producir la orientación requerida en los filamentos. Finalmente los filamentos separados se depositan en una banda aleatoria con succión para por debajo de ésta, para evitar que se dispersen.



Proceso de producción de tela no tejida con filamento continuo.

Existen otros tipos de mecanismos que colocan a las fibras en los conductos de aire electrostáticamente para ordenar a las fibras con un aspirador de aire, lo que asegura una distribución uniforme y una orientación aleatoria³⁶ de los filamentos sobre la banda transportadora. Dependiendo del peso que se pretenda la velocidad de la banda móvil puede ser ajustada.

PUNZONADO POR AGUJAS

En el proceso de punzonado con agujas, las agujas punzan armando el tejido al mismo tiempo que se apoya en un plato perforado, el tejido se une por la cohesión inherente de las fibras. Unir la fibra en la tela es esencial para hacer un producto útil. La consolidación mecánica de tejido por un proceso de punzonado con agujas es bastante popular para la producción de geotextiles.



Dibujo del tipo de aguja que se utiliza en el punzonado.

En el momento en que las agujas pasan a través del espesor de tejido, se llevan con él fibras que se atorran en las mismas. La aguja punza y se retira, mientras las fibras van formando un enredado voluminoso, más permeable, como fieltro para formar el geotextil. Las dos fibras que se usan principalmente son la fibra corta y los filamentos continuos.

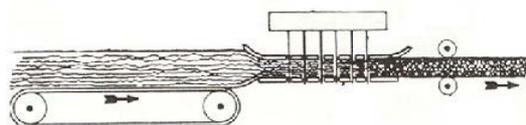


Ilustración del proceso por punzonado de agujas.

³⁶ Orientación aleatoria: Orientación al azar.

Los geotextiles punzonados con agujas provocan la imposición de tensión, con reorientación de las fibras con dirección de la tensión. Esto permite absorber esfuerzos por la estructura y hay una difusión progresiva de tensiones a través del tejido. La distribución de tensiones es buena y más uniforme cuando se usan tejidos del filamento continuo en lugar de fibra corta.

Los parámetros de la tela, los parámetros de las agujas y de la máquina, afectan las propiedades de las telas punzonadas. Dentro de los parámetros de la tela están las características de la fibra, el peso y la uniformidad. Dentro de los parámetros de las agujas influyen los diámetros de éstas y dentro de los parámetros de la máquina influye la velocidad y el tipo de máquina.

La profundidad de penetración de la aguja y la densidad del tejido son algunos de los parámetros del proceso importantes que afectan las propiedades del tejido resultante. Mecanizar el sistema como el tipo de aguja, el orden del punzonado de la aguja y la alimentación de la fibra tiene también un efecto en las propiedades de las telas resultantes.

El tejido puede ser consolidado por ambos lados, en una máquina de punzonado doble. Así, este geotextil es posteriormente cortado de los lados y enrollado.³⁷

EJEMPLOS

Enseguida se mencionan algunos ejemplos en los que se han utilizado geotextiles no tejidos con gran éxito.

- La pequeña isla de Chek Lap Kok mide apenas 3km², por esta condición la construcción del nuevo aeropuerto de Hong Kong tuvo que desplazarse para formar parte de una isla hecha por el hombre que mide 20km²; la isla ha sido nivelada 6 ó 7 metros por encima del nivel del mar con materiales que bombean desde el fondo del mar para recuperar tierra. Un estimado de 367 millones de metros cúbicos de piedras, arena, grava y lodo tuvo que desplazarse a la isla antes de que la construcción se iniciara. Una pesada red de

³⁷ "Geotextiles, Proceedings of the international workshops on geotextiles, Bangalore India, 1991. Pág. 3-5

geotextil no tejido es la que actualmente protege los 13km de costa.

- En todo el mundo el relleno de tierra y los lugares para depósito de basura generan un sin número de problemas que son enfrentados por la industria. El gas metano es generado por la compresión natural de los materiales, al igual que en ambientes industriales. Los gases pueden obtenerse de las rocas de carbón y de formaciones naturales. El geotextil no tejido utilizado en éste caso conduce el gas dirigiéndolo hacia los drenes que prevendrán su acumulación. Una geomembrana impermeable puede colocarse por abajo del geotextil no tejido si es que el problema es la basura, o por encima si el problema viene de la superficie.³⁸

3.3.5 PRINCIPALES APLICACIONES DE GEOTEXILES NO TEJIDOS

Aplicaciones en la construcción de vías terrestres:



Carreteras, aplicación en una de las capas inferiores al pavimento.

Carreteras, aplicación en una de las capas inferiores al pavimento.



Pavimentos de Aeropuertos, aplicación en una de las capas inferiores a la pista.

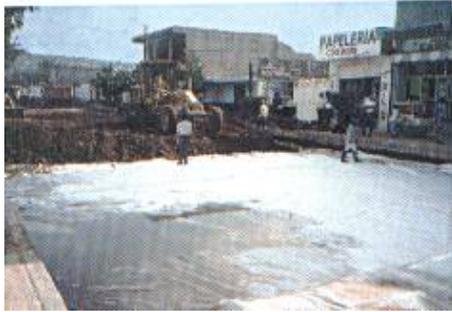
Pavimentos de Aeropuertos, aplicación en una de las capas inferiores a la pista.

³⁸ Braddock, Sarah E. Marie, O'Mahony, "Techno Textiles", 1ª edición, Thames and Hudson, Inglaterra, 1999.



terraplén.

Terraplenes, aplicación antes de construir el



inferiores del pavimento.

Pavimentos Urbanos, aplicación en las capas



férrea.

Vías de Ferrocarril, aplicación por debajo de la vía



plataforma no se deforme con el uso.

Plataformas, aplicación con la finalidad de que la



Pavimentos de Adoquín, aplicación por debajo del adoquín para que no se deforme con el uso.



Pavimentos de puertos, aplicación para reforzar las orillas de los puertos.



Caminos de Acarreo, aplicación para evitar la deformación del camino.

Aplicaciones de geotextiles no tejidos para proteger estructuras contra la erosión:



Pilas de puentes, aplicación previa a las pilas de puentes para evitar deformación por peso.



Protecciones costeras, para evitar la erosión.



Protecciones de canales, para evitar la erosión.



Conservación de suelos, aplicación para evitar su deformación.

Contención de azolves y rellenos hidráulicos:



Tarquinas, aplicación para evitar la migración de partículas.



Construcción de espigones temporales para la recuperación de playas.



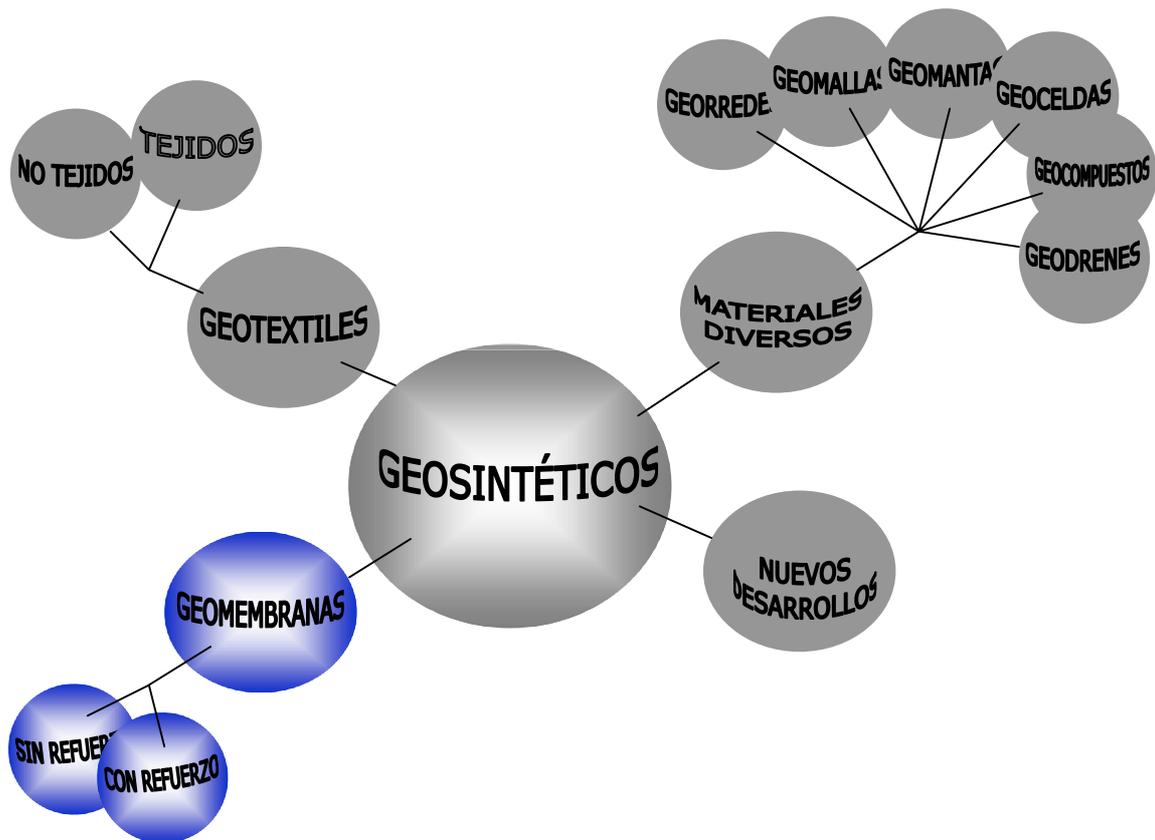
Construcción de islas artificiales en zonas inundadas



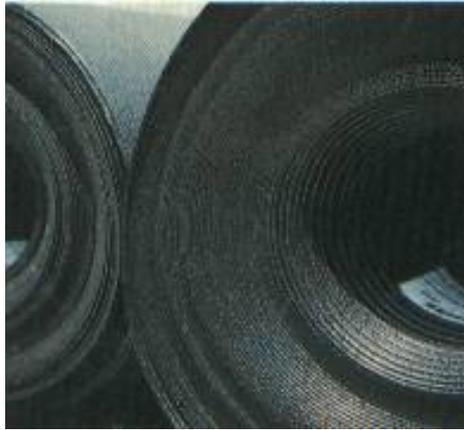
Confinamiento de áreas lagunares o marítimas, para evitar la migración de peces en acuicultura.

CAPÍTULO 4

En este capítulo se muestra la segunda rama importante de los geosintéticos, que son las geomembranas, explicando lo que se conoce como geomembrana y los primeros desarrollos que se hicieron de este tipo de productos, así como su clasificación por estructura y por composición química. Comenzando por la materia prima con que se elaboran, el proceso de producción, y sus principales aplicaciones.



4.1 GEOMEMBRANAS



Son materiales de construcción cuyo componente principal son polímeros que se procesan en forma de láminas continuas, que poseen total impermeabilidad¹.

Las geomembranas realizan una función muy diferente a la de los geotextiles, actuando como barreras de fluidos; todos éstos materiales juegan un papel vital en la protección y desarrollo de jardines urbanos y rurales.²

4.1.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEOMEMBRANAS

El antecedente más claro del uso de los geosintéticos como barrera de líquidos fue el utilizado en la época del Imperio Romano al aplicarlo en acueductos, los cuales se impermeabilizaban con arcillas pobres de baja permeabilidad. Pero fue a principios del siglo XX cuando se empezaron a utilizar impermeabilizantes bituminosos³ (derivados del petróleo). En la década de los años 1930 se emplearon las primeras capas impermeables con fibras sintéticas, hechas con base en polímeros.⁴

¹ Impermeabilidad: Impenetrable al agua o a otro fluido. Hermético, impenetrable, cerrado.

² Braddock, Sarah E. Marie, O'Mahony, "Techno Textiles", 1ª edición, Thames and Hudson, Inglaterra, 1999.

³ Bituminoso: Que tiene betún o semejanza con él.

⁴ Calles, A.; Santa Ana, J., "Diseño y construcción de rellenos sanitarios utilizando geosintéticos" (tesis). UIA, México, D.F. 1999. (49-65).

Los polímeros básicos que se usan en geomembranas y se utilizan en la actualidad se empezaron a fabricar en 1933 iniciando con materiales como PVC⁵ y posteriormente con forros de polietileno de baja densidad y caucho⁶; materiales que aparecieron previamente al inicio de la Segunda Guerra Mundial. El polietileno de alta densidad fue descubierto por Karl Ziegler en 1953 e inició su producción comercial en Alemania, alrededor de 1955.

El PVC fue uno de los primeros materiales poliméricos usado para impermeabilizar. En un principio se usaron hojas de PVC para forrar albercas a finales de 1930 y principios de 1940, sin embargo, la experimentación con el uso de geomembranas para el almacenamiento de agua y aplicaciones de transporte empezó de manera formal a principios de los años 1950. Los primeros trabajos en esta materia se realizaron en la Universidad del Estado de Utah donde se utilizó PVC como forro para los estanques de almacenamiento de agua y NBR hule butilo⁷ para los forros del canal. Alrededor de 1953 se usó una geomembrana de polietileno para forrar el canal de Montana y cuatro años más tarde una geomembrana de PVC para un proyecto de irrigación⁸ en Wyoming. En 1960 se usó una geomembrana de PVC en la cara superior del dique de Terzaghi compensando anticipadamente la estructura y evitando con esto la fractura que podía ocurrir en la capa de arcilla subyacente.

En Alemania previamente a la Guerra Mundial, había aplicaciones de geomembranas de polietileno de baja densidad para protección del subsuelo, pero en muchos lugares de América del Norte, las primeras aplicaciones de geomembranas no se desarrollaron sino hasta principios de los años 1960. Al mismo tiempo, un betún reforzado con un tejido de poliamida⁹ se desarrolló en Holanda para forrar canales, aunque el PVC se usó para forrar túneles, diques y medios de almacenamiento de agua.

El final de los años sesenta y principios de los setenta dieron testimonio de una explosión en la cantidad de polímeros en el mercado y esta situación se incrementó con el intercambio de tecnologías sobre polímeros

⁵ PVC: producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo.

⁶ Caucho: Látex producido por arboles tropicales que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.

⁷ NBR hule butilo: hule butadiene-acrilonitrilo es un copolímero de butadieno con estireno.

⁸ Irrigación: Aplicar el riego a un terreno.

⁹ Poliamida: Polímero caracterizado por la presencia de múltiples grupos amida.

entre Europa y América del Norte. En Europa se adoptaron los métodos más económicos de polimerización que se habían establecido en Estados Unidos; mientras que el polímero de polietileno y la tecnología de producción, sobre todo para el polietileno de mediana y alta densidad, se difundieron desde Europa. Posteriormente, en Sudáfrica se desarrolló una técnica del polietileno de alta densidad ligando las técnicas de otros continentes.

Para esa época, la principal aplicación de las geomembranas se encontraba en el almacenamiento, transportación de agua y la protección de contenedores de residuos peligrosos, aunque para entonces aun se encontraba lejos del nivel de uso que tendría años mas tarde.

En los años 1970 inició una seria preocupación por el medio ambiente, particularmente respecto a la contaminación de recursos acuíferos por basura industrial, agrícola y doméstica. Una preocupación particular surgió con respecto a la práctica común de la disposición descontrolada de basura y desechos en depósitos que se presentaba en Europa y América del Norte.

Un inconveniente mayor en este método de disposición se detectó al identificar que la filtración de agua que se mezclaba con la basura producía un combinado de químicos peligrosos. Esta mezcla líquida tóxica sufre el proceso de lixiviación¹⁰, y puede emigrar a través del suelo o paredes de un hoyo para contaminar mantos acuíferos.

De esta manera, para 1976 los Estados Unidos establecieron normas para la disposición de desechos mediante el "Acto para la Recuperación y Conservación de los Recursos" (RCRA) que habilitó la Agencia para la Protección del Ambiente de los Estados Unidos (EPA). En 1982, se agregó a los requisitos de la EPA la prevención de contaminación de suelo y mantos acuíferos producida por los contenedores de desechos peligrosos para lo que se incluyó, como requisito obligatorio, la utilización de geomembranas poliméricas.¹¹

¹⁰ Lixiviación: Modificar un material por medio de un disolvente. Infusión de basura.

¹¹ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. (15-17)

En Europa, la Comunidad Económica Europea (CEE), implementó en 1986 en el Real Decreto Legislativo 1302 de Evaluación de Impacto Ambiental, en donde se exige la protección del suelo.¹²

En México, los residuos peligrosos son regulados de manera específica por la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Medio Ambiente (LGEEPA, publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 28 de enero de 1998), que establece que se deben introducir tecnologías que permitan revertir el fenómeno de contaminación del suelo y mantos acuíferos.

4.1.2 CLASIFICACIÓN DE GEOMEMBRANAS

Por su estructura:

Geomembranas sin refuerzo

Son láminas continuas que se fabrican en diferentes espesores (2 a 3mm) y anchos (1.20m., 7m., 11m.) cuyo único componente es el polímero mismo.

Geomembranas con refuerzo

Existen dos tipos, según se describe a continuación:

GEOMEMBRANAS CON REFUERZO INTERMEDIO

Son laminaciones de dos o más geomembranas, en las que se intercalan mallas tejidas de refuerzo.

GEOMEMBRANAS CON REFUERZO INTEGRADO

Se integra hilo sintético de alta tensión con el polímero de la tela, en un solo producto en donde los componentes no pueden desprenderse en capas.

4.1.3 MATERIA PRIMA PARA ELABORAR GEOMEMBRANAS

Polímero que imparte las propiedades de barrera hidráulica:

- Cloruro de Polivinilo (PVC) Tienen el inconveniente de ser perforadas por ratones.

¹² Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente. n.167. España. Febrero 1999.

- Polietileno de alta densidad (HDPE). Son las de mayor uso.
- Hule Butilio¹³ (IIR)
- Polipropileno (PP)
- Poliuretano (PUR).
- Hypalon¹⁴. Es resistente a la oxidación e inmune al ozono y UV.
- Con Bentonitas

¹³ Hule Butilo: Hule Isobutileno-Isopreno.

¹⁴ Hypalon: Es una marca registrada para el caucho sintético de polietileno clorosulfonado conocido por su resistencia a los productos químicos, a las temperaturas extremas y a la luz ultravioleta.

4.1.4 DIFERENCIAS ENTRE GEOMEMBRANAS Y GEOTEXTILES

Las geomembranas son diferentes a los geotextiles por muchas razones. La primera es que las geomembranas esencialmente desarrollan una función mayor para servir como una barrera a los fluidos. En contraste los geotextiles desarrollan una función múltiple como separador, reforzador, dren o filtro. Para servir su función de diseño las geomembranas tienen muy baja permeabilidad, mientras que los geotextiles por su naturaleza física tienen una permeabilidad mayor.

La segunda diferencia es que las geomembranas son comúnmente utilizadas como componentes clave para proveer un servicio de larga duración en ambientes muy agresivos, como depósitos de basura municipal. En contraste los geotextiles son realmente requeridos para funcionar simultáneamente en ambientes menos agresivos pero también con una vida de servicio considerable. Además, la durabilidad y longevidad es una consideración para el diseño de geotextiles mientras que en las geomembranas son elementos imperativos del diseño. Adicionalmente a estas diferencias se identifican diferencias físicas en la forma y tipo de polímeros.

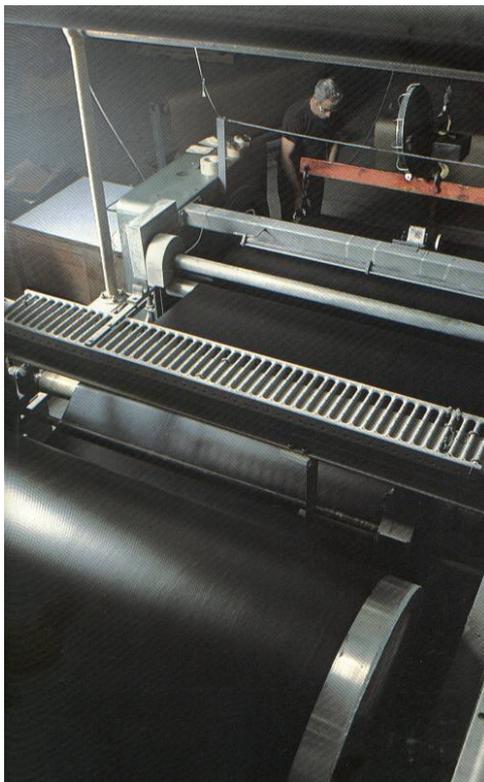
Más del 95% de los geotextiles están hechos de polipropileno que puede ser convertido en docenas de diferentes formas para producir igual número de diferentes estructuras. Contrariamente, las geomembranas pueden ser derivadas de muchos tipos de polímeros usando procesos básicos de conversión.¹⁵

4.1.5 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEOMEMBRANAS

Los procesos más comunes son la extrusión, el laminado y el soplado. Las geomembranas no reforzadas, particularmente aquellas basadas en polímeros semicristalinos tales como el polietileno, son producidas por

¹⁵ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. (150)

calandra¹⁶. Las geomembranas delgadas pueden ser producidas mediante el soplado¹⁷ de películas.



Producción de geomembrana por calandra.

El laminado es el proceso más común y es usado para la conversión tanto de componentes poliméricos o de hule, para producir geomembranas reforzadas y no reforzadas. Las telas reforzadas tienen comparativamente aberturas de alrededor de 2mm por lo que la hoja del polímero en ambos lados de la pieza es extruída por estas aberturas durante la laminación para obtener un polímero enlazado.

El revestimiento extendido es el segundo proceso de producción más común pero se aplica solo a las geomembranas reforzadas, en él literalmente se extiende el compuesto polimérico en un sustrato¹⁸. Una característica significativa de este sistema es que al compuesto polimérico se le da una consistencia manejable mediante la adición de solventes más que por la aplicación de calor, los principios de este proceso son similares al fundido de películas con la diferencia de que el fundido involucra una

¹⁶ Calandra: Es un proceso de fabricación con estiramiento a presión continuo entre un par de cilindros.

¹⁷ Proceso de soplado: Se hace por medio de extrusión del polímero en un proceso continuo en donde se somete a un proceso de estiramiento por medio de soplado de aire, posteriormente se enfría y la lámina formada y pasa al área de corte.

¹⁸ Sustrato: Estrato que subyace a otro y sobre el cual puede influir.

banda transportadora que lleva el polímero hacia una cuchilla que controla el grosor de la hoja resultante.

Una técnica similar aplica al proceso de revestimiento extendido excepto que la banda se cambia por un rodillo que acarrea la hoja. La cuchilla extiende el polímero siguiendo las partes tratadas con calor de la geomembrana reforzada.

Son dignos de mención las llamadas líneas de arcilla geosintética que no son hojas poliméricas sólidas, sino una capa muy delgada de arcilla bentonítica activada aprisionada entre dos hojas de geotextil tejido o no tejido. Se emplean diferentes procesos de producción incluyendo el enlazado de láminas con adhesivos solubles en agua o el punzonado a través de las capas del geotextil.



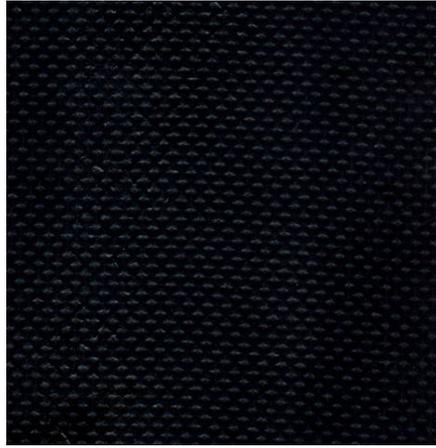
Fotografía de una línea de arcilla geosintética.

La idea es que cada punzada sea tratada conforme la capa de arcilla bentonítica se hidrata y subsecuentemente se expande para cerrar la punzada. Como trabaje en la práctica este proceso, estará en función de la mineralogía¹⁹ de la arcilla ya que la capacidad de expansión de la arcilla varía en cada ciclo de humedecimiento y secado, además de la técnica de enlace utilizada.²⁰

Existen otro tipo de geomembranas, hechas con un tejido plano en medio, lo que aumenta su estructura y las hace mucho más resistentes, la geomembrana resultante tiene un dibujo uniforme tanto en la parte superior como en la inferior.

¹⁹ Mineralogía: Ciencia que estudia los minerales.

²⁰ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. (151)



Geomembrana con tejido plano.

4.1.6 PRINCIPALES APLICACIONES

Las geomembranas se usan como barrera impermeable a la acción del agua: productos químicos, petroquímicos, desechos sólidos (industriales y urbanos), minería, así como para el almacenamiento, conservación y tratamientos de agua y uso en piscicultura, sobre diferentes sustratos, que pueden ser tierra, arena, concreto o acero.²¹

²¹ Información técnica de productos Poliliner.

Impermeabilización de presas.



Aplicación de geomembrana en presa en Tecna, Perú.

Impermeabilización de lagos artificiales



Aplicación de geomembrana en Resort de Treetops Sylvan. Gaylord, MI.

Impermeabilización de cisternas



Aplicación de geomembrana en cisterna, en Desarrollo en Santa Fe.

Impermeabilización de piscinas



Rehabilitación de la piscina de la Universidad Politécnica de Valencia, instalando geotextil y geomembrana laminada.

Impermeabilización de rellenos sanitarios



Aplicación de geomembrana en Patio de lixiviación en Alto Chicama, La Libertad.

Impermeabilización de canales de riego



Obra hidráulica de canalización de vía fluvial en Ferreira do Alentejo, Brasil.

Impermeabilización de túneles



Impermeabilización con geomembrana en el Tunel Somport entre Espana y Francia.

En cuestión de recursos hidráulicos hay algunos ejemplos interesantes con respecto al uso de geomembranas (pantanos, trasvases, etc.) uno de los principales es el uso en embalses²² para riego en zonas de cultivo, que resuelven en forma puntual y relativamente económica, generalmente con cierta rapidez, los problemas de suministro de agua para la agricultura. Dentro de este tipo de obras, los embalses de tierra impermeabilizadas con láminas plásticas o de otro tipo, han tenido un desarrollo notable en los últimos años.²³

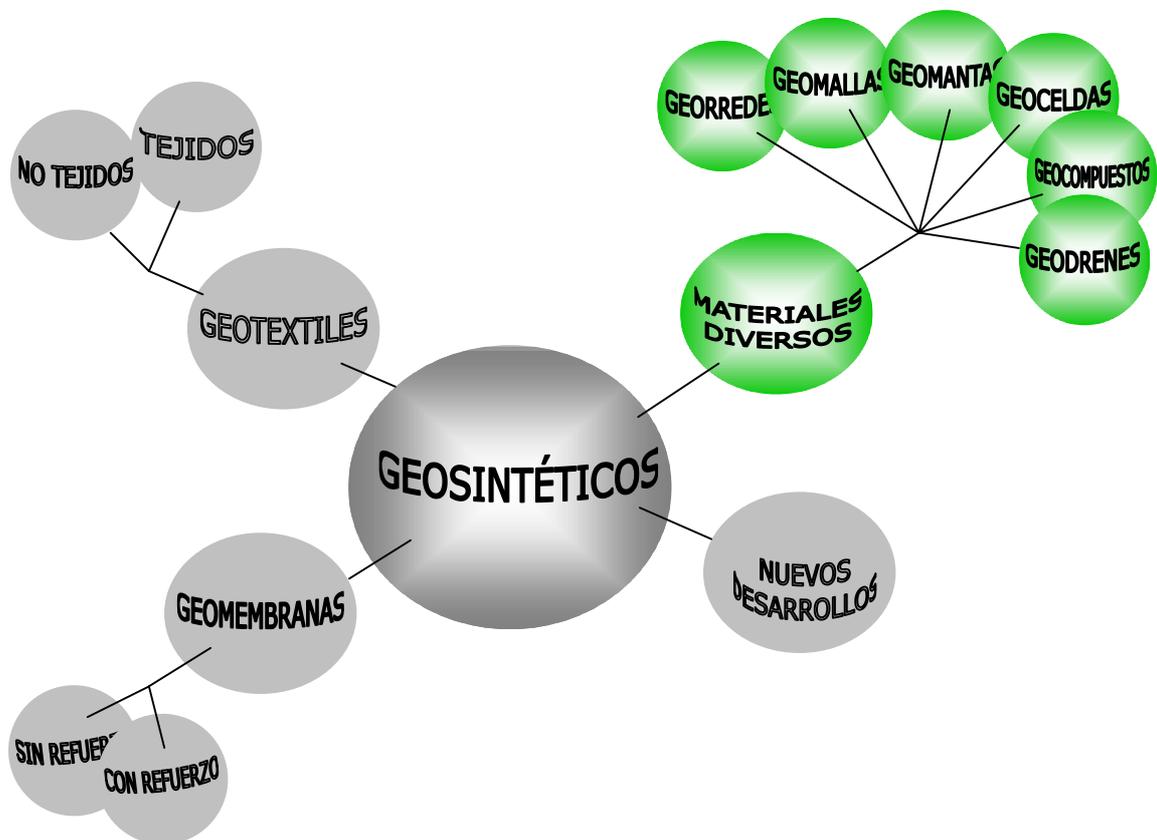
²² **Embalse:** Hoyo del terreno que se llena de agua charca.

²³ www.evi.com.mx

CAPÍTULO 5

MATERIALES DIVERSOS

Este capítulo engloba a mucho mas productos que son el resultado de cubrir necesidades especificas, producto de la experimentación e investigación a partir de los primeros desarrollos en geosinteticos; como son las georredes, geomallas, geomantas, geoceldas, geodrenes y geocompuestos. Dando a conocer los primeros desarrollos, materia prima con la que se elaboran, los diferentes tipos de procesos de producción con los que se fabrican y finalizando con sus funciones y aplicaciones.



5.1 GEORREDES



Las georredes son mallas estructurales cuya principal función es actuar como refuerzo. Las aplicaciones más comunes incluyen el reforzamiento de muros de tierra y pendientes de tierra y piedras. El método usual es el traslape entre la red y la superficie a reforzar. La mecánica del traslape crea una plataforma rígida pero flexible que puede distribuir las fuerzas. Las georredes tienen una función similar a la de las geomallas cada una con algunas variaciones. Los materiales usados normalmente son el polipropileno y polietileno. La principal distinción entre estas estructuras radica en el método de fabricación. Esto es lo que da a cada una características especiales de funcionamiento.

Las láminas usadas en la fabricación de georredes son extruídas y posteriormente cortadas y divididas en intervalos regulares. La lámina plástica se perfora en la dirección en que la máquina trabajará. Las perforaciones en la hoja se pueden agrandar para convertirse en aperturas de una malla.

La diferencia entre una georred y un geotextil es que los hilos transversales y longitudinales de una georred no son tan dúctiles o flexibles como en un geotextil, y la georred es más resistente a la tensión.

GEORREDES ORIENTADAS

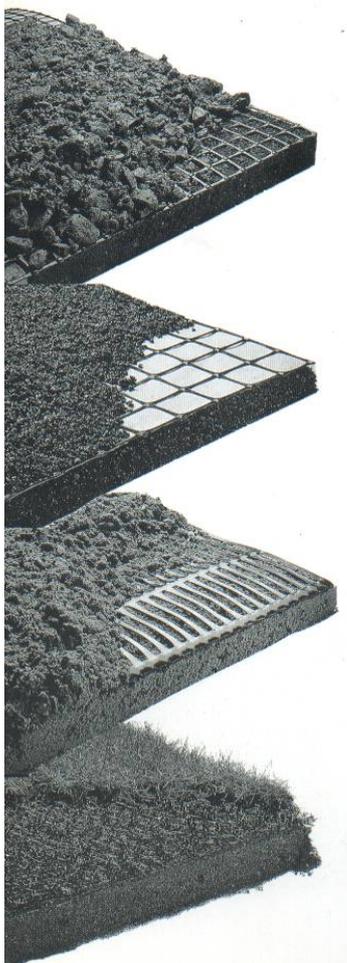
Las georredes son propuestas principalmente como refuerzo de la tierra, para aplicaciones como el refuerzo de paredes de tierra verticales, o

cuestas empinadas y fuerza tensil. Para otras aplicaciones, como el refuerzo de subgrados, sub-bases y cubiertas asfálticas, donde se requiere fuerza tensil en dos direcciones ortogonales.

Además de proporcionar la tensión requerida, las georredes deben mostrar una adecuada fricción entre la georred y la tierra. Generalmente el cumplimiento de este requisito no es problemático ya que, cuando la georred es introducida en alguna de las capas del suelo, las partículas de tierra en la parte superior e inferior de la georred se pueden unir a través de las aberturas en la reja. Esto lleva a una alta eficacia en el movimiento de fricción entre la tierra y la georred.



Ejemplo de fricción entre georred y capas del suelo.



Ejemplos de diferentes tipos de georredes, cada una se explicara mas adelante.

Las georredes no son producidas con un método común. Sin embargo comparten una geometría similar que comprende dos juegos de carga ortogonales de elementos unidos que encapsulan las aberturas rectangulares o cuadradas. Debido al requerimiento de alta fuerza tensil y a las propiedades aceptables de deslizamiento, todas las georredes viables se producen con plástico orientado molecularmente. La diferencia principal entre las redes de diferente estructura se basa en la dirección en la que se cruzan los elementos para ser unidos en la máquina.

5.1.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEORREDES

Este desarrollo en resistencia se logró en 1980, cuando en el Reino Unido se empezaron a desarrollar fibras de poliéster como elemento reforzador. Uno de sus usos principales es el de reforzar suelos al igual que los materiales de construcción. Las cargas de la geored se transmiten por medio de intersecciones de líneas transversales y longitudinales, adicionalmente a las georedes se les agregan dibujos parecidos a los de un neumático de automóvil, esto con la finalidad de aumentar la resistencia a la fricción de su superficie y así evitar el deslizamiento.

PRIMEROS DESARROLLOS EN GEORREDES ORIENTADAS

Distinto a las geomallas, las georedes poliméricas fueron desarrolladas para aplicaciones de refuerzo en tierra. Su función y diseño es similar a la de los zapatos para nieve, soportando el peso de una persona sobre ésta, sin hundirse.



Base de zapato de nieve.

Las georedes son normalmente más fuertes que las geomallas, tienen sustancialmente forma cuadrada o rectangular, definida por elementos estructurales longitudinales y transversales. Su principal aplicación es el refuerzo de muros verticales o escalonados. Algunas técnicas modernas para el refuerzo de muros de tierra fueron introducidas en Francia en 1963 y se utilizaron unidas a refuerzos de acero planos detrás de paneles de concreto precolado.

Aunque el refuerzo de tierra ha prevalecido por encima de otros sistemas, los años 1970 fueron testigos de la proliferación de varios sistemas para el reforzamiento de muros de tierra tanto en Europa como en Norteamérica. En la mayoría de los casos se emplearon unidades de concreto, en donde el refuerzo de tierra variaba ampliamente. En el Reino Unido se usaron tiras de refuerzo, que podían ser de plástico reforzado, compuesto de filamentos de poliéster incorporados en tiras de polietileno. En Estados Unidos se prefirió el uso de mallas delgadas, que tenían forma de franjas, este material se asoció con diferentes sistemas para muros introducidos entre 1973 y 1975.

Tal vez, como mezcla lógica entre de las mallas de acero usadas en Estados Unidos y las franjas de polímeros utilizadas en el Reino Unido fue cómo surgió en Europa la georred polimérica en 1979, introducidas por RDB Plastotechnica de Italia y Netlon del Reino Unido, quienes introdujeron respectivamente "TENAX" y "TENSAR" que son georredes molecularmente orientadas.

Estas georredes son únicas en el proceso de producción que involucra a la extrusión y el alargamiento de hojas de polímero para formar costillas de forma longitudinal y transversal que son unidas por nodos integrales. El proceso de alargamiento para producir alta resistencia y baja elongación es utilizado en georedes para aplicaciones de refuerzo de tierra, y aunque fueron utilizadas inicialmente en la construcción de muros verticales, actualmente han encontrando mayores aplicaciones en el refuerzo de pendientes.

Los años 1980 encabezaron la introducción de una gama más amplia de georredes, en las cuales, a diferencia de las georredes orientadas, los miembros longitudinales y transversales son adheridos en los puntos de empalme. Uno de los primeros ejemplos fue PARAGRID, que esencialmente comprimía tiras unidas al calor en los puntos de cruce para formar empalmes. Lo siguieron un grupo de geotextiles relacionados a las georredes, compuestos generalmente por elementos longitudinales y transversales producidos con la unión de filamentos de poliéster con PVC.

Posteriormente se usó una variedad de métodos para formar las uniones. Desde doblar hasta pegar los filamentos de poliéster.

5.1.2 MATERIA PRIMA PARA GEORREDES

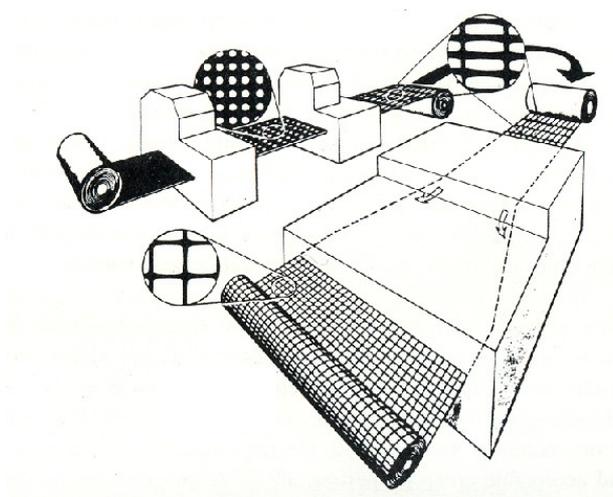
Los polímeros que generalmente se usan en la fabricación de georredes son polietilenos de alta densidad y polipropilenos. Las láminas de polietileno se someten a cortes y perforaciones para así formar la red, para después darle un estiramiento en dirección uniaxial o biaxial, este estiramiento se tiene que realizar en condiciones especiales de temperatura, controlando el esfuerzo para evitar la fragilidad y darle ductilidad.

5.1.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEORREDES

GEORREDES ORIENTADAS

Unión integral de georredes.

Es un método de producción integral que se produce en plano, involucra el troquelado¹ (suaje) y estiramiento de una hoja plana extruída en intervalos regulares. La acción de estirar la hoja en dirección de la máquina, simultáneamente extiende las aberturas de la hoja, para convertirse en aberturas de la red, e induce la orientación molecular del material sólido en dirección del estiramiento.



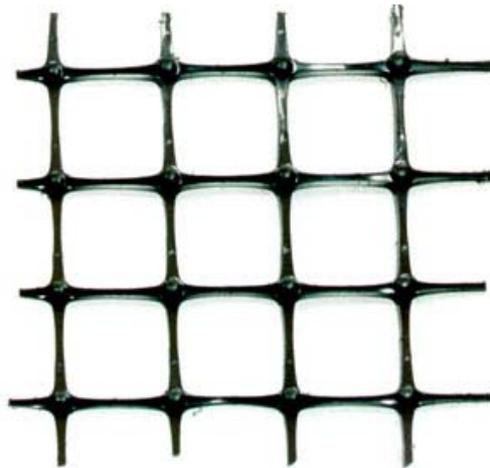
Dibujo del proceso de fabricación de georredes.

¹ Troquelar: Recortar con troquel piezas de plástico, cuero, cartones, etc.



El resultado final es una georred orientada uniaxialmente con una geometría común.

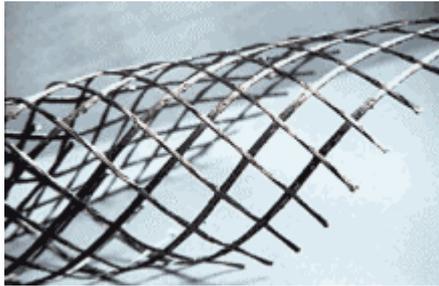
Habiendo estirado la reja en dirección de la máquina (vertical), hay la opción de estirar la reja en dirección cruzada de la máquina (horizontal). Esta acción ensancha las aberturas inicialmente alargadas, hasta formar cuadrados, y al mismo tiempo induce la orientación molecular en dirección cruzada de la máquina lo que produce una reja biaxialmente orientada.



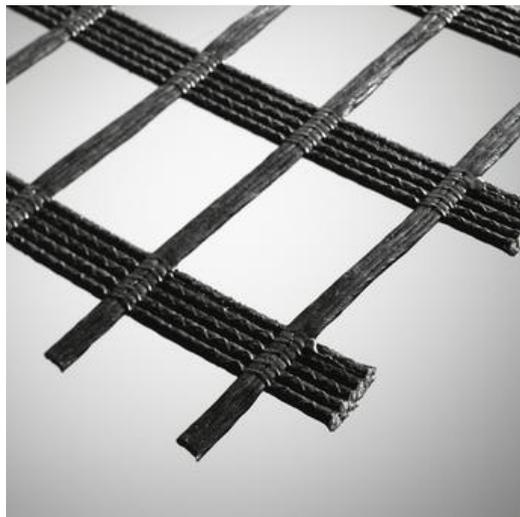
Estructura de georred biaxial.

Las estructuras resultantes dan lugar a una compleja distribución interior de la tensión y esfuerzo bajo carga tensil. En la georred estirada uniaxialmente, la proporción de estiramiento varía a lo largo del elemento longitudinal, así como la orientación máxima, con lo cual, el punto donde se presenta ruptura con la mínima tensión ocurre cerca del área donde la sección transversal es menor, es decir, donde el material está más delgado por el estiramiento.

GEORREDES TEJIDAS



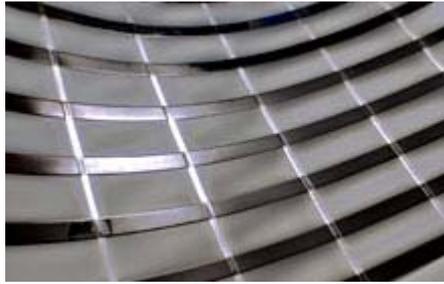
Las georedes tejidas usadas para el refuerzo de la tierra, comprenden una estructura de esqueleto resistente a la carga y una capa protectora al exterior. Comúnmente, la máquina y los elementos en dirección cruzada de la máquina son multifilamentos de poliéster de alta tenacidad. Donde la urdimbre y filamentos de la trama cruzan y se entrelazan tejiéndose en múltiples niveles para formar una unión resistente. La estructura de esqueleto esta generalmente cubierta con acrílico o PVC para proporcionar mayor protección contra el medio ambiente y los daños provocados por la construcción.



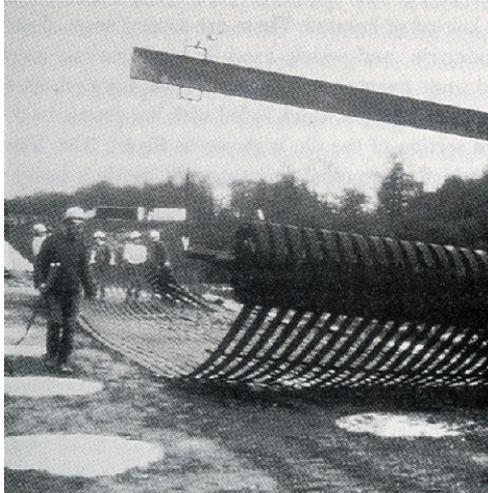
Fotografía de geored tejida hecha con multifilamentos de poliéster.

UNION DE GEORREDES POR FUNDIDO.

Las tiras de poliéster de alta tenacidad, o tiras compuestas que comprenden líneas de multifilamento de poliéster de alta tenacidad con una funda exterior de polietileno. Pueden usarse como mecanismo de refuerzo gracias a los elementos cruzados con puntos de unión fundidos por calor o soldadura ultrasónica.



Fotografía de georred unida por fundido.

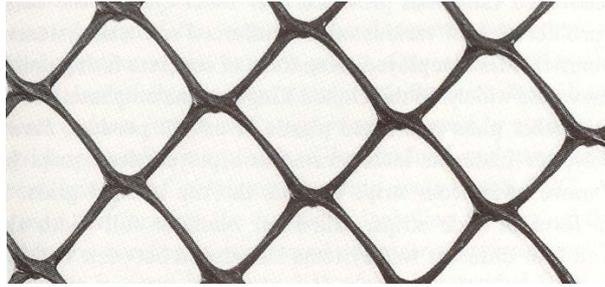


Aplicación de georred hecha con tiras de poliéster unidas por fundido, en Virginia.

Las tiras compuestas, son sumamente versátiles ya que también pueden usarse de forma suelta, como tiras múltiples para refuerzo debajo de la tierra, o incluso pueden tejerse en un tejido pesado con aplicaciones para trabajos de protección.

PRIMEROS DESARROLLOS EN GEORREDES NO ORIENTADAS (NO PRETENSADAS) POR MÉTODO DE EXTRUSIÓN COAXIAL ROTATIVA

Los trabajos pioneros en el desarrollo de georredes fueron creados a principios de 1960 por Netlon en el Reino Unido en forma de mallas extruídas integralmente.



Fotografía de georred extruida integralmente.

Estos productos se usaron por primera vez en aplicaciones de ingeniería civil en el año de 1965 cuando se utilizaron en los trenes nacionales de Japón para incrementar el rendimiento de la erosión del suelo en diques. Los japoneses utilizaron georedes tubulares rellenas con rocas o rellenos granulares para proteger los trabajos en la costa. Debido a su baja resistencia y alta elongación las geomallas nunca fueron una opción viable para el refuerzo de tierra por lo que ahora son principalmente usadas en aplicaciones para el control de la erosión.

La primer georred de polímero extruido fue producida alrededor de 1974 por Netlon en el Reino Unido para usarse como base conductora de agua en drenes. Estas fueron producidas usando la misma técnica empleada para las geomallas.

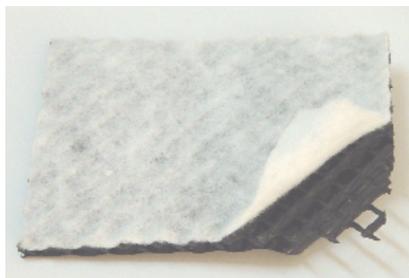
Sin embargo, debido a la versatilidad de la técnica, fue posible producir una estructura de apariencia plana similar a la geomalla, comprimiendo dos juegos paralelos de costillas fundidos en sus puntos de cruce para producir un patrón de malla en forma de diamante. Esta estructura tiene la capacidad de alojar el flujo de líquidos en el plano de la geored.²

GEORREDES NO ORIENTADAS

A primera vista, las georedes no orientadas parecen similares a las georedes anteriores, sin embargo, en lugar de las dos series paralelas de elementos intersectados en ángulos rectos para formar aberturas rectangulares, las georedes no orientadas se intersectan normalmente de 60° a 80° para formar una abertura en forma de diamante. Si se examina de cerca se puede observar cómo una serie paralela de elementos que están colocados encima de otra serie subyacente crea una estructura con

² Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 12.

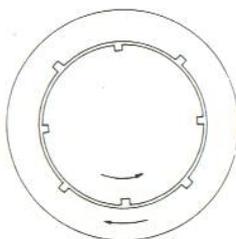
una profundidad de 5 a 10mm. Si una lámina de geored se intercala entre dos láminas de geotextil y geomembrana actúa como un espaciador, que por las virtudes de la estructura de la geored, puede transmitir flujo de líquido a lo largo de los pasajes continuos formados por la geored.



Lintodrain GMF, geocompuesto drenante e impermeabilizante. Está formado por una geored de polietileno de alta densidad y termosoldado a ésta un geotextil de polipropileno como filtro, por un lado, y una geomembrana impermeable por el otro.

Se usan georedes no orientadas principalmente como centro conductor de fluidos. Las georedes pueden colocarse y satisfacer una gran variedad de aplicaciones en desagüe³, particularmente donde se requieren extensiones grandes. La aplicación más grande de georedes se encuentra en contenedores de desechos sólidos (basureros municipales) donde se usan en asociación con geomembranas, para la recolección de lixiviados y desagüe.

Las georedes plásticas no orientadas no se consideran redes ya que sus puntos de intersección son extruídos integralmente en lugar de tejerse o anudarse. Existen diferentes métodos para producir georedes, pero el más productivo, y más ampliamente usado, es un ingenioso método de extrusión integral inventado hace veinte años por Netlon Limited. El centro de este proceso es un dado que gira en sentido contrario y se alimenta con plástico caliente a presión.



Dibujo de una sección simplificada del dado.

³ Desagüe: Acción y efecto de desaguar o desaguar. Desaguar: Extraer, echar el agua de un sitio o lugar.

El dado consiste en un eje interno que es montado concéntricamente dentro de un casquillo tubular muy resistente.

La periferia exterior del eje se mecaniza con las hendiduras longitudinales, aunque la sección tubular del dado tiene también las hendiduras longitudinales mecanizadas en su periferia interna. Si el eje fuera plano y estacionario, y la sección tubular del dado tendría sólo una hendidura, y también fuera estacionaria, entonces cualquier plástico extruído a través del dado podría formar una cuerda recta que tiene la misma forma que la hendidura en la sección tubular. Si la sección tubular se rueda entonces, la cuerda extruída formaría en el sentido de las agujas del reloj una escalera de caracol. Obviamente, si el tubo tiene varias hendiduras longitudinales entonces la expulsión y rotación producen simultáneamente en el sentido de las agujas del reloj algunos escaleras de caracol que se colocan paralelas entre si pero sin conectarse.

Si ahora, se considera que la sección tubular no tiene ninguna hendidura y es estacionaria, pero el eje es ajustado y rotado, la extrusión tomaría la forma de varias escaleras de caracol que se colocan paralelas entre sí pero no se conectan. Cuando ambas secciones internas y externas del dado, giran entonces se producen dos juegos de escaleras de caracol simultáneamente, al mismo tiempo las hendiduras internas y externas se alinean entre sí, para formar una sola de doble de espesor. En este momento los puntos de cruce entre las dos escaleras de caracol forman uniones extruídas. Por consiguiente la extrusión toma forma de una georred tubular.

Este tubo extruído continuamente es alimentado coaxialmente⁴, encima de un eje que estira el tubo al diámetro requerido. Este proceso de estirado tiene el efecto de inducir un grado de orientación molecular pero también controla el tamaño final y la geometría del acabado de la georred. Para convertir la georred tubular en una lámina plana, el tubo es cortado y extendido. Si el tubo se corta a lo largo de su eje longitudinal, la georred resultante parece tener una forma de diamante en su abertura. Alternativamente el tubo puede cortarse al sesgo, en este caso las aberturas tienen una forma casi cuadrada.

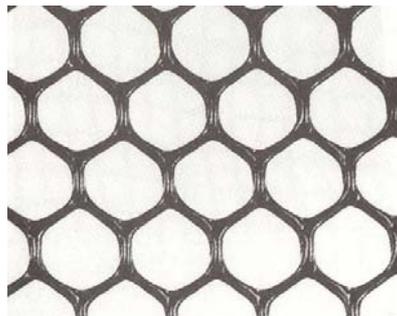
⁴ Coaxial: Recubrimientos en forma cilíndrica sobre un cuerpo, que tienen en común su eje de simetría.

Cuando se usan georredes extruídas, las hendiduras en el dado son de varios milímetros de profundidad y comúnmente tienen el perfil de un triángulo truncado con base plana. Esto lleva a una georred con un perfil profundo que le da una alta transmisibilidad de líquidos.



Fotografía superior de georred extruída no orientada.

Como las georredes orientadas, las no orientadas son clasificadas de acuerdo a sus propiedades y aplicación en lugar de la manera en que se producen. Estos productos se usan para formar gaviones, refuerzo para las raíces de vegetación usados en bancos de protección, y en forma tubular relleno piedras, como diques de defensa en el mar o en ríos. En esta aplicación las cuerdas tienen un perfil más plano y las aberturas tienden a ser redondeadas.⁵



Estructura plana de georred con las aberturas redondeadas.

5.1.4 PRINCIPALES APLICACIONES

GEORREDES ORIENTADAS

Se utilizan principalmente para:

⁵ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 136.

Refuerzo de suelos y materiales de construcción.



Fotografía de georred en el refuerzo de una vía ferrea, en Texas.

Estabilización de suelos.⁶



Estabilización del suelo en Mountain View, Ca. con georred orientada Armatex.



Construcción de un estacionamiento de autos en el Aeropuerto de Gatwick, usando georredes bi-orientadas.

⁶ Calles, A.; Santa Ana, J., *"Diseño y construcción de rellenos sanitarios utilizando geosintéticos"* (tesis). UIA, México, D.F. 1999. (57).

GEORREDES TEJIDAS

Se utilizan principalmente para:

Estabilización del suelo.

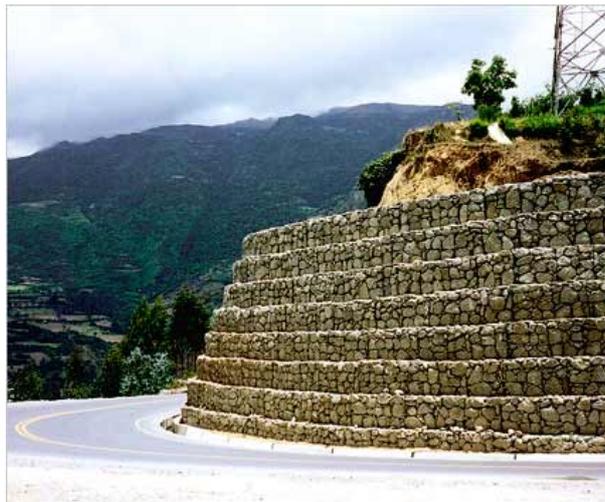


Georred tejida Armatex, utilizada en estabilización del suelo, en Arizona.

GEORREDES NO ORIENTADAS

Se utilizan principalmente para:

Gaviones



Gaviones para muro de contención Cuzco, Perú.

Refuerzo de raíces de vegetación en bancos de protección



Georred aplicada en talud de carretera en Buenos Aires.



Georred aplicada en talud de casa habitación en Arizona.

Gaviones en diques para defensa en el mar y en ríos.



Gaviones en Río Tumbes Perú.

5.2 GEOMALLAS

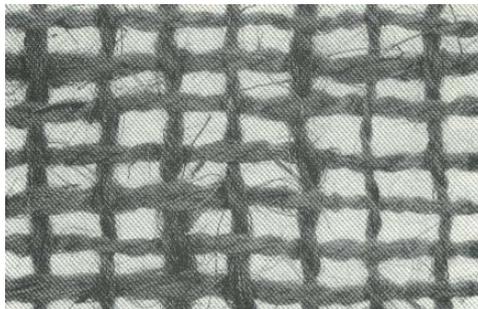
Inicialmente una geomalla era considerada una georred, actualmente son consideradas dos cosas distintas debido a los usos que tiene cada una. Una georred sirve principalmente para reforzar materiales y una geomalla es utilizada para drenar materiales. Esto no quiere decir que las geomallas sean débiles o fáciles de destruir. Las geomallas se usan comúnmente junto a un geotextil o una geomembrana para evitar que las partículas de suelo sean transportadas por el flujo de agua en un plano a través de los orificios.

Una vez que el tamaño del poro excede de 1 a 2mm, el geotextil tejido tiende a ser considerado como una geomalla.

5.2.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEOMALLAS

Estos productos deben su origen a Brian Mercer, presidente de Netlon (Reino Unido) que fue el primero en desarrollar y patentar la maquinaria y los procesos de fabricación de las mallas plásticas ligeras.

El término genérico para las geomallas ha sido extendido para incluir algunos textiles con grandes aberturas entre la malla, incluyendo telas de yute o materiales naturales, que también se usan para el control de la erosión.



Fotografía de geomalla de yute.

5.2.2 MATERIA PRIMA PARA GEOMALLAS

Las geomallas más resistentes se fabrican con polipropileno por su alta resistencia química y a la tensión, algunas otras están construidas con polietilenos. A diferencia de otros tipos de materiales las geomallas contienen entre un 1 a 2% de carbón, dando así un material casi de pura resina.

Los materiales son combinados e introducidos en una máquina que extruye la mezcla continuamente en costillas, luego un sistema giratorio separa las costillas formándose así una malla, para después ser estirada. Los orificios, también llamados diamantes tienen una longitud de 1.2cms y un ancho de 1cm. Generalmente las geomallas tienen un ancho espesor de .5 a .7cms pero se ha demostrado que agregando un aditivo espumoso a la mezcla, se forman esferas de aire, que aumentan el espesor, durante el enfriado, resultando geomallas de hasta 1.2cms de espesor.

5.2.3 PRINCIPALES APLICACIONES

Se utilizan principalmente como refuerzo para estabilizar.



Refuerzo de talud y contención de piedras.

Para la estabilidad de terraplenes construidos sobre suelos blandos, utilizados para caminos de acceso y diques.



Estabilidad de dique en Presa Ticlayan Pasco Perú.

Para la construcción de taludes reforzados.



Refuerzo de Talud en Pasco, Perú.

Para constituir plataformas de construcción para zonas de acceso difícil por las condiciones de suelos blandos, pantanosos y relaves.



Relave en Junín, Perú.

Para el refuerzo de vías pavimentadas y no pavimentadas.



Refuerzo de bases de carreteras Cajamarca, Perú.

5.3 GEOMANTAS

Las geomantas son usadas para aplicaciones similares a las geomallas en control de erosión, actúan como refuerzo y desempeñan un papel importante en el control de la erosión permanente en colinas con pendientes. Están diseñadas para la protección y vegetación de taludes sujetos a erosión superficial y cuando existe un estrato de suelo vegetal.

La habilidad de las geomantas de mitigar la erosión en colinas con pendientes proviene en parte de su estructura y particularmente de su espesor que varía comúnmente entre 10 y 20mm. De hecho, el espesor que posee es una de las diferencias principales que las separa de las geomallas. Existen, una gran variedad de materiales y estructuras diferentes que pueden ser clasificados como geomantas.

5.3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEOMANTAS

Tienen un espesor aproximado de 20 mm y son fabricadas al juntar diversas mallas biorientadas y extruídas de polipropileno (PP). El proceso molecular de estirado, tanto en la dirección longitudinal como transversal, aumenta las propiedades mecánicas de la base de polímeros obteniéndose alta resistencia a la tensión.

Estas geomantas están compuestas por 2 capas de geomalla arriba y abajo, y una geomalla central mecánicamente doblada para darle espesor a la geomanta y hacerla tridimensional. Las 2 geomallas planas suministran una alta resistencia a la tensión y permiten un mínimo de elongación. El denso doblado de la capa central limita la deformación de la geomanta cuando se llena con suelo vegetal obteniéndose un elemento de gran resistencia. Las capas son ensambladas en el proceso de manufactura tejiéndolas entre ellas con hilos de polipropileno altamente resistentes.



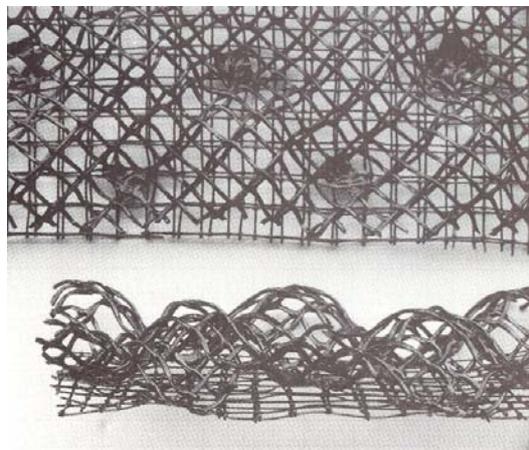
Fotografía de geomanta, TENAX MULTIMAT.

Enkamat es una geomanta de filamento de nylon extruído que está esencialmente pegado de una manera similar al fijado térmico que une a los geotextiles de filamento continuo.



Fotografía de geomanta Enkamat.

Tensamat tienen una parte plana y otra sobresalida y revela un complejo tridimensional multi-capa, y una estructura de geomalla.



Geomanta Tensamat.

Ambos productos pueden usarse para el refuerzo de raíz pero también, debido a su radio de área abierta, puede usarse para la mitigación permanente de erosión en colinas con pendientes sin una cubierta vegetativa. Las geomantas del tipo Enkamat también pueden usarse como conductor de agua.⁷

Las geomantas excelsior son un compuesto biodegradable, formado por un conjunto enredado de cortes de madera contenidos por una malla abierta, casi flotante de polipropileno diseñado para ser biodegradable.



Fotografía de geomanta excelsior.

⁷ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. UK, 1994. Pág. 141.

5.3.2 PRINCIPALES APLICACIONES

Las aplicaciones más importantes de las geomantas son:

Para el control de la erosión



Como refuerzo de raíz



Aplicación de geomanta para refuerzo de raíz.

Como canales de tierra y bordos para conducción de agua.



Protección contra erosión sobre las paredes de un canal de drenaje en Park Farm, Ashford.

MANTAS DE SIEMBRA

Son materiales prefabricados que se presentan en forma de láminas compuestas por fibras naturales, sintéticas o combinaciones de ambas, que se utilizan para proteger el terreno natural, cortes, taludes, terraplenes, cunetas y rellenos, así como áreas sembradas contra los efectos de la erosión, y tienen como funciones el amortiguamiento del impacto de la lluvia, la reducción de la velocidad de los escurrimientos, el aceleramiento de la germinación, el incremento de la resistencia a la erosión de la vegetación implantada o varios de ellos a la vez.

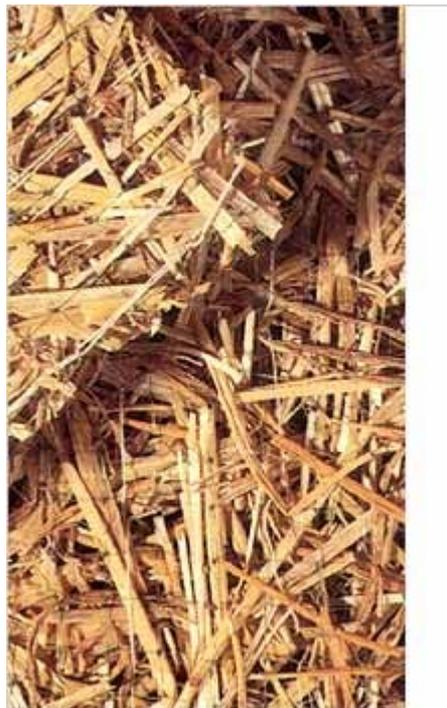


Malla de siembra TENAX ECOMAT.

MANTAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN – BIOGRADABLES DE DURACIÓN CORTA

Las mantas para el control de la erosión, degradables, de duración corta están formadas por una capa 100% de paja agrícola distribuida uniformemente cosida con hilo degradable a una estructura de entrelazado simple o doble.

Estas mantas están diseñadas para proporcionar protección contra la erosión y ayudar al establecimiento de la vegetación desde 45 días hasta 12 meses, dependiendo del tipo de producto, en aplicaciones como áreas con taludes moderados y canales con niveles bajos de flujo de agua. Después que las mantas se degradan, la vegetación madura estabiliza el suelo permanentemente.



Manta compuesta de 100% de fibra agrícola.

MANTAS PARA EL CONTROL DE EROSIÓN – BIOGRADABLES DE DURACIÓN EXTENDIDA Y LARGA



Manta biodegradable compuesta de 100% de fibra de coco.

Las mantas para el control de la erosión, bio-degradables, de duración extendida y larga utilizan una estructura de entrelazado doble e incluyen un componente de duración larga de fibra de coco.

Estas mantas están diseñadas para proporcionar protección contra la erosión y para ayudar al establecimiento de la vegetación desde 18 hasta 36 meses, dependiendo del tipo de producto, en aplicaciones como son taludes empinados, canales con flujos de agua substanciales y a lo largo de líneas costeras. Después que las mantas se degradan, la vegetación madura estabiliza el suelo permanentemente.

MANTAS DE SIEMBRA PARA PROTECCIÓN CONTRA LA ACCIÓN DE CORRIENTES FLUVIALES

Las mallas de siembra para protección contra la acción de corrientes fluviales, se utilizan para proteger terraplenes laterales, canales, descargas de alcantarillas, y cunetas de los efectos de la erosión.



Manta de siembra aplicada en un canal para evitar erosión, en Berlín.

MANTAS DE SIEMBRA PARA PROTECCIÓN DE CORTES DE CARRETERAS CONTRA EROSIÓN

Se utilizan para proteger la superficie expuesta del terreno de los efectos de la erosión y son una opción o un complemento de las obras que se realizan para estabilizar la tierra alterada, por medio del establecimiento de vegetación en el corte.



Manta de siembra aplicada en taludes de la carretera Lentate sul Seveso, Italia.

MANTAS DE SIEMBRA PARA PROTECCIÓN DE TALUDES DE CARRETERAS CONTRA EROSIÓN

Se utilizan para proteger los taludes de terraplenes, bermas y rellenos, de los efectos de la erosión y tienen como función la protección temporal o a largo plazo del suelo, de la vegetación ya sea natural o implantada, o de ambos.



Aplicación de manta de siembra biodegradable en carretera de Milán.

5.4 GEOCELDAS

Las geoceldas comprenden una serie de células interconectadas que se rellenan de tierra para producir un colchón grueso. Desde que la tierra se confina dentro de la célula su fuerza de compresión se incrementa.

5.4.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN DE GEOCELDAS

Hay dos tipos de geoceldas, las que se fabrican en el lugar y las que son fabricadas previamente. Se puede construir un colchón de geoceldas hecho en el lugar, encima de depósitos poco profundos de tierra débil con el fin de mantener el refuerzo en un terraplén. Este tipo de colchón de geoceldas se construye de georedes, comúnmente de 1m de ancho, conectado por juntas de punzones verticales, para formar gaviones interconectados aproximadamente de 1m de profundidad, relleno con material granular.

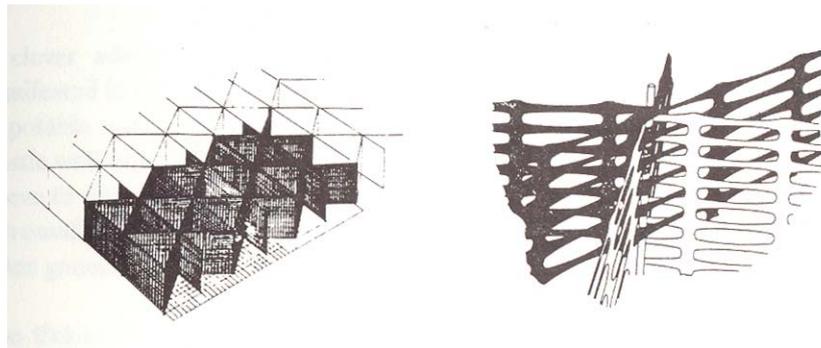


Ilustración de gaviones con georedes.

Actualmente se producen geoceldas, normalmente de 100 a 200mm de profundidad en forma de panal, se hacen con tiras de poliéster perforadas, o HDPE sólido, de 100 a 200mm de ancho y unos 5m de largo. Éstos se ponen uno encima del otro, y se funden encima del ancho de la tira, en intervalos a lo largo de cada tira. Son plegables, se transportan al lugar en paquetes planos y para colocarlas sólo se abren.



Geocelda de polietileno.

Se usan ambos tipos para el control de erosión, en pendientes poniéndola sobre ella para proteger, clavándola y rellenándola con tierra.



Estabilización del suelo en pendiente pronunciada en Japón.

Las geoceldas se han usado en la construcción de pendientes apilando progresivamente y llenando una capa de geocelda encima de otra.⁸

⁸ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 143.

5.4.2 PRINCIPALES APLICACIONES

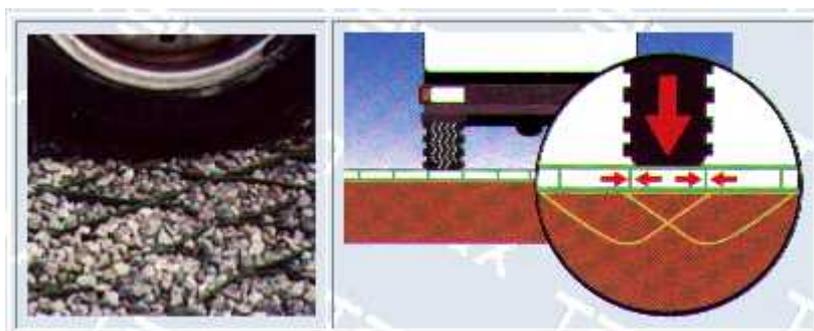
SOPORTE DE CARGAS

Cuando la finalidad es el soporte de cargas, las geoceldas trabajan como losa semi-rígida, en la cual las cargas se distribuyen lateralmente reduciendo en forma notoria las presiones de contacto.



Preparación de geocelda para soporte de cargas.

Si se planea construir un estacionamiento o un camino de acceso a un establecimiento rural, las geoceldas rellenas con un material granular brindan una solución de rápida ejecución y sin daños para el medio ambiente. La altura de la geocelda que deberá utilizarse dependerá de los parámetros del material de relleno utilizado y de las cargas que tendrá que soportar el sistema.



Esquema de funcionamiento de carga sobre geocelda.

CONTROL DE EROSIONES SUPERFICIALES

El sistema de geoceldas confina el material de revestimiento a la vez que

permite la interconexión hidráulica de las celdas, dificultando así el proceso erosivo. En este caso el material de relleno podrá ser: suelo vegetal, suelo pasto u otro material seleccionado para revestir el talud. La altura de la geocelda elegida va a depender del material de relleno utilizado y de la pendiente del talud.



Terraplén adjunto al túnel de acceso al Centro Acuático de la Bahía Homebush.

REVESTIMIENTO DE CANALES

El sistema de geoceldas proporciona un confinamiento celular capaz de brindar protección flexible y durable a los canales, además de garantizar la constancia de la rugosidad de las paredes y la estabilidad de la estructura.

Los materiales de relleno aconsejados son: suelo vegetal, materiales granulares u hormigón.

Se recomienda utilizar el suelo vegetal y pasto como relleno cuando el flujo de agua es intermitente y en las partes altas de los taludes de grandes canales.

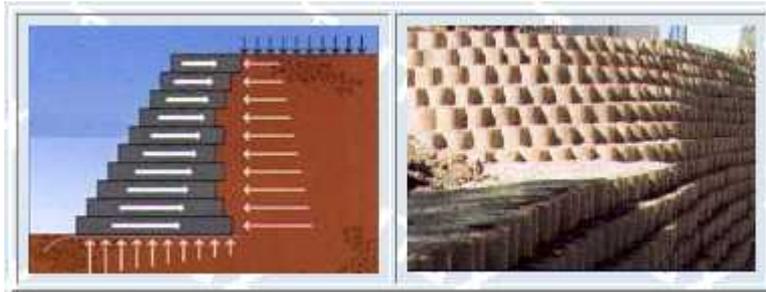


Geoceldas en revestimientos de canales en Miami, Florida.

El relleno deberá ser hormigón cuando el flujo sea continuo o de alta velocidad.

CONTENCIÓN

El sistema de geoceldas permite construir muros de contención, mediante la superposición de múltiples capas. Esta superposición se puede realizar de modo de conformar un muro vertical o en escalones.



Esquema de geoceldas en funcionamiento como muro de contención.

5.5 GEOCOMPUESTOS

Los geocompuestos, combinación de geotextiles (filtración y protección), geomembranas (impermeabilidad) y georedes (acción de drenaje y distribución de cargas), poseen una alta capacidad filtrante y drenante. Esta combinación ofrece un sistema de filtro-drenaje-protección muy completo y eficiente.

5.5.1 PRIMEROS DESARROLLOS EN GEOCOMPUESTOS

El que puede considerarse como el primer desarrollo de geocompuestos fue desarrollado en la Universidad de Connecticut a finales de los años 1960 por los profesores Gil y Long en forma de dren fino. Se componía de un panel vertical de un material conductor de agua, insertado dentro de un ducto o tubo con una capa protectora del agua y el riel del tubo encapsulado en un geotextil que servía además como filtro.

El textil fue seleccionado para evitar que la tierra venciera a la capa original hecha de una lámina de aluminio que además sería como una lámina conductora de aguas que le permitía desplazar y filtrar el agua subterránea al tubo conductor.

La idea inicial no floreció en los Estados Unidos, pero se transfirió al Reino Unido donde fue desarrollada exitosamente a principios de los años 1970 por la empresa Ground Engineering Limited como el dren "Trammel" y posteriormente por ICI como dren "Filtram".

Trammel introdujo dos importantes innovaciones, la primera fue remplazar el metal expandido con una red de polímero extruido desarrollada por Netlon. La segunda fue una versión de Trammel en la cual, de un lado del dren, el geotextil fue remplazado por una geomembrana, formando así otro tipo de dren, utilizados como drenes estructurales y en el control de la emisión de lixiviados tóxicos. Estas dos innovaciones formaron el antecedente para el desarrollo de la geored, que posteriormente encontró mayores usos en el drenaje subterráneo y las geomembranas usadas en tiraderos de basura.

El drenaje estructural que continuamente ha sido remplazado de dren fino⁹ a dren granular¹⁰ cuando es utilizado detrás de muros de contención, se ha desarrollado en Europa y América del Norte en una amplia gama de aplicaciones y variedades de drenes para conductos de agua, que van desde delgadas telas no tejidas a telas de alto perfil, con gran capacidad de absorción.

Otras versiones especiales de drenes finos se han desarrollado como drenes especiales para pavimentar carreteras donde han sido probados exitosamente controlando tanto la infiltración de agua subterránea como la fuga de lluvia permitiendo la construcción del pavimento.

Al igual que el dren fino esta el dren delgado, que tiene un ancho normalmente de 100 mm de grosor y conduce agua a través de un dren de polímero encapsulado en un filtro de geotextil. El dren delgado se produce en grandes rollos y es insertado en depósitos de tierra fina para aliviar el drenaje de agua y acelerar la consolidación de la tierra.¹¹

5.5.2 GEOCOMPUESTO GEOTEXTIL-GEORRED BI-ORIENTADA

Este geocompuesto de polipropileno diseñado específicamente para estabilización de suelos donde se requiere tanto refuerzo como separación de una base granular y un subsuelo muy fino. Uniendo un geotextil no tejido a una georred bi-orientada.

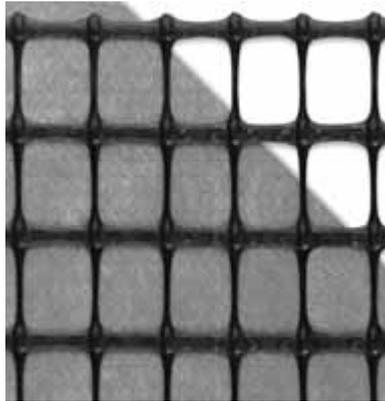
Tiene gran resistencia a la tensión como un alto módulo elástico, gran resistencia a los daños durante la instalación y un excelente comportamiento a los agentes atmosféricos. Adicionalmente, la geometría del geocompuesto permite una gran interacción con el suelo reforzado, completa separación de los diferentes tipos de suelo y una efectiva acción de filtración.¹²

⁹ Dren fino: Dren hecho con arenas muy finas o talcos de sílicas.

¹⁰ Dren granular: Dren hecho con arena sílica con una granulometría mayor a los talcos de sílicas.

¹¹ Ingold, T., "Geotextiles and Geomembranes Manual", 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994. Pág. 10.

¹² http://www.tenax.net/geosinteticos/productos/tenax_tendrain.htm



Geocompuesto GEOTEXTIL-GEORRED BI-ORIENTADA

5.5.2.1 APLICACIONES

Caminos pavimentados y no pavimentados.



Estabilización integral del pavimento con geocompuesto no tejido-geomalla en Berlín (Alemania)



Estabilización integral del subsuelo con geocompuesto no tejido-geomalla en Altshausen (Alemania)



Estabilización integral del subsuelo con geocompuesto no tejido-geomalla en Roma (Italia)

Estabilización de vías férreas y aeropistas.



Seul (S. Korea): Pista del aeropuerto internacional reforzada con geocompuestos y geomallas.



Slovenia: Estabilización de una vía férrea sobre suelos blandos mediante geomallas y geocompuestos.

Cimentaciones superficiales.



Cimentación superficial en Montevécchia (Italia).

Distribución de cargas permanentes y semi-permanentes sobre grandes áreas.



Marghera (Italia): Reparación de parque industrial contaminado, cimentado sobre zona de fango.

5.5.3 GEODREN TRIPLANAR DE ALTO FLUJO

Son redes de drenaje con una estructura tridimensional única. Los canales principales de flujo del geocompuesto están protegidos arriba y abajo por nervaduras¹³ que minimizan la intrusión de partículas de los estratos superiores e inferiores en la sección de drenaje.

El geocompuesto triplanar de alta capacidad de flujo, utiliza una estructura tridimensional con elementos verticales rígidos. Sus nervaduras aumentan significativamente la capacidad de tensión y resistencia a la

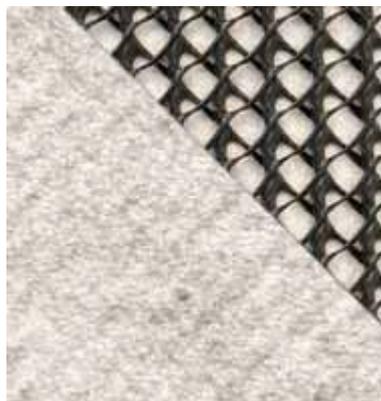
¹³ Nervadura: Estructura conductora. Conjunto de los nervios de una hoja.

compresión del geocompuesto. Estas nervaduras están también soportadas por estructuras planas, reducen la intrusión y pérdida de flujo de la sección de drenaje. El conjunto permite obtener altos índices de flujo en la vida útil de la estructura.

Estos geocompuestos están formados por un geotextil en la parte superior, la estructura triplanar y otro geotextil en la parte inferior.

Por lo tanto, son geocompuestos desarrollados para drenaje a largo plazo en aplicaciones de rellenos sanitarios con las siguientes características:

- Capacidad de su estructura para drenar sometida a cargas de compresión a largo plazo
- Capacidad de su estructura de drenar altos niveles de flujo a largo plazo
- Capacidad de su estructura para drenar y permitir una adecuada estabilidad estructural.¹⁴



Georred triplanar con geotextil en la parte superior e inferior.

¹⁴ http://www.tenax.net/geosinteticos/drenaje/bases_vias.htm

5.5.3.1 APLICACIONES

Rellenos.



Geocompuestos usados en la recolección de lixiviados y sistemas de extracción en Calcinado (Italia).

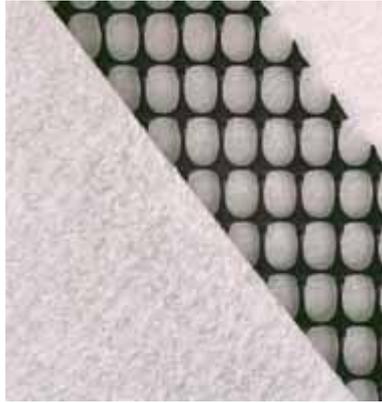
Bases y terracerías para vías férreas.



Geocompuesto triplanar utilizado como base en carretera, permitiendo tener una capa bien drenada y por lo tanto seca. Milán (Italia).

5.5.4 GEODREN GEOTEXTIL-GEORRED-GEOTEXTIL

Este geocompuesto es una combinación de una georred biaxial para drenar y dos geotextiles. La combinación del geotextil (filtrar) y la georred bi-orientada (drenar – proteger) ofrece un sistema completo de “filtrar – drenar – proteger”. La estructura de este geocompuesto permite drenar en ambas direcciones longitudinal y transversal.



Geocompuesto geotextil-georred bi-orientada-geotextil.

5.5.4.1 APLICACIONES

Muros subterráneos y muros de retención.



Geocompuesto para drenar en muro de contención.

Túneles y estructuras subterráneas.

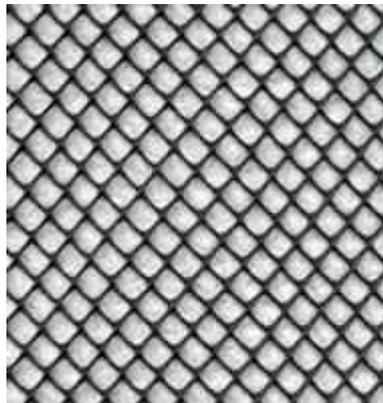


Geocompuesto para drenar en estructura subterránea.

5.5.5 GEODREN GEORRED NO ORIENTADA-GEOTEXTIL

El geocompuesto producido por la unión de la georred no orientada y geotextil tiene gran capacidad de filtrar y drenar.

El uso de las georredes, con su gran capacidad de drenar y distribuir cargas, y el geotextil para filtrar permiten un sistema fácil de instalara para “filtrar – drenar – proteger”.



Geocompuesto georred no orientada-geotextil.

5.5.5.1 APLICACIONES

Rellenos



Relleno con aplicación de varios geocompuestos uno de ellos georred no orientada-geotextil. (California).

Muros subterráneos y muros de retención.

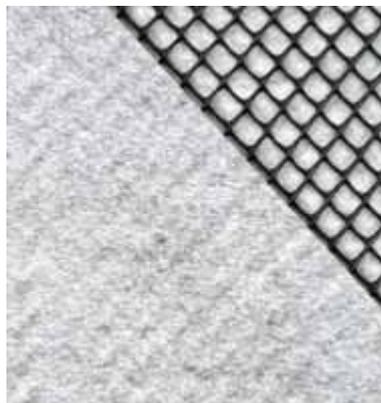


Muro de retención con geocompuesto de georred no orientada-geotextil. (Virginia).

5.5.6 GEODREN GEOTEXTIL-GEORRED NO ORIENTADA-GEOTEXTIL

Este geocompuesto se produce con la unión de geotextil - georred no orientada y geotextil tiene gran capacidad de drenar y filtrar.

La combinación del geotextil (filtrar) y la georred no orientada (drenar – proteger) hacen que este geocompuesto tenga gran capacidad de drenar y distribuir cargas gracias a la georred no orientada al mismo tiempo que permite filtrar al geotextil, aun cuando el suelo este compactado. El sistema funciona para “filtrar – drenar – proteger”.



Geocompuesto geotextil-georred no orientada-geotextil.

5.5.6.1 APLICACIONES

Rellenos.



Depósito de desechos sólidos en la Cd. De Brescia (Italia).

Plazas, caminos, estacionamientos, jardines y campos deportivos.



Drenaje en el camino al centro histórico (Italia).

Caminos pavimentados y no pavimentados.



Geocompuesto en Autopista Milán-Génova. Italia.

Captación de agua superficial y sistema de evacuación.



1.- Drenaje de agua de lluvia. 2.- Drenaje de biogas. Cerro Maggiore (Italia).

CAPÍTULO 6

6.1 EL FUTURO DE LOS GEOSINTÉTICOS

Aunque existe discrepancia acerca de la durabilidad y del comportamiento a largo plazo de estos productos, debido a que los primeros que se utilizaron no fueron fabricados especialmente para obras de ingeniería y se presentaron algunos fracasos, es necesario tomar en consideración que los polímeros actuales y los que se desarrollen en el futuro, seguramente cumplirán en mejor forma funciones específicas, pues han sido ampliamente mejorados y existe un mayor conocimiento sobre su comportamiento.

El diseño por función, acorde a la tradición en ingeniería, ha desplazado en forma amplia el método inicial de diseño por producto, que no permite una comparación entre distintas marcas e impide evaluar las probables respuestas mecánicas e hidráulicas a cada caso. El diseño por especificación debe ser empleado con reservas, ya que cada área de la ingeniería civil tiene sus propios criterios de diseño.

En virtud de que los productos poliméricos presentan algunas ventajas sobre los materiales naturales, gradualmente los han sustituido en muchas aplicaciones, siempre que resulten seguros, fáciles de usar, económicos y suficientemente durables en comparación con los materiales tradicionales.

Se puede considerar que el mercado de los geotextiles en los países industrializados crecerá a menor velocidad en los próximos años, debido al crecimiento de tecnologías con polímeros; sin embargo, debido a las cada vez más rígidas especificaciones de las agencias encargadas del medio ambiente y por el mayor conocimiento de las geomallas, georedes y geocompuestos es previsible que exista una mayor demanda de otros geosintéticos. Las posibles aplicaciones en geotecnia en particular y en la ingeniería civil en general, son actualmente muy extensas.

En los países en vías de desarrollo, poco se han utilizado los geosintéticos, en parte por falta de disponibilidad y desconocimiento, pero es previsible que la utilización de estos materiales en obras de ingeniería tendrá un

incremento importante, similar o superior a los observados en países industrializados en las dos décadas anteriores.

En la actualidad se están desarrollando en forma amplia otros productos elaborados con polímeros que se encuentran en fase de investigación, como los geocompuestos para revestimientos impermeables y drenaje, fibras y filamentos para reforzar concreto asfáltico, hidráulico y suelos, geomembranas elaboradas por impregnación de resinas, geomatrices por aspersión simultánea de fibras, suelo y semillas y el uso de espumas de polímeros permeables, por mencionar algunas posibilidades.

Los polímeros o plásticos, como son comúnmente conocidos, tienen un amplio futuro en la geotecnia y su aplicación en la solución de los problemas cotidianos tiene límite sólo en la mente de cada individuo. Sin embargo, su futuro dependerá en gran parte de que se empleen en forma racional, de acuerdo con los principios de ingeniería.¹

Hay que recordar que el éxito en un buen diseño con geosintéticos depende no solo del geosintético utilizado, sino también de la capacitación del personal que estará a cargo de la obra para llevar a cabo al pie de la letra todo lo que se contempló en el análisis previo a la obra con determinado geosintético, en donde se deben considerar todas las especificaciones tanto del lugar como del material a colocar.

¹ Auvinet G, Gabriel, DEPEFI; UNAM, Rodrigo Murillo F., IMTA; CNA, Carlos Oliva A., CNA, *Tendencias actuales en el desarrollo y uso de geosintéticos.*

CONCLUSIONES

DE SU DESARROLLO Y CRECIMIENTO

Por toda la información que se ha mostrado en esta investigación podemos concluir que los materiales geosintéticos están en un periodo de crecimiento acelerado, sobre todo, gracias a la versatilidad y aplicación práctica con resultados óptimos que han demostrado tener para muchos casos específicos donde se han aplicado.

Es por esto que en países desarrollados como Estados Unidos y Alemania, estos productos forman parte integral de todo proyecto desde la planeación de la obra. En estos lugares ya no se concibe la construcción sin productos geosintéticos, siendo esto una muestra clara de que su aplicación responde no solo a las demandas de ingeniería y en general a cualquier tipo de actividad o desarrollo que se pretenda construir en la actualidad, sino que responde a los conceptos de desarrollo sustentable que se ha incorporado al pensamiento moderno para garantizar un trabajo racional, planeado para su funcionamiento actual y el efecto beneficio para generaciones futuras.

DE SU APEGO A LOS CONCEPTOS DE DESARROLLO MODERNOS

Tal vez las condiciones en las que se ha generado el desarrollo de los geotextiles sea su principal fortaleza para poder asegurar un futuro próspero a estos nuevos materiales, ya que han respondido satisfactoriamente al desarrollo tecnológico acelerado que se ha dado, principalmente en el área de construcción; han resultado ser materiales que con principios básicos dan respuestas prácticas y útiles a demandas específicas; su evolución se ha generado de manera paralela a las nuevas demandas que van surgiendo y, principalmente, se han involucrado especialistas de diversas áreas para incorporar sus conocimientos específicos para generar las soluciones requeridas.

Es claro distinguir que el trabajo con geotextiles y su desarrollo tecnológico se apega a los nuevos principios de desarrollo y trabajo interdisciplinario, lo que abre un nuevo campo de trabajo para especialistas que adquieran, de manera integral los conocimientos para poder ofrecer respuestas a los casos actuales que se plantean a los geosintéticos.

DE SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO EDUCATIVO

Uno de los objetivos de esta investigación es el promover el amplio campo de acción que se abre con los productos geosintéticos, y enfatizar la demanda de trabajo interdisciplinario entre diseño, ingeniería y otras áreas profesionales para generar el desarrollo de estos materiales de forma significativa en México. Con esto se promoverá la evolución de la condición nacional en este campo, en el que solo somos distribuidores de las tecnologías que se desarrollan en otros países y se podrá crecer en la creación de geosintéticos hechos en México.

Aunado a lo anterior es importante sembrar el interés por esta área para seguir haciendo investigación al respecto, de tal manera que las nuevas generaciones visualicen una fuente exitosa de trabajo mínimamente explotada.

Esto se ve cubierto al demostrar que el trabajo con geosintéticos es un campo de investigación, desarrollo y trabajo que ofrece un amplio futuro y buenas perspectivas de desarrollo y que su incorporación (por lo menos conceptual) dentro de los planes y programas de estudio en carreras relacionadas debe ser inmediato para dar a conocer su existencia y fomentar el interés en los estudiantes, quienes serán finalmente los que podrán incorporarse en su desarrollo profesional en el trabajo con geosintéticos.

DE SU FUTURO COMO ESPECIALIZACIÓN

Es de considerarse que en este tipo de obras el material que se emplea se usa por miles de metros y no por metros, lo que significa que es un campo fértil donde pueden encontrarse amplias fuentes de trabajo, que, al ser demandantes de especialización, garantizan un trabajo bien remunerado. Hasta el día de hoy la India es ejemplo en la investigación y desarrollo con geosintéticos y bien podría México incorporarse a esta especialidad.

Actualmente es complicado recabar información por parte de los fabricantes debido a que cada uno cuida sus intereses, tratando de no difundir las formas de producción de sus productos. Es mucho más sencillo que proporcionen datos sobre usos, aplicaciones y ventajas de sus productos con respecto a otros. Por lo que agradezco a algunos de los distribuidores en México que trabajan desarrollando diseños de obras con geosintéticos, por su ayuda e información para terminar esta investigación.

Esta es un área de desarrollo que puede ser retomada gracias a la evolución de nuevas tecnologías y a la innovación en materiales, específicamente de polímeros. Por lo que la expectativa es que en un futuro cercano se trabaje en conjunto con diferentes áreas de la Universidad Nacional Autónoma de México y otras universidades o centros de investigación en este tema.

De igual manera los diseñadores podemos aprovechar las posibilidades de innovación con este tipo de materiales de acuerdo a sus propiedades y capacidades, para buscar aplicaciones en el campo del diseño.

GLOSARIO

Agregados procesados: Diferentes tipos de gravas que se agregan a un material para estabilizarlo.

Asfalto: Sustancia de color negro que constituye la fracción más pesada del petróleo crudo. Se encuentra a veces en grandes depósitos naturales, como en el lago Asphaltites o mar Muerto, lo que se llamó betún de Judea. Se utiliza mezclado con arena o gravilla para pavimentar caminos y como revestimiento impermeable de muros y tejados.

Anisotropía: Propiedad de un material de resistencia en el sentido longitudinal diferente a la resistencia en el sentido perpendicular.

Antrópico: Relativo al Hombre. Que tiene su origen o es consecuencia de las actividades del hombre. Referido al efecto ambiental provocado por la acción del hombre. Elementos que se encuentran en el medio natural cuyo origen es la actividad humana.

Bache: Colapso de las capas del sustrato.

Balasto: Capa de grava o de piedra machacada, que se tiende sobre la explanación de los ferrocarriles para asentar y sujetar sobre ella las traviesas. Capa de grava o de piedra machacada que se tiende sobre la explanación de las carreteras para colocar sobre ella el pavimento.

Bentonita: arcilla suave y porosa; se usa como cemento y en la elaboración de materiales absorbentes y abrasivos.

Berma: Espacio al pie de la muralla y declive exterior del terraplén, que servía para que la tierra y las piedras que se desprendían de ella al batirla el enemigo, se detuviesen y no cayeran dentro del foso.

Bordo: Elevación de palos, tierra y piedras que se hace a ambos lados de un río o quebrada para evitar inundaciones o para retener o estancar las aguas.

Calandra: Es un proceso de fabricación con estiramiento a presión continuo entre un par de cilindros.

Capacidad portante: Capacidad de un material de aceptar agregados y de su resistencia a la presión.

Capas rompedoras de capilaridad: Sirven para romper la tensión superficial del material con el que estén en contacto.

Cardar: Preparar con la carda una material textil para el hilado.

Caucho: Látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.

Coaxial: Recubrimientos en forma cilíndrica sobre un cuerpo, que tienen en común su eje de simetría.

Corrosión: Destrucción paulatina de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos, persista o no su forma.

Chinampa: Terreno de corta extensión en las lagunas vecinas a la ciudad de México, donde se cultivan flores y verduras. Antiguamente estos huertos eran flotantes.

Denier: Unidad usada para medir la fineza de los hilos, igual a la masa en gramos de 9,000 metros de hilo.

Derrumbe: Acción y efecto de derrumbar o derrumbarse. Precipitar, despeñar.

Desagüe: Acción y efecto de desaguar o desaguarse. Desaguar: Extraer, echar el agua de un sitio o lugar.

Deslave: Tierra que se desmorona por causa del agua.

Dique: Muro hecho para retener las aguas.

Drenaje: Medio o utensilio que se emplea para drenar. Drenar: Dar salida y corriente a las aguas muertas o a la excesiva humedad de los terrenos, por medio de zanjas o cañerías.

Dren fino: Dren hecho con arenas muy finas o talcos de sílicas.

Dren granular: Dren hecho con arena sílica con una granulometría mayor a los talcos de sílicas.

Embalado: Hacer que adquiera gran velocidad un motor desprovisto de regulación automática, cuando se suprime la carga.

Erosión: Destrucción lenta producida por un agente físico.

Filtración: Un medio filtrante permite la retención de pequeñas partículas mientras el agua fluye a través. Filtrar: Hacer pasar un fluido por un filtro.

Fisura: Hendidura que se encuentra en una masa mineral.

Gavión: Cilindro de grandes dimensiones, tejido de mimbres o ramas, relleno de tierra o piedra usado en obras hidráulicas.

Granulometría: Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos. Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo.

Geotécnica: Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.

HDPE: Resinas de polietileno de alta densidad.

Hidroponía: Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte de arena, grava, etc.

Hule Butilo: Hule Isobutileno-Isopreno.

Hypalon: Es una marca registrada para el caucho sintético de polietileno clorosulfonado conocido por su resistencia a los productos químicos, a las temperaturas extremas y a la luz ultravioleta.

Impermeabilidad: Impenetrable al agua o a otro fluido. Hermético, impenetrable, cerrado.

Irrigación: Aplicar el riego a un terreno.

Junta: Parte en que se juntan dos o más cosas.

Lixiviación: Modificar un material por medio de un disolvente. Infusión de basura.

Materiales de préstamo: Son materiales de relleno para carreteras y caminos, para estabilizar.

Matriz: Molde de cualquier clase con que se da forma a algo.

Mineralogía: Ciencia que estudia los minerales.

Monómero: Molécula pequeña que se encuentra repetitivamente en otra más grande.

NBR hule butilo: hule butadiene-acrilonitrilo es un copolímero de butadieno con estireno.

Nervadura: Estructura conductora. Conjunto de los nervios de una hoja.

Nylon: Es un polímero sintético que pertenece al grupo de las poliamidas.

Orientación aleatoria: Orientación al azar.

Orientación molecular: Forma en que se orientan las moléculas del polímero para obtener la máxima propiedad anisotrópica.

Poliamida: Polímero caracterizado por la presencia de múltiples grupos amida.

Poliéster: Resina termoplástica obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

Polietileno: Polímero preparado a partir de etileno. Se emplea en la fabricación de envases, tuberías, recubrimientos de cables, objetos moldeados, etc.

Polimérico: Perteneciente o relativo al polímero.

Polimerización: Se denomina polimerización al proceso mediante el cual se forman polímeros a partir de monómeros.

Polipropileno: El polipropileno es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estereo específico.

Proceso de adición: Proceso en el que dos o más moléculas se combinan para formar una sola.

Proceso de soplado: Se hace por medio de extrusión del polímero en un proceso continuo en donde se somete a un proceso de estiramiento por medio de soplado de aire, posteriormente se enfría y la lámina formada y pasa al área de corte.

Punzonado: Proceso mediante el cual se inserta un punzón caliente en la tela para unirla.

Punzonamiento: Es el proceso de agujado o punzonado.

PVC: producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo.

Silos: Lugar subterráneo y seco en donde se guarda el trigo u otros granos, semillas o forrajes. Modernamente se construyen depósitos semejantes sobre el terreno.

Suelos cohesivos: Los suelos cohesivos poseen la propiedad de la atracción intermolecular, como las arcillas.

Sustrato: Estrato que subyace a otro y sobre el cual puede influir.

Talud: declive del parámetro de un muro o del suelo.

Tejidos tricotados: tejidos en tejido de punto.

Tenacidad: Fuerza tensil a la ruptura.

Termoplástico: Dicho de un material: Maleable por el calor.

Terraplén: Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante. Desnivel con una cierta pendiente.

Tobera: Pieza de la hiladera que se compone de numerosos orificios por donde pasa el material ya extruído.

Tracción: Alargamiento que se produce en el sentido de las fuerzas que lo provocan.

Troquelar: Recortar con troquel piezas de plástico, cuero, cartones, etc.

TÉRMINOS GEOSINTÉTICOS EN INGLÉS

Geosintéticos: Geosynthetics

Geotextiles: Geotextiles

Geomembranas: Geomembranes

Georredes: Geogrids

Geomallas: Geomeshes

Geomantas: Geomats

Geoceldas: Geocells

Geocompuestos: Geocomposites

FUENTES DE REFERENCIA

. BÁSICAS

AUVINET, G. Gabriel, DEPFI; UNAM, Rodrigo Murillo F., IMTA; CNA, Carlos Oliva A., CNA, Tendencias actuales en el desarrollo y uso de geosintéticos. (Sin año).

BASF. Manual de tintura y acabado de fibras de poliéster solas o en mezcla con otras fibras (Manuales), UIA. (Sin año)

BRADDOCK, S. E., O'Mahony, M. Techno Textiles, 1ª edición, Thames and Hudson, Inglaterra, 1999.

CALLES, A., Santa Ana, J. Diseño y construcción de rellenos sanitarios utilizando geosintéticos (tesis). UIA, México, D.F. 1999.

CAMPBELL D., Hoechst Celanese Co./E.U.A. Avances en Geotextiles, Manual (Sin año).

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Diccionario de la Lengua Española, Vigésima segunda edición. 2003.

DEN HOEDT, G. 4th International Conference on Geotextiles Geomembranes and Related Products, 1st. Edition. Ed. Balkema. Volume 1. Volume 2. Volume 3. Netherlands. 1990.

GALINDO, C., Galindo, M., Torres-Michúa, A. Manual de redacción e investigación, 1^{ra}. Edición. Ed. Grijalbo. México, 1997.

GEOTEXTILES. Proceedings of the international workshops on geotextiles, Bangalore India, 1991.

GIROUD, J.P. Geotextiles and Geomembranes Definitions, Properties and Design, 4th. Edition. Ed. IFAI. 1984.

HOLLEN, N., Saddler J., Langford L.A. Manual de los textiles; 5^{ta} Ed. Limusa, México, 1990. Tomo I.

INGOLD, T., Miller, K. Geotextiles Handbook. Thomas Telford Limited. Londres Inglaterra, 1988.

INGOLD, T. Geotextiles and Geomembranes Manual, 1st. Edition, Elsevier Advanced Technology. Inglaterra, 1994.

- JOHN, N. Geotextiles. Blackie and Son. New York, USA., 1987
- KOERNER, R. Designing with geosynthetics. Prentice-Hall. New Jersey, USA., 1986.
- LARA, R. Diseño de Telas de Poliéster, Acabados y criterios (tesis). UIA, México, D.F., 1999.
- MURGUÍA, I., Salcedo, J. Redacción e investigación Documental I, 1^{ra}. Edición. Ed. UPN. México, 1988.
- PEY, S., Ruiz, J. Diccionario de Sinónimos, ideas afines y contrarios, 3^{ra}. Edición. Ed. Teide-Barcelona. Barcelona 1966.
- PINEDA, P. Utilización de geosintéticos como prevención de agrietamiento por reflexión en sobrecarpetas asfálticas (tesina). UIA, México, D.F.1998.
- POLILAINER. Información técnica de productos Polilainer de México, S.A. de C.V. (Sin año).
- RAMÍREZ, A. Geo-Productos Mexicanos, S.A. de C.V. Folletos. (Sin año).
- RAMÍREZ, A. Manual de normas utilizadas para la Secretaría de Comunicaciones y transportes. Geo-Productos Mexicanos. (Sin año)
- REVISTA. Revista de Derecho Urbanístico y Medio Ambiente. n.167. España. Febrero 1999.
- SMITH, C. G., Navarro C. A. Principales problemas y soluciones en la selección y aplicación adecuada de pigmentos en la industria del plástico. (tesis). UIA, México, D.F. 1990.
- TORRES, C., Maldonado, C. Estudio de la influencia del Bióxido de Titanio en el teñido de fibras poliéster con colorantes dispersos (tesis). UIA, México, D.F., 1995.
- TYRONE, L., Albin, T. High-Tech Fibrous Materials, 1st. Edition, ACS Symposium Series. USA., 1991.

COMPLEMENTARIAS

- ROBERT, M. Doerner, PhD., P.E. Professor and Director Geosynthetic Research Institute, Drexel University, Philadelphia, PA

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<http://www.icerda.es/oppr>

<http://www.evi.com.mx>

<http://www.buscon.rae.es/drael/html/cabecera.htm>

<http://www.carimo.it/argomento.cfm?sez=34>

<http://www.iseg.giees.uncc.edu/dictionary.cfm?term=INTERNATIONAL%20GEOTEXTILE%20SOCIETY>

<http://www.abolsamia.pt/.../imagens/obras/imperm3a.gif>

<http://www.gobcan.es/medioambiente/revista/2002/23/282/>

<http://fai.unne.edu.ar/biologia/adn/adntema1.htm>

<http://www.telecable.es/personales/albatros1/quimica/industria/polimerizacion.htm>

<http://www.tiscali.co.uk/reference/encyclopaedia/hutchinson/m0000887.html>

<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/tiposM2.htm>

<http://www.america.com.uy/userfiles/productos/>

<http://www.kordarna.cz/geosynthetics/armatex-g/03>

<http://www.gavion.com/inicio.htm>

http://www.linteco.es/html/body_lintodrain.htm

<http://www.tenax.net/geosinteticos/geosinteticos.htm>

http://www.ecogreenservice.com/docs/galleria7_sp.html

<http://www.arangeo.ru/>

http://www.tensor.nl/images/NL/Erosie_0291_02_225.jpg

<http://www.nagreen.com/resources/>

http://www.tdm.com.pe/geomallas_uso.shtml

<http://www.reslope.com/>

<http://www.tenax.net/page/spg00033.html>

<http://www.uyweb.com.uy/construnet/sau/>

<http://www.uyweb.com.uy/construnet/liga/>

<http://igs.rmc.ca/igs/index.html> - International Geosynthetics Society

<http://www.drexel.edu/gri/index.html> Geosynthetic Research Institute

http://www.spec-services.com/company_profile.htm - Geospec Laboratorio

<http://www.forester.net/ec.html> - Erosion Control Online

<http://www.bidim.com.br/>

<http://www.aashto.org/>

<http://www.cybercore.com.uy/aiu.htm>

<http://www.huesker.com/index.htm>

DIRECTORIO EN MÉXICO

GMA Asociación de materials Geosintéticos

Calle: Heriberto Frías No. 704, Col. Del Valle, C.P. 03100
Teléfono: 55 23 11 16

Geo-productos Mexicanos, S.A.

Dirección: Francisco I.Madero No. 113, Barrio San Miguel, C.P. 08600
Teléfono: 55 79 91 64

Pyn, S.A. de C.V.

Dirección: Calle nueve No. 8, Fracc. Industrial Alce Blanco, C.P. 53370
Teléfono: 57 28 04 00
Página: www.MASTERPROV.com/dir/pynsa

Tenax, S.A. de C.V.

Dirección: Av. López Mateos Sur No. 5187, Col. Las Aguilas, C.P. 45087
Teléfono: (33) 631 31 99
Página: www.tenax.net

Poliliner

Dirección: Eje Central Lázaro Cárdenas #630 Planta baja, C.P. 03400
Teléfono: 55 79 02 93
Mail: cglm@poliliner.com.mx

Directorio internacional de proveedores

INGOLD, T. Geotextiles and Geomembranes Manual, 1st. Edition, Elsevier
Advanced Technology. Inglaterra, 1994. (pág. 544-596)

PRECIOS DE GEOTEXTILES

Actualmente (2006) en México, el m² de geotextil de polipropileno cuesta de \$7 a \$16 pesos instalada en una obra menor a 5,000 m²; para obras más grandes se puede reducir este costo hasta en un 20%.

PRECIOS DE GEOMEMBRANAS

Por otro lado el precio de la geomembrana de 1mm. de espesor, oscila entre los \$35 y \$100 pesos instalada el m², también con la capacidad de reducirlo si se trata de una obra de más de 5,000 m².¹

Por ser materiales sintéticos, estos precios se rigen por los cambios en los costos de los polímeros, por lo que se anexa también una tabla actual (JUNIO 2006) de tarifas en plásticos.

¹ Información de Poliliner. Dirección: Eje Central Lázaro Cárdenas #630 Planta baja, C.P. 03400. Teléfono: 55 79 02 93. mail: cglm@poliliner.com.mx

Polymerscan

Volume 29 / Issue 26 / June 28, 2006

Platts Polymer Price Assessments

(US\$/mt)

	FAS HOUSTON	US Domestic* divd railcar	FOT Brazil**	CFR FE ASIA	CFR SE ASIA	CFR West Asia
PVC SUSP	795-805	54.00-56.00	—	830-840	830-840	—
LDPE G-P	1366-1388	69.50-70.50	1200-1330	1270-1280	1270-1280	—
LLDPE (Butene)	1344-1366	67.50-68.50	1170-1240	1265-1275	1265-1275	—
HDPE Inj	1388-1410	64.50-65.50	1200-1275	1270-1280	1270-1280	1270-1280
Bmldg	1410-1432	64.50-65.50	1200-1275	1280-1290	1280-1290	1270-1280
Film	1410-1432	64.50-65.50	1200-1275	1280-1290	1280-1290	1270-1280
PP Homo Inj	1224-1246	73.50-76.50	1270-1280	1240-1245	1235-1240	1280-1290
Fiber	—	73.50-75.50	—	—	—	—
iPP Film	—	—	—	1255-1260	1255-1260	1290-1295
BOPP	—	—	—	1245-1250	1240-1245	1285-1290
Copol	1267-1289	—	1300-1310	1280-1285	1275-1280	1315-1320
PS G-P	1355-1377	82.50-84.50	—	1280-1290	1280-1290	—
HIPS	1421-1444	85.50-87.50	—	1325-1335	1325-1335	—
ABS Inj	—	—	—	1550-1560	1550-1560	—

Notes: FAS Houston and CFR Asia prices are spot; *Prices are in cts/lb; **Export material via truck to MERCOSUR markets; PP Homo Inj price quotes for Asia include Raffia grade.

	FOB NWE	FD NWE Contract	FD NWE* Spot	CHINA DOMESTIC (Yuan/mt ex-work):	
PVC SUSP	880-930	1194-1213	805-850	LDPE	12800-13000
LDPE G-P	1380-1400	1564-1576	1140-1150	LLDPE	12300-12500
LLDPE (Butene)	—	1501-1514	1080-1100	HDPE film	13000-13200
(Cast Stretch Film)	—	1551-1564	—	PP raffia/inj	11950-12000
HDPE Inj	1380-1400	1489-1501	1150-1170		
Bmldg	1380-1400	1451-1464	1080-1100		
Film	1380-1400	1451-1464	1080-1100		
PP Homo Inj	1220-1240	1482-1507	1075-1085		
PP Copol	1270-1290	1545-1570	1145-1155		
PS G-P	1310-1340	1589-1601	1180-1200		
HIPS	1385-1415	1664-1676	1245-1255		
ABS GP/Nat	1760-1790***	1952-1977	1550-1580		
Ave color	—	2439-2464	—		

Notes: FOB NWE prices are based on exports of 300mt or more. FD NWE CONTRACT = FD Germany Euro contract price converted into US dollars; *FD NWE SPOT prices are in Eur/mt; *** CFR NWE in \$/mt

Weekly averages of daily polymer assessments

	CFR FE Asia (\$/mt)	FD NWE (Euro/mt)	FAS Houston (\$/mt)
HDPE	1290-1300	—	—
LDPE	1273-1283	1138-1150	1311-1322
LLDPE	1258-1266	1092-1104	1311-1322
PP Homo	1240-1250	1089-1099	1255-1265

Note: The weekly average represents the average of Thursday last week through Wednesday this week.

Euro Contract Assessments

(Euro/mt)

	Germany	Holland	Italy	France	Spain	Britain*
PVC susp	955-970	955-970	955-970	955-970	920-935	680-695
LDPE G-P	1250-1260	1250-1260	1250-1270	1250-1260	1250-1260	860-870
LLDPE (Butene)	1200-1210	1200-1210	1200-1220	1200-1210	1200-1210	825-835
(Cast stretch film)	1240-1250	1240-1250	1240-1260	1240-1250	1240-1250	855-865
HDPE Inj	1190-1200	1190-1200	1190-1200	1190-1200	1190-1200	815-825
Bmldg	1160-1170	1160-1170	1160-1180	1160-1170	1160-1170	800-810
Film	1160-1170	1160-1170	1160-1180	1160-1170	1160-1170	800-810
PP						
Homo Inj	1185-1205	1185-1205	1185-1205	1185-1205	1185-1205	810-825
Copol	1235-1255	1235-1255	1235-1255	1235-1255	1235-1255	845-860
PS						
G-P	1270-1280	1270-1280	1270-1280	1270-1280	1270-1280	875-885
HIPS	1330-1340	1330-1340	1330-1340	1330-1340	1330-1340	915-925
ABS						
GP/Nat	1560-1580	—	1560-1580	1560-1580	1560-1580	1075-1085
Ave color	1950-1970	—	1950-1970	1950-1970	1950-1970	1345-1355
Auto black	1780-1800	—	1780-1800	1780-1800	1780-1800	1225-1235

* assessments are in British Pounds per metric ton.

Exchange rate basis: Euro 1 TO USD 1.25100/ GBP 1 TO Euro 1.45400