

Aplicaciones de los geotextiles a obras de infraestructura

Rodrigo Murillo Fernández

Consultivo Técnico, IMTA

Los geosintéticos –o productos plásticos con aplicación en la ingeniería civil– representan un avance fundamental para la ejecución de obras de infraestructura, al permitir la modificación de las condiciones desfavorables en obras térreas. En particular, los geotextiles proporcionan la posibilidad de separar, reforzar, drenar y sustituir materiales naturales, por lo que su uso es cada vez más frecuente en la construcción. En este artículo se mencionan las características principales de estos materiales, sus aplicaciones y algunos ejemplos realizados en México.

Antecedentes

El constructor siempre ha diseñado métodos ingeniosos cuando se presentan condiciones difíciles para apoyo de estructuras. Desde las épocas precolombinas, los moradores del Anáhuac utilizaban ramas y zacate que formaban un soporte para los rellenos que hacían sobre suelos blandos (DDF, 1975).

Con el mismo marco conceptual, en las dos últimas décadas se han desarrollado productos que reducen la pérdida de los materiales de relleno sobre suelos muy deformables, y se han fabricado textiles, mallas y redes con polímeros derivados del petróleo.

A principios de los años 70, con aplicación a vías de comunicación, se crearon en Francia las primeras telas sintéticas para ingeniería (Chemie, 1987), principalmente con el fin de mejorar la capacidad del terreno de cimentación, cuando el material de relleno se incrusta, además de contaminarse y perder sus propiedades, como ocurre en los suelos pantanosos o en los arcillosos blandos.

En 1971, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Alberro, 1971), realizó ensayos con diversas telas nacionales con objeto de conocer sus propiedades y en 1973, en la entonces Secretaría de Recursos Hidráulicos, se construyeron dos terraplenes en el Lago de Texcoco, uno como testigo y otro con refuerzo en la cimentación, para probar las bondades de la tecnología en desarrollo. En esta

primera experiencia se utilizó un geotextil 100% de poliéster, específicamente fabricado en México para esta finalidad.

Hoy, el uso de los geotextiles se ha diversificado y se han encontrado variadas aplicaciones; además de aprovecharse para caminos, se emplean de manera importante en las obras hidráulicas, la estabilización de taludes y la construcción en general.

Funciones

Con las pruebas realizadas a los geotextiles en múltiples obras y lugares en todo el mundo, se han obtenido diversas experiencias, tanto de sus propiedades como de sus aplicaciones, que pueden cumplir las siguientes funciones (Chemie, 1987; Márquez, 1981 y Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987a):

- Separación de materiales: al evitar o reducir la mezcla de materiales de distintas granulometrías, mediante la retención de material más fino e impidiendo la incrustación de las partículas de mayor tamaño en suelos blandos.
- Filtrado: al reducir o evitar la migración de finos por flujo.
- Drenado: al permitir el libre flujo del agua y reducir la presión en el líquido.
- Reforzamiento: al soportar tensiones y redistribuir esfuerzos, además de estabilizar la masa de suelo.

- Protección: al reforzar las geomembranas impermeables, para resistir las acciones mecánicas en la instalación y operación y para evitar la subpresión de gases y agua.
- Impermeabilización: al formar una membrana impermeable, por medio de la impregnación con productos asfálticos (geomembrana elaborada en el lugar).

Materiales y tipos

Si bien los textiles surgen con la civilización, su aplicación práctica en obras de ingeniería se realiza hasta que la industria petroquímica elabora múltiples tipos de fibras, cuyas ventajas principales sobre los materiales de origen orgánico son su imputrescibilidad y la posibilidad de producir las en cualquier diámetro y longitud.

En la elaboración de geotextiles se emplean diversos polímeros, entre los que destacan el polipropileno, el poliéster, el polietileno, la poliamida (nilón) y el cloruro de polivinilo (PVC), presentados como filamentos continuos, cortados o en forma de cintas. Algunos productos comerciales están compuestos por dos o más tipos de fibras y pueden estar reforzados con telas tejidas de polietileno (véase ilustración 1).

En el proceso de fabricación de los textiles para ingeniería, se distinguen dos tipos: los tejidos, que comúnmente se elaboran con cintas en dos direcciones siguiendo los procedimientos tradicionales, y los no tejidos, con filamentos continuos distribuidos aleatoriamente en el plano de la tela (Chemie, 1987; Dupont, 1989 y Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987b). En este último caso, se aplican tres métodos para obtener una trabazón adecuada entre las fibras: el agujeteado o punteado de la tela para entrelazarlas, el calor para soldar entre

sí los contactos (Dupont, 1989) y la impregnación de resinas.

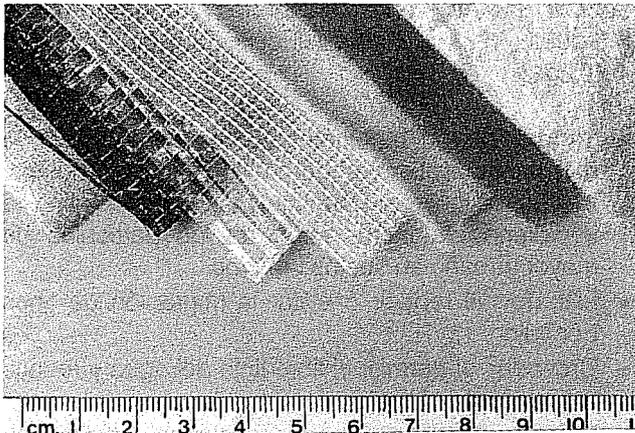
Los textiles sintéticos disponibles para uso general se pueden emplear en ingeniería, siempre que cumplan con los requisitos de homogeneidad, resistencia y estabilidad. Así, su utilización en la construcción de obras civiles abarca desde bajoalfombras hasta fieltros y telas para cobertores (Commission on Geotextiles of the USSR (ed.), 1989 y Murillo, 1979).

Propiedades y ensayos

Como todo producto elaborado, una de las principales cualidades de los textiles es la homogeneidad de sus propiedades, a diferencia de los materiales naturales. Sin embargo, sus características físicas y químicas deben verificarse a fin de asegurar un comportamiento adecuado (véase ilustración 2).

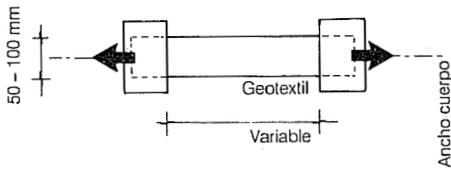
Es importante señalar que, por el propio proceso de fabricación, se esperan diferentes respuestas físicas en los sentidos perpendicular y paralelo al plano del textil, así como variaciones en el sentido de fabricación y transversal a éste. Las principales propiedades que se analizan en un geotextil son (ASTM Standards on Geotextiles, 1988; Chemie, 1987; Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987a y J. Steward y J. Mohny, 1988):

- *Peso y espesor.* Se obtiene la masa media por unidad de superficie (g/m^2); y el espesor del textil (t), sometido o no a diversos niveles de presión.
- *Resistencia a la tensión en tiras.* Es una prueba índice en que se determina la resistencia última y la deformación a la falla, así como los módulos de deformación del material.
- *Resistencia a la tensión grab.* A diferencia de la anterior, la mordaza no abarca el ancho total de la probeta, sino dos porciones intermedias.
- *Resistencia al desgarre.* En una muestra trapezoidal, se determina la resistencia del material sin que se propague un corte inicial al someterlo a tensión.
- *Resistencia al perforado o punzonamiento.* El textil fijo en forma anular, se somete a la penetración de un cilindro hasta su falla.
- *Resistencia al reventamiento (Mullen Burst).* Por medio de presión hidráulica y con una membrana para aplicarla, se produce la ruptura del textil en forma de ampolla.
- *Permeabilidad normal y paralela al plano del textil (K_n y K_p).* Se determina la permeabilidad al agua a diferentes niveles de esfuerzo. Además, se obtiene la tasa de flujo o volumen de agua por unidad de superficie en un lapso determinado.

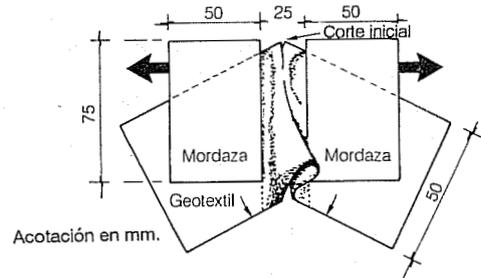


1. Diversos tipos de geotextiles

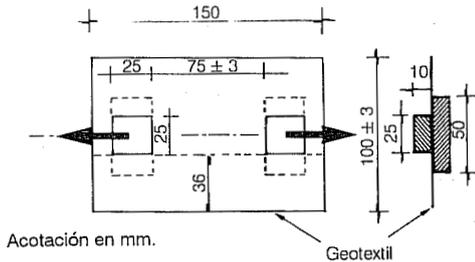
2. Algunas pruebas de resistencia física



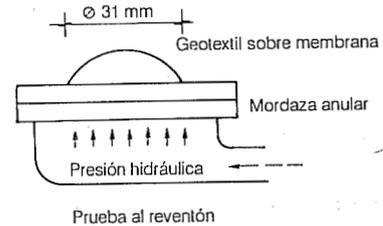
Prueba de tensión en tiras



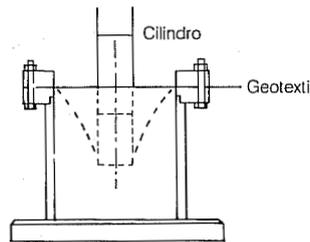
Prueba de resistencia al desgarre trapezoidal



Prueba de tensión grab



Prueba al reventón



Prueba de punzonamiento

- *Abertura aparente de poros AOS (Apparent Opening Size), o apertura equivalente de poros, EOS (Equivalent Opening Size).* En seco o por vía húmeda, se determina el diámetro medio entre los filamentos, que evita el paso de partículas de un suelo normalizado a través del textil; o bien, se determina la abertura media con otros métodos: AOS ó O95 que es el tamaño aproximado de la mayor partícula que atraviesa la tela y EOS ó P95 que es un diámetro de poros tal que el 95% sea menor.
- *Estabilidad a la radiación ultravioleta, ataque químico y biológico.* Los materiales se someten a estos efectos en forma acelerada y se compara su resistencia a la tensión en tiras o reventamiento sin estos factores de intemperismo.

Conviene indicar que, por tratarse de tecnologías en desarrollo, las pruebas a los textiles para ingeniería se encuentran en estado de perfeccionamiento; existen varios grupos de estudio que han propuesto ensayos que aún no se utilizan mucho, pero que una vez evaluada su capacidad para caracterizar las propiedades de los materiales, seguramente se emplearán en forma intensiva (ASTM Standards on Geotextiles, 1988; Stewart y Mohney, 1982).

Diseño

En general, para la separación y el reforzamiento de los textiles, se presentan al usuario sus propiedades y posibles aplicaciones, determinando mediante nomogramas o tablas, el producto recomendado por el fabricante para casos tipo. Sin embargo, esta forma de diseño no se considera adecuada, ya que es más conveniente analizar las solicitaciones de la obra y determinar los valores de resistencia requeridos mediante herramientas numéricas.

En el caso de filtros y drenes, los criterios de selección se basan comúnmente en la granulometría de los suelos y en la porometría o distribución de abertura de los poros del textil. Las principales recomendaciones de la Armada de los EUA, para el empleo de textiles como filtros son (US Navy (ed.), 1986):

- No deben usarse textiles no tejidos o tejidos con menos del 4% de área libre, cuando exista limo en suelos arenosos. Un textil con una abertura (EOS) igual a la malla #30 (0.59 mm) y un área libre del 36%, retiene arenas que contienen limo.
- Cuando se descarga roca directamente sobre la tela o existe subpresión por artesianismo, la

resistencia mínima a la tensión (ASTM Standards on Geotextiles, D1682) en las direcciones de mayor y menor resistencia, no será menor de 1557 y 890 Newtons, respectivamente. La deformación a la falla debe ser inferior a 35% y la resistencia mínima al reventamiento (ASTM D751), de 3585 kilopascasles. Estos requisitos no se considerarán si los textiles se utilizan en obras donde no se requiera alta resistencia o no haya abrasión.

- Las fibras de polipropileno, PVC y polietileno son afectadas por los rayos solares, por lo que deben protegerse. En general, los materiales son resistentes a contaminantes, insectos y horadación por animales, así como a la mayoría de las condiciones típicas.
- Cuando los textiles se usan en drenes colectores, el relleno debe ser de arena limpia o grava graduada, de tal manera que su D85 sea mayor que el EOS. En los drenes colectores de trincheras, el tubo perforado estará separado del textil cuando menos por 15 cm de material granular.
- Los textiles deben ser fabricados con monofilamentos y su absorción no excederá de 1%, para reducir la posibilidad de expansión y la consecuente modificación del EOS y del porcentaje de área libre.

Según J. Steward y J. Mohny (1988), las características mínimas que deben cumplir los geotextiles para drenaje en condiciones severas son, en cuanto a la resistencia:

- A la tensión *grab*, de 801 N (ASTM D4632).
- En las uniones, de 712 N (ASTM D4632).
- Al punzonamiento, de 356 N (TF25#4).
- Al reventamiento, de 1999 kPa (TF25#3).
- Al desgarre trapezoidal, de 222 N (ASTM D4533).
- Después de 150 horas de degradación con rayos ultravioleta, mayor del 70% (ASTM D4355).

En cuanto a los suelos:

- Con 50% o menos de partículas menores de 0.074 mm, el AOS debe ser menor de 0.6 mm.
- Con más del 50% de partículas menores de 0.074 mm (ASTM D4571), el AOS debe ser menor de 0.297 mm.
- La permeabilidad debe ser mayor que la del suelo (ASTM D4491-85).

Para controlar la erosión, bajo condiciones severas, las características mínimas de resistencia son ligeramente mayores:

- A la tensión *grab*, de 890 N, con una elongación mínima de 15%.
- En uniones, de 801 N.
- Al reventamiento, de 2206 kPa.
- Al punzonamiento, al desgarre; AOS, la permeabilidad y la resistencia a la degradación ultravioleta serán idénticos a los requeridos para drenaje.

Para realizar un diseño adecuado con este tipo de materiales, conviene emplear los procedimientos de cálculo propuestos en los tres congresos internacionales sobre geotextiles realizados en fechas recientes (París 1977, Las Vegas 1982 y Viena 1986), en los que diversos grupos de estudio de instituciones públicas y de investigación han establecido procedimientos de análisis teóricos y semiempíricos, con base en pruebas de laboratorio y campo.

Aplicaciones de los textiles

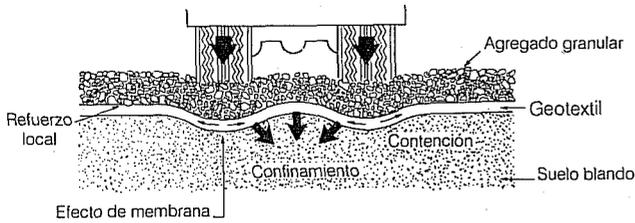
En virtud de las diversas funciones de un geotextil, su uso tiene por lo general una función primaria y otras secundarias. Sin pretensiones exhaustivas, a continuación se mencionan las obras en que pueden utilizarse y las funciones que realizan, así como algunos casos de aplicación en nuestro país.

Terraplenes sobre suelos blandos

En la construcción de vías terrestres, sobre turbas o arcillas con altos contenidos de agua, es frecuente tener bajos valores relativos de soporte (VRS), y la colocación de un textil como separador entre el suelo blando y el relleno de material granular, ha logrado reducir el volumen del material requerido para estabilizar el terraplén. En los años 70, se consideraba a este efecto como refuerzo a la tensión (efecto de membrana), pero en la actualidad se ha demostrado que es despreciable. En cambio, mediante el uso de un geotextil se logra mantener unido el relleno sin que penetre material fino que contamine el terraplén a través de grietas y permite además, una deformación más uniforme, un mejor drenaje, un incremento de la velocidad de consolidación y una redistribución del esfuerzo cortante horizontal (véase ilustración 3) (Chemie, 1987).

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha empleado este método en la construcción de carreteras en suelos muy blandos, como el acceso de la margen izquierda al puente Ing. Antonio Dovalí Jaime (Coatzacoalcos II), en una longitud del orden de 12 kilómetros (est. 17+250 a 29+280)

3. Separación de materiales y mecanismo de trabajo



(véase ilustración 4), así como en la carretera Coatzacoalcos-Minatitlán (Márquez, 1981). Se ha estimado que con este procedimiento se ahorró un 20% del material requerido para formar el terraplén (Márquez y Olivera, 1979). A la fecha, tras 9 años de construcción de estas obras, su comportamiento es adecuado y tienen pocas deformaciones, lo que demuestra que esta solución fue muy satisfactoria.

Rehabilitación de carpetas asfálticas

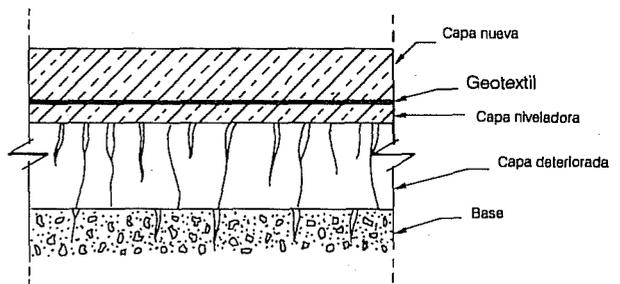
En los pavimentos flexibles, las solicitaciones mecánicas y climatológicas producen el agrietamiento de la base y carpeta, respectivamente. Las grietas en la base (o primarias), se transmiten hasta la superficie de rodamiento, mientras que las de la carpeta (o secundarias), debidas a la flexión y pérdida de ductilidad, permiten la entrada de humedad al pavimento. En el caso de aplicar una nueva carpeta, ambos tipos de grietas reaparecerán en ésta, por efecto de la "reflexión". Al utilizar entre la carpeta vieja y la nueva un geotextil impregnado con productos asfálticos hasta obtener una impermeabilización total, se evita el reflejo de las grietas preexistentes en el nuevo recubrimiento.

Previamente a la colocación del textil, es necesario realizar bacheo, relleno de grietas y limpieza de la superficie, eliminando agua, polvo, impurezas y vegetación. En casos extremos, cuando la carpeta se encuentra muy deteriorada con grietas y rodadas profundas, conviene poner una capa niveladora de 1.5 a 2 cm antes de colocar el textil (véase ilustración 5). En general, para impregnación (Phillips Petroleum, 1978), se utiliza de 1 L/m² de productos asfálticos. Se ha recurrido a este tipo de aplicación en los pavimentos flexibles de los aeropuertos de la Ciudad de México, Mazatlán y Guadalajara (véase ilustración 6), así como en la Central de Abasto del DF (Ramírez, 1989).

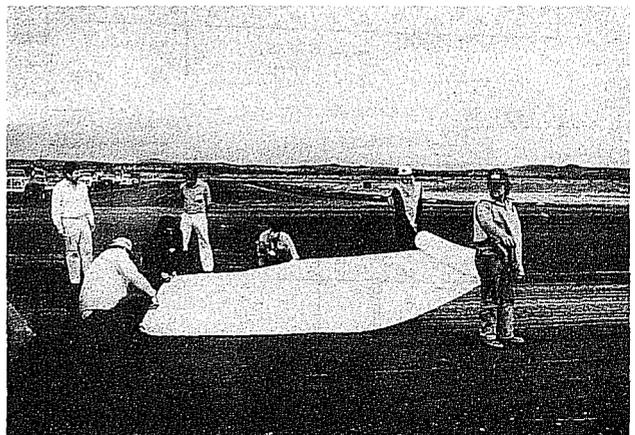
Control de erosión hidráulica

Hay dos situaciones en las que la utilización de una tela para ingeniería previene la migración de partículas de suelo por acción del agua: la primera es en condiciones de una intensa solicitación mecánica, para la protección contra el oleaje en obras fluviales o marítimas; la segunda es para prevenir el transporte de finos por flujo interno (tubificación).

5. Rehabilitación de carpetas asfálticas



4. Acceso margen izquierda al puente Coatzacoalcos II



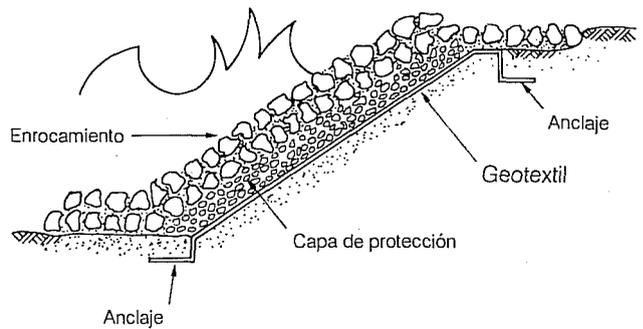
6. Rehabilitación de carpeta en el aeropuerto de Guadalajara

En la protección contra la erosión causada por el oleaje, se utiliza la tela para sustituir al filtro o a la transición entre el material fino por proteger y el enrocamiento o recubrimiento de concreto, para retener los finos del suelo y simultáneamente evitar que haya presión hidráulica entre el suelo y el textil. En este caso, hay flujo en dos direcciones y abrasión en el textil. En este tipo de obra, casi siempre se coloca una capa intermedia de grava-arena entre el enrocamiento y el geotextil, con función de protección contra el punzonamiento originado por la caída de las rocas durante la colocación (véase ilustración 7). El espesor de esta capa es del orden de 7 a 15 cm y las partículas tamaño medio miden la cuarta parte de los fragmentos de roca (Dupont, 1989 y Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987b). En obras provisionales, el enrocamiento se ha colocado directamente sobre el textil con gran éxito (Barr y Hener, 1989).

Según sea la forma de fabricación del textil y las propiedades de los materiales que separa, existirá una mayor o menor fricción o adherencia entre ambos, pero es común que cualquier producto sea estable en taludes 3:1 y en algunos casos hasta 2:1, cuando se proporciona un anclaje adecuado.

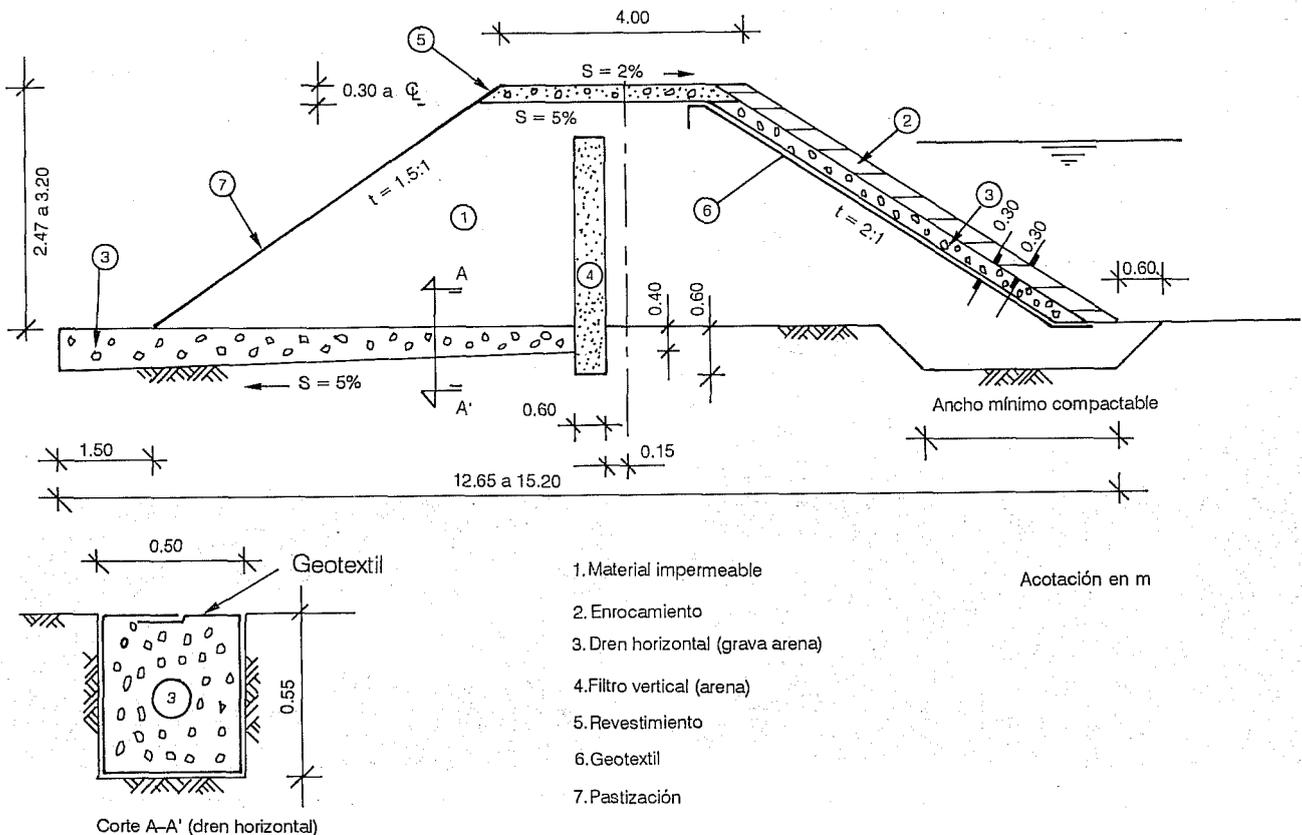
Para la protección contra el oleaje, se instaló un geotextil de polipropileno no tejido y termosoldado

7. Protección contra oleaje



en el talud interior del bordo del Lago Dr. Nabor Carrillo en Texcoco en la longitud total del terraplén de 11.778 m, cuya altura media es de 2.7 m y su talud interior de 2:1. Este se afinó con objeto de presentar una superficie uniforme, sobre la que se instaló el textil, sujeto en su parte superior en una trinchera de anclaje. Sobre la tela se colocó una capa de 30 cm de grava-arena y sobre ésta, el enrocamiento de 30 cm de espesor (véase ilustración 8) (Hernández, 1984; Rodríguez, 1982). El bordo fue construido de 1979 a 1983 y se encuentra en operación desde ese último año con niveles de agua que lo someten a un oleaje durante todo el año y hasta la fecha

8. Bordo del Lago Nabor Carrillo



ha tenido un buen comportamiento (véase ilustración 9). Debido a los grandes asentamientos producidos por la consolidación del terreno de cimentación, previstos en el diseño, en algunas zonas el talud interno está ahora más inclinado, por la reposición de elevación de la corona (Hernández, 1984), lo cual ha originado ligeros corrimientos de las capas de grava, arena y enrocamiento. Durante el año en curso, se efectuará una nueva nivelación y se colocará el geotextil necesario en la parte superior.

En el caso de solicitaciones mecánicas menos intensas que el oleaje, el funcionamiento del textil es básicamente el mismo que en el caso anterior, pero en general, los requerimientos de resistencia a la abrasión son menores. Es común que cuando se utiliza como protección contra la tubificación, el flujo sea sólo en un sentido, por lo que las características del textil deberán asegurar una permeabilidad de 10 a 100 veces mayor que la del suelo que protege (Chemie, 1987; Dupont, 1989 y Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987a), a fin de reducir la posibilidad de la generación de presión en el agua y, además, asegurar que sólo una pequeña fracción del suelo (5 a 10%), pueda introducirse en la tela (Chemie, 1987), con lo que se evita la migración de partículas y se reduce la posibilidad de colmatación (taponamiento).

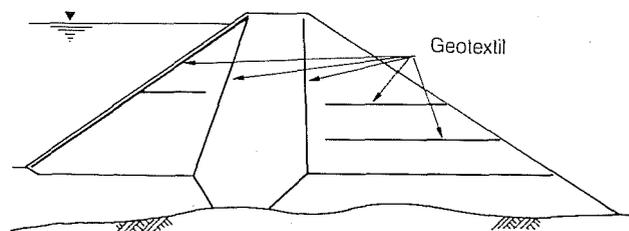
Cuando una tela de ingeniería se emplea como separador y dren, es necesario considerar que los esfuerzos aplicados pueden reducir notablemente su espesor, como ocurre en presas y terraplenes altos (véase ilustración 10), y por tanto, su capacidad drenante en el plano de la tela (transmisibilidad $\theta = K_{pt}$), además de que se ocluye con el tiempo (Abadjiev y Kalchev, 1989; Japelli *et al.*, 1989; Rollin *et al.*, 1989 y J. Steward y J. Mohney, 1988).

Se ha comprobado que en algunas situaciones, la colmatación del textil puede reducir la capacidad



9. Bordo del Lago Dr. Nabor Carrillo (1989)

10. Control de erosión interna y drenaje en presas



de drenaje en forma muy importante (Abadjiev y Kalchev, 1989), lo que crea situaciones de riesgo grave en las presas, ya que al formarse una barrera impermeable que genera altas presiones sobre la tela, (que por lo común no está fabricada para soportar estas solicitaciones), se puede reventar y provocar una condición más desfavorable que si no se hubiera empleado el geotextil. Por esta razón, es indispensable efectuar pruebas de compatibilidad entre el suelo y el textil y de la variación de la permeabilidad del conjunto con el tiempo (Van der Merwe y Horak, 1989).

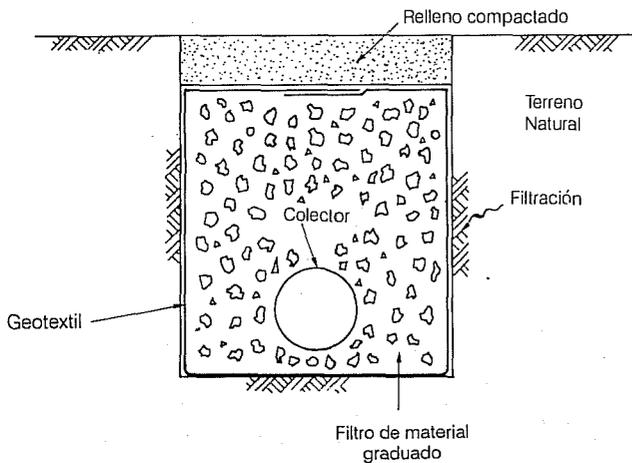
Los textiles para ingeniería se han empleado también como sustituto del filtro granular en pozos para agua, en la Zona II de Sicartsa, en Lázaro Cárdenas, Mich. (Ramírez, 1989), y en el Lago de Texcoco, México.

Drenes

Para la remoción de las aguas pluviales, el abatimiento de niveles y las presiones del agua o para el desalojo de filtraciones, se utiliza un textil en contacto con el suelo por drenar, relleno con material permeable granular, que puede incluir una tubería perforada para obtener una mayor eficiencia (véase ilustración 11). Es recomendable que la relación de permeabilidades sea mayor de 100 en suelos cohesivos (Chemie, 1987). Los drenes pueden tener cualquier pendiente. En el Lago Nabor Carrillo, se utilizaron drenes horizontales de este tipo, formados con grava-arena de tezontle, envuelta en textil destinado a servir de bajoalfombra y cuyas propiedades de resistencia y permeabilidad fueron verificadas en el laboratorio. La función de estos elementos es desalojar las filtraciones captadas por el filtro vertical del terraplén (Rodríguez, 1982).

Los elementos conformados con un núcleo drenante de material plástico rodeado por el textil, que se hincan mecánicamente o se colocan en perforaciones, en posición vertical o cercana

11. Drenes subterráneos (con o sin colector)

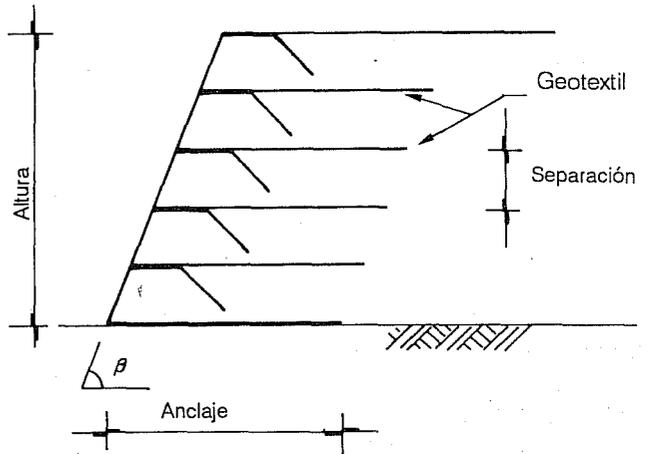


a ésta, reciben el nombre de geodrenes. Se usan principalmente para acelerar el proceso de consolidación de los suelos blandos, por lo que se combinan con la colocación de cargas sobre el terreno de cimentación. Este tipo de aplicación se realizó en 1981, en el terraplén del Acueducto Teapa-Barrillas (que finalmente no se concluyó), en Coatzacoalcos Ver. (véase ilustración 12). Con estos drenes verticales hincados con maquinaria especial, se logró consolidar y estabilizar de manera rápida el cuerpo del bordo de arena.

Reforzamiento de taludes

Cuando se requieren taludes de baja altura con una inclinación superior a 60° , se emplea el método de encapsulado de suelo para formar un "muro de suelo", con capas de tierra confinadas por el textil. En este caso, es necesario proteger la tela de los rayos

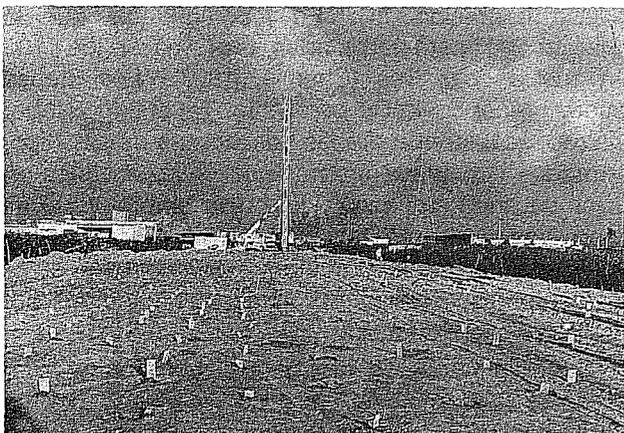
13. Muro de contención reforzado



ultravioleta, en la cara del talud (véase ilustración 13).

Aunque la tela funciona como un refuerzo horizontal del talud, difiere un poco del método de tierra armada (*reinforced earth*), ya que para desarrollar la tensión en los elementos metálicos se requieren menores deformaciones que en un textil, sobre todo en los no tejidos (Chemie, 1987). La separación del textil entre las capas varía, por lo general, entre 10 y 50 cm. A la fecha, no se ha propuesto un mecanismo racional de funcionamiento de los muros de tierra, pero se recomienda su empleo sólo cuando la cimentación sea firme, con niveles bajos de carga y alturas menores de 10 m (Chemie, 1987; Steward y Mohny, 1982). En la zona poniente del Valle de México, se ha recurrido a esta opción en la construcción en laderas (Ramírez, 1989) (véase ilustración 14).

Conviene señalar que los métodos de diseño recomendados por los fabricantes resultan muy



12. Terraplén del acueducto Teapa-Barrillas



14. Muro de suelo, poniente del Valle de México

conservadores, quizá debido a que los refuerzos funcionan simultáneamente como drenes, por lo que conservan al relleno casi sin esfuerzos neutrales. Se considera que esta opción es costosa y, mientras no haya un método más racional de diseño, sólo deberá emplearse en obras cuya falla no pueda representar riesgos serios.

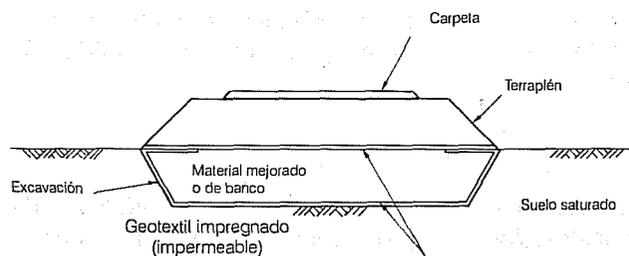
Encapsulado impermeable

Consiste en aislar de humedad una porción de suelo. El textil se utiliza básicamente para separar los materiales y como una barrera impermeable; forma grandes bolsas de suelo que evitan la introducción de agua al material, para conservar sus propiedades (véase ilustración 15). Se ha empleado sobre todo en caminos, con la remoción de parte del material de cimentación, el cual se mejora por secado o medios químicos; el textil se coloca en la excavación y se impregna con productos asfálticos hasta lograr su impermeabilización. Sobre éste, se pone el producto de la excavación mejorado o el material importado y se cierra, formando una bolsa a la que también se le impregna la cubierta; finalmente, sobre este gran colchón o subrasante aislada de la humedad, se construye el pavimento (Ramírez, 1989).

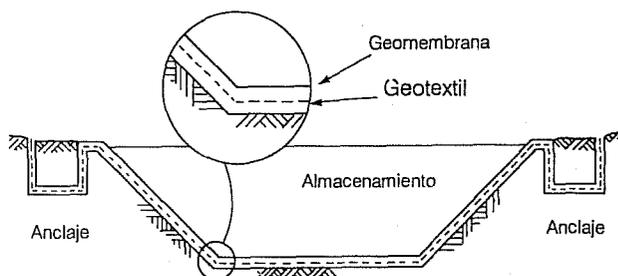
Protección y drenaje de membranas

En la impermeabilización de estanques para agua o líquidos, en muchos casos se emplean geomembranas o láminas impermeables de poco espesor, fabricadas también con polímeros. Si bien las membranas son de hecho impermeables, por su espesor son muy susceptibles a dañarse por rasgado o punzonamiento. La aplicación de un geotextil conjuntamente con la membrana, proporciona a ésta una mayor resistencia a la tensión del conjunto membrana-textil, además de absorber acciones mecánicas como golpes, abrasión, etc. y reducir el riesgo de punzonamiento debido al material anguloso de la cimentación

15. Encapsulado impermeable



16. Refuerzo y protección de membranas impermeables



(véase ilustración 16). La capacidad drenante del textil permite evitar la formación de zonas de presión bajo el recubrimiento por la acumulación de gases y la eliminación de subpresión que levante el recubrimiento (Chemie, 1987; Phillips Fibers Corporation (ed.), 1987b).

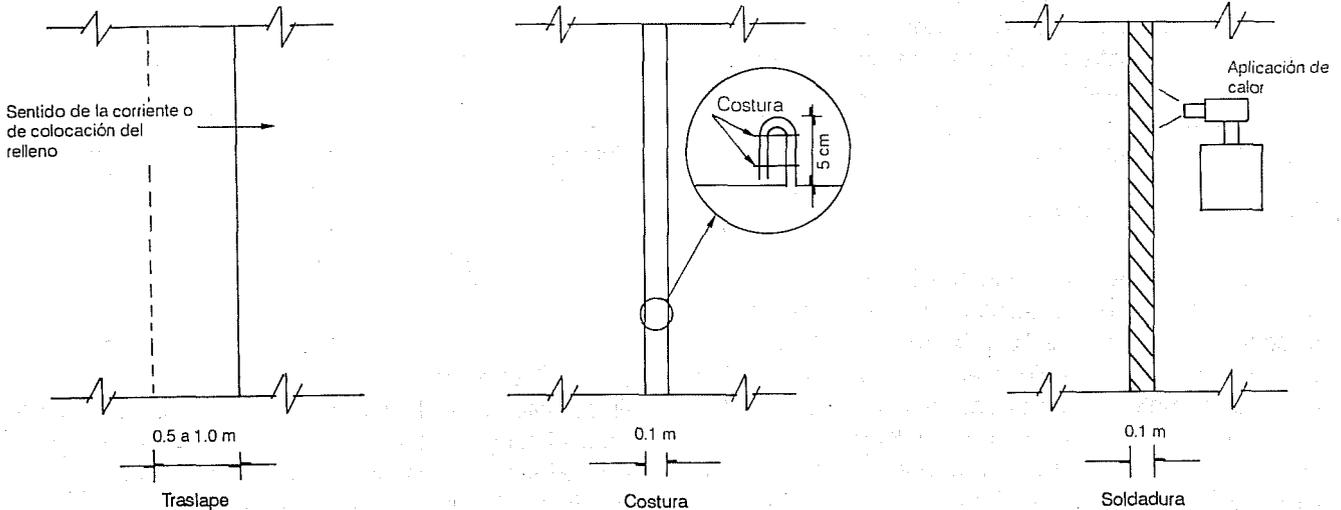
Los principales campos de aplicación del conjunto membrana-textil han sido en la construcción de embalses para agua potable en regiones con escasez del líquido, en el aislamiento de desechos industriales, domésticos, nucleares o peligrosos, en los tanques para tratamiento o almacenamiento de aguas residuales y, en general, en aquellas situaciones en que se requiere reducir al mínimo las pérdidas por infiltración o la contaminación del terreno. En los últimos años, la combinación textil-membrana se ha utilizado cada vez más en las presas de tierra (Dewey, 1989; Giroud, 1989).

Uniones y anclajes

Dependiendo de cada caso específico, la unión de los lienzos de tela puede realizarse mediante traslape libre, costura, termosoldado o cuando se impregna el textil con el mismo producto asfáltico (véase ilustración 17). Si se espera que los terraplenes sufran grandes deformaciones de la cimentación, se recomienda un traslape libre, de 30 cm mínimo en suelo plano y 50 cm mínimo en suelo irregular o muy blando; en caso de aplicar soldadura térmica, basta con 10 cm de traslape; cuando se emplea costura, ésta deberá ser doble y su traslape será de 10 cm aproximadamente (Chemie, 1987; de Groot, 1989; Dupont, 1989 y Phillips Fibers Corporation (ed.), 1989b). En la protección contra oleaje, el traslape libre mínimo deberá ser de 1 m, o preferentemente, cosido. En estos casos, se recomienda que los extremos superior e inferior del textil queden anclados dentro del terreno cuando menos 1 m, de tal forma que el suelo lo confine de modo adecuado.

En corrientes de agua, el traslape será transversal

17. Traslapes y uniones de geotextil



al sentido del flujo y de manera que no permita que la corriente penetre entre dos hojas del textil y las separe. En drenes, es común el traslape libre, que en general será pequeño, de 10 a 15 centímetros.

- Son muy ligeros y en climas con viento su colocación puede ser difícil.

Ventajas y desventajas

Entre las características ventajosas de los textiles se encuentran:

- Calidad más homogénea que la de los productos naturales que sustituyen, como las arenas.
- Alta deformabilidad y comportamiento dúctil, lo que permite ajustarse a cualquier superficie.
- Capacidad de producirse específicamente para una obra, si el volumen lo amerita.
- Colocación rápida y sencilla.
- Fácil transportación.
- Mayor economía que los materiales granulares, cuando la distancia de acarreo es considerable.
- Durabilidad estimada superior a 30 años (Giroud, 1989).

Las principales desventajas son:

- Se alteran con la exposición a los rayos solares.
- En general son combustibles.
- Son susceptibles a daños y al vandalismo durante el proceso de instalación.
- Requieren de una colocación cuidadosa para que no se perforen o rasguen.
- Deben diseñarse para cada producto en especial porque aún no existe un método general de cálculo.

Futuro de los geotextiles

Cuando menos desde 1980 se han producido en México telas para obras civiles y en la actualidad hay varios fabricantes nacionales, así como concesionarios de textiles fabricados en el extranjero, con existencias de varios miles de metros cuadrados.

Con la apertura comercial del país, se ofrecerán en breve plazo en nuestro mercado todos los geosintéticos y, en particular, los textiles. Es importante considerar que en México se cuenta con una planta de poliéster y, en poco tiempo, se terminará una de polipropileno; que se producen textiles tejidos y punzonados; que la industria textil y de los plásticos tiene la capacidad física, técnica y humana para producir geotextiles, pero no se ha logrado un desarrollo adecuado a las necesidades de hoy en día, por lo que se requiere que los ingenieros, químicos en polímeros e industriales laboren en forma conjunta y definan qué tipos de geoproductos se pueden fabricar y explotar a nivel comercial, no sólo para consumo interno sino también para exportación, ya que las tendencias actuales son utilizar estos materiales cada vez más y en mayor diversidad de campos.

Consideraciones finales

El desarrollo de nuevos productos y métodos de construcción siempre genera desconfianza, por el desconocimiento de los ejemplos en que se ha probado su eficacia. En el caso de los textiles, la

ingeniería nacional se ha retrasado en su utilización. Por ello, aprovechando las experiencias y fracasos ajenos, deben aplicarse las ventajas conocidas y explorar las incógnitas actuales en obras de pequeña magnitud.

Todo procedimiento constructivo tiene conveniencias e inconveniencias y, como se ha comentado, los textiles poseen esta dualidad, por lo que su aplicación debe realizarse con cuidado, efectuando la mayor cantidad de ensayos de sus propiedades y las observaciones de comportamiento que amerita esta alternativa. Los geotextiles no son una panacea, pero en muchos casos representan una magnífica opción, dependiendo, como en toda construcción, de la viabilidad de su ejecución, de su eficacia y como siempre, de su costo ante alternativas convencionales.

Referencias

- Abadjiev, C. B., Kaltchev I. S., *Soil geotextile interaction in filter systems*, XII ICSMFE, Río de Janeiro, 1989.
- Alberro, A. J., *Refuerzo a la tensión en el contacto terraplén cimentación*, Instituto de Ingeniería, UNAM, patrocinado por la SRH, México, D. F., octubre, 1971.
- ASTM Standards on Geotextiles, *ASTM Committee D-35 on Geotextiles, Geomembranes, and Related Products*, Filadelfia, EUA, 1988.
- Barr D. W., Heuer K. L., "Quick Response on Mississippi", *Civil Engineering Journal*, ASCE, septiembre, 1989.
- Commission on Geotextiles of the USSR, *The Use of Geotextiles in Road Building on Soft Soils*, XII ICSMFE. Río de Janeiro, 1989.
- Chemie Linz A. G., *Polyfelt, Diseño y práctica*, Austria, 1987.
- Departamento del Distrito Federal (ed.), *Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal*, México, D. F., 1975.
- De Groot M. Th. *Geotextiles and Granular Filters in Bank Protection*, XII ICSMFE, Río de Janeiro, 1989.
- Dewey R. L., "The Bureau of Reclamation Uses Geosynthetics", *Geotechnical News Journal*, junio, 1989.
- Dupont, *Typar Controls the Earth*, Suiza (a).
- Dupont, *Designing Drainage Systems with Typar Spunbonded Polypropylene*, Ginebra, 1989 (b).
- Giroud J. P., "Are Geosynthetics Durable Enough to Be Used in Dams? ", *Water Power & Dam Construction Journal*, febrero, 1989.
- Hernández R. A., "Construcción y Comportamiento del Bordo Nabor Carrillo". Mesa Redonda Obras Recientes en el Lago de Texcoco, SMMS, México, D. F., agosto, 1984.
- Industes (Pty) Ltd., "Geosynthetic Composite as a Blanket Drain for a Tailings Dam", *Water Power & Dam Construction Journal*, febrero, 1989.
- Japelli R. et al., *Variability of Geometrical Factor in Filter Design*, XII ICSMFE, Río de Janeiro, 1989.
- Márquez, B. G., Olivera B. A., *Proyecto de un Tramo de Carretera que se desarrolla sobre Suelo Blando*, XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil, México, noviembre, 1979.
- Márquez B. G., *Estabilización de suelos con geotextiles*, trabajo para obtener el grado de Maestría en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, México, D. F., julio, 1981.
- Murillo F. R., *Pruebas de tensión en mallas sintéticas, Informe Final*. Comisión del Lago de Texcoco, SARH, México, D. F., noviembre, 1979.
- Phillips Fibers Corporation (ed.), *Stabilization Design Guide, Supac*, 1987 (a).
- Phillips Fibers Corporation (ed.), *Supac, Phillips Fiber Engineered Geotextiles*, EUA, 1987 (b).
- Phillips Petroleum 66 (ed.), *El Sistema Petromat*, 1978.
- Ramírez M. A., *Geoproductos mexicanos*, comunicación personal, 1989.
- Rodríguez T. J. L., *Aspectos geotécnicos del bordo perimetral al Lago Nabor Carrillo F. en el Ex-vaso de Texcoco*, Tesis Profesional, ENEP Aragón, UNAM, México, 1982.
- Rollin A. L. et al., *Long Term Behavior of Geotextiles in Drainage Systems*, XII ICSMFE, Río de Janeiro, 1989.
- Steward J. y Mohny J., "Trial Use Results and Experience Using Geotextiles for Low Volume Forest Roads", Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, EUA, 1982. "Task Force 25 Update", *Geotechnical Fabrics Report*, mayo-junio, 1988.
- US Navy (ed.), "Naval Facilities Engineering Command Publications Transmittal", DM-7.01 *Soil Mechanics*, Virginia, EUA, septiembre, 1986.
- Van Der Merwe C. J., Horak E., *Evaluation of Soil/geotextile Compatibility*, XII ICSMFE, Río de Janeiro, 1989.