

=====

Curso: GEOTEXTILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS.

=====

FECHA Y
HORARIO

TEMA

EXPOSITOR

=====

Lunes 28

9 a 9:45

INTRODUCCION Y FUNCIONES
DE LOS GEOSINTETICOS.

DR. RAFAEL MORALES Y M.

9:45 a 10:45

MATERIAS Y PROCESOS DE
FABRICACION

ING. ANGEL H. DIAZ N.

10:45 a 11

CAFE. PAUSA.

11 a 13:30

GEOTEXTILES

DR. RAFAEL MORALES Y M.

13:30 a 15

GEOTEXTILES EN PAVIMENTOS

ING. VICTOR A. SOTELO C.

=====

Martes 29

8 a 12

GEORREDES Y GEOTEXTILES
DE ALTA RESISTENCIA.

P.E. JOHN PAULSON*

12 a 13

GEOMEMBRANAS: PRODUCCION,
SELLADO, PRUEBAS LAB.
Q.A., Q.C.

ING. SALVADOR CAMACHO S.

13 a 15

GEOMEMBRANAS: LA EXPERIENCIA
MEXICANA. PROCEDIMIENTOS
CONSTRUCTIVOS.

ING. RODRIGO MURILLO FDZ.

=====

* SE REQUIERE DE TRADUCCION SIMULTANEA. SE RECOMIENDA INVITAR AL
ING. RAUL ESQUIVEL PARA TAL EFECTO: TEL. 5437976 Y 6690769.

=====

SE REQUIEREN APARATOS PARA DIAPOSITIVAS, PARA ACETATOS Y
PROYECTOR DE VIDEOS.

=====

LA SESION DEL MARTES COMENZARA UNA HORA MAS TEMPRANA Y TERMINARA
A LA HORA FIJADA ORIGINALMENTE.

=====

NO HAY TIEMPO PARA REALIZAR LA MESA REDONDA.

=====

SE TOMARA COMO LIBRO BASE EL DE "GEOSINTETICOS", QUE EDITA LA
SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS. TEL 6773730, SRITA.
YOLANDA.

=====

de: Dr. Rafael Morales

o: L.A.E. Porfirio Silva.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS
GEOTEXTILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS**

HIDRAULICO DE GEOSINTETICOS PARTE I: GEOTEXTILES

ING. RODRIGO MURILLO FERNANDEZ

HIDRAULICA DE GEOSINTETICOS, PARTE I: GEOTEXTILES

Ing. Rodrigo Murillo F.
Consultivo Técnico, IMTA, CNA
Tepic 39, Col. Roma D.F. CP 06760

RESUMEN

Los productos para ingeniería elaborados con polímeros pueden sustituir en forma adecuada a los materiales naturales. Los geoproductos permeables o geotextiles, tienen un amplio campo de aplicación en las obras hidráulicas. Se describen los tipos de geotextiles, se proporcionan las fórmulas para determinar el gasto a través de ellos, los criterios de permeabilidad y retención de sólidos en filtros y se mencionan los factores que afectan su comportamiento hidráulico. Por último, se comentan sus ventajas y desventajas.

INTRODUCCION

La cada vez más frecuente oferta de productos sintéticos con fines de drenaje, filtración, control de erosión e impermeabilización, como alternativa para sustituir materiales naturales en la construcción, obliga a los profesionales de la ingeniería a familiarizarse con las propiedades, aplicaciones, ventajas y desventajas de estos nuevos materiales.

Los geosintéticos, son productos industriales elaborados con polímeros derivados del petróleo, que se utilizan en obras de tierra o en la construcción en general. Los geotextiles o telas para ingeniería, se caracterizan por su alta permeabilidad, similar a la de los materiales granulares limpios ($k \geq 10^{-3}$ cm/s) y están representados por los textiles propiamente dichos y las redes o mallas de plástico.

Los polímeros más empleados en la fabricación de geotextiles son polipropileno (Pp), poliéster (Pe), polietileno en redes (PE), y poliamida o nylon. Las características hidráulicas de los textiles dependen en gran medida de los procedimientos de

fabricación, por lo que se describen a continuación los tipos existentes.

CLASIFICACION

Los materiales empleados en su producción comprenden los filamentos largos, las fibras cortas (2 a 10 cm) y las tiras, con ancho entre 1 y 3 mm; quedan incluidos en este último tipo los elementos gruesos de diámetros hasta 5 mm, que se utilizan en la fabricación de redes.

Por el método de enlace entre las fibras se distinguen: los de punto, que están unidos por medio de lazos entre el mismo hilo; los tejidos, compuestos por dos series de fibras entrelazadas en forma más o menos ortogonal; y los no tejidos, con un arreglo aleatorio de sus fibras. Estos últimos se unen mediante un adhesivo químico, por termounión o mecánicamente por punzonado.

Las funciones que cubre un geotextil son: separación entre materiales de diferente granulometría; refuerzo, como elemento resistente dentro de la masa del suelo; filtración, al evitar la migración de sólidos; y drenaje, al permitir el flujo del agua en el sentido normal o a través de su plano. Cuando un textil es impregnado con un producto asfáltico o polímero para hacerlo impermeable, se convierte en geomembrana.

Para que un textil pueda realizar esas funciones, se requiere que cumpla con algunas características de resistencia, durabilidad y permeabilidad. A continuación se describen sólo estas últimas.

FLUJO EN GEOTEXILES

Dos casos deben ser considerados, el flujo normal y el flujo a través del plano del textil (Fig. 1).

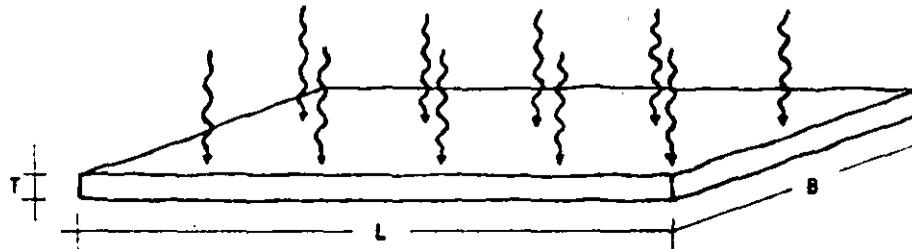
Considerando la ecuación de Darcy, se obtienen las siguientes fórmulas para los dos casos

$$v = Q / A = k i \quad (1)$$

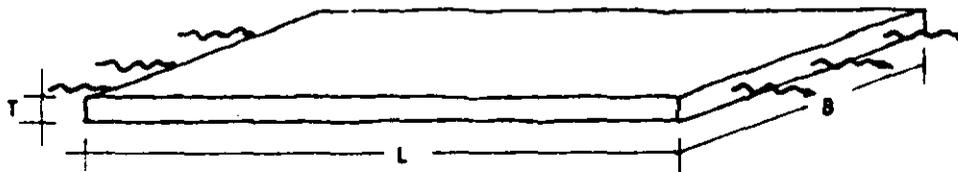
donde v = velocidad en m/s , Q = gasto en m^3/s , A = área transversal al flujo en m^2 , k = coeficiente de permeabilidad en m/s , i = gradiente hidráulico (adimensional)

$$i = \frac{\Delta h}{x} \quad (2)$$

Δh = pérdida de carga hidráulica en m, x = distancia en la dirección del flujo en m



g) NORMAL AL PLANO



d) EN EL PLANO

Fig. 1 FLUJO EN GEOTEXTILES

Para flujo normal

$$A = L B$$

$$i = \frac{\Delta h}{T}$$

$$Q / (L B) = \frac{k_n \Delta h}{T} \quad \text{entonces} \quad Q_n = k_n \frac{L B}{T} \Delta h \quad (3)$$

Para flujo en el plano

$$A = B T$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$Q / (B T) = \frac{k_p \Delta h}{L} \quad \text{entonces} \quad Q_p = k_p \frac{B T}{L} \Delta h \quad (4)$$

donde k_n , coeficiente de permeabilidad normal en m/s
 k_p , coeficiente de permeabilidad en el plano en m/s

Se ha definido (Ref. 2):

$$\Psi = k_n / T \quad \text{Permisibilidad del geotextil en } s^{-1} \quad (5)$$

$$\theta = k_p T \quad \text{Transmisibilidad del geotextil en } m^2/s \quad (6)$$

$$Q_n = \Psi L B \Delta h \quad \text{en m}^3/\text{s} \quad (7)$$

$$Q_p = \Theta \frac{B}{L} \Delta h \quad \text{en m}^3/\text{s} \quad (8)$$

Las ecuaciones anteriores permiten determinar el caudal a través de un geotextil, en los sentidos normal y en su plano.

FILTRACION Y DRENAJE

Cuando se utiliza un geotextil en el interior de una masa de suelo, como filtro o dren, se requiere en forma simultánea que la abertura entre las fibras sea lo suficientemente grande para que el agua fluya en forma casi libre y que las aberturas sean lo suficientemente pequeñas para que no se destruya la estructura del suelo por migración de partículas. Los criterios tradicionales en filtros granulares establecen que la permeabilidad del filtro debe ser mayor de 10 veces la del suelo y que los mayores espacios del filtro (d₅₀), deben ser menores que las partículas de mayor tamaño del suelo (d₈₅), para evitar la tubificación.

En forma comparativa, de acuerdo con el criterio de permeabilidad, considerando una alteración del flujo y de la presión por influencia del filtro, del 10% y espesores de filtros granular de 1 m, y de geotextil de 10 mm (conservador), se ha propuesto (Ref. 3):

$$k_f > 10 k_s \quad \text{FILTROS GRANULARES} \quad (9)$$

$$k_f > k_s / 10 \quad \text{FILTROS GEOTEXTILES} \quad (10)$$

donde k_f y k_s son los coeficientes de permeabilidad del filtro y del suelo, respectivamente.

Y, en función del criterio de retención:

SUELO	COMPACIDAD	COEFICIENTE LINEAL DE UNIFORMIDAD	
		$1 < C_u < 3$	$C_u > 3$
Suelto	$CR < 35\%$	$0.95 < C_u d_{50}$	$0.95 < \frac{9}{C_u} d_{50}$
Medio	$35\% < CR < 65\%$	$0.95 < 1.5 C_u d_{50}$	$0.95 < \frac{13.5}{C_u} d_{50}$
Compacto	$CR > 65\%$	$0.95 < 2 C_u d_{50}$	$0.95 < \frac{18}{C_u} d_{50}$

donde:

$$CR (\%) = \frac{\gamma - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \left[\frac{\gamma_{max}}{\gamma} 100 \right] \quad \text{COMPACIDAD RELATIVA} \quad (11)$$

O_{95} , abertura aparente del geotextil (AOS), en mm

$$O_{95} = \frac{d_{50}}{d_{10}} \quad \text{Coeficiente lineal de Uniformidad del suelo} \quad (12)$$

d_{10} , d_{50} y d_{90} , tamaños de partícula en mm, correspondientes a 10, 50 y 90% de la curva granulométrica del suelo; γ , γ_{min} y γ_{max} , pesos específicos del suelo en sus estados, natural, más suelto y más compacto, respectivamente, en g/cm³ o en kg/m³.

Este criterio, es aplicable a materiales no plásticos con una buena distribución de tamaños y resulta conservador para suelos cohesivos. No es aplicable a materiales que tengan una ausencia intermedia de tamaños.

Existen otros criterios que utilizan diversos parámetros de granulometría del suelo y de la abertura entre fibras del textil; algunos establecen criterios más simples para drenaje y control de erosión, como el que sigue (Ref. 6):

$$k_f > k_s \quad \text{para todos los suelos} \quad (13)$$

$$O_{95} < 0.6 \text{ mm} \quad \text{suelos con el 50\% ó menos de partículas con tamaño inferior a 0.074 mm} \quad (14)$$

$$O_{95} < 0.297 \text{ mm} \quad \text{suelos con más del 50\% de partículas con tamaño inferior a 0.074 mm} \quad (15)$$

Si bien los criterios de permeabilidad y retención son necesarios para el diseño de filtros, el comportamiento del conjunto geotextil-suelo es diferente al de los materiales aislados, por lo que deben realizarse pruebas de compatibilidad en permeámetro.

SISTEMA SUELO-GEOTEXTIL

Cuando se aplica un gradiente hidráulico en la interfase entre suelo y textil, pueden ocurrir tres tipos de migración de partículas (Ref. 8):

a). Las partículas menores pueden ser transportadas a través del textil y medio drenante. Este transporte continúa hasta que se desarrolla un filtro estable en la interfase.

b). Las partículas de tamaño pequeño a intermedio, se pueden alojar en los poros de la tela o ser atrapadas por las fibras debido a fuerzas electrostáticas, lo que reduce el volumen de vacíos del textil y provoca una disminución en la capacidad del flujo.

ca. Un filtro de transición se puede desarrollar en el suelo, aguas arriba de la interfase, como resultado de la migración de partículas pequeñas, lo que reduce la capacidad del flujo (Fig. 2).

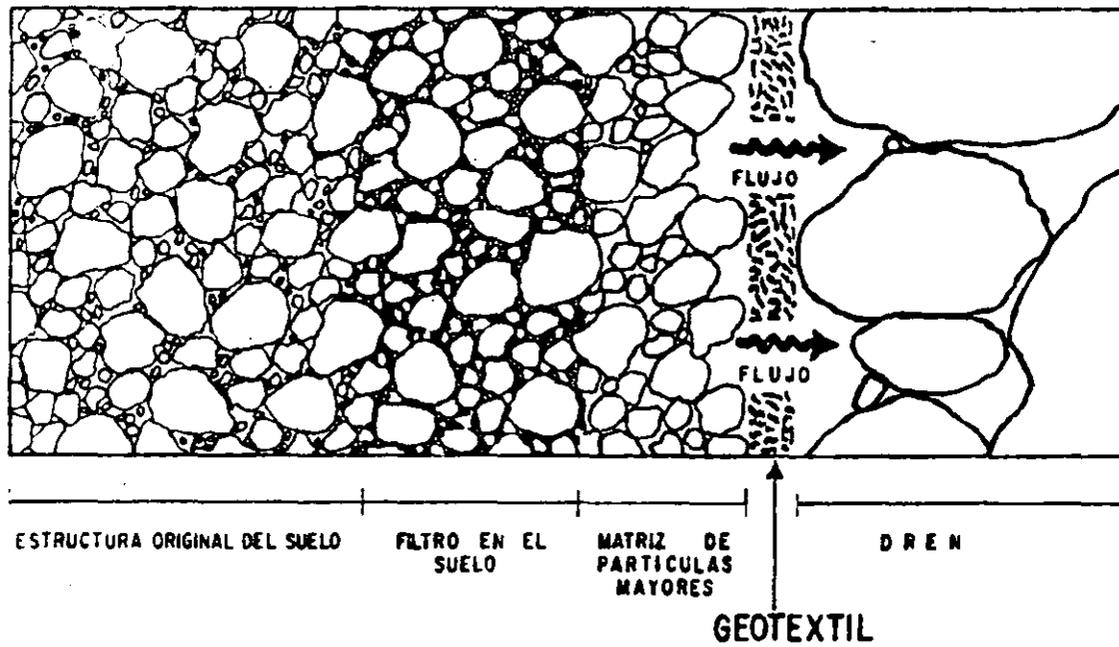


Fig. 2 FILTRO DE TRANSICION

Los términos usuales para describir los movimientos de las partículas son: tubificación (piping), cuando la migración ocurre en conductos del suelo (caso a); atascamiento (clogging), que sucede dentro de la estructura del textil (caso b); y taponamiento y cegamiento (blocking and blinding), cuando las partículas son detenidas aguas arriba del geotextil, formando una capa (filtro de transición), que afecta las funciones de filtración y drenaje del textil (Ref. 5).

La formación de este filtro de transición, es el que rige el comportamiento hidráulico a largo plazo del sistema, lo que ha sido demostrado por diversas investigaciones. En la Fig. 3, se muestra la variación típica de la permeabilidad con el tiempo de un sistema suelo-geotextil (Ref. 4).

En general, todas las pruebas a largo plazo, empleando diversos métodos y equipos de laboratorio, han dado resultados semejantes (Ref. 7):

- Al inicio de la prueba, la permeabilidad disminuye, seguido de un periodo de estabilización, que corresponde a la formación del filtro de transición, aguas arriba del textil.

- La permeabilidad final del sistema suelo-geotextil, es menor que la del suelo o del textil y depende del filtro de transición.

- El decremento típico de la permeabilidad del sistema es de 10 veces, con disminuciones mayores debidas a atascamiento.

- La tubificación continua, sólo ocurre en aberturas mayores de 2 mm. En menores aberturas, la tubificación inicial se detiene.

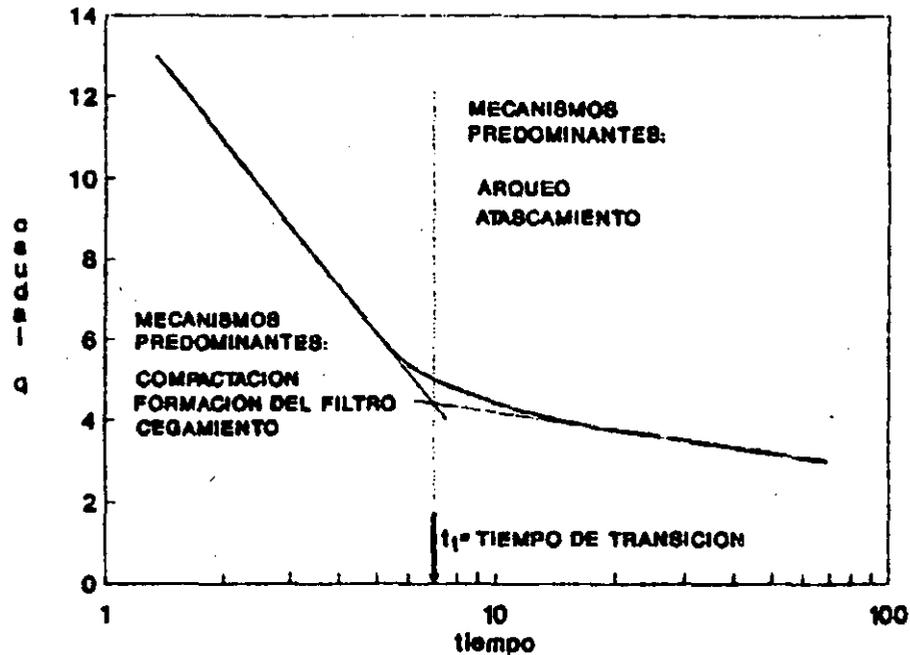


Fig. 3 VARIACION DEL FLUJO CON EL TIEMPO

- Los filtros granulares y geotextiles tienen un comportamiento similar.

- El flujo a través del sistema suelo-textil es un fenómeno complejo, que sólo puede ser evaluado en pruebas de compatibilidad a largo plazo.

Por su estructura, los textiles son materiales muy sensibles a los esfuerzos de compresión, que reducen su espesor (T) y con ello, su capacidad de drenaje. Para conocer la variación del gasto por unidad de superficie ($q = Q_s / A$), con el esfuerzo normal aplicado a la tela, se han realizado pruebas utilizando esfuerzos hasta de 300 ton/m², cargas hidráulicas de 40 m y gradientes de 400, condiciones similares a las que se presentan en presas. A pesar de la disminución de permeabilidad con el tiempo y por esfuerzo normal, la mayor parte de las investigaciones confirman que el flujo a través del geotextil no se detiene (Fig. 4) (Ref. 1).

Otros factores que influyen en el flujo del sistema son (Ref. 8): Propiedades del suelo, como tipo, granulometría, tamaño de granos, permeabilidad, estructura, porosidad, índice plástico y grado de saturación; Propiedades del textil, como la permisibilidad o permeabilidad, métodos primario y secundario de enlace de sus fibras, espesor, compresibilidad, porosidad, porometría y rigidez; Condiciones de frontera del sistema, como gradiente, velocidad y dirección del flujo, estado e historia de esfuerzos y tipo de apoyo del sistema.

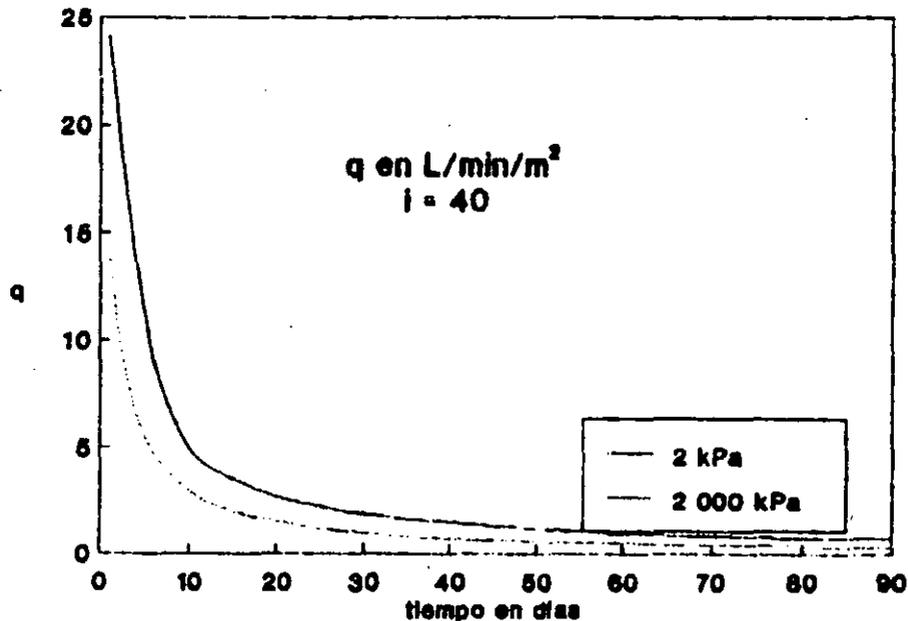


Fig. 4 VARIACION DEL CAUDAL CON LA PRESION NORMAL Y CON EL TIEMPO

COMENTARIOS

En México, a pesar de la disponibilidad de geotextiles, se han empleado con poca frecuencia. Sin embargo, su aplicación en obras hidráulicas es uno de los principales rubros en que se utilizan en otros países, por lo que es conveniente la difusión de sus propiedades, comportamiento y usos, para su utilización en nuestro medio.

En general, los fabricantes ofrecen una guía de diseño para su textil, lo que limita la comparación de productos para fines de proyecto. Afortunadamente, la tendencia reciente es desarrollar criterios de selección y métodos de diseño basados en propiedades -como los señalados en este trabajo-, que permiten una evaluación más racional, acorde con la metodología que se emplea en ingeniería. En la actualidad, se inicia en nuestro país la realización de pruebas de laboratorio para determinar resistencia y deformabilidad, por lo que es de esperarse que en breve se disponga de

laboratorios que realicen pruebas hidráulicas y de durabilidad.

Como cualquier material de construcción, los geotextiles tienen conveniencias e inconveniencias. Las primeras son su costo, comparable con el de los suelos permeables, su facilidad de transporte y colocación, su calidad homogénea y su disponibilidad; las segundas son la necesidad de cubrirlos para evitar su deterioro por los rayos solares, son combustibles y, pueden rasgarse durante su colocación.

REFERENCIAS

- 1.- Abadjiev C. B., Kaltchev I. S. 1989, "Soil-geotextile Interaction in Filter Systems", Proceedings of the XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro.
- 2.- Giroud J. P. 1980, "Introduction to Geotextiles and their Applications", Proceedings of the First Canadian Symposium on Geotextiles, Canada.
- 3.- Giroud J. P. 1982, "Filter Criteria for Geotextiles", Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas USA.
- 4.- Koerner R. M. 1985, "Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering", Mc Graw Hill, Singapore.
- 5.- Rollin A. L., Lafleur J., Mlynarek J., Faure Y., Gourc J. P. 1989, "Long Term behaviour of Geotextiles in Drainage Systems", Proceedings of XII ICSMFE, Rio de Janeiro.
- 6.- "Task Force Update" 1988, Geotechnical Fabrics Report, USA.
- 7.- Van der Merwe C. J., Horak E. 1989, "Evaluation of Soil/geotextile Compatibility", Proceedings of the XII ICSMFE, Rio de Janeiro.
- 8.- Williams N. D., Anwar A. M. 1989, "Evaluation of Geotextile/soil Filtration Characteristics using the Hydraulic Conductivity Ratio Analysis", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, No. 1, G.B.

HIDRAULICA DE GEOSINTETICOS, PARTE II: GEOMEMBRANAS

Ing. Rodrigo Murillo F.
Consultivo Técnico, IMTA, CNA
Tepic 39, Col. Roma D.F. CP 06760

RESUMEN

La necesidad de impermeabilizar un suelo o de contener un material peligroso, tiene nuevas alternativas: las geomembranas, elementos impermeables de pequeño espesor, fabricadas con asfaltos o polímeros. Se describen los tipos de membranas, se proporcionan las ecuaciones que rigen el flujo por transmisibilidad hidráulica y a través de discontinuidades. Se reportan las permeabilidades típicas de estos productos, la forma de estimar pérdidas y se comentan sus ventajas y desventajas.

INTRODUCCION

Por ser México un país con petróleo y con una industria petroquímica en expansión, con clima árido a semiárido en gran parte de su territorio, las geomembranas a base de materiales asfálticos o polímeros deberían utilizarse en mayor grado. Existe en el mercado una oferta adecuada de geosintéticos impermeables y, a pesar de ello, han sido poco empleados en obras hidráulicas. Se proporcionan en este trabajo, herramientas que permiten evaluar, desde el punto de vista hidráulico, la posibilidad de su utilización con fines de impermeabilización.

En forma opuesta a los geosintéticos discontinuos como los geotextiles, la principal característica de las geomembranas es su muy baja permeabilidad ($k \leq 10^{-11}$ cm/s). Otras características que también influyen en su comportamiento son su deformabilidad y sus resistencias mecánica, química y al envejecimiento.

Las geomembranas se utilizan en dos formas principales: como recubrimiento, cuando se colocan en la interfase entre dos

materiales o como revestimiento superficial; y como barrera, cuando se emplean en el interior de una masa de tierra.

En geomembranas se utilizan asfalto, polietilenos de alta y baja densidad (HDPE y LDPE), cloruro de polivinilo (PVC), hule butilo (IIR), polietileno clorado (CPE), polietileno clorosulfonado o hypalon (CSPE), policloropreno o neopreno (CR) y monómero dieno propileno etileno (EPDM), principalmente.

TIPOS

La clasificación de las geomembranas se realiza por su forma de fabricación y presencia o ausencia de refuerzo interno (Ref. 1). Así, se distinguen: Elaboradas en el lugar sin refuerzo, que se hacen aplicando por aspersión asfalto o polímeros en estado líquido, directamente sobre suelos y concretos; Elaboradas en el sitio con refuerzo, en que se aplica por aspersión el producto impermeabilizante sobre un geotextil; Elaboradas en planta sin refuerzo, fabricadas por medio de extrusión o calandreo (laminación aplicando calor y presión con rodillos), o por aspersión sobre una hoja de soporte; y Elaboradas en planta con refuerzo, producidas por aspersión del polímero sobre un textil o por calandreo con éste.

FLUJO EN GEOMEMBRANAS

Todos los materiales tienen permeabilidad, algunos muy baja como los suelos finos compactados, los concretos, los asfaltos y los plásticos o polímeros. En los geosintéticos continuos se distinguen dos tipos de flujo: el debido a la permeabilidad primaria del material en el sentido normal al plano (Fig. 1); y el que ocurre a través de discontinuidades.

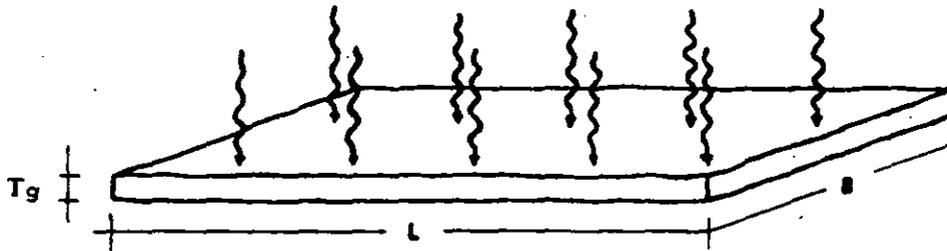


Fig. 1 Filtración a través de una membrana

FILTRACION POR CONDUCTIBILIDAD HIDRAULICA

En el flujo por permeabilidad, es determinante el espesor de la geomembrana, el que varia entre 0.5 y 3 mm, cuando se usan polimeros y entre 6.3 y 25.4 mm, cuando se emplean asfaltos. Para evaluar el caudal a través de ella, se utilizan algunas relaciones entre su conductibilidad hidráulica o permeabilidad, caudal del fluido y espesor de membrana. A continuación, se indican estas relaciones (Ref. 2):

Conductibilidad hidráulica o permeabilidad k .- Volumen de fluido V , que pasa por unidad de superficie de geomembrana A , con un gradiente unitario i , en una unidad de tiempo t .

$$k = V / (A i t) \quad \text{en m/s} \quad (16)$$

Permisibilidad Ψ .- Volumen de fluido V , que pasa por una unidad de superficie de geomembrana A , con una carga hidráulica unitaria h , en una unidad de tiempo t .

$$\Psi = V / (A h t) \quad \text{en s}^{-1} \quad (17)$$

Impedancia I .- Tiempo t , necesario para que una unidad de volumen de fluido V , pase por una unidad de superficie de geomembrana A , con una carga hidráulica unitaria h .

$$I = A t h / V \quad \text{en s} \quad (18)$$

Permeancia ω .- Masa del fluido M , que pasa por una unidad de superficie de geomembrana A , por cada unidad de presión p , en una unidad de tiempo t .

$$\omega = M / (A p t) \quad \text{en kg/(m}^2 \text{ Pa s)} \quad (19)$$

Tasa de Transmisión de Vapor de Agua WVT .- Masa de vapor de agua M , que pasa a través de una unidad de superficie de geomembrana A , en una unidad de tiempo t , bajo una presión p .

$$\text{WVT} = M / (A t) \quad \text{en kg/(m}^2 \text{ s)} \quad (20)$$

Las relaciones entre estos términos son:

$$k = \Psi T_g \quad (21)$$

$$I = 1 / \Psi \quad (22)$$

$$\omega = \Psi / g \quad (23)$$

$$\text{WVT} = p \omega = p \Psi / g \quad (24)$$

donde T_g = espesor de la geomembrana, g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2) y p = presión de vapor en la prueba de transmisibilidad.

En virtud de que el término conductibilidad hidráulica equivalente (k_g), obtenido en pruebas de transmisión de vapor de agua, es interpretado como el flujo del agua a través de los poros de la geomembrana y a que el mecanismo real de la migración del agua es diferente, debido a que k_g varía con el gradiente y con la carga hidráulica, se ha propuesto recientemente utilizar el concepto de coeficiente de migración en geomembranas, definido como sigue (Ref. 3):

$$m_g = k_g \Delta h \quad \text{en m}^2/\text{s} \quad (25)$$

y por lo tanto:

$$q_g = Q_g / A = m_g / T_g \quad \text{en m/s} \quad (26)$$

donde q_g es el gasto unitario por unidad de superficie de geomembrana A, debido a la permeabilidad, Q_g es el gasto total debido a la permeabilidad y m_g el coeficiente de migración de la geomembrana.

Por lo anterior, para calcular el gasto por transmisibilidad hidráulica, que pasa a través de una membrana, pueden emplearse las fórmulas:

$$Q_g = k_g A i \quad \text{en m}^3/\text{s}, \text{ o bien} \quad (1')$$

$$Q_g = m_g A / T_g \quad \text{en m}^3/\text{s}, \quad (27)$$

que dependerá del tipo de prueba que se efectúe, utilizando la primera cuando se realicen ensayos en permeámetro y la segunda cuando se apliquen resultados de pruebas de transmisión de vapor de agua. A este respecto, conviene señalar que la tendencia es realizar pruebas del último tipo. A continuación se reportan, para los polímeros más usuales, algunos valores del coeficiente de migración (m_g) y su equivalente coeficiente de conductibilidad hidráulica de geomembranas (k_g) (Ref. 3).

POLIMERO	T_g (mm)	m_g (m ² /s)	k_g (m/s)
Hule butilo	0.85	3.8×10^{-15}	2.7×10^{-14}
Polietileno clorado	0.85	2.6×10^{-15}	1.8×10^{-14}
Polietileno clorosulfonado.	0.89	4.5×10^{-15}	3.2×10^{-14}
Neopreno	0.91	5.0×10^{-15}	3.5×10^{-14}
Polietileno de baja densidad	0.76	5.1×10^{-16}	3.5×10^{-15}
Polietileno de alta densidad	0.80	1.6×10^{-16}	1.1×10^{-15}
PVC	0.79	1.7×10^{-14}	1.2×10^{-13}

La permeabilidad de las geomembranas, disminuye con la presión y no es afectada en forma importante por la elongación (Ref. 2)

FUGAS POR DEFECTOS

Las discontinuidades de geoproductos continuos son debidas a defectos de fabricación, daños durante la instalación u operación y las debidas a unión defectuosa entre las hojas. Los defectos se clasifican en microagujeros, cuando su diámetro es menor al espesor de la membrana ($d < T_g$), agujeros pequeños, con diámetro medio de 2 mm y agujeros grandes, con un diámetro medio de 11.3 mm (Ref. 2 y 3) (Fig. 2)

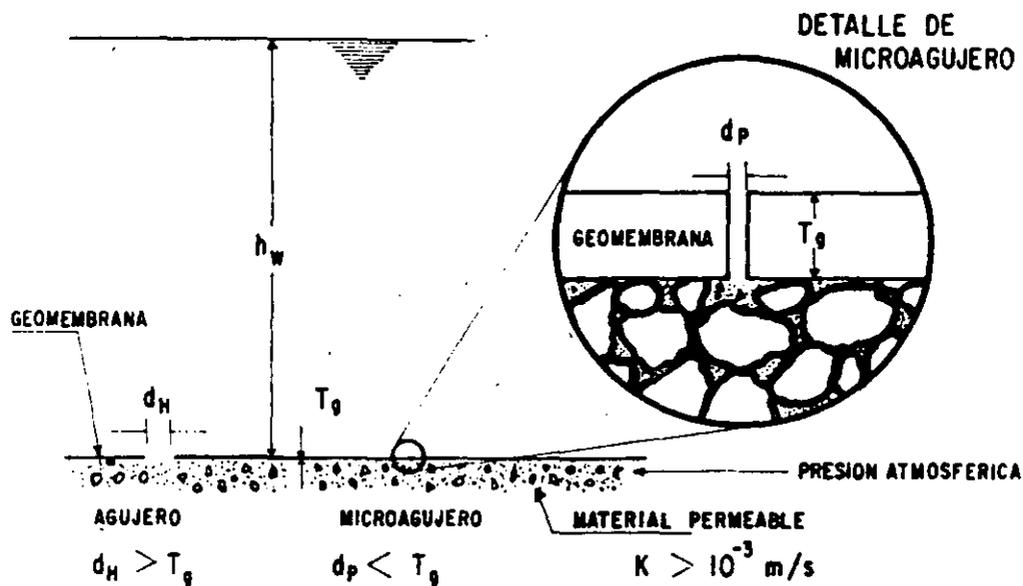


Fig. 2 DISCONTINUIDADES EN GEOMEMBRANAS

Para evaluar el caudal a través de un microagujero, que puede ser considerado como un tubo, la ec. de Poiseuille puede ser usada como sigue:

$$Q_p = \pi \gamma_w g h_w d_p^4 / (128 \eta T_g) \quad \text{en m}^3/\text{s} \quad (28)$$

donde Q_p = gasto a través del microagujero, h_w = tirante de agua sobre la membrana en m, T_g en m, d_p = diámetro del microagujero en m, $\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ y $\eta = 10^{-3} \text{ kg/(m s)}$, peso específico y viscosidad dinámica del agua a 20°C respectivamente y g = aceleración de la gravedad en m/s^2 .

Para determinar el gasto a través de agujeros pequeños y

grandes, se utiliza la ec. de Bernoulli para un orificio con descarga libre:

$$Q_h = C_b a_h \sqrt{2 g h_v} \quad \text{en m}^3/\text{s} \quad (29)$$

donde Q_h = gasto a través del agujero, a_h = superficie del agujero en m^2 , C_b = 0.6 coeficiente adimensional para un fluido newtoniano en un orificio de pared delgada, g y h_v idem ec. 28.

Las ecs. 28 y 29 son aplicables cuando bajo la membrana existe un material permeable ($k > 10^{-9}$ m/s), como un suelo granular o un sistema de recolección de pérdidas. En caso de materiales de menor permeabilidad, los gastos serán menores.

Para efectos de análisis, se requiere determinar el diámetro medio y frecuencia de microagujeros, y se puede considerar un agujero por cada $4,000 \text{ m}^2$ con dos tamaños posibles: grande, con superficie de 1 cm^2 , para cálculo individual de las dimensiones de los elementos del sistema colector de filtraciones y un agujero pequeño, con superficie de 0.031 cm^2 , para el diseño general del sistema, cuando éste exista (Ref. 3). Estas frecuencias, son considerando un buen control de calidad en la fabricación, colocación y conservación de la geomembrana. Cuando no se realiza un conveniente control, sobre todo en la instalación y sellado de uniones, es posible una frecuencia mayor, de un agujero por cada 400 m^2 . En la Fig. 3, se muestran los tipos de uniones de campo.

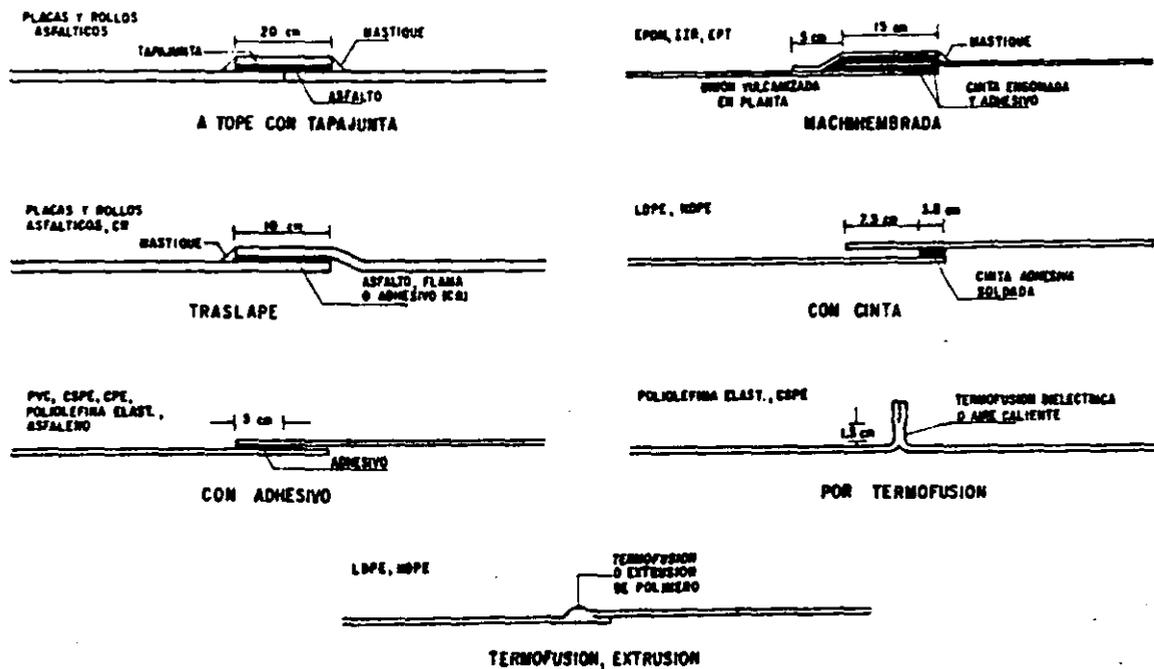


Fig. 3 TIPOS DE UNIONES EN CAMPO

Como ejemplo, para una frecuencia de un microagujero y un agujero por cada 4,000 m², se presentan los gastos estimados, en m³ por hectárea por día, para una membrana de polietileno de alta densidad, de 1 mm de espesor, con tirante de agua de 3 m y capas de material granular grueso arriba y abajo de la geomembrana (Ref. 3):

Debida a:	d del agujero	Gasto
Permeabilidad	---	0.1
Microagujero	0.1 mm	0.01
Agujero pequeño	2.0 mm	3.0
Agujero grande	11.3 mm	100.0

COMENTARIOS

En México, se han empleado con poca frecuencia las geomembranas en obras hidráulicas. Sin embargo, su principal campo de aplicación es en este tipo de infraestructura, por lo que es conveniente la difusión de las propiedades de los geoproductos, los que en general son económicamente competitivos con los materiales naturales.

En la actualidad, se ofrecen en el mercado nacional un buen número de geomembranas, producidas en el país o de importación, pero no ha existido una adecuada difusión de sus características y aplicaciones, ni existen laboratorios especializados que determinen sus propiedades mecánicas, hidráulicas y de intemperismo.

Las geomembranas, como todos los materiales de construcción, presentan ventajas y desventajas. Las primeras son, entre otras, su facilidad de transporte y colocación, su calidad homogénea y disponibilidad; como inconvenientes, presentan deterioro si se colocan a la intemperie y las que pueden exponerse a los rayos solares tienen aún un costo alto, son combustibles y susceptibles al vandalismo y robo, requieren cuidado durante su instalación, ya que pueden perforarse y, se requiere una buena supervisión en la ejecución del junteo en campo.

REFERENCIAS

- 1.- Giroud J. P., Frobel R. K. 1983, "Geomembrane Products", Geotechnical Fabrics Report, USA

2. - Giroud J. P. 1984, "Impermeability: The Myth and a Rational Approach", International Conference on Geomembranes, Denver, USA

3. - Giroud J. P., Bonaparte R. 1989, "Leakage through Liners Constructed with Geomembranes- Part I. Geomembrane Liners", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 8, No. 1, G.B.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS
GEOTEXILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS**

GEOMEMBRANAS USUALES EN MEXICO

ING. RODRIGO MURILLO FERNANDEZ

XVII REUNION DE MECÁNICA DE SUELOS XALAPA, 1994

GEOMEMBRANAS USUALES EN MÉXICO

R. Murillo Fernández
Consultor, Instituto Mexicano
de Tecnología del Agua

RESUMEN Se presenta la información más relevante sobre las geomembranas que se han empleado en el país en los últimos años, principalmente las fabricadas con polímeros como los polietilenos de baja y alta densidad (LDPE y HDPE), el cloruro de polivinilo (PVC), el polietileno clorosulfonado (CSPE), el hule butilo (IIR) y otros materiales. Se proporcionan las características de los materiales con que se elaboran, así como los aspectos básicos del diseño de sistemas de impermeabilización, los métodos de unión y de supervisión durante la instalación; se describe el comportamiento general que tienen los geoproductos impermeables, incluyendo su durabilidad en obras donde se encuentran expuestos al ambiente. Además, se reportan las principales obras hidráulicas en que se han instalado y se realiza un análisis comparativo de costos para revestimiento de canales con distintos productos. Por último, se presentan algunas conclusiones sobre el uso de las geomembranas y se proponen recomendaciones.

1. INTRODUCCION

En gran parte de las obras civiles es necesario controlar el flujo de agua, de manera que no genere problemas durante la construcción o la vida útil de la estructura. Existen dos formas para resolver esta situación, que en ocasiones se utilizan conjuntamente. La primera consiste en dar facilidades al agua para que fluya sin producir erosiones o cambios en el estado de esfuerzos del suelo por medio de sistemas de drenaje, y la segunda, evitando el paso del agua mediante materiales impermeables. Las alternativas tradicionales durante muchos años fueron el uso de materiales naturales, los permeables como gravas y arenas para drenaje, y los suelos finos compactados como barreras impermeables. En la década de los años 60 se inicia en Europa el uso de textiles sintéticos para separar materiales de distinto tamaño en la construcción de caminos y como medio filtrante en obras de drenaje; en la siguiente década se producen textiles para ingeniería. En esa época, se presentan en el mercado las primeras membranas sintéticas; sin embargo, se producen fracasos notables con ellas. A partir de los años 80, se producen membranas con mejores cualidades y se desarrollan técnicas de unión que permiten su uso con mayor confianza. A finales de esa década se producen innumerables productos de sintéticos combinados entre sí o con materiales naturales.

Los productos para ingeniería, elaborados con resinas derivadas del petróleo se denominan actualmente "Geosintéticos" y se distinguen como "Geotextiles", a los materiales flexibles y permeables a los fluidos, capaces de retener

partículas de suelo mayores que el tamaño de sus poros, específicamente diseñados y fabricados para trabajos de ingeniería civil; "Geomembranas" a los recubrimientos sintéticos impermeables a fluidos y partículas que se utilizan en ingeniería geotécnica; y "Productos Relacionados" a aquellos semejantes a los geotextiles y geomembranas que no se apegan a las definiciones anteriores (IGS, 1990). Conviene señalar que en nuestro medio ha existido el error de llamar "membrana" a los geotextiles, debido a que durante las primeras aplicaciones en terraplenes, se dio una importante difusión al efecto de membrana que se suponía producían estas telas. El prefijo "geo" que se aplica a estos productos señala que se utilizan principalmente en contacto con el suelo.

Los materiales sintéticos, resinas plásticas o polímeros están formados por moléculas muy largas (macromoléculas) que resultan de la unión de moléculas sencillas e iguales a base de carbono e hidrógeno (monómero), al aplicar calor y presión en autoclaves. Los procedimientos básicos para producir polímeros han sido descritos con anterioridad (Auvinet, Esquivel, 1986).

2. MATERIALES

Las geomembranas son aquellos productos que se elaboran en planta o en obra a base de asfaltos o polímeros, con o sin refuerzo interno (Giroud, Frobel, 1983), de espesor reducido y muy baja permeabilidad ($k < 10^{-11}$ cm/s) que se utilizan para satisfacer

alguna de las funciones siguientes:

- Reducir las filtraciones de un material (permeabilidad primaria)
- Reducir las fugas a través de discontinuidades (permeabilidad secundaria)
- Evitar la tubificación de suelos finos
- Evitar la disolución del terreno
- Evitar los efectos erosivos por oleaje o flujo de agua

En este trabajo, se mencionan principalmente aquellos productos de asfalto o polímeros elaborados por la industria que se han utilizado en nuestro medio, haciendo referencia a otros materiales que existen en el mercado, pero que se desconocen sus aplicaciones en el país.

Los asfaltos utilizados en la producción de membranas son del tipo oxidado y el principal producto se suministra en forma de placas de 0.91 x 3.05 m con espesor de 1.27 cm (Murillo, 1990b).

Los plásticos o polímeros que se utilizan para fabricar geomembranas son:

TERMOPLASTICOS:

- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Cloruro de Polivinilo Resistente al Petróleo (PVC-OR)
- Cloruro de Polivinilo - Nitrilo Termoplástico (TN-PVC)
- Aleación Interpolímero Etileno (EIA)
- Poliamida o Nilón (PA)

TERMOPLASTICOS CRISTALINOS:

- Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
- Polietileno de Media Densidad (MDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
- Aleación de Polietileno de Alta Densidad (HDPE-A)
- Polipropileno (PP)
- Poliolefina Elastizada (PO, ELPO o 3110)
- Poliéster Terftalato (PET)

ELASTOMEROS TERMOPLASTICOS:

- Polietileno Clorado (CPE)
- Aleación de Polietileno Clorado (CPE-A)
- Polietileno Clorosulfonado o Hypalon (CSPE)
- Monómero Dieno Propileno Etileno Termoplástico (T-EPDM)
- Terpolímero Propileno Etileno (EPT)
- Acetato de Vinilo Etileno (EVA)

ELASTOMEROS TERMOESTABLES O HULES:

- Isobutileno Isopreno o Hule Butilo (IIR)
- Monómero Dieno Propileno Etileno (EPDM)
- Policloropreno o Neopreno (CR)
- Hule Epiclorohidrina (CO o ECO)

Las letras entre paréntesis corresponden a la designación internacional para los polímeros y se derivan de las iniciales en lengua inglesa. El término termoplástico se refiere a la capacidad de adquirir consistencia

plástica con la aplicación de calor; los elastómeros son conocidos normalmente como hules y existen los termoplásticos, característica ya descrita y los termoestables, que no se vuelven plásticos con el calor; el término cristalino se refiere a que en su masa se forman agrupaciones moleculares en forma de cristales.

Aunque es posible fabricar geomembranas con todos los polímeros mencionados, la mayor producción se realiza sólo con unos cuantos debido a razones económicas, de durabilidad y de facilidad de instalación, por lo que los productos comerciales se elaboran principalmente con polietileno de alta densidad (HDPE), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno clorosulfonado o Hypalon (CSPE) y hule butilo (IIR).

En años recientes, se han producido geocompuestos laminados a base de dos o más resinas, donde la que ocupa mayor volumen es alguna de las anteriores con una cobertura de acetato de vinilo etileno (EVA), aleación de interpolímero etileno (EIA) u otra aleación. También se han producido en fecha reciente, membranas de polipropileno (PP) para su uso expuesto, ya que se ha logrado estabilizar al polímero para una mayor resistencia a los rayos solares. Destacan entre los productos de reciente aparición, las geomembranas compuestas, que son elaboradas con una capa de bentonita granulada, cubierta en sus caras por textiles o una de ellas con una membrana de polímero.

Las geomembranas asfálticas, además del producto que les da su nombre, contienen otros materiales como rellenos minerales inertes, fibras y elastómeros. Los rellenos reducen el costo y aumentan la rigidez sin alterar la baja permeabilidad y comúnmente son materiales en polvo o granos de caliza, carbonato de calcio, pizarra, caolinita, talco, mica, cenizas volantes, barita y grafito, en una proporción de 0 a 60% en relación al peso del asfalto, con un valor promedio del 30%. Las fibras tienen como función reforzar y estabilizar a la masa y corresponden a fibras de vidrio o asbesto, así como de algunos polímeros como nilón o poliéster. Los elastómeros se combinan en proporción del 5 al 15% del asfalto y mejoran su comportamiento mecánico y de resistencia al ambiente.

Por su parte, en las membranas de polímeros se incorporan otros materiales como los rellenos u óxidos minerales o polímeros naturales, en proporción del 0 al 20% en los termoplásticos y del 10 al 40% en los elastómeros. Las fibras de refuerzo comunes son de poliéster (PET) y nilón (PA) en forma de tejido abierto (scrim) o fibra de vidrio picada, aunque ésta puede formar microagujeros. Los plastificantes le imparten flexibilidad al material y facilitan la elaboración; se utilizan en proporciones de 0 a 2% en los elastómeros y hasta 55% en el PVC. Para reducir la penetración de los rayos ultravioleta (UV) en las membranas con el fin de disminuir el envejecimiento del polímero y

aumentar la rigidez, se incorpora negro de humo que le imprime a las geomembranas su típico color negro; la proporción es de 1 a 2% en los termoplásticos y de 10 a 45% en los elastómeros. En ocasiones se incorporan materiales que le dan un color claro a la cara expuesta para reducir los efectos de la radiación solar. Además se utilizan estabilizadores y antioxidantes como protección al intemperismo por ozono (O₃) y radiación UV y se añaden fungicidas y biocidas para prevenir el ataque de hongos, bacterias y roedores.

3. PROPIEDADES DE LAS GEOMEMBRANAS

En los materiales de construcción se requiere conocer sus características geométricas, físicas, mecánicas e hidráulicas para su uso adecuado. Cuando se emplean geosintéticos, se deben estimar además, su durabilidad a los agentes climáticos y al contacto con otros materiales. Para caracterizar un material de este tipo existen numerosas pruebas, algunas de las cuales han alcanzado aceptación general, aunque la mayoría se encuentran en proceso de perfeccionamiento.

Las geomembranas pueden estar sometidas a varios tipos de sollicitaciones, las que se deben identificar para comparar el nivel de la sollicitación con la capacidad del producto. Las principales propiedades que se deben considerar son:

- FISICAS

Peso específico relativo o densidad
Masa por unidad de superficie
Espesor

- MECANICAS

Resistencia a la tensión a corto plazo
Resistencia a la tensión en uniones
Resistencia al desgarre
Resistencia a la perforación
Resistencia al reventamiento
Deformación a largo plazo
Resistencia a la fatiga
Fricción geosintético suelo
Fricción entre geosintéticos

- HIDRAULICAS

Conductibilidad hidráulica o permeabilidad
Transmisibilidad al vapor de agua
Rugosidad superficial

- REOLOGICAS

Comportamiento viscoelástico
Flujo plástico
Térmicas

- DURABILIDAD

Resistencia al ozono (O₃)
Resistencia a la luz ultravioleta (UV)
Compatibilidad química con líquidos

Absorción de líquidos
Envejecimiento
Estabilidad al ataque microbiológico

Existe al menos un tipo de prueba para cada propiedad; sin embargo, muchas son aceptadas sólo por algunos organismos. En general, se tiende a normalizar los ensayos para geosintéticos y en el caso particular de las geomembranas, han adquirido aceptación los ensayos ASTM (1988), que distinguen al polietileno y copolímero etileno, el PVC y los hules vulcanizados (IIR, EPDM y CR).

Las principales propiedades de las geomembranas se han reportado con anterioridad (Murillo, 1990b); sin embargo, se hace énfasis en algunas debido a la existencia de una mayor información y de la importancia que tienen en el comportamiento en obra.

Densidad. Su conocimiento es básico para determinar si la geomembrana flota en el agua; los valores que tienen algunos polímeros son: polietileno 0.91 a 0.96; polipropileno 0.91; cloruro de polivinilo 1.24 a 1.4; hule butilo 0.92 a 1.25; polietileno clorosulfonado 1.17 a 1.5.

Fricción geosintético suelo. Esta característica permite estimar la fuerza cortante que se transmite entre ambos materiales y la resistencia al deslizamiento en taludes. En la tabla I, se reporta los ángulos de fricción entre suelos friccionantes y geomembranas, entre geomembranas y geotextiles y entre suelos y geotextiles (Martín et al, 1984), para geoproductos confinados; el término eficiencia señalado en la tabla, se refiere a la capacidad de transmisión de esfuerzo cortante. El ángulo de deslizamiento de gravas sobre geomembranas de asfalto o PVC en un plano inclinado varía entre 25 y 29°.

Conductibilidad hidráulica y transmisibilidad al vapor de agua. Para estimar la cantidad de agua que pasa a través de una membrana sin defectos, se hacen pruebas en permeámetros, así como en cámaras de vapor cuyos resultados normalmente se refieren a una permeabilidad equivalente. Los valores comunes obtenidos en ambos tipos de prueba se reportan en la tabla II.

Rugosidad. Debido a que estos productos se utilizan en conducciones abiertas, se han realizado ensayos para determinar su rugosidad. Los coeficientes de Manning obtenidos experimentalmente (Martín et al, 1990), son: PVC de 0.0136 a 0.0137; HDPE 0.0135; CSPE de 0.0140 a 0.0141; EPDM de 0.0128 a 0.0150, es decir, tienen valores similares a los de un concreto bien acabado.

Propiedades físicas y mecánicas. Por lo común, los fabricantes proporcionan las siguientes propiedades: resistencias a la tensión, a la penetración y al desgarre, deformación a la ruptura, así como características de

TABLA I. ANGULOS DE FRICCIÓN Y EFICIENCIAS (EN PARENTESIS) (MARTIN et al, 1984)

A. SUELO - GEOMEMBRANA

MATERIAL DE LA GEOMEMBRANA	TIPO DE SUELO		
	ARENA PARA CONCRETO $\phi = 30^\circ$	ARENA DE OTTAWA $\phi = 28^\circ$	ARENA DE MICASQUISTO $\phi = 26^\circ$
EPDM	24° (0.80)	20° (0.71)	24° (0.92)
PVC RUGOSO	27° (0.90)		25° (0.96)
LISO	21° (0.83)		21° (0.81)
CSPE	25° (0.83)	21° (0.75)	23° (0.88)
HDPE	18° (0.60)	18° (0.64)	17° (0.65)

B. GEOMEMBRANA - GEOTEXTIL

MATERIAL DE LA GEOMEMBRANA	MARCA GEOTEXTIL			
	CZ 600	TYPAR 3401	POLYFILTER X	500 X
EPDM	23°	18°	17°	21°
PVC RUGOSO	23°	20°	11°	28°
LISO	21°	18°	10°	24°
CSPE	15°	21°	9°	13°
HDPE	8°	11°	6°	10°

C. SUELO - GEOTEXTIL

MATERIAL DE LA GEOMEMBRANA	TIPO DE SUELO		
	ARENA PARA CONCRETO $\phi = 30^\circ$	ARENA DE OTTAWA $\phi = 28^\circ$	ARENA DE MICASQUISTO $\phi = 26^\circ$
CZ 600	30° (1.00)	26° (0.93)	25° (0.96)
TYPAR 3401	26° (0.87)		
POLYFILTER X	26° (0.87)		
500 X	24° (0.80)	24° (0.86)	23° (0.88)

envejecimiento, densidad, espesor, resistencia en uniones y estabilidad dimensional.

3.1 Principales polímeros utilizados

Existen miles de polímeros; sin embargo, para obras de ingeniería se utilizan sólo unos cuantos de bajo costo. A continuación se reportan las características de los más comunes en geomembranas.

Poliétilenos (LDPE, LLDPE, MDPE y HDPE). Se distinguen tres tipos, de baja, media y alta densidad (LDPE, MDPE y HDPE). El polietileno de baja densidad (0.91 a 0.925 g/cm³), tiene un importante número de ramas laterales que

dificultan la cristalización y crean volumen libre, que hacen al material muy flexible y de inferiores propiedades físicas y mecánicas que los de mayor densidad. En la actualidad existe el de baja densidad lineal (LLDPE), cuyas moléculas han sido orientadas mecánicamente para que presente un mejor comportamiento. El polietileno de densidad media (0.926 a 0.940 g/cm³), está constituido básicamente por moléculas lineales con ramas cortas, por lo que posee mejores propiedades de resistencia a tensión, desgarré y rigidez que el de baja densidad. El polietileno de alta densidad (> 0.941 g/cm³), es un polímero lineal cuya estructura, prácticamente sin cadenas laterales, favorece la cristalización,

TABLA II. PERMEABILIDAD DE GEOMEMBRANAS (GIROUD, BONAPARTE, 1989)

M A T E R I A L	k EN PERMEAMETRO 10^{-15} m/s	k_p EN PRUEBA DE TRANSMISION DE VAPOR DE AGUA 10^{-15} m/s	ESPESOR T_e mm
HULE BUTILO (IIR)	0.7 a 750	1.4 a 27	0.85 a 1.85
POLIETILENO CLORADO (CPE)		18 a 90	0.53 a 0.97
POLIETILENO CLOROSULFONADO (CSPE)	54 a 370	20 a 55	0.74 a 1.07
MONOMERO DIENO PROPILENO ETILENO (EPDM)	22 a 110	11 a 24	0.51 a 1.70
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (LDPE)		3.5	0.76
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (HDPE)		1.1 a 1.2	0.8 a 2.44
CLORURO DE POLIVINILO (PVC)	4.3 a 170	100 a 120	0.28 a 0.79
ASFALTO	5.9 a 82		

produciendo un material denso y altamente ordenado.

Cuando el polietileno no es orientado, tiene una excelente resistencia química a los solventes, excepción hecha de los oxiácidos (nitríco, sulfúrico). Puede ser afectado por los alcoholes, hidrocarburos líquidos, ésteres orgánicos, jabones metálicos y otros productos. Es resistente a la expansión y posee baja permeabilidad a líquidos, gases y vapores; para incrementar su resistencia al intemperismo se le añade negro de humo (2 a 3%) y otros aditivos que incrementan su peso volumétrico. El contenido de negro de humo es por lo común 2%, pero se requiere que esté bien dispersado en el polímero para que la membrana sea de buena calidad. Los principales aditivos que se aplican son elastómeros.

Polipropileno (PP). Recientemente se ha empleado para geomembranas, al lograr estabilizar sus moléculas para obtener una buena durabilidad. Tiene propiedades físicas y mecánicas superiores al polietileno, es flexible y resistente a bases y ácidos. Su molécula es lineal y la presencia de la cadena lateral metilo (CH_3), que es una unión débil, lo hace susceptible al ataque químico en mayor grado que el polietileno.

Cloruro de polivinilo (PVC). Esta resina, rígida por naturaleza, requiere el empleo de aditivos como plastificantes (hasta 55% de su peso), estabilizadores, lubricantes y pigmentos, por lo que es muy versátil y se puede producir rígido o muy flexible. Comparado con el polietileno de alta densidad, la diferencia estriba en el átomo electronegativo de cloro que hace mantenerse a las cadenas muy cercanas, provocando que sea más duro y rígido. Sus propiedades mecánicas varían considerablemente debido a los aditivos

utilizados. Tiene buena resistencia química comparado con los elastómeros y pobre si se compara con el polietileno y polipropileno.

Por ser sensitivo a los rayos UV y requerir plastificante que puede ser volátil, es necesario cubrirlo del sol. La adición de negro de humo como protección solar incrementa la absorción de calor y favorece la evaporación del plastificante. Otro aditivo que comúnmente se aplica es un biocida para protección contra biodegradación.

Polietileno clorado (CPE). Pertenece a la familia de los polietilenos de alta densidad y contiene de 25 a 45% de cloro y de 0 a 25% de estructuras cristalinas. Puede ser vulcanizado, pero en compuestos lineales es generalmente termoplástico y se le añaden aditivos como petróleo, plastificantes, negro de humo y rellenos minerales. Por ser un polímero saturado tiene buena resistencia al intemperismo al estar expuesto y no es atacado por el ozono. No es recomendable su uso en contacto con líquidos aromáticos. Puede ser mezclado con otros polímeros que modifican sus propiedades.

Polietileno clorosulfonado (CSPE o Hypalon). Es también un polímero saturado y contiene comúnmente 25% de cloro y 1% de azufre. Bien formulado, tiene buenas características de resistencia al ozono, al ataque químico y de estabilidad a la luz, pero pobre resistencia a los hidrocarburos y productos químicos orgánicos. Se ablanda y contrae expuesto al sol y posee una baja resistencia a la tensión, por lo que requiere ser estabilizado mecánicamente con un refuerzo textil.

Monómero dieno propileno etileno (EPDM). Forma una familia de terpolímeros de etileno, propileno y una cantidad menor de

hidrocarburos de dieno no conjugados. El dieno proporciona ligas dobles en las cadenas saturadas del polímero que son químicamente activas para su vulcanización, usualmente con azufre. Se producen tanto en estructura termoplástica como vulcanizada. Esta última tiene buena resistencia al intemperismo y radiación ultravioleta y cuando se formula adecuadamente, resiste a la abrasión y al desgarre. Tolerancia una amplia gama de temperaturas y conserva su flexibilidad a baja temperatura; tiene buena resistencia a los ácidos diluidos, álcalis, silicatos, fosfatos y salmuera. No es recomendable en contacto con solventes derivados del petróleo, aromáticos o halogenados.

Isobutileno isopreno o hule butilo (IIR). Es un copolímero de isobutileno (97%) con pequeñas cantidades de isopreno en las cadenas poliméricas que proporcionan sitios químicamente activos que favorecen la vulcanización con azufre. Sus principales propiedades son la baja permeabilidad a los gases y vapor de agua, estabilidad térmica, moderada resistencia al ozono, al intemperismo, al ataque químico y a la humedad, así como a grasas y aceites vegetales y animales. Por lo común se adicionan rellenos y aceites. Se expande cuando es expuesto a solventes y aceites del petróleo, pero no lo afectan solventes oxigenados y líquidos polares; tiene buena resistencia a los ácidos minerales, alta tolerancia a temperaturas extremas, conserva su flexibilidad durante su vida de servicio y es muy deformable.

Aleaciones (Alloys). Resultan de la combinación de dos o más polímeros, para obtener un producto que posea las características más favorables de ellos, principalmente para tener un polímero base de bajo costo y otros que proporcionan alta resistencia al esfuerzo mecánico y al intemperismo. Las aleaciones con mayor difusión son la de vinilo etileno (EVA) y el Elvaloy, que son termoplásticos flexibles.

Asfalto. Es el residuo sólido del petróleo crudo, una vez que se han eliminado los hidrocarburos volátiles. Se encuentra en forma natural (chapopote) o se obtiene como subproducto de la refinación del petróleo. Corresponde a un material termoplástico de bajo peso molecular, con peso específico del orden de 1 g/cm³. Se ablanda entre 50 y 100°C; se emplea para elaborar membranas asfálticas, comúnmente con un aditivo volátil (solvente) o con la aplicación de calor para hacerlo fluido; se le incorporan rellenos minerales inertes. Es resistente a la mayoría de las soluciones industriales con concentración menor al 5% de solventes de petróleo, aceites, grasas y solventes aromáticos; resiste a los alcoholes etílico y metílico y a los glicoles, así como a muchos ácidos, sales y álcalis con concentración menor al 30%.

Geocompuestos de bentonita. Corresponden a los productos relacionados ya que en su forma de suministro, consisten en granos de arcilla confinados entre dos textiles, que al ponerse

en contacto con el agua se hidratan y expanden formando una capa de gel arcilloso de baja permeabilidad. En algunos productos, una de las caras es una geomembrana de polímero.

Normalmente se ha relacionado al material de la membrana con el uso del agua, lo que tiene su justificación debido a que algunos productos contienen plomo, cierto tipo de plastificantes solubles o algún material que afecta a la salud. En décadas pasadas se ha usado ampliamente el PVC para agua potable y para riego, aunque esta tendencia se ha modificado con la aparición de productos con mayor durabilidad expuestos como el HDPE y el CSPE grado potable. En plantas depuradoras de aguas residuales municipales, se utilizan HDPE, CSPE grado industrial, EPDM y PVC-OR. En la contención de líquidos industriales, el más usual es el HDPE por su gran resistencia a derivados del petróleo, ácidos y bases, aunque debido a la amplia gama de líquidos que maneja la industria, se utilizan también polímeros de escaso uso en ingeniería civil. Las geomembranas de bentonita-textil, han tenido su campo de aplicación principal en vasos con tirantes pequeños para agua potable o uso recreativo.

4. ASPECTOS DE DISEÑO

Durante los primeros años en que se usaron geomembranas fue común el uso de métodos de diseño empíricos, basados en experiencias previas, por lo que en ocasiones ocurrieron fallas. Debido a esos fracasos, los fabricantes patrocinaron investigaciones para desarrollar metodologías de diseño que han permitido un mayor conocimiento de los factores físicos involucrados y de la respuesta físico química de los materiales. Esto permite obtener proyectos racionales, considerando por una parte, las solicitaciones a que se someterán los materiales, y por otra, la capacidad del material, para realizar una comparación entre ambos, utilizando el concepto "Factor de Seguridad", tan común en ingeniería, definido como:

$$FS = \frac{CAPACIDAD}{SOLICITACION}$$

Cabe destacar que en los geosintéticos, la capacidad a considerar es la del producto al término de su vida útil, que por lo general es menor a la inicial debido al deterioro propio por envejecimiento, por lo que los factores de seguridad que se adoptan son comúnmente mayores a los de otros materiales de construcción (Auvinet, Murillo, 1990).

Los primeros materiales usados fueron a base de PVC, que pierde sus plastificantes al estar expuesto al ambiente y se rigidiza, por lo que en general se recomienda cubrirlo con 30 cm de suelo como mínimo, lo que aumenta el costo de la alternativa y obliga a usar taludes 3:1 a 4:1 para reducir el riesgo de deslizamiento de la cubierta. Ante estos inconvenientes, se han

producido membranas de PVC con mayor resistencia al intemperismo, o bien se emplean polímeros con mayor resistencia a este ataque, que permitan exponer al ambiente al revestimiento. Debido a la reducida fricción suelo-membrana, desde 1990 se producen membranas texturizadas, es decir con una o ambas caras rugosas. En la actualidad, las geomembranas que pueden usarse expuestas son el polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno clorado (CPE), el polietileno clorosulfonado (CSPE), el hule butilo (IIR) y algunas marcas de cloruro de polivinilo (PVC). En 1992 se ofreció en el mercado productos a base de polipropileno estabilizado (PP); sin embargo, no existe prueba fehaciente de su durabilidad expuesto a la luz del sol.

4.1 Requisitos de supervivencia

Para el diseñador es difícil suponer los esfuerzos a que se someterá una geomembrana desde su fabricación hasta la puesta en servicio de la obra, por lo que es común que existan requisitos mínimos que deben cumplir a fin de resistir impactos, paso de personas, viento e instalación. En este sentido, se han elaborado normas mínimas para uso general de geomembranas, que pueden aplicarse a las obras hidráulicas como canales para riego y tanques de almacenamiento (tabla III).

4.2 Geometría

En obras hidráulicas, la geometría está ligada al uso de la estructura (canal o vaso) y a la topografía. Cuando es posible seleccionar la forma, normalmente se emplean secciones transversales de forma trapecial con taludes 3:1 a 4:1 cuando la membrana es rígida (HDPE, PP), o un talud más inclinado (1:1) o incluso vertical en membranas flexibles (PVC, CSPE, EPDM, IIR), aunque en este último caso se utilizan atraques para mantener en posición al

producto. En muchas obras, se coloca bajo la membrana un material permeable (natural o geotextil), a fin de desalojar las filtraciones o fugas y evitar el levantamiento por subpresión o presencia de gases.

4.3 Espesor

El espesor de la membrana es una característica que debe ser revisada, obteniendo la resistencia necesaria ante deformaciones del terreno debidas a asentamientos diferenciales, a hundimientos puntuales o a tensiones por instalación fuera de lo normal. El modelo teórico se muestra en la figura 1. Por equilibrio horizontal se tiene (Koerner 1986):

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F \cos \beta = T_u + T_l$$

$$(\sigma, T_g) \cos \beta = (p \tan \delta_u + p \tan \delta_l) x$$

$$T_g = p x (\tan \delta_u + \tan \delta_l) / (\sigma, \cos \beta)$$

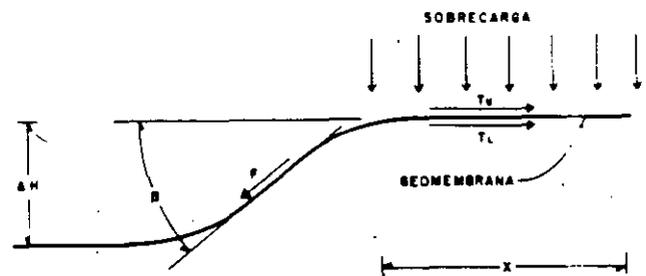


Fig. 1 Mecanismo para calcular el espesor (Koerner, 1986).

TABLA III. REQUISITOS MÍNIMOS PARA GEOMEMBRANAS EN OBRAS HIDRAULICAS (KOERNER, 1986)

PROPIEDAD	TIPO DE GEOMEMBRANA		METODO DE PRUEBA ASTM
	SIN REFUERZO	CON REFUERZO	
ESPESOR (milésimas de pulgada)	20	30	D 1593 (parte 8.1.3)
PRUEBA DE TENSION			D 882
RESISTENCIA ULTIMA (lb/in)	15	50	
ELONGACION A LA FALLA (%)	150	100	
MOD. TAN. INICIAL (lb/in)	-	200	
MOD. SEC. 100% def. (lb/in)	5	-	
PRUEBAS DE RESISTENCIA			
AL DESGARRE (lb)	5	50	D 1004
A LA PERFORACION (lb)	20	40	D 3787 (barra 5/16")
AL IMPACTO (ft-lb)	5	10	D 1790
RESISTENCIA EN UNIONES (% de la máxima)	80	80	D 882 (en cortante)

donde:

ΔH = asentamiento que moviliza la tensión en la membrana
 F = fuerza movilizada
 σ_y = esfuerzo de fluencia
 T_s = espesor de la membrana
 T_U = fuerza cortante sobre la membrana
 T_L = fuerza cortante bajo la membrana
 $T = p \tan \delta$
 p = presión aplicada por el peso del agua
 δ = ángulo de fricción suelo geomembrana
 x = distancia en que se moviliza la deformación

Los intervalos comunes de las variables son:

$p = 1500$ a $15\ 000$ kg/m^2
 $\beta = 0$ a 45°
 $x = 1$ a 7.5 cm
 $\sigma_y = 4.8$ a 19.5×10^5 kg/m^2 (según producto)
 $\delta_U = 0^\circ$ para líquidos
 $\delta_U = 20$ a 40° para sólidos (tabla I)
 $\delta_L = 20$ a 40° (tabla I)

Además, el espesor debe asegurar que la geomembrana sea capaz de soportar su propio peso durante la instalación y las condiciones de servicio.

4.4 Estabilidad de taludes

El análisis de la estabilidad de taludes con geomembranas se realiza en forma similar a los cálculos normales de geotecnia, con pequeñas variantes. Para falla cilíndrica es común usar el método sueco tradicional donde se puede incorporar a la geomembrana en los momentos resistentes, aunque por lo general su efecto no es significativo. Como en cualquier talud, se debe revisar la estabilidad ante desplazamiento horizontal o traslación.

Debido a la conveniencia de cubrir las membranas con suelos para prolongar su durabilidad, se requiere diseñar esa cobertura de manera que sea estable. Por la baja fricción geomembrana suelo, las capas delgadas de suelo sobre los revestimientos sintéticos tienden a deslizarse. El análisis normalmente se realiza para condiciones estáticas como las de la figura 2. Para esas circunstancias, la estabilidad se determina como:

$$FS = \frac{\text{FUERZAS RESISTENTES}}{\text{FUERZAS ACTUANTES}}$$

$$FS = \frac{\tan \delta}{\tan \beta}$$

β = ángulo del talud

δ = ángulo de fricción geomembrana suelo de cubierta

El actual desarrollo de herramientas teóricas permite tomar en consideración otros factores involucrados en la estabilidad de las coberturas, como espesor variable, peso de

maquinaria sobre la cubierta y fuerza de frenaje, así como fuerzas de filtración debidas al descenso del nivel en el embalse (Thiel, Stewart, 1993; Druschel, Underwood, 1993).

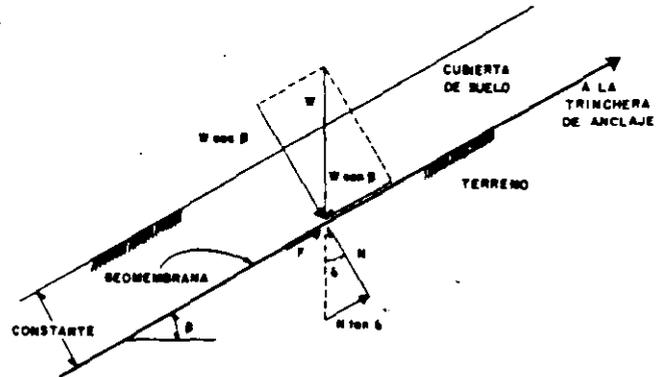


Fig. 2 Fuerzas involucradas en una geomembrana con cubierta de suelo uniforme (Koerner, 1986).

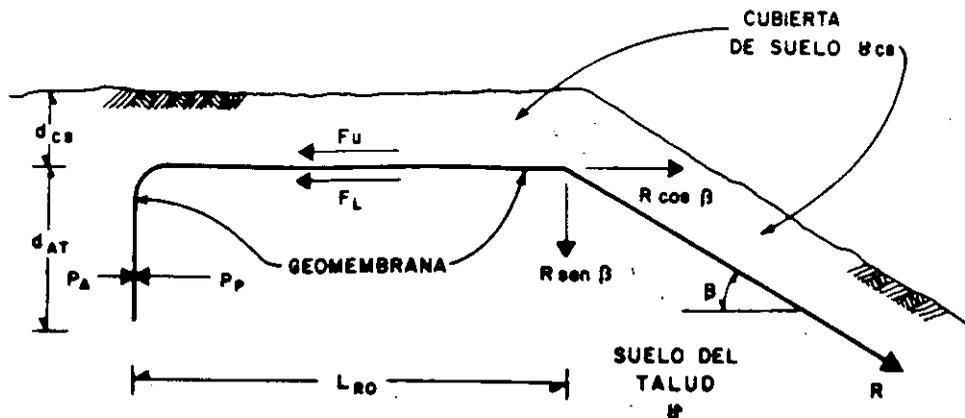
Como material de cobertura, el Bureau of Reclamation de E.U. (USBR) recomienda el uso de grava-arena bien graduada y compactada de granos angulosos, por lo que se requiere una interfase de geotextil de 110 g/m^2 mínimo para protección. El espesor de cobertura común es de 30 a 60 cm o un mínimo de 25 cm más 8.2 cm por cada metro de tirante de agua (Comer, Straubinger, 1993).

4.5 Trincheras de anclaje

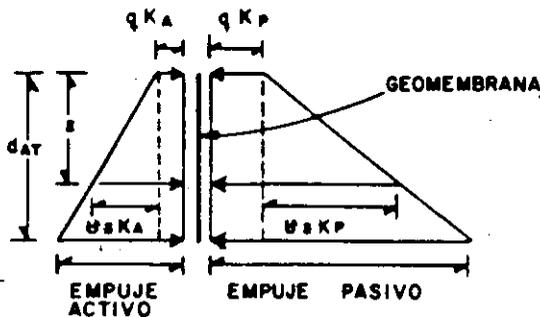
Para asegurar una membrana en los taludes, por lo general se excava una trinchera a corta distancia del hombro, en la que se coloca el extremo de la hoja y se cubre con el producto de excavación compactado. El diseño se realiza en función de la longitud en que se desarrolla la fuerza de extracción y la profundidad de anclaje (d_{AT}) como se indican en la figura 3, donde se muestra una cobertura que transmite una sobrecarga q , que es nula cuando no hay cubierta. Para el cálculo, se considera que la fuerza R se desarrolla con la dirección del talud y moviliza la fricción en una distancia L_{RO} , la que puede alcanzar al anclaje vertical. Cuando ocurre esta condición, se debe considerar la fricción en la geomembrana en posición vertical debida al empuje de suelo bajo los estados de Rankine. Las condiciones para obtener el equilibrio horizontal son (Koerner, 1986):

$$\sum F_x = 0$$

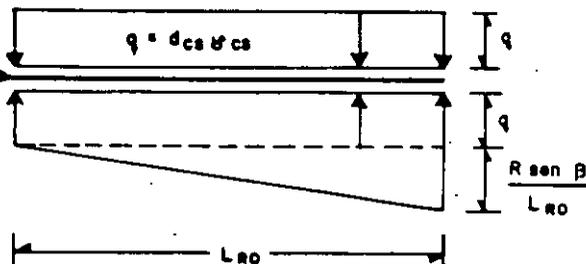
$$R \cos \beta (FS) + P_A = P_p + F_U + F_L$$



a.) Esquema general.



b.) Diagramas de esfuerzos en la trinchera.



c.) Diagramas de esfuerzos en el tramo en que se moviliza el esfuerzo cortante.

Fig. 3 Fuerzas involucradas en un anclaje en el hombro del talud (Koerner, 1986).

donde:

- $R = \sigma, T_s$ = fuerza actuante
- T_s = espesor de membrana
- β = inclinación del talud
- $P_A = 0.5 \gamma d_{AT}^2 K_A + q d_{AT} K_A$
- γ = peso volumétrico del suelo
- d_{AT} = profundidad de anclaje de la membrana
- $K_A = \tan^2(45^\circ - \delta/2)$ = coef. empuje activo
- δ = ángulo de fricción suelo geomembrana
- $P_P = 0.5 \gamma_a d_{AT}^2 K_P + q d_{AT} K_P$
- $K_P = \tan^2(45^\circ + \delta/2)$ = coef. empuje pasivo
- $F_U = q \tan \delta (L_{RO})$ = fricción sobre la geomembrana
- $q = d_a \gamma_a$ = peso sobre la geomembrana
- d_a = espesor de la cubierta de suelo
- γ_a = peso volumétrico de la cubierta de suelo
- L_{RO} = Longitud en que se moviliza la fricción
- $F_L = (q + (0.5 R \text{ sen } \beta) / L_{RO}) \tan \delta (L_{RO})$ = fricción bajo la membrana
- FS = factor de seguridad

El valor máximo de R está limitado a la fluencia de la membrana (σ), no al esfuerzo de ruptura.

4.6 Estimación de pérdidas

Aunque las geomembranas se pueden considerar impermeables, siempre existirá un pequeño caudal por filtraciones a través del espesor, así como fugas por uniones defectuosas, daños al revestimiento o existencia de microagujeros. Las filtraciones se pueden estimar como:

$$q = k A h / T_s$$

donde:

- q = gasto
- $k = k_s$ = coeficiente de permeabilidad (tabla II)
- A = área expuesta al agua
- h = carga hidráulica
- T_s = espesor de membrana

Para estimar las pérdidas a través de discontinuidades, se pueden utilizar las herramientas matemáticas descritas anteriormente (Murillo, 1990a).

4.7 Subdrenaje

La presencia de gases en el subsuelo o de subpresión puede ocasionar el levantamiento de la membrana, por lo que es necesario instalar sistemas de drenaje con materiales permeables naturales o geosintéticos. Aun en membranas cubiertas, se requiere revisar el riesgo de flotación. Es recomendable usar subdrenaje cuando el tirante sea mayor a 2.0 m.

4.8 Selección de la membrana

Es conveniente analizar al menos tres tipos de productos. Para agua potable o para riego, se utiliza con frecuencia PVC cubierto con suelo, HDPE y CSPE grado potable expuestos. Las geomembranas de EPDM o Neopreno (CR) resultan prohibitivas para estos usos por su costo. En años recientes, se dispone de membranas de polietileno de baja densidad (LDPE), de polipropileno (PP), así como de aleaciones de vinil etileno (EVA) y elastómero de etileno (XRS o Elvaloy) que también se pueden utilizar. Para agua potable se debe verificar que la membrana no contenga metales pesados. Para la selección del producto, además de sus propiedades fisicoquímicas, influyen la disponibilidad, costo, métodos de unión y reparación, así como las experiencias previas.

5. INSTALACION Y SUPERVISION

El éxito de un sistema impermeable no sólo depende de la calidad de los materiales, sino también de los métodos de instalación y de supervisión. El diseño debe incluir la secuencia exacta de los trabajos, así como las normas y especificaciones de calidad de la instalación.

El proyecto debe señalar claramente el número de rollos o piezas que se usarán y su orden de colocación, así como los cortes, uniones y ajustes necesarios, además de los métodos de desenrollado o desdoblado. Siempre deberá existir un plano de ensamble y estar claramente indicados los procedimientos de unión.

5.1 Preparación del terreno

La superficie debe ser firme y estar lo más uniforme posible; si es suelo deberán aplicarse algunas pasadas con rodillo liso o neumático; si es rocoso, se deberá regularizar con concreto, ya que no son aceptables salientes ni huecos. Es recomendable la aplicación de herbicidas. Cuando el suelo tenga partículas angulosas mayores de 5 mm, se deberá colocar un material de transición como grava-arena o geotextil. Es conveniente concluir la preparación del terreno antes de instalar la geomembrana para evitar la presencia de polvos, grasas y humedad.

5.2 Métodos de unión

La calidad de las juntas representa la calidad de la instalación y a menor número de uniones

menor probabilidad de fugas, por lo que se debe realizar la mayor cantidad de uniones en planta bajo condiciones controladas y el menor número en la obra. Los métodos usados para unir las membranas dependen del tipo de polímero y los mejores resultados se obtienen cuando la unión se realiza con el mismo polímero, no se debilita al producto, se tiene una resistencia similar a éste, es continua y es aplicable en la obra. Las uniones típicas se muestran en la figura 4 y los principales métodos son:

Solvente. Se aplica solvente entre los lienzos y se mantiene unidas las superficies hasta que endurece (1 hora); alcanza su máxima resistencia en 28 días. Se utiliza para polímeros termoplásticos no cristalinos (PVC, CPE, CSPE).

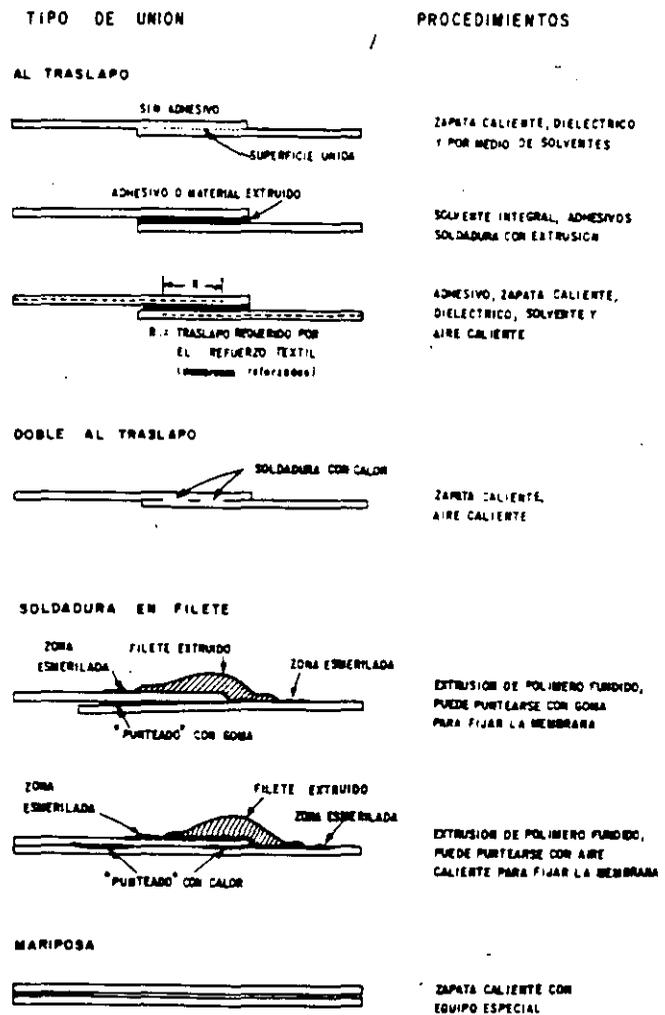


Fig. 4 Tipos de uniones (EPA, 1988).

Solvente integral. Similar al anterior, pero el solvente contiene el polímero disuelto. Es aplicable comúnmente para CPE, CSPE y PVC.

Adhesivo solvente. Se aplica entre las hojas una resina termoplástica que se evapora formando la unión por adhesión; se utiliza para PVC, CPE y CSPE.

Cemento de contacto. Son resinas termoplásticas que se aplican a ambas superficies y se dejan secar hasta que no estén pegajosas, para entonces unir con presión. Se usa en PVC, LDPE, HDPE, IIR, EPDM, CPE y CSPE. No es muy confiable.

Vulcanizado con calor o adhesivos. Con calor se usa sólo en planta utilizando azufre; se aplica al IIR y al EPDM. Cuando se usan adhesivos puede usarse en planta y obra.

Aire caliente. Consiste en aplicar una corriente de aire o nitrógeno caliente ($\pm 375^{\circ}\text{C}$) entre los lienzos para fundir las superficies y unir las con presión hasta que se endurece la junta. Se utiliza en los termoplásticos como PVC, LDPE, HDPE, CPE y CSPE.

Zapata caliente. Consiste en aplicar calor por medio de mordazas, rodillos o una cuchilla que funden a las dos hojas; los dos primeros proporcionan el calor por la parte exterior y la cuchilla o zapata en el contacto entre ambas, manteniendo los lienzos unidos hasta que solidifica el polímero. Sólo se utiliza en los polietilenos (HDPE y LDPE).

Dieléctrico. A las hojas se les mantiene unidas con presión y se les aplica energía electromagnética en la frecuencia del radio, que hace vibrar a las moléculas, las calienta y provoca la fusión y mezcla entre ambas superficies. Es aplicable sólo en planta para el PVC, CPE y CSPE.

Soldadura con extrusión. Se emplea para el HDPE y el PP; consiste en la extrusión del polímero fundido que se coloca entre las superficies o al borde de una de las hojas. Se aplica aire caliente para precalentar y limpiar la zona de unión. La temperatura del filete de polímero es de 230 a 250°C.

Ultrasonido. Consiste en aplicar energía ultrasónica en frecuencias de 20 a 40 kHz, para generar calor en el contacto entre las hojas provocando la fusión.

En todos los sistemas de unión que utilizan calor, afectan a los resultados la calidad de la membrana, la limpieza de las superficies, el ancho de traslapo, el clima, la humedad, la velocidad de la soldadura, la temperatura de precalentamiento del filete y del aire, la presión aplicada, la calibración del equipo y la experiencia del operador.

Unión de materiales asfálticos. Se utilizan dos métodos básicos, el primero consiste en aplicar flama directa a las superficies por

unir para fundir el asfalto o bien sellar con mastiques asfálticos en el interior del traslapo o en el borde formando filetes.

5.3 Control de Calidad

Para estos materiales y procedimientos de instalación, existe una metodología particular aplicable. En general, se requiere de una rígida supervisión, que incluya la verificación de las propiedades requeridas de la membrana por medio de ensayos de laboratorio como los que establece la ASTM o la Environmental Protection Agency de los E.U. (EPA, 1988). En obra, se necesita realizar ensayos índice para determinar en forma sencilla y oportuna la homogeneidad de la geomembrana; tal es el caso de las pruebas de tensión bajo carga o deformación controladas en tiras del producto.

Merece una mención especial la supervisión de las uniones, ya que éstas deben asegurar un sello continuo y permanente que evite las fugas, además de que deben resistir los esfuerzos y deformaciones de instalación y servicio del revestimiento (Rollin, 1991). Los métodos usados para evaluar la calidad de las uniones se clasifican en destructivos y no destructivos. En los primeros, se corta un tramo en el revestimiento, que se ensaya en el laboratorio; esto obliga a realizar reparaciones en la obra. El segundo tipo de métodos se aplica en la longitud total de la unión, pero sólo proporcionan información cualitativa. Los principales métodos son:

Ultrasonico de eco de pulso. Consiste en hacer pasar una onda de sonido con frecuencia de 5 a 15 MHz a través de la junta para registrar imperfecciones. Está limitado a registrar sólo discontinuidades grandes (± 5 mm).

Ultrasonico de impedancia. Determina la impedancia acústica del polímero con ondas continuas de 160 a 185 kHz, para registrar las zonas defectuosas. Es un sistema en desarrollo.

Lanceta de aire o chiflón. Se aplica en el borde de la unión un chorro de aire a una presión de 3.5 kg/cm², por medio de una boquilla, para detectar zonas sin unir. No es aplicable a materiales rígidos y no sirve para registrar zonas defectuosas en el interior de la junta.

Cámara de vacío. Por medio de una caja abierta en la parte inferior y con sello perimetral, se aplica succión a un tramo de junta enjabonado previamente, para detectar las imperfecciones cuando se forman burbujas.

Sello doble presurizado. Consiste en aplicar presión de aire en el conducto intermedio de juntas de doble unión para registrar las fugas. Se prueban tramos con longitud de 30 a 100 m.

Chispa eléctrica. En una variante, se coloca un alambre metálico entre las hojas de la

junta y se conecta a un polo eléctrico para aplicar una corriente. Se recorre la junta con una punta metálica y la zona defectuosa se registra cuando se produce una chispa. Otra variante no emplea el conductor en la unión y la chispa se produce entre el suelo y un cepillo metálico, a través de la discontinuidad.

Manual. Las zonas sin unir se detectan con una herramienta de punta roma que se desliza a lo largo del borde de la junta. Es aplicable sólo a membranas de poco espesor y se requiere personal con mucha experiencia.

6. OBRAS CON GEOMEMBRANAS

Desde la década de los años 70 se han utilizado en el país paneles asfálticos con fines de impermeabilización, así como geomembranas de polímeros. Muchas de las primeras experiencias resultaron fracasos rotundos, en ocasiones debido a ignorancia, métodos de instalación inapropiados, dificultades para realizar las uniones e incluso por el uso de productos de mala calidad, que ocasionaron la desconfianza de los usuarios potenciales con justificada razón. Algunas de las obras que se reportan han sido mencionadas previamente (Murillo, 1990b); sin embargo, se considera conveniente incluirlas aquí a raíz de que se ha continuado registrando su comportamiento en obra hasta el presente (Murillo, 1993).

6.1 Paneles asfálticos

Su nombre comercial es Rhino Hide de Protexa; se ha utilizado desde los años 70 en pequeñas obras para riego y abrevadero. Su primera aplicación de importancia fue en la cara aguas arriba de la presa y dique La Cangrejera, Ver., en 1979. Ha requerido reparaciones mayores en 1985, 1989 y 1992. Su comportamiento se considera satisfactorio aunque presenta efectos de intemperismo y ha sido atravesado por la vegetación. En la misma zona se empleó en los bordos Pemex I y II en 1980 y se encuentra muy deteriorado. De 1983 a 1987 se instalaron 40 000 m² en la Laguna de Zumpango, Méx. En los primeros seis años, la mitad del revestimiento se destruyó por contracción (Fig. 5) y en el resto existen daños severos. En la planta de tratamiento de aguas residuales de Tijuana, B.C., se colocaron 40 000 m² en los tanques de aereación en 1987; en 1989, se produjo un desgarramiento que provocó erosión en el talud y ha requerido un frecuente mantenimiento. En un almacenamiento de agua tratada para riego en La Paz, B.C.S., se colocaron 16 000 m² de revestimiento para protección contra erosión del talud en 1990. Durante los tres primeros años, se ha registrado agrietamiento superficial y flujo plástico del material.

6.2 Polietileno de baja densidad (LDPE)

El polietileno de baja densidad se intemperiza rápidamente si no se le incorpora negro de humo; generalmente se utiliza en forma de



Fig. 5 Contracción del revestimiento asfáltico en Zumpango, Méx.

película ($T_f < 0.25$ mm). Debido a este escaso espesor, sus uniones no pueden realizarse con calor, por lo que se unen con adhesivos que no garantizan estanqueidad. Se ha utilizado película de polietileno de baja densidad (LDPE), para impermeabilizar pequeños canales para riego construidos sobre arcillas que se agrietan por secado en Quintana Roo. Su durabilidad expuesta a la intemperie es del orden de 6 meses.

En 1987 se instalaron 10 ha de película de LDPE ($T_f = 0.25$ mm) en el lago artificial de la Alameda Oriente, D.F., unido con calor de planchas caseras. Además de las deficiencias en el junteo, la membrana se levantó por flotación debida a la emanación de gases del suelo. El fracaso de esta instalación se debe a ignorancia, mal diseño y pésima instalación. Además, los suelos de la zona son prácticamente impermeables (Murillo, 1990b).

6.3 Polietileno de alta densidad (HDPE)

El polietileno de alta densidad (HDPE), es resistente e inerte a la mayoría de los solventes; en espesores mayores de 0.5 mm es rígido. Cuando se formula con negro de humo en forma apropiada es resistente al intemperismo; se le ha atribuido una durabilidad de 25 años y en ocasiones se garantiza por 10 años expuesto al ambiente. Requiere métodos térmicos de unión y éstos son difíciles en obra por su rigidez. Para realizar el junteo y reparaciones se requieren equipos especiales y personal capacitado. Por tener sus caras lisas, es poco eficiente para transmitir esfuerzo cortante; por lo general se utilizan taludes 3:1 o más tendidos. En algunas ocasiones ha presentado fallas del tipo sinérgico (combinación de sollicitaciones mecánicas y químicas moderadas).

La obra nacional de mayor antigüedad con este material es un canal de 167 m de longitud y 4.7 m de desarrollo transversal en Quintana Roo, instalada en 1990, con un espesor de

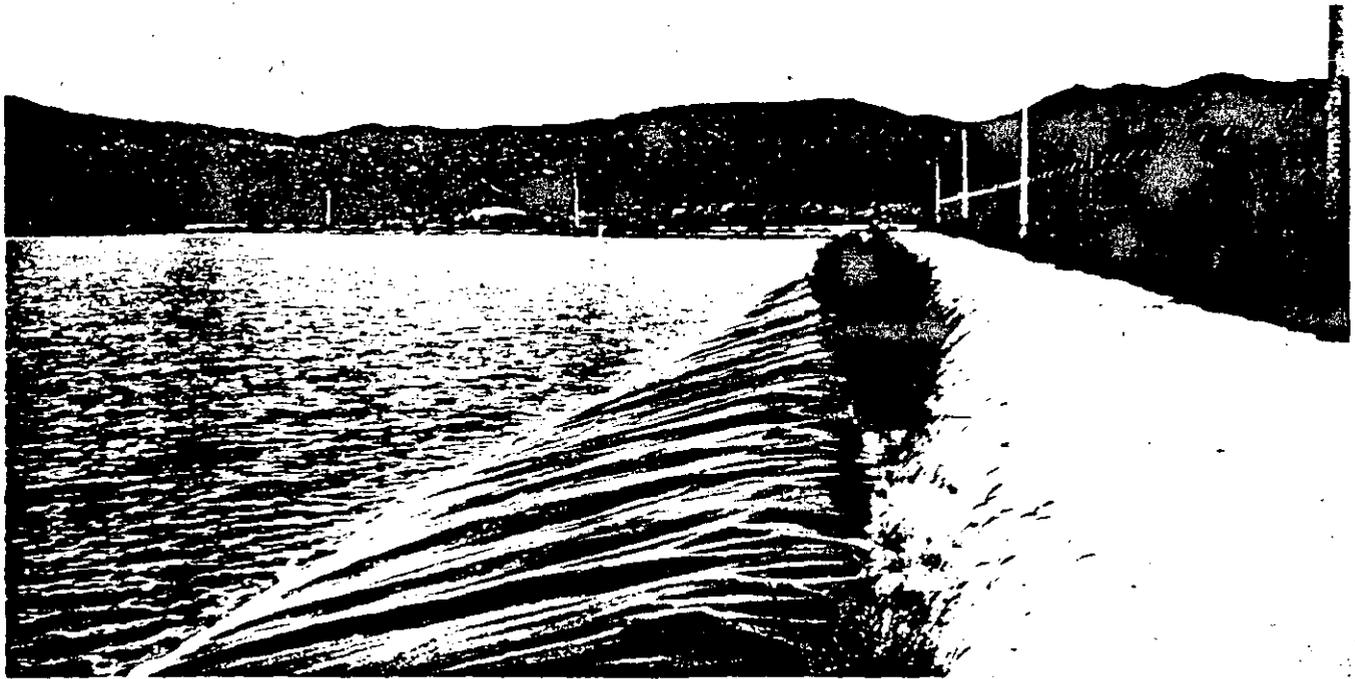


Fig. 6 Vaso de evaporación revestido con HDPE en Villa Juárez, Dgo., 1993.

1.52 mm que se ha comportado adecuadamente (SLT), resistiendo rayos solares, paso de ganado y crecimiento de vegetación.

Para protección del acuífero, se instaló en 1991 en Villa Juárez, Dgo., 8 000 m² de geomembrana de HDPE (SLT) y 14 000 m² de otra marca (Gundline) en dos tanques de evaporación de aguas salobres de la termoeléctrica G. Victoria. Las membranas fueron de 1.52 mm de espesor, unidas en campo con zapata caliente y con pistola de extrusión del polímero. No se han registrado fugas y el revestimiento no muestra señales de envejecimiento (Fig. 6).

En el Exlago de Texcoco, Méx., se instalaron en 1992, 2 400 m² de membrana de HDPE con espesor de 1.52 mm (Gundline) y 3 600 m² de membrana del mismo polímero, pero con espesor de 1.02 mm (NSC) en 5 tanques para acuicultura; el sellado se realizó con soldadura por extrusión y zapata caliente. En el mismo año y zona, se construyó un vaso de evaporación para lixiviados del relleno sanitario "Bordo Poniente", de 100x100x1.5 m, colocando geomembrana de 1.02 mm de HDPE (Fig. 7). En ambas obras, los revestimientos han soportado en forma adecuada la insolación, las sales del subsuelo, la vegetación y no acusan fugas.

6.4 Cloruro de polivinilo (PVC)

Ha sido el polímero más utilizado para producir geomembranas debido a su bajo costo, buena tolerancia a concentraciones diluidas de productos químicos, aceites, grasas y



Fig. 7 Geomembrana de HDPE en un vaso para lixiviados en Texcoco, Méx., 1992.

solventes, además de que se puede unir por varios métodos. Como se mencionó, contiene muchos plastificantes que se volatilizan y se vuelve rígido y quebradizo, además de ser atacado por el ozono y la luz ultravioleta. Tiene buena resistencia mecánica y algunas marcas comerciales han proporcionado garantía por 10 años expuesto. En ocasiones ha presentado fallas sinérgicas.

En la Laguna de Zumpango, se instaló en 1990-1991, un revestimiento de 17 700 m² de PVC de 1.5 mm de espesor (Vinimanta de Sansuy), sobre

el talud poniente. El método de unión de campo fue con solvente adhesivo. Aunque la membrana no muestra signos de deterioro, las juntas de campo son fácilmente separables y ha sufrido vandalismo (Fig. 8).

Este mismo producto se ha instalado en algunas plantas para tratamiento de aguas residuales municipales como protección de taludes, en las poblaciones de Santa Ana Pacueco (9 000 m², T_s = 0.8 mm, 1991), Irapuato (39 000 m², T_s = 1.0 mm, 1992) y Abasolo (17 500 m², T_s = 1.0 mm, 1992), en el estado de Guanajuato (Fig. 9). Se ha utilizado además, en un canal en Guasave, Sin., para protección contra erosión (1 600 m², T_s = 1.0 mm, 1992) y para evitar fugas por grietas ocasionadas por hundimiento regional en el canal Coria, Gto. (24 000 m², T_s = 1.2 mm, 1993). En todas estas obras no se ha observado deterioro aparente por exposición al ambiente, con excepción de unas pequeñas aberturas en el revestimiento de



Fig. 8 Vandalismo en una membrana de PVC en Zumpango, Méx.

Santa Ana Pacueco, atribuidas a la combinación de rasguños durante la instalación y esfuerzos térmicos (Fig. 10). En algunos casos, el revestimiento ha sido atacado por roedores (Fig. 11) y en los canales ha sufrido vandalismo (Murillo, 1994).

6.5 Polietileno clorosulfonado (CSPE)

Es un polímero con alta resistencia al intemperismo por ozono y rayos UV, con buena resistencia a ácidos y álcalis y moderada a los aceites, hongos y bacterias. Tiene baja resistencia al desgarre y a la tensión por lo que se le refuerza con un geotextil abierto (scrim). Se puede unir por vulcanización, solventes integrales o calor en forma simple. Tiene una durabilidad mayor a 20 años y se otorga garantía en ese sentido.

Las obras conocidas son un vaso para líquidos industriales en Coatzacoalcos, Ver., en 1979, que fracasó por un mal diseño (Murillo, 1990b) y en 1993 en la impermeabilización con fines de protección del acuífero en la hidroeléctrica Agua Prieta, en Guadalajara, Jal., donde se revistieron 30 000 m² en un tanque de concreto para sedimentación de aguas residuales, colocando geomembrana con espesores de 1.52 mm en las paredes y con espesor de 0.91 mm en el fondo. Bajo la membrana se colocó geotextil punzonado de poliéster y en el fondo, además del textil bajo la membrana, éste se colocó encima y se cubrió con 15 cm de concreto. En el vaso de regularización de esta obra, se colocaron 110 000 m² de membrana con espesor de 0.91 mm en el fondo y en los taludes recubiertos con concreto, en ambos casos sobre geotextil (Fig. 12). Durante la instalación se presentaron dos desgarramientos, uno debido a tensión por efectos térmicos y otro por viento. Con la solución adoptada, se redujeron las fugas detectadas con anterioridad, de 60.0 a 1.0 l/s, por lo que se ha considerado una excelente aplicación (Murillo, 1994).



Fig. 9 Vasos con membrana de PVC en Santa Ana Pacueco, Gto., 1994.



Fig. 10 Abertura por efectos térmicos en una membrana de PVC, 1994.



Fig. 11 Ataque por roedores en membrana de PVC, Abasolo, Gto., 1994.

6.6 Isobutileno isopreno o hule butilo (IIR)

Este polímero tiene buena resistencia al ozono y rayos UV, baja permeabilidad y conserva su flexibilidad. Tiene resistencias adecuadas a la tensión, desgarre y perforación y se ha comportado satisfactoriamente por más de 20 años; se proporciona garantía de 15 años expuesto. Tiene baja resistencia a los hidrocarburos y a solventes. Se une por medio de vulcanización y las uniones deben realizarse en ambiente seco. El espesor mínimo recomendado es de 1 mm.

En nuestro país se ha usado poco debido a que su precio comercial ha sido alto, aunque se considera que resulta una opción atractiva si se le compara con el HDPE y PVC tomando en cuenta su durabilidad. Se ha utilizado bajo condiciones de urgencia, por lo que ha permanecido expuesto corto tiempo, con buenos resultados, como en un canal en Xochimilco, D.F. (600 m², T₁ = 0.63 mm, 1986) y en canales revestidos en Río Verde, S.L.P. en 1987.

6.7 Geocompuestos para impermeabilización

Están representados por productos a base de gránulos de bentonita contenidos entre dos geotextiles, los que se entrelazan por fibras que atraviesan el interior del compuesto. Al hidratarse la bentonita, se forma un gel que queda confinado entre los textiles. Se estima que una vez hidratada la bentonita, tiene una permeabilidad de 10⁻⁹ cm/s y la membrana alcanza un espesor del orden de 1 cm. Por las características del gel, este material resulta autosellante ante perforaciones pequeñas. El sistema de unión y reparación es sencillo. Para usos industriales, debe verificarse la compatibilidad química del producto. Sólo se ha utilizado en obras pequeñas como abrevaderos y vasos recreativos.



Fig. 12 Revestimiento de CSPE del vaso regulador en Agua Prieta, Jal., 1993.

6.8 Aspectos económicos

En 1993 se consideró la posibilidad de revestir con geomembrana un canal de 4 000 m de longitud con capacidad para 5 m³/s en la región occidental del país. Los taludes considerados fueron 1:1 para membranas flexibles o solución tradicional a base de concreto de 7 cm de espesor y taludes 3:1 para membranas rígidas (Murillo, 1993). Los análisis señalaron que la inversión inicial más baja fue la de revestimiento de concreto (valor 1.0); con HDPE resultó de 1.56 a 1.98 veces más costosa utilizando un espesor de 1.0 mm y de 2.51 veces con espesor de 1.5 mm; con PVC de 1.0 mm, de 1.27 a 1.35 veces; con CSPE de 0.91 mm, 2.55 veces; y con paneles asfálticos, 2.91 veces el costo del revestimiento tradicional (Murillo, 1993). Aunque no se evaluó el IIR, se considera que su costo es similar al del HDPE. Al considerar la vida probable de cada revestimiento, las posiciones relativas al costo se modificaron. Los resultados finales se indican en la tabla IV.

TABLA IV. PRECIO RELATIVO DE REVESTIMIENTOS

MATERIAL	ESPESOR	VIDA	IMPORTE RELATIVO AL CONCRETO
CONCRETO	7 cm	20 años	1.0
CSPE	0.9 mm	20 años	2.5
IIR	1 mm	15 años	3.4
PVC	1 mm	6 años	4.2 a 4.5
HDPE	1.5 mm	10 años	5.0
HDPE	1 mm	5 años	6.2 a 8.0
PANELES ASFALT.	1.27 cm	3 años	19.4

Aunque puede existir discrepancia respecto a la durabilidad de cada revestimiento, conviene señalar que ésta ha sido reportada a nivel internacional o determinada en experiencias nacionales. Es posible que debido a mejoras en la elaboración de membranas de PVC y HDPE, su durabilidad actual haya aumentado, pero no se tienen pruebas documentadas. Aunque existen pruebas de intemperismo acelerado para las geomembranas, no permiten determinar la vida real de los materiales, por tratarse de ensayos indirectos y sólo el comportamiento bajo condiciones de servicio puede proporcionar la durabilidad de las membranas expuestas al ambiente.

7. CONCLUSIONES

Existe un buen número de productos sintéticos para impermeabilizar que están disponibles en el país, a base de polímeros como PVC, HDPE, CSPE, IIR y geocompuestos de bentonita.

Las herramientas de diseño se han desarrollado en tal forma que es posible realizar un proyecto racional con estos geoproductos. El avance en los métodos de unión, evaluación y

supervisión permiten hoy día soluciones confiables.

A partir de 1990 se ha incrementado el uso de geomembranas en forma notable y durante los cortos plazos de observación de su comportamiento bajo condiciones de servicio, han resultado una solución eficiente, aunque en algunos casos han sufrido vandalismo que las ha inhabilitado. En general, se considera que las geomembranas de polímeros pueden soportar expuestas al ambiente más de 5 años y algunos productos como el CPE y el CSPE han durado expuestos al sol más de 15 y 20 años respectivamente, en otros países. Sólo los recubrimientos a base de paneles asfálticos (Rhino Hide) tienen una corta vida (< 3 años).

Actualmente, los costos de inversión son muy altos comparados con las soluciones tradicionales. Si además se considera la vida probable de estos revestimientos, los costos de inversión resultan mayores. Es de esperar que el precio de estos productos se reduzca en poco tiempo y los revestimientos con geomembranas resulten económicamente comparables a otras alternativas.

Si es indispensable reducir al mínimo las filtraciones y fugas en una obra hidráulica, la solución aplicable es el uso de geomembranas de buena calidad, con un diseño racional, un buen método de junteo en campo y una rigurosa supervisión de la instalación y de la calidad de las uniones. Durante la operación de la obra, se requiere una vigilancia estrecha y un adecuado mantenimiento.

8. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones propias de nuestro medio, no es aconsejable el uso de revestimientos expuestos a base de membranas de polímeros en obras sin vigilancia permanente, debido al vandalismo y al riesgo de ataque de animales.

No es recomendable el uso de paneles asfálticos para fines de impermeabilización o para protección contra erosión.

Es necesario continuar con el registro del comportamiento de las geomembranas expuestas al ambiente, con objeto de conocer su durabilidad bajo condiciones de servicio en las obras hidráulicas y bajo los diversos climas del territorio nacional.

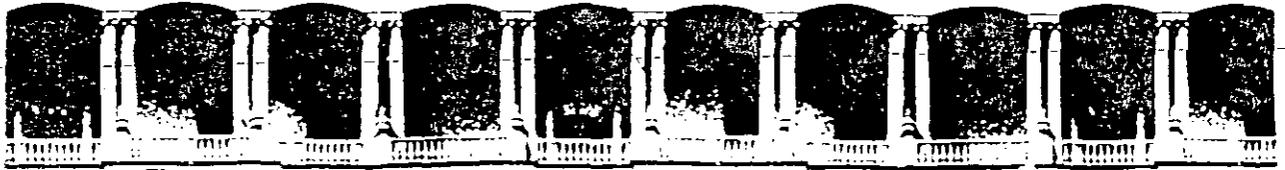
9. RECONOCIMIENTO

El autor agradece las facilidades proporcionadas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la elaboración de este trabajo, que incluye una parte importante de los resultados del estudio "Tecnología para Revestimiento de Canales", realizado por el Instituto a solicitud de la Comisión Nacional del Agua (Murillo, 1993), así como del libro

"Designing with Geosynthetics" (Koerner, 1986). Además, es necesario indicar que en gran medida el avance en el conocimiento sobre geosintéticos se debe a investigadores como Jean Pierre Giroud, Robert M. Koerner, André L. Rollin e instituciones como la ASTM y la EPA, que han dedicado importantes esfuerzos en el estudio de las geomembranas.

10. REFERENCIAS

- Auvinet G. G., Esquivel D. R. 1986, "Impermeabilización de Lagunas Artificiales", LIMUSA-S.M.M.S., México.
- Auvinet G. G., Murillo F. R. 1990, "Tendencias Actuales en el Desarrollo y Uso de Geosintéticos", *Geosintéticos: Geotextiles y Geomembranas*, S.M.M.S., México.
- ASTM 1988, "Standars on Geotextiles", USA.
- Comer A. I., Straubinger R. E. 1993, "Installation of Geosynthetic Material for Seepage Control at the Black Mountain (Arizona) Operating Reservoir", *Geosynthetics 93*, Vancouver.
- Druschel S. J., Underwood E. R. 1993, "Desing of Lining and Cover System Sideslope", *Geosynthetics 93*, Vancouver.
- EPA (Environmental Protection Agency) 1988, "Lining of Waste Containment and Other Impoundment Facilities", USA.
- Giroud J. P., Bonaparte R. 1989, "Leakeage through liners constructed with Geomembranes Part I. Geomembrane Liners", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, No. 1, Great Britain.
- Giroud J. P., Frobel R. K. 1983, "Geomembrane Products", *Geotechnical Fabrics Report*, Fall, USA.
- IGS (International Geotextiles Society) 1990, *Proceedings 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague.
- Koerner R. M. 1986, "Designing with Geosynthetics", Prentice Hall, N. J., USA.
- Martin J. P., Koerner R. M., Whitty J. E. 1984, "Experimental Friction Evaluation of Slippage between Geomembranes, Geotextiles and Soils", *Proceedings International Conference on Geomembranes*, Denver.
- Martin J. P., Puertas J., Doltz J. 1990, "Manning Coefficients for Plastic Canal Linings", *Water Power and Dam Construction Journal*, June, USA.
- Murillo F. R. 1990a, "Hidráulica de Geosintéticos", IX Congreso Nacional de Hidráulica, A. M. H., Zac., México.
- Murillo F. R. 1990b, "Experiencias con Geomembranas", *Geosintéticos: Geotextiles y Geomembranas*, S.M.M.S., México.
- Murillo F. R. 1993, "Tecnología para Revestimiento de Canales (Revestimientos Asfálticos y Membranas de Polímeros para Canales y Vasos)", Informe Final, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México (no publicado).
- Murillo F. R. 1994, "Mexican Experiences with Geomembranes in Hydraulic Works", *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Singapore (en revisión).
- Rollin A. L., Fayoux D. 1991, "Geomembrane Seaming Techniques", *Geomembranes, Identification and Performance Testing*, Ed. Chapman and Hall, London.
- Thiel R. S., Stewart M. G. 1993, "Geosynthetics Landfill Cover Design Methodology and Construction Experience in the Pacific Northwest", *Geosynthetics 93*, Vancouver.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS
GEOTEXILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS**

ARTICULOS VARIOS

DR. RAFAEL MORALES Y MONROY
Y OTROS.

APLICACION DE LAS FIBRAS SINTETICAS EN LA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA.

- * Dr. Rafael Morales y Monroy.
- ** Ing. Esteban Oviedo Hernández.

1. Introducción

En la búsqueda de nuevas técnicas constructivas, así como de nuevos materiales para la construcción, que conjunten la armonía entre lo económico, seguridad, funcionalidad, el aspecto técnico y que contribuyan a el mejoramiento del medio ambiente, encontramos a los geosintéticos, que presentan una gran gama de productos que reúnen las cualidades antes mencionadas y proporcionan al Ingeniero una alternativa más de las contempladas tradicionalmente.

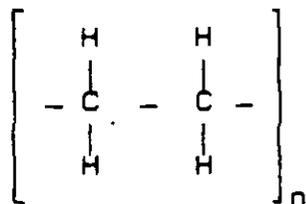
El uso de los geosintéticos ha cobrado una gran importancia durante la última década, dentro de la rama ingenieril, y no solamente en el extranjero sino también en México.

A continuación se presenta un panorama general de las características de los geosintéticos y su versatilidad dentro de la Ingeniería, enfocándose principalmente a la utilización de de estos productos dentro de la Ingeniería Hidráulica.

2. Materiales con los que se fabrican las fibras sintéticas

La gran mayoría (más de 95%) de los materiales con que se producen las fibras sintéticas, están hechos de polímeros, por lo cual, a continuación se presenta un breve panorama de ellos.

La palabra polímero significa, literalmente, "hecho de muchas partes", o monómeros, en las cuales se repiten las diferentes unidades moleculares que forman una cadena. En el caso del polietileno, su cadena sería del tipo siguiente:



donde la n indica el número de veces que esta unidad se repite. El peso molecular del polímero es importante, ya que:

a) Al aumentarlo se

- incrementa su resistencia
- incrementa su elongación
- incrementa su resistencia al impacto
- incrementa su resistencia al calor
- disminuye su tendencia a la fluencia
- disminuye su procesabilidad

b) Al reducir la distribución de su peso molecular, se

- incrementa su resistencia al impacto
- disminuye el fracturamiento por esfuerzo
- disminuye la tendencia a la fluencia y
- disminuye su procesabilidad

Las ligas entre las moléculas del polímero y sus cadenas son de una importancia fundamental, para entender su comportamiento. Estas ligas son del tipo de Van der Waals, formando dipolos, y a través de las ligas hidrógeno. Las ligas entre cadenas moleculares son más débiles y en ocasiones se refuerzan por medio de ligas covalentes, las cuales se pueden formar usando:

- monómeros con una valencia mayor que dos
- agentes químicos ("curados") y
- métodos de radiación nuclear

Este tipo de ligas son importantes, pues logran la diferencia entre dos tipos distintos de materiales: los termoplásticos y los termofijados.

Un polímero termoplástico es el que puede calentarse repetidamente hasta reblandecerlo y luego moldearlo o trabajarlo como a uno se le antoje, para que luego, al enfriarse conserve la última forma adoptada.

En un polímero termofijado, el proceso de calentamiento no puede ser repetitivo. Cualquier calentamiento adicional al original, solo conllevará a una degradación de dicho material. La clave del comportamiento de los materiales termofijados es esta liga covalente, adicional, que no existe en los materiales termoplásticos. Ejemplos de materiales termoplásticos son: el polioetileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PET) y de los termofijados sería los hules de nitrilo y de butilo.

Una clasificación de los geosintéticos, de acuerdo al material de que están formados, sería:

- Termosoldados
- Termoplásticos amorfos y
- Termoplásticos semicristalinos

Con todo lo anterior se puede conseguir, dentro del proceso de fabricación, el plastificar o cristalinizar un geotextil. El incremento en la "cristalinidad" de un geosintético, trae como consecuencia, el incremento de:

- dureza o rigidez
- resistencia al calor
- módulo de elasticidad
- resistencia a la tensión
- resistencia química

y al mismo tiempo, una disminución de:

- permeabilidad
- elongación o deformación a la falla
- flexibilidad
- resistencia al impacto
- resistencia al agrietamiento por esfuerzos.

A los distintos polímeros se les puede colocar aditivos, sólidos o líquidos, ya sea colorantes o absorbentes de rayos ultravioleta, biocidas, retardadores de inflamación, lubricantes, estabilizadores termales, etc. Las mezclas resultantes pueden ser homogéneas o heterogéneas, según la afinidad de los parámetros de solubilidad de aditivo hacia el polímero.

Los aditivos pueden ser granulares o fibrosos. Dentro de los primeros se puede mencionar a: carbonatos de calcio, negro de humo, esferas grano de vidrio y hojuelas; polvos y hojuelas metálicas, minerales silicatos, tales como las arcillas, talco y mica.

Dentro de los aditivos fibrosos, se pueden mencionar al: vidrio, carbón, grafito, celulosa, polímeros sintéticos (nylon), etc.

3. Variedad de fibras sintéticas

Los materiales geosintéticos se desenvuelven en seis grandes funciones: separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección e impermeabilización. El uso de los geosintéticos ha tenido dos metas: hacer el trabajo mejor (esto es, sin que se deterioren excesivamente los materiales o sin que se filtre excesivamente el lixiviado) y hacerlo más económicamente (con un menor costo inicial y con una mayor duración, reduciendo además los costos de mantenimiento).

La familia de los geosintéticos está compuesta por:

- Geotextiles
- Geomembranas
- Georredes
- Geomallas
- Geocompuestos
- Geo-otros

3.1 Geotextiles

Estos forman el grupo más amplio dentro de los geosintéticos. Su crecimiento y aceptación ha sido muy grande en los últimos cinco años, y son textiles, en el sentido tradicional de la palabra, pero fabricados de fibras sintéticas, en lugar de las tradicionales: algodón, lana o seda. Con esto se evita la biodegradación, pues están hechas de fibras sintéticas, porosas, tejidas o no tejidas, punzonadas. El mayor punto es que al ser porosas permiten una fácil circulación del agua a su través, y a lo largo de sí mismas, pero con diferentes permeabilidades.

Existen al menos 80 aplicaciones específicas para las cuales son aplicables los geotextiles, sin embargo, la fibra solamente trabajará en una de las seis funciones, ya mencionadas con anterioridad: 1) Separación, 2) Refuerzo, 3) Filtración, 4) Drenaje, 5) Impermeabilización (cuando se impregna con asfalto), 6) Protección.

3.2 Geomembranas

Forman el segundo grupo, en tamaño, de geosintéticos. Su crecimiento va directamente ligado a las normas establecidas por la EPA, Environmental Protection Agency, (Agencia de Protección al Medio Ambiente, U.S.A), en relación con la protección al medio ambiente. Son materiales impermeables, muy delgados, en forma de sábanas, de hule o de plástico generalmente HDPE (High Density Polyethylene), utilizados principalmente para cubrir instalaciones que contengan líquidos o sólidos. Su rango de aplicación, sin embargo, es muy grande y tienen al menos treinta aplicaciones diferentes, por sí mismas. Esto ha hecho que se desarrollen geomembranas para cada tipo específico de aplicación.

La mayoría de las geomembranas son negras debido al negro de humo que se les añade, para combatir los efectos nocivos de los rayos ultravioletas UV del sol.

Algunas geomembranas se refuerzan o protegen con geotextiles, para protegerlos de los esfuerzos de tensión y del punzonamiento.

En algunos casos, del deslizamiento de geomembranas colocadas sobre pendientes importantes, estas fueron solucionados introduciéndoles una superficie rugosa o colocándolas sobre de una geomalla o sobre algún geotextil, que al mismo tiempo las protege del punzonamiento y las hace drenantes, además de permitir la salida de gases.

El mayor problema de las geomembranas se presentaba durante la colocación, ya que la mayoría de ellas, rígidas, deben de ser soldadas in-situ, sin embargo, ya existen algunas otras que pueden pegarse y sellarse por medio de cintas adhesivas que se colocan in-situ y además pueden ser fabricadas a la medida, para llegar tan solo a la colocarlas en el lugar, ya que llegan a cubrir hasta 40,000 m² en una sola pieza.

3.3 Georredes

Representan un pequeño, pero fuertemente creciente capítulo dentro de los geosintéticos. Están formados por una red de plástico con aberturas muy grandes. Pueden estar orientadas de manera axial o biaxial, para mejorar las propiedades físicas. Tienen al menos unas 25 aplicaciones por sí mismas, y funcionan de dos maneras principales: separación (ocasionalmente) y refuerzo (generalmente).

3.4 Geomallas

Constituyen otro capítulo especializado de los geosintéticos. Están formados por una extrusión continua de costillas de polímeros, con ángulos agudos. Cuando estas costillas se encuentran separadas, se forman aberturas relativamente grandes, configurando una malla. Su principal función es la de drenaje.

3.5 Geocompuestos

Consisten en la combinación de dos o más geosintéticos: geotextil y georred; georred y geomembrana; geotextil, georred y geomembrana; o cualquier combinación de los anteriores con tubos, cables de acero, anclas, etc.

En esta área se ha manifestado ampliamente la creatividad de los ingenieros y constructores, de los fabricantes y de los diseñadores. Las mayores funciones engloban el rango total de funciones enlistadas anteriormente: separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección e impermeabilización. Van generalmente ligados con sus respectivas áreas de aplicación.

3.6 Geo-otros

El término Geo-otros podría descubrir, por sí mismo, su propia amplitud, pues abarca: anclas de polímeros, celdas para encapsulados de suelos, etc. Su principal función va relacionada con el tipo de geosintético de que está formada, realiza una de las cinco funciones primarias de los geosintéticos, ya mencionadas con anterioridad.

3.7 Clay-liners

Con este nombre se conoce a una "membrana" formada por dos capas de geotextiles que encierran a arcilla bentonítica, a manera de sandwich. Estos geocompuestos son muy útiles para los rellenos sanitarios y para obras en las que se requiera impermeabilizar fondos o paredes, como también podrían ser lagunas piscícolas o de oxidación. Su ventaja ante la bentonita o la arcilla natural se presenta sobre todo en su colocación, en donde se disminuyen los volúmenes de 50 ó 60 cm a 0.5 cm además de ahorrarse el difícil proceso de su colocación y compactación, lo que redundaría en ahorro de tiempo y dinero.

3.8 Matrices para control de erosión

Pueden ser de materiales sintéticos, no degradables por los rayos UV o bien de materiales bio-degradables. Ambas retienen al suelo que recubre los taludes (estables), pero sin soportar esfuerzos. Pueden tener semilla de pasto incluida o se le puede sembrar posteriormente. Sirven para proteger las paredes contra el arrastre de sus partículas debido a la lluvia o a otros agentes erosivos.

Existen otros productos que son ultraligeros, fotodegradables, es decir, se desintegran con la exposición al sol luego de haber cumplido con sus funciones. Permiten el crecimiento del pasto y evitan que se produzca la erosión del suelo en esa ladera o talud; minimizan los impactos del viento y la lluvia, protegiendo a la semilla contra el ataque de pájaros e insectos y contra las heladas, creando un efecto de invernadero.

Existen otros productos que son biodegradables, fabricados de yute o de fibras naturales. Realizan las mismas funciones que los materiales sintéticos, pero finalmente, al paso del tiempo, se absorben e integran al habitat natural.

3.9 Inclusión de polipropileno en losas de concreto

Aunque esto no es propiamente un geosintético, sin embargo sí son una serie de fibras sintéticas de polipropileno (polímero) que se integra en forma de chips para formar el concreto, sea en planta o en obra, generalmente en una proporción de 900 gr/m³.

Su inclusión, a decir de los fabricantes, aumenta la resistencia y el módulo de elasticidad. En la experiencia personal de los autores, estas fibras minimizan sobretodo los agrietamientos que se presentan durante la fase del curado y contribuyen, en cierta medida, a evitar agrietamientos por temperatura. Hay quienes afirman que puede llegar a sustituir al acero que se incluye para las temperaturas, sin embargo, esto último debe tomarse con muchas reservas.

La inclusión del polipropileno en el concreto le proporciona una mejor resistencia contra esfuerzos externos, contra la abrasión y al impacto. Su mayor uso se presenta en losas: para revestimiento de canales, en calles o carreteras, en puentes, estacionamientos, etc.

3.10 Polímeros en selladores de juntas y grietas

Estos selladores se usan en las juntas constructivas o en las grietas y fisuras que queden entre las losas. Son productos líquidos, especialmente diseñados para aplicarse en losas de concreto hidráulico. Se colocan sin calentarse, pero después de haber limpiado perfectamente la superficie del concreto que se vaya a sellar y luego de haberlo humedecido generosamente. Para su colocación se utiliza un embudo, cuyo "pico" sea un poco menor que el ancho de la junta y se le vacía directamente de una cubeta de 19 lts, previamente adicionada con un litro de agua.

3.11 Gaviones

Estos elementos se encuentran formados por piedra rodeada de una envolvente metálica, para formar bloques de un peso adecuado para evitar ser arrastrados por la corriente de diseño.

Trabajan generalmente en conjunto con los geotextiles, ya que estos protegen al suelo fino, de ser succionado por la corriente a través de los huecos de la piedra dentro del gavión y a su vez son protegidos por dicho gavión, de ser arrastrados por la corriente.

Los gaviones también pueden ser usados en la formación de muros y de presas, combinados, de la misma manera ya mencionada, con el geotextil.

3.12 Bolsacretos y colchacretos

Son unos compuestos realizados de geotextil, cosidos en forma de bolsas o colchas, de donde proviene su nombre, los cuales son rellenos de concreto y se colocan sobre de las paredes de cauces o lechos por proteger. Igualmente se colocan sobre de escolleras o taludes, para protegerlos de la erosión.

4. Aplicaciones a las obras hidráulicas

4.1 Control de erosión

Las laderas y los fondos de ríos, lagos, canales y del mar, están constantemente sujetos a cambios de nivel del agua, al choque de las olas y a la corriente, lo que puede ocasionar erosiones que conduzcan a problemas de estabilidad. Los revestimientos convencionales como son placas de concreto armado, rocas o la colocación de un enrocamiento pueden detener la erosión de laderas y fondo. Sin embargo, debido a que el agua aún puede atacar y erosionar el revestimiento, ya sea en las ranuras o a través de los huecos, en muchos casos es necesario colocar una capa intermedia (filtro). Esta capa debe estar acondicionada al tamaño de los poros del revestimiento y de las partículas del suelo. En la mayoría de los casos se debe construir un filtro de materiales graduados, variando desde los finos del suelo hasta los huecos del revestimiento.

El uso de geotextiles puede reemplazar al filtro haciendo posible el paso directo del terraplén o suelo, al revestimiento a través del mismo.

4.2 Separación de materiales

En muchos casos se requiere impermeabilizar superficies, lo cual se logra por medio de geomembranas, las cuales a su vez se protegen del punzonamiento por medio del uso de geotextiles de un espesor importante. En otros casos se han utilizado geodrenes, formados de geotextil más geomalla, los cuales se utilizan por debajo del geotextil, para reforzarle su función drenante y para aumentarle su adherencia o fricción con el talud.

Este tipo de capas separadoras evitan la incrustación de material grueso dentro de la masa de material fino y suave. En muchos casos podría aplicarse la frase siguiente: diez toneladas de lodo más diez toneladas de roca son iguales a veinte toneladas de ¡LODO!.

4.3 Refuerzo

Cuando se desea sobre-elevar presas o que se tienen diseños de taludes con pendientes muy pronunciadas, es común la inclusión de los geosintéticos, utilizando para ello georredes y geotextiles, ya que pueden ayudar a tomar deformaciones laterales y sollicitaciones dinámicas.

Las georredes se han colocado en la base de las cortinas para incrementar la capacidad de carga del suelo de cimentación, proporcionándole una estabilidad adicional a la propia.

En el refuerzo de los taludes también es común encontrarlas, aumentando el factor de seguridad. Trabajan en conjunto con las geomallas, para proteger la pendiente en contra de la erosión.

4.4 Impermeabilización

En algunos casos las geomembranas de HDPE se han llegado a utilizar en conjunto con los corazones arcillosos de las cortinas, especialmente en los sitios en donde no se encuentren suficientes bancos de arcillas, además de garantizar la impermeabilidad del fondo del vaso y de sus paredes.

Igualmente, con éxito en los problemas de impermeabilización en tanques de regularización, lagunas de regulación o de oxidación, en lagunas piscícolas y en otras muchas obras hidráulicas, se han manifestado los clay-liners.

En el caso de las geomembranas, estas deben de ir, como se mencionó anteriormente, protegidas por un par de capas de geotextiles, formando algo a manera de un sandwich.

De la misma manera, las geomembranas han sido usadas verticalmente, formando barreras interceptoras de flujo, haciendo las veces de pantallas impermeables, ya que pueden introducirse por medio de trincheras hasta casi 50 m de profundidad.

5. Conclusiones y recomendaciones

El crecimiento de las fibras sintéticas ha sido explosivo y sorprende la facilidad con la cual ha sido adoptado en la industria de la construcción, en la geotecnia, en la hidráulica y en la ingeniería marítima, así como en la ingeniería sanitaria y ambiental.

Como se menciona la gran variedad de las fibras sintéticas que existen en el mercado y sus características hacen de estos productos una alternativa más en la rama ingenieril, pero no hay que olvidar que no existe normatividad ni datos técnicos en México, por tal motivo su utilización tiene que ser con mucha reserva y con la mejor información sobre el producto que se pretenda utilizar.

Las fibras sintéticas deben de ser tratadas como todos los otros materiales de construcción, como el acero o concreto; sus fortalezas y sus debilidades deben de conocerse para poderlos recomendar, sin embargo, no por ello deben de rechazarse de antemano, por no conocerlos sino al contrario, esto debe significarle a nuestros ingenieros un reto para adentrarse en este nuevo tipo de materiales. Tenemos que innovar, para progresar.

6. Bibliografía

- ACI 302, Guide for concrete Floor and Slab Construction.
- ACI 544, State of the Art Report of Fiber Reinforced Concrete.
- Bertram, G. E., 1940. An experimental investigation of protective filters. Harvard University.
- Broms, B.B., 1977. "Triaxial tests with fabric-reinforced soil", Col. Inst. Soils Text. Paris, Vol.3.
- Christopher, R., Holtz D., 1984. Geotextile engineering manual.
- Giroud, J.P., Bonaparte R., 1993. Geosynthetics in dam rehabilitation. Geotechnical Special Publication. ASCE.
- Koerner R., 1990, Designing with geotextiles, 2nd Edition. Prentice Hall.
- Raumann, G., 1982. "Outdoor exposure tests on geotextiles". Proc. 2nd Int. Conf. Geotextiles. Las Vegas, NV., USA., IFAI.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, SMMS., 1990, Simposio sobre "Geosintéticos". México.

USO DE LOS GEOTEXTILES EN CARRETERAS SOBRE TERRENOS BLANDOS Y/O SATURADOS

Este artículo es el resultado de las observaciones hechas en las autopistas concesionadas, en varias carreteras federales y de discusiones con numerosos ingenieros y constructores que opinan que los geotextiles que se dedican a la "separación" de dos materiales distintos, no son adecuadamente apreciados o utilizados.

Quizás el mayor potencial para la aplicación de un geotextil, se encuentre en las carreteras, caminos y autopistas, en la separación de sus capas: entre la sub-rasante y las capas superiores.

La función del geotextil, como separador, y el potencial benéfico que ofrece para una mayor vida y mejor comportamiento de las vías terrestres se explica a continuación, en el texto.

Funciones del geotextil .

Existen al menos 80 aplicaciones específicas para las cuales son aplicables los geotextiles, sin embargo, la fibra solamente trabajará en una de las seis funciones siguientes:

Separación:

La colocación de un geosintético poroso y flexible entre dos suelos diferentes, cuya integridad y funciones deba permanecer intacta o mejorarse.

Refuerzo:

El continuo mejoramiento sinérgico de un sistema total, creado por la inclusión de un geotextil (que resiste bien la tensión) dentro de un suelo (que generalmente no resiste tensiones) u otro material relativamente débil.

Filtración:

Establece un régimen de flujo entre el sistema geotextil-suelo que permite que una cantidad adecuada de líquido fluya a través del plano del geotextil.

Drenaje:

Establece un régimen de flujo entre el sistema geotextil-suelo que permite que una cantidad adecuada de líquido fluya a lo largo del plano del geotextil.

Protección:

Al usarse en combinación con otro tipo de geosintéticos, específicamente las geomembranas, el geotextil las protege de punzonamiento, por piedras, metales, u otras, incluyendo a las mismas maniobras de colocación.

Impermeabilización:

Impregnado con asfalto, el geotextil se convierte en una barrera impermeable y flexible, que permite contener y aislar líquidos, sólidos y gases.

La función "Separación" en los geotextiles

En su contexto más simple, la separación usando un geotextil se esquematiza en la Figura 1. La ilustración muestra a un geotextil utilizado en una autopista. Dos mecanismos están trabajando simultáneamente: a) el geotextil está evitando que la base hidráulica penetre en el subsuelo de grano fino, y b) el geotextil está evitando que el subsuelo de grano fino se introduzca dentro de la base hidráulica. Las aplicaciones para esta particular función de separación son muy variadas, por ejemplo:

- 1.- Entre la subrasante y la base o sub-base hidráulicas en caminos pavimentados o aeropistas.
- 2.- Entre la subrasante y/o la base hidráulica en caminos no pavimentados.
- 3.- Entre la subrasante y el balasto en vías de ferrocarril.
- 4.- Entre el suelo de cimentación y los terraplenes.
- 5.- Entre el suelo de cimentación y los terraplenes, en carreteras.
- 6.- Entre la cimentación y los terraplenes, para presas hechas de tierra y/o enrocamiento.
- 7.- Entre las distintas capas de suelo que formen un filtro graduado.
- 8.- Entre el terreno donde se desplantará algo, y las capas subsiguientes de relleno.
- 9.- Entre taludes y las bermas estabilizadoras.
10. Por debajo de la subrasante y/o la base hidráulica, en estacionamientos.
12. Debajo de la capa superficial de campos de atletismo y canchas deportivas.
13. Debajo de la subrasante y la base hidráulica en banquetas y caminos para peatones.
14. Debajo de sistemas de pavimentación estéticos (Tipo adoquín, adocreto, o similar).
15. Entre capas de drenaje de filtros mal graduados.
16. Entre varias zonas dentro de presas de tierra.

Aunque esta lista pudiera parecer impresionante, la realidad es que los geotextiles se usan generalmente sólo si alguno de los dos suelos es débil, por ejemplo, cuando se encuentren suelos arcillosos y limos de grano fino, saturados. Considérese e

~~ejemplo de la carretera ilustrado en la Figura 1 anterior, en el cual pueden sugerirse tres casos, basándose en el Valor Relativo de Soporte (VRS) del subsuelo (Nota: los valores de VRS utilizados en este artículo son arbitrarios; están tomados de la referencia 1 y corregidos de acuerdo a las referencias 2 a 4). Estos valores, típicos de los suelos en muchos textos de ingeniería geotécnica, se muestran en la Tabla I.~~

TABLA I. VALORES DEL VRS Y CLASIFICACION GENERAL*			
VRS	CLASIF. GRAL. DE UN SUELO.	SISTEMA DE CLASIFICACION	
		SUCS	AASHTO
0-3	Muy mala calidad	OH,CH,MH,OL	A5,A6,A7
3-7	Muy mala a mala	OH,CH,MH,OL	A4,A5,A6,A7
7-20	Mala a buena	OL,CL,ML,SC,SM,SP	A2,A4,A6,A7
20-50	Buena calidad	GM,GC,SW,SM,SP,GP	A1b,A2-5,A-3,A2-6
> 50	Muy buena calidad	GW,GM	A1a,A2-4,A3

* The Asphalt Handbook, The Asphalt Institute, College Park, Chapter 5.

Caso de Subrasante variando entre mala y muy mala: $< 0 \% \text{ VRS} < 7\%$

Para este caso, la deformación del suelo será muy grande, por lo que el geotextil se debe deformar de manera semejante y estará sometido a una gran tensión, algunas veces llamada "tensión de membrana". La utilización de geotextiles cambia drásticamente los modos de falla de un suelo; este cambio resulta un mejoramiento significativo en la capacidad de carga, con lo cual se deduce que se necesitaría de una base más delgada, que la que se usaría sin el geotextil. El ahorro inicial de costos en agregados pétreos para la base hidráulica, generalmente justifican el uso de un geotextil. En este caso, el refuerzo es la función primordial del geotextil, y la separación (que lógicamente ocurre) es secundaria, y muchas veces no se considera. Nótese que la filtración también es una de sus funciones, cuando se presentan suelos húmedos ó saturados.

Caso de Subrrasante de mala a buena calidad: > 7% VRS > 20%

En este caso el suelo involucrado muchas veces es todavía m. débil para una superficie pavimentada permanente (como el asfalto o el concreto), por lo que muchos caminos secundarios no pavimentados son de este tipo. Aquí el geotextil actúa de las mismas tres formas que en el caso anterior: el refuerzo de "tensión de membrana", del tipo que se acaba de describir, la separación y la filtración. Estas dos últimas llegan a tener una gran importancia. Para este caso, la disminución del espesor de la base hidráulica debida al geotextil es menor que en el caso anterior, sin embargo, la ventaja económica se presenta en el tiempo, pues se minimiza el mantenimiento y se alarga su vida útil.

El concepto de estabilización utilizando un geotextil ha sido discutido en repetidas ocasiones y en muchos foros. El problema radica en que la estabilización no es una función fácilmente definible y cuantificable, como el refuerzo y la separación. Aún más, la filtración y el drenaje son funciones que se suman cuando se encuentran suelos con alto contenido de humedad o en presencia de niveles freáticos elevados.

Las especificaciones señalan una subrrasante con un VRS de al menos de 10% antes de que una superficie de pavimentación permanente (concreto asfáltico o hidráulico) sea colocada sobre la base hidráulica. Esto, desde luego, para evitar la excesiva deformación del subsuelo, la cual podría agrietar al pavimento concreto o de asfalto. Cuando el VRS de la subrrasante es mayor que 10%, el refuerzo de "tensión de membrana" generado por una gran deformación, generalmente no ocurre, dejando a la separación como la función principal. Para que la separación debida al geotextil sea apreciada (mucho menos, cuantificada), se requiere una breve discusión a propósito de las funciones de la base hidráulica por si misma. Esto último, se realiza a continuación.

La función de la base hidráulica debajo de pavimentos de carreteras

En cualquier texto de ingeniería de diseño de pavimentos en carreteras, se presenta siempre la base hidráulica debajo de la superficie pavimentada, de asfalto o concreto. Para pavimentos de concreto, los propósitos de la base de agregados pétreos son, entre otros, el ser drenante, el evitar el fenómeno del bombeo de finos en las juntas de las losas y el ser una transición entre el comportamiento quebradizo o frágil del concreto, y el comportamiento plástico del suelo. Para pavimentos asfálticos, los propósitos son: asegurar el drenaje y mejorar la capacidad de carga de la subrrasante.

Con respecto a la función de la base hidráulica como drenaje, para ambos tipos de pavimentos, los agregados pétreos permite que el agua que se infiltra, circule de manera horizontal y qu

sea eliminada a través de los drenes longitudinales que se instalan a lo largo de la carretera. John L. Macadam, de Gran Bretaña (debido a él, los caminos macadam son llamados así), dijo, en 1820, que:

"Los caminos nunca podrán ser totalmente seguros hasta que sean comprendidos, admitidos y utilizados los siguientes principios: 1) es el suelo natural el que realmente soporta el peso del tráfico; 2) mientras que se mantenga en estado seco soportará la carga sin deformarse; 3) la presencia del agua por abajo de los caminos podría saturar al suelo natural, haciéndole perder resistencia y deshacerse en pedazos".

Cedegren en sus numerosos textos sobre pavimentos, drenajes y filtraciones, ha traído los conceptos de Mac Adam a los tiempos modernos. Cedegren nunca deja de señalar la importancia de un buen drenaje en la base hidráulica si se relaciona con una larga expectativa de vida de un pavimento. La Figura 2 muestra claramente la disminución de la vida del pavimento de un sistema bien drenado, a un sistema mal drenado.

La suposición dada por estos autores es que la función drenante de la base hidráulica debe ser conservada durante el tiempo de vida del sistema de pavimento. Conforme los finos invaden la base hidráulica, ésta pierde su capacidad de drenaje, la humedad es retenida y la esperanza de vida del pavimento se ve seriamente disminuida.

Las bases hidráulicas llegan a contaminarse completamente por las arcillas, las cuales suben más allá de su nivel original. Gran cantidad de baches, en pavimentos, deben su existencia, en gran medida, a un drenaje ineficaz en su base hidráulica.

Solución con el uso del geotextil

La solución obvia a la contaminación de la base hidráulica por finos, y el mal comportamiento subsecuente de los pavimentos en carreteras, es el uso de un geotextil funcionando como un separador entre el suelo y la base hidráulica.

Existen modelos diseñados para esta función; están basados en la resistencia a la ruptura "grab", la resistencia a la tensión, la resistencia a la explosión Mullen, la resistencia a la perforación, la resistencia al rasgado trapezoidal y la resistencia al impacto. La carga de diseño común se basa en los esfuerzos más altos que el geotextil experimentará, los cuales probablemente ocurrirán durante la construcción y el terraplénado. Por ello, el enfoque del diseño de la resistencia mecánica del geotextil, es su supervivencia inicial.

Los geotextiles son candidatos ideales para esta aplicación. La Tabla II presenta propiedades de los geotextiles basadas en las recomendaciones del Task Force 25.

TABLA II. PROPIEDADES DE GEOTEXTEILES PARA VARIOS NIVELES DE DE SUPERVIVENCIA EN LA INSTALACION, RECOMENDADAS POR EL TASK FORCE 25.

NIVEL DE SUPERVIVENCIA	CARGA DE RUPTURA GRAB ASTM D 4632 (LIBRAS)	RESISTENCIA A LA PERFORACION ASTM D 4833 (LIBRAS)	RESISTENCIA AL RASGADO TRAPEZOIDAL ASTM D 4533 (LIBRAS)
Alto	270/180	100/75	100/75
Medio	180/115	70/40	70/40

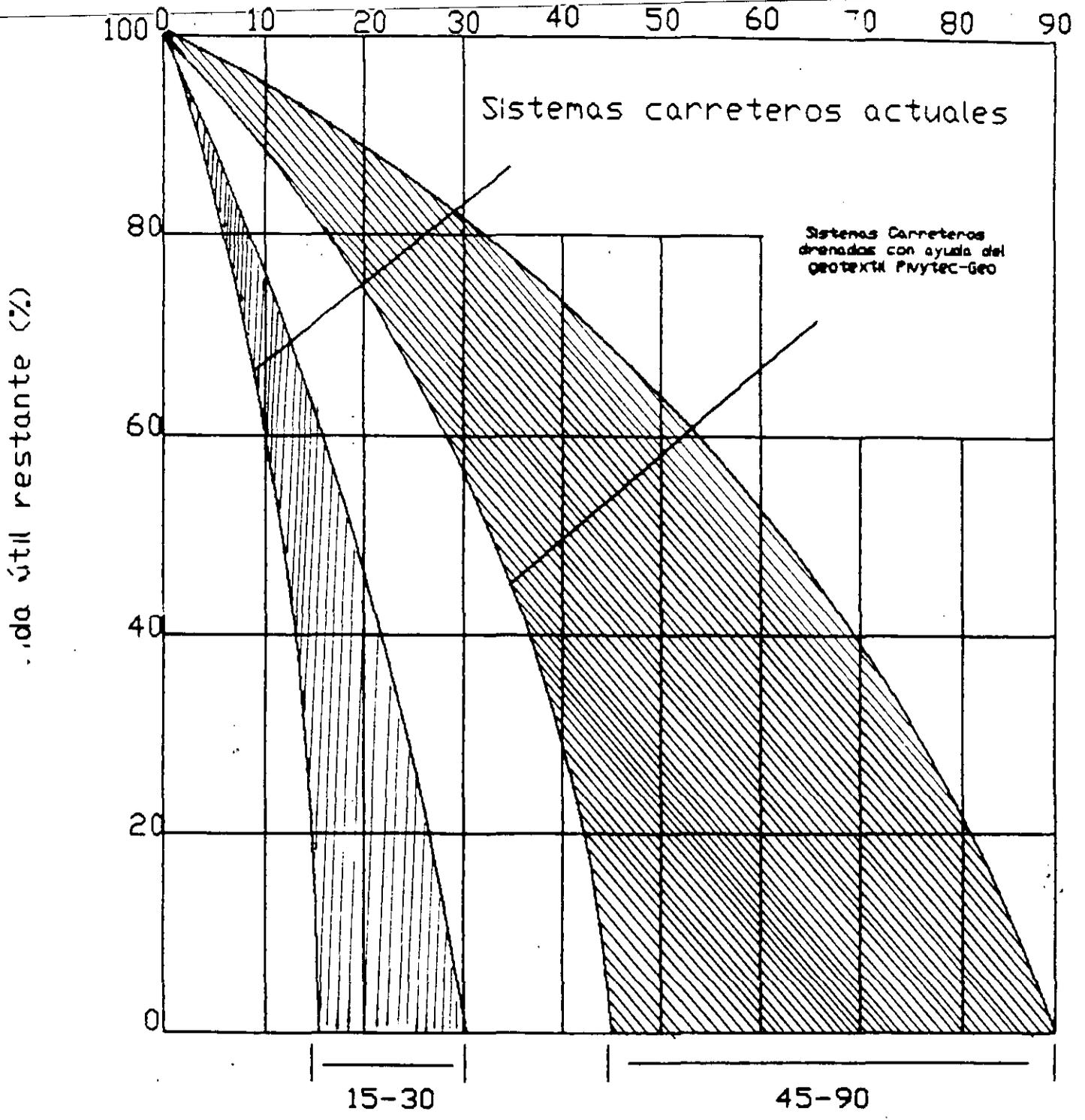
NOTA: Los valores dobles son para geotextiles tejido y / no tejidos, respectivamente.

Sus usos se extienden, obviamente, desde pavimentos de carreteras a caminos secundarios, ferrocarriles, aeropuertos, caminos de acceso, estacionamientos, áreas de carga, pasos de peatones y otras aplicaciones previamente mencionadas.

Referencias.

1. The Asphalt Handbook, The Asphalt Institute, College Park, Chapter 5.
2. Separation: perhaps the most underestimated geotextile function, Koerner R.M. & Koerner G.R.
3. Especificaciones Generales de Construcción, S.C.T.
4. Estructuración de Vías Terrestres. Olivera B.F.
5. La Mecánica de Suelos en las Vías Terrestres, Rico A. y del Castillo H.

Tiempo (años)



Sistemas carreteros actuales

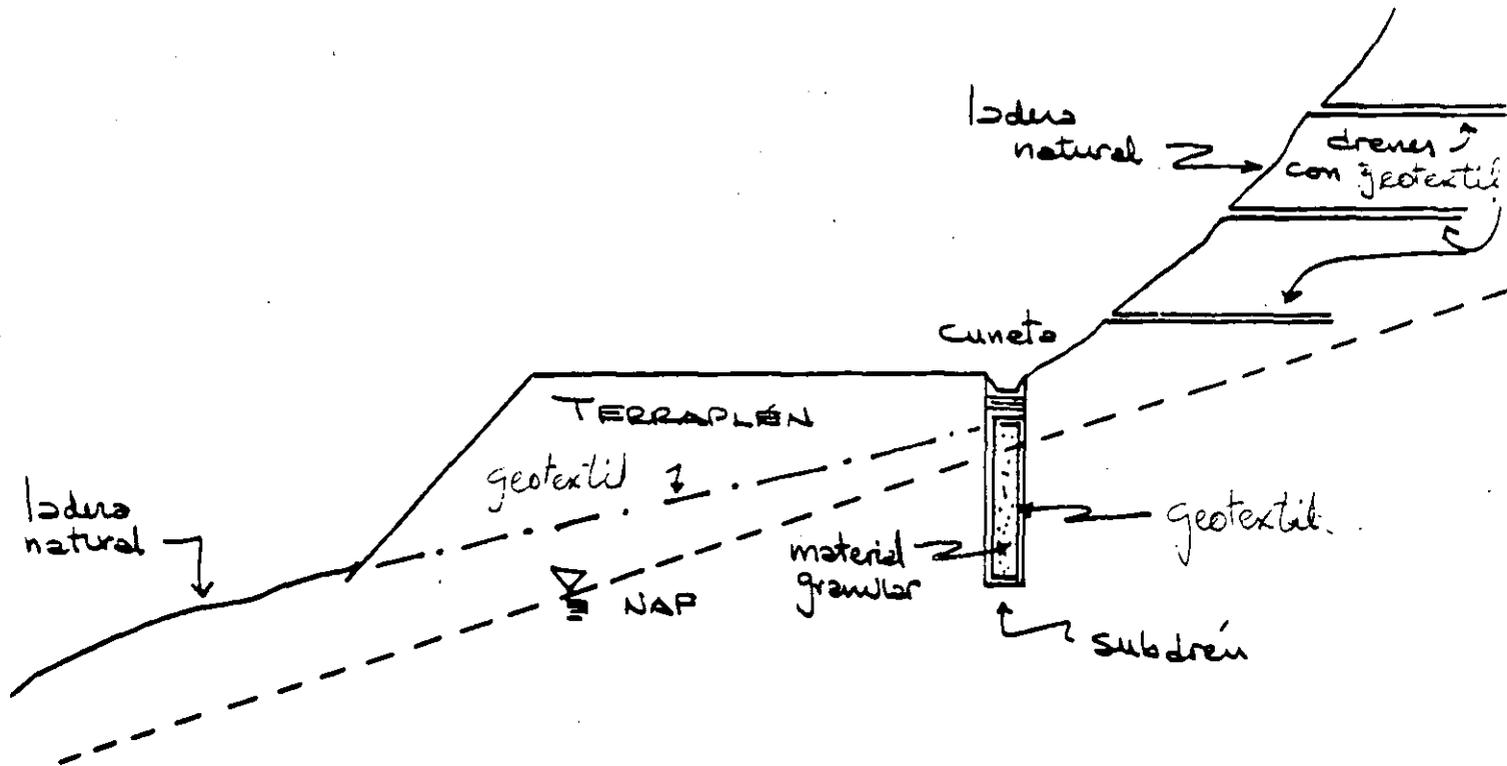
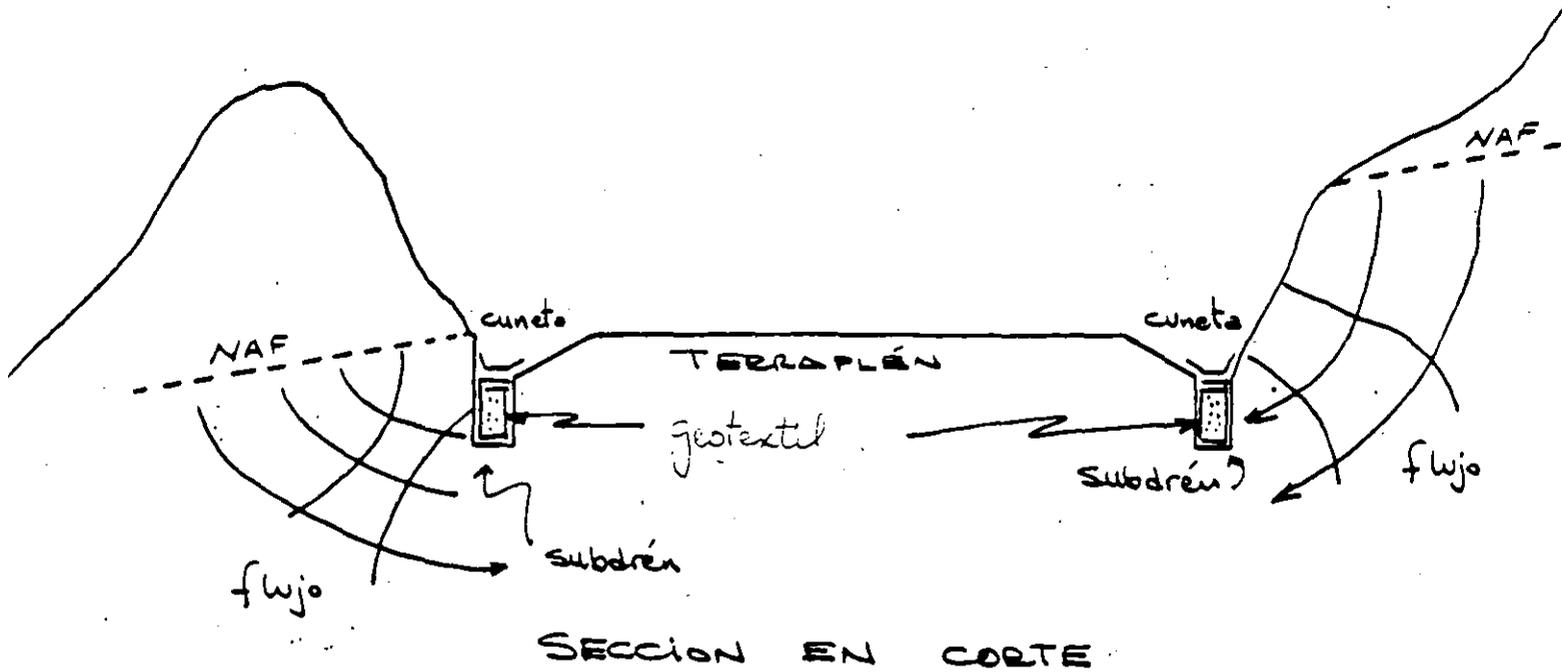
Sistemas Carreteros drenados con ayuda del geotextil Pnytec-Geo

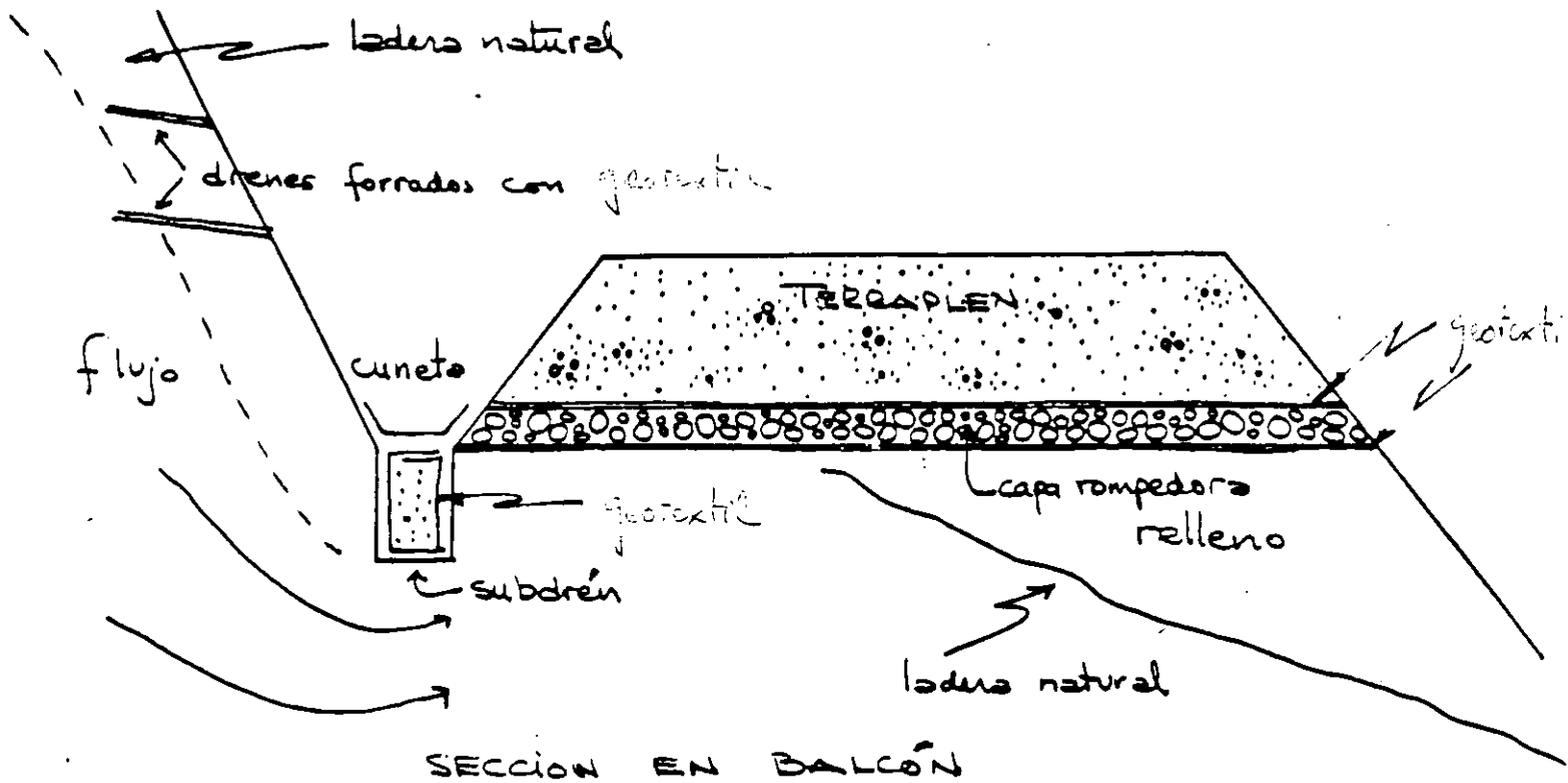
vida útil restante (%)

15-30

45-90

c) En cortes en cajón o en balcón, en zonas con nivel freático elevado o que es afectado por dicho corte, el uso de subdrenes longitudinales es importante, pues reduce el flujo del agua hacia el camino y evita las subpresiones.

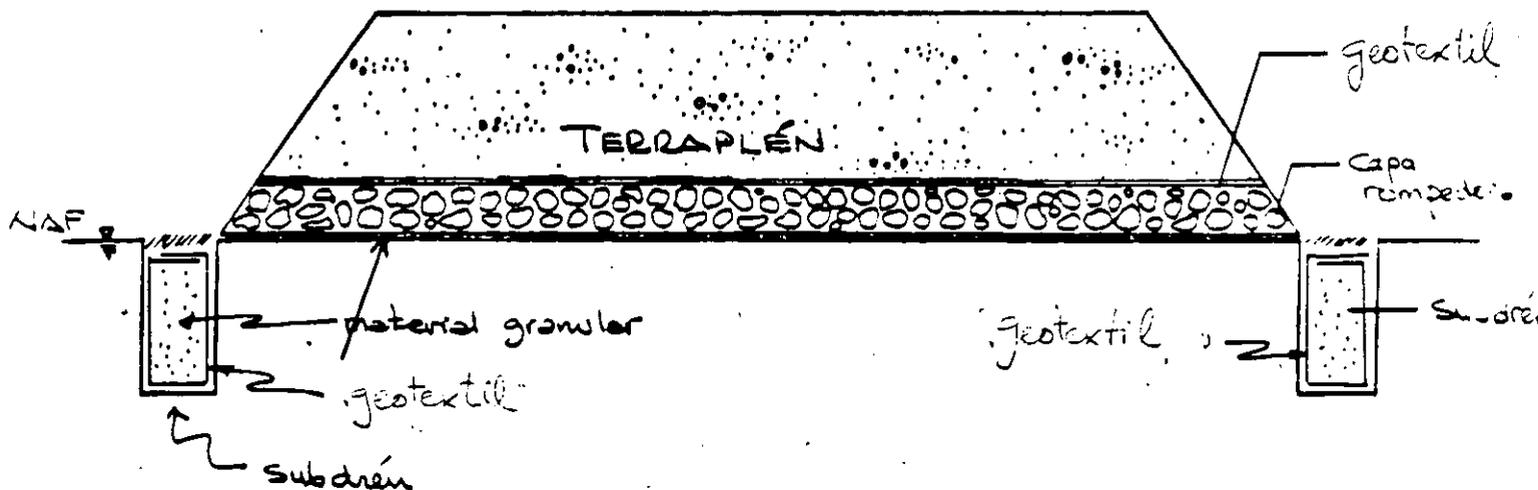


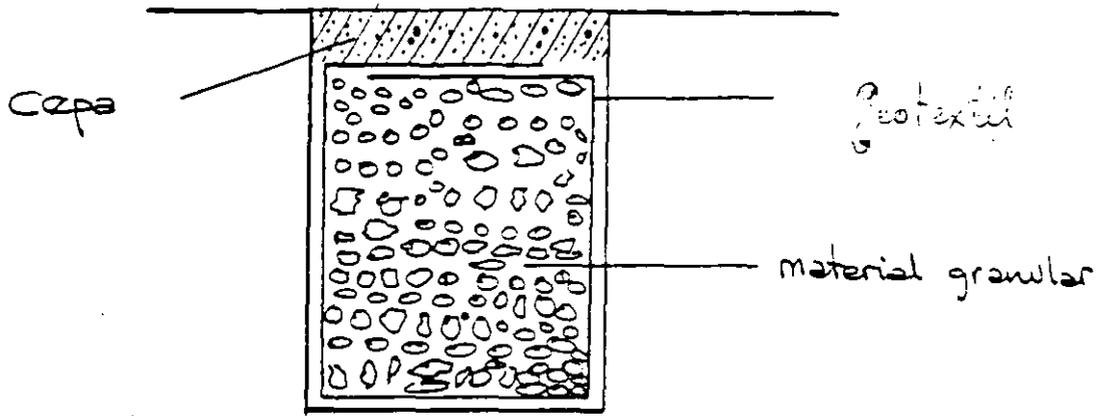


En estos casos también podría utilizarse la solución propuesta en el inciso a), de la capa rompedora de capilaridad, cuando el NAF se encontrar cercano a la superficie.

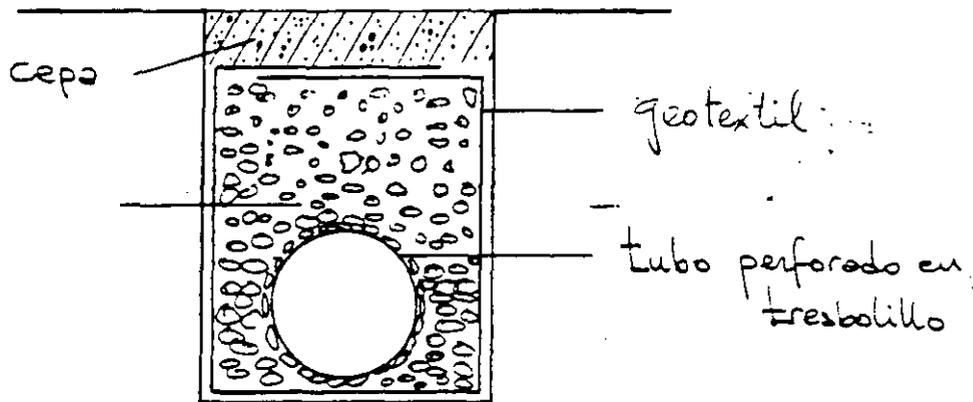
d) En casos en que además de presentarse un NAF elevado, se tengan problemas de suelos blandos, con baja capacidad de carga, se podrá utilizar una capa de geotextil entre la superficie del terreno natural y una capa rompedora de capilaridad, actuando como capa separadora, evitando que la capa rompedora se incruste o se indente dentro del suelo blando sobre del cual quedará desplantada.

Sobre de esa capa rompedora se le colocará una segunda capa de geotextil , de diferente espesor, con la finalidad descrita previamente en el inciso a).

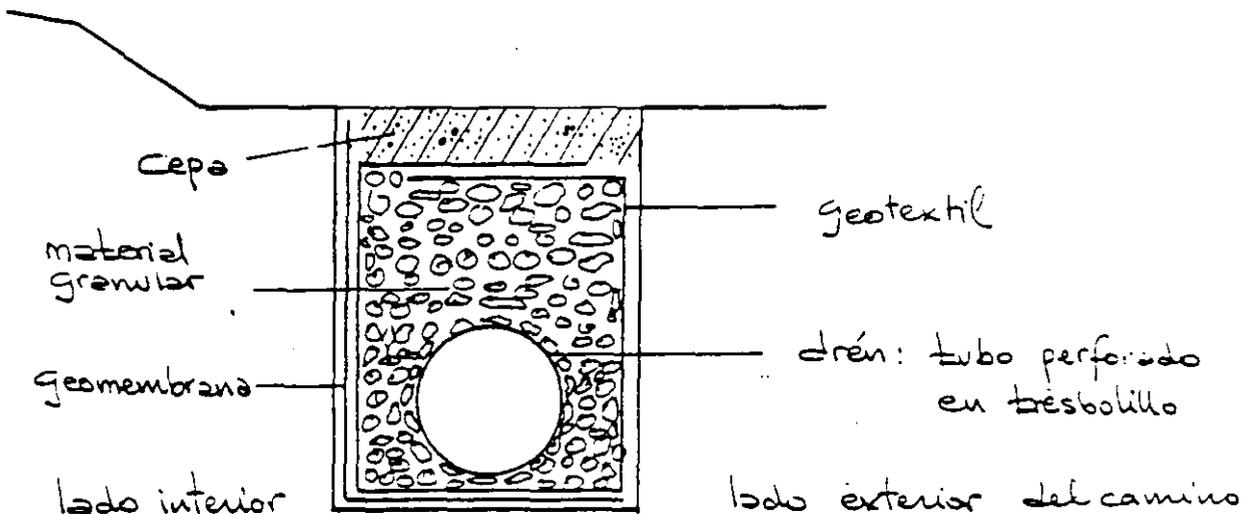




Subdrén sin tubo y sin geomembrana, tan solo con material granular.



Subdrén con tubo y material granular, pero sin geomembrana



Subdrén con tubo, con geomembrana y con material granular

Drenaje de los terrenos de canchas de fútbol en Brasil

Por el Ing. Laerte Guido Maroni,
Ing. Gerson Dias da Cunha,
y el señor Antonio Aguiar Grange

Las áreas verdes, para deportes y diversion, necesitan de la presencia del agua, ya sea en forma de riego o de agua de lluvia. En la práctica deportiva, como es el caso del fútbol, el exceso de agua en la superficie del terreno hace difícil el desarrollo del césped y a veces hasta lo imposibilita. Desde a partir de una cierta altura de agua, la pelota prácticamente no rueda más. En lo que se refiere a la vegetación en sí, el exceso de agua en el suelo reduce la cantidad de oxígeno necesaria al desarrollo de la planta, provocando en la mayoría de los casos, su muerte.

Así, es indispensable instalar un sistema de drenaje apropiado. Como el drenaje superficial es perjudicado por la poca inclinación del terreno y por sus características de superficie, se implantan sistemas de drenaje llamados de sub-superficie, o sea, sistemas que hacen que el agua se infiltre por el suelo a través de la vegetación plantada, llegue hasta las estructuras drenantes (colchones o ranuras) y sea conducida a los lugares apropiados.

Con la infiltración del agua por el suelo hasta llegar a las estructuras de drenaje, surgen fuerzas que dislocan las partículas del suelo,

lo que perjudica su capacidad de conducción del agua; de esta forma se hace imperativo instalar los llamados "filtros de protección", que anteriormente eran contruidos con transición granulométrica y modernamente con los geotextiles, principalmente con los no-tejidos, unidos mecánicamente por agujas (Figura 1).

Los sistemas de drenaje sub-superficiales normalmente adoptados para el drenaje de canchas de fútbol, son de tres tipos: colchones de drenaje solos, colchones de drenaje con zanjas de escurrimiento y zanjas de drenaje (Figura 2).

La permeabilidad del suelo es de suma importancia en un sistema de drenaje. Si el suelo no es suficientemente permeable, se debe cubrir de una mezcla con arena. Una solución eficaz consiste en instalar en el suelo un sistema de drenaje vertical compuesto de geotextil no-tejido que debido a su propiedad de conducir

Figura 1 - "Filtros de protección" de sistemas de drenaje sub-superficiales.

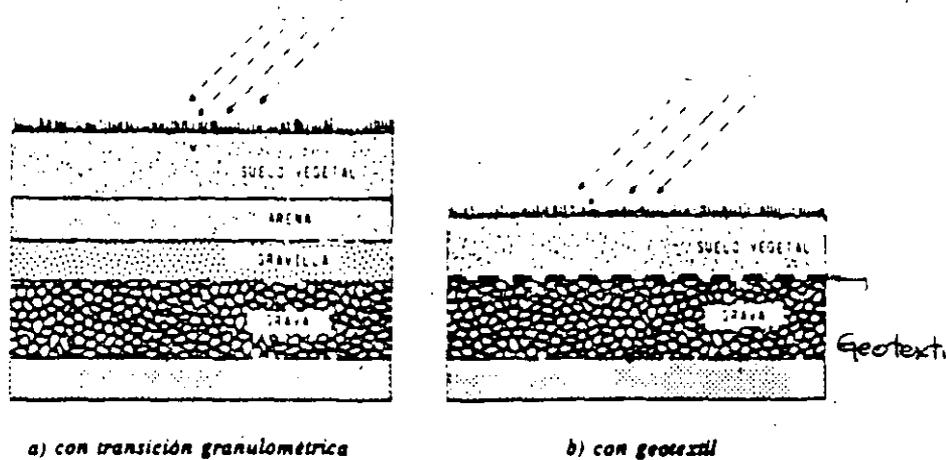
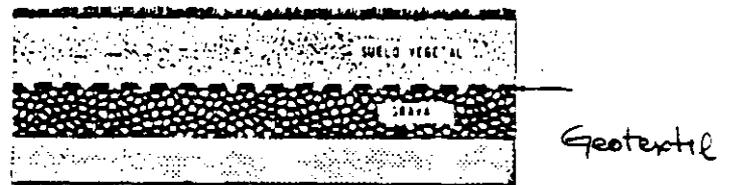


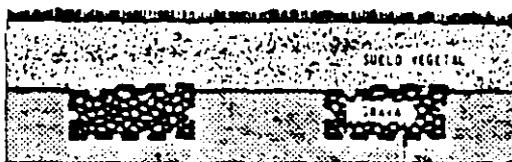
Figura 2 - Sistemas de drenaje sub-superficiales de canchas de fútbol.



a) colchón de drenaje



b) colchón de drenaje con zanjas de escurrimiento

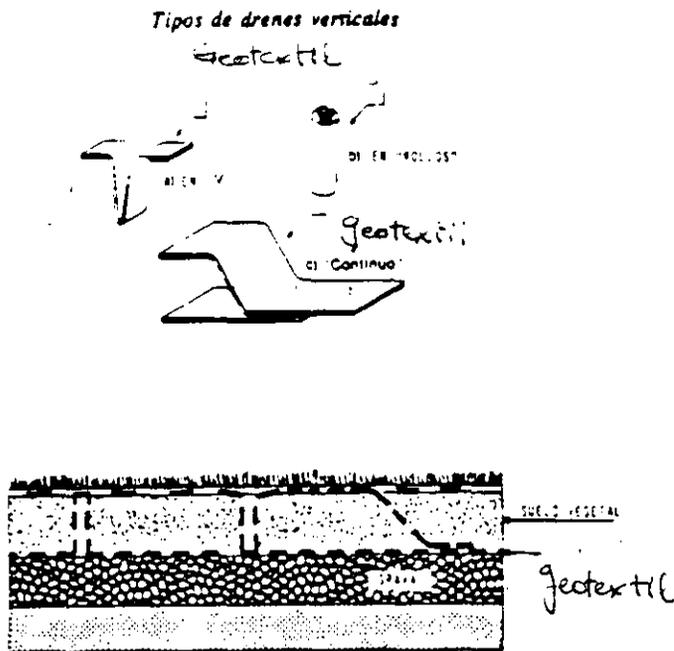


c) zanjas de drenaje

Geotextil

fluidos en su plano (drenaje transversal), acelera la velocidad de infiltración del agua en dirección a la estructura de drenaje (figura 3).

Figura 3 - Sistemas de drenaje vertical para canchas de fútbol con drenes de geotextil no-tejido agujeteado.



Colocación del drenaje en la zanja de drenaje.

La solución de drenaje vertical, con el uso de geotextil no-tejido, ha probado ser muy eficaz en la reactivación de sistemas de drenaje viejos que habían dejado de funcionar debido a la poca permeabilidad del suelo, pero que poseen estructuras de drenaje en perfectas condiciones, como se hizo recientemente en el Estadio Centenario, en Montevideo, Uruguay.

Durante los preparativos para participar en la Copa del Mundo de México, en 1986, la Confederación Brasileña de Fútbol (CBF) decidió construir sistemas de drenaje sub-superficial en 3 canchas de fútbol y 2 campos de entrenamiento para porteros. El proyecto preveía la utilización del Geotextil *Puente-Geo* (300 gramos/m²) como filtro entre el suelo de la grama plantada ($e = 20$ cm) y un colchón de drenaje compuesto por piedra chancada No. 2 ($e = 15$ cm) y dotado de trincheras de escurrimiento espaciadas a 20.00 m.

Diversos factores incidieron en la alte-

ración del proyecto original y se construyó el colchón de drenaje sin la utilización del Geotextil *Puente-Geo*. Se optó entonces por el uso de una transición granulo-

métrica compuesta por arena, grava y piedra chancada No. 1 (entre 1.0 y 2.0 cm), entre el suelo vegetal de la grama plantada y el sistema de drenaje propiamente compuesto por piedra chancada No. 2 (entre 2.0 y 2.5 cm).

En agosto de 1988, la CBF decidió averiguar por qué, a lo largo de los años 1986/1988 se venían presentando problemas de empozamientos de agua de lluvia en la superficie de los terrenos de fútbol. A través de sondajes y muestras de los materiales, se verificó que el sistema de drenaje estaba obstruido por la introducción de partículas de suelo, hecho que no habría ocurrido si el Geotextil *Puente-Geo* hubiese sido adoptado, como lo especificaba el proyecto original.

Para la construcción de nuevos sistemas de drenaje, la CBF contrató los servicios de la empresa Greeniear Consultoria e Planejamento, que proyectó un sistema compuesto de zanjas de drenaje para captación y escurrimiento de las aguas de lluvia.

Esas zanjas, sin tubos, tenían espaciamiento fijo y convergían en una zanja principal de 0.50 m de ancho y 0.50 m de profundidad mínima, excavadas manualmente y rellenas con piedra chancada No. 1 como sistema de drenaje (figura 4).

El Geotextil *Puente-Geo* (300 gramos/m²) fue instalado entre el suelo y la piedra chancada para servir de filtro y también evitar la entrada de partículas del suelo en el sistema de drenaje. La grama existente fue retirada cuidadosamente, en placas. Después de la construcción de los drenajes, con el cierre de la parte superior con sobreposiciones de los bordes del geotextil, se procedió a la ejecución de un terraplén de espesor constante con suelo arenoso, y al reimplante de la vegetación.

Gracias a esa práctica de reactivación, ocurrió un mínimo de ciclos en

EL GEOTEXTIL

(300 GRAMOS/M²) FUE INSTA-

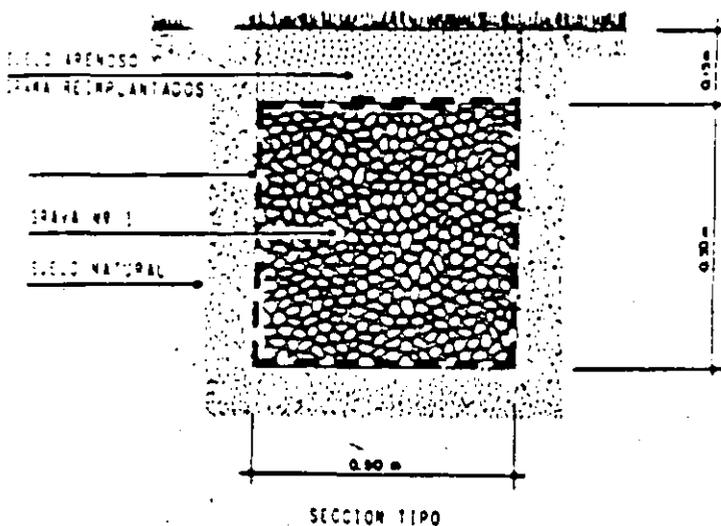
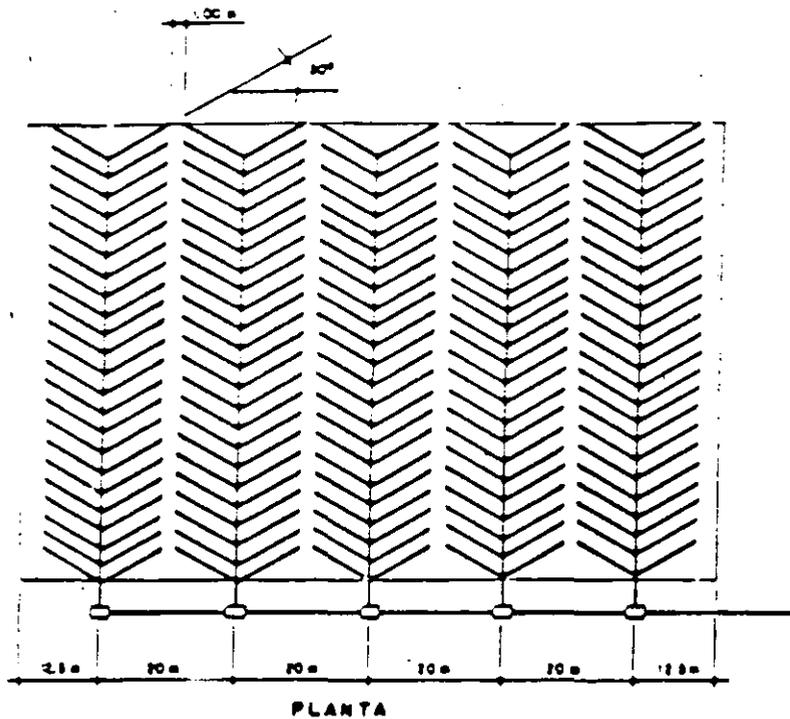
LADO ENTRE EL SUELO Y LA PIEDRA

PARA SERVIR

DE FILTRO Y TAMBIEN EVITAR LA ENTRADA DE PARTICULAS

DEL SUELO EN EL SISTEMA DE DRENAJE.

Detalle, localización de las ranjas y sección tipo.



Cierre de la ranja y reacondicionamiento del terreno.

la superficie del terreno, y este se recuperó rápidamente.

En la reconstrucción de los sistemas de drenaje de las canchas de fútbol y de los campos de entrenamiento de los porteros, se utilizaron cerca de 6.500 m² de Geotextil con un ancho de 2,15 m.

El Geotextil posee las siguientes características: espesor de 2,6 mm bajo presión de 2 kPa (ASTM D 1777); permeabilidad normal de 4.0×10^{-1} cm/s (AFNOR G 38016); apertura de filtración 110 μ m (AFNOR G 38017); resistencia a la tracción (Grab-test) 1,3 kN (ASTM D 4632); estiramiento en la ruptura 70% a 80% (ASTM D 4632); resistencia al punzonado de 2,1 kN (ASTM D 3787).

Desde que se terminó su instalación, en 1989, hasta ahora, el buen desempeño del nuevo sistema de drenaje confirma la eficacia de la solución adoptada.

CPA

Los Materiales GEOSINTÉTICOS como Recubrimiento de Pavimentos

Los geotextiles y las geomallas han demostrado ser muy efectivos en el refuerzo de recubrimientos

Como idea teórica, el concepto de refuerzos flexibles para la superficie de pavimentos asfálticos surgió alrededor de 1920 en los EUA. Las primeras pruebas ensayaron el uso de fibra de algodón para reforzar el hormigón asfáltico. El ensayo falló por dificultades de instalación. Entre 1950 y 1960 se realizaron otros ensayos con malla de alambre y metal estirado. Durante aplicaciones en campaña surgieron problemas de manejo e instalación. Por esta razón el concepto se dejó de lado.

Por más de una década, los geotextiles y geomallas se han empleado para estabilizar sub-bases y retardar el agrietamiento de reflexión en la superficie. En el campo de la pavimentación, los geotextiles de alta calidad han entrado en boga. El refuerzo de pavimentos existentes se convirtió en opción viable con la introducción, en 1980, de la geomalla polimérica Tensar, fabricada por Netlon, Ltd. en el

Reino Unido. Se hace aquí un resumen del uso de materiales geosintéticos para el recubrimiento de pavimentos existentes.

LOS GEOTEXTILES EN LOS RECUBRIMIENTOS

A principios de los 1970, la demanda mundial a favor de reducir el costo astronómico de reacondicionar la superficie de viejos caminos asfálticos resultó en la diseminación de una nueva tecnología. Hoy en día existen geotextiles que pueden impregnarse con sustancias bituminosas, y que se suponen sean capaces de proteger la nueva capa asfáltica contra el agrietamiento reflexivo. Desde luego, proveen también una capa impermeable. Extensos estudios se han llevado a cabo sobre la formación de grietas y la propagación de las mismas en las capas superiores e inferiores. Por un período de observación de más de 12 años se condujeron exámenes sobre la saturación de geotextiles con agentes adhesivos alquitranados, y se realizaron ensayos tanto de laboratorio como de campaña, de distintas estructuras de superficie y técnicas de instalación, así como análisis de patrones de formación de grietas. En general, el desempeño a largo metra-

je de una superficie bituminosa renovada se calcula en base a fatiga de flexión, envejecimiento natural, formación de surcos, desgaste, cuarteaduras inducidas por fluctuaciones térmicas, y agrietamiento reflexivo. Un desperfecto común en las superficies asfálticas es la así llamada cuarteadura "cocodrilo." Se recubre un camino cuarteado; eventualmente, las grietas de la vieja superficie asfáltica se transfieren a (o reflejan en) la nueva superficie alquitranada.

MECANISMOS

Una capa geotextil instalada entre la vieja superficie bituminosa y la nueva ayuda a prevenir la reflexión de grietas en la capa asfáltica nueva. Esto es el resultado de varias funciones mecánicas: prevención de penetración de humedad; reducción de fatiga del pavimento; retardación del agrietamiento reflexivo; y reducción de la fatiga de flexión.

La fatiga de flexión de la superficie de concreto bituminoso es una función del volumen de tráfico y la capacidad de carga del suelo. La fatiga de flexión es también un parámetro sobre el cual el uso de un geotextil puede ejercer una influencia considerable.

POR EL

DR. G. VENKATAPPA RAO

El autor es Profesor de Ingeniería Civil en el Instituto Tecnológico de la India, en Delhi, India.



Desde que se empleó en una prueba en tierras altas, el HaTelit 30113, de Huesker GmbH, se ha especificado para otras obras de montaña.

En la evaluación de la eficiencia del geotextil, los siguientes valores deben considerarse:

- geometría del camino
- flexibilidad de la superficie del camino
- posición del geotextil
- tipo de asfalto líquido
- tipo de geotextil

- nivel de estrés
- espesor de la capa superior

Entre los factores que influyen en el desempeño figuran:

Agrietamiento reflexivo. Con una sobrecapa de geotextil se reduce y retarda notablemente la formación de grietas en una nueva superficie vial.

No puede, empero eliminarse del todo. El patrón de agrietamiento en una superficie bituminosa reforzada con geotextil es sumamente diferente del que se observa en pavimentos no-reforzados, ya que las grietas no aparecen en áreas concentradas, sino en forma de retículas muy finas esparcidas sobre toda la superficie del camino.

Envejecimiento natural. El proceso natural de envejecimiento puede conducir a una pérdida enorme de resistencia en la capa bituminosa, posiblemente más del 30% de la firmeza inicial en un periodo de 7 años. Sobre esto el geotextil no ejerce influencia.

Formación de surcos. La formación de surcos depende de la sub-base, el cimientto, y el estrés vertical en la interfaz entre la capa subrasante y la sub-base. Con refuerzo de geotextil, la formación de surcos entra en consideración sólo en que reducir el espesor de la capa superior tiende a aumentar el estrés sobre la sub-base.

La influencia de un geotextil sobre la formación de surcos solamente puede considerarse cualitativamente, en términos de la función de sellado, ya que el geotextil impregnado de alquitrán previene la reducción de capacidad de carga de la capa subrasante debida a la penetración del agua.

Cuartheaduras a causa de condiciones térmicas. El refuerzo geotextil no ejerce influencia sobre la formación de cuartheaduras en la superficie a causa de fluctuaciones térmicas.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Tipo de geotextil empleado. Para formar una membrana efectivamente impermeable, el geotextil debe poseer la habilidad de absorber y retener la capa ligante de alquitrán. Los geotextiles estampados no-trenzados poseen esta facultad y se especifican exclusivamente para este tipo de aplicaciones. Los requisitos físicos y mecánicos para geotextiles empleados en cubiertas asfálticas se definen en base a las especificaciones detalladas en "Task Forces, 25 FHWA-Specifications for Paving Fabrics, Jan. 85." (Tabla 1). La estructura continua de los filamentos de estos geotextiles hace que sean especialmente aptos para estas aplicaciones. Los equipos de construcción, rodando sobre el tejido durante la instalación, pueden dañarlo arrancando las fibras. Sin embargo, puesto que las fibras del geotextil son continuas, extendiéndose de uno al otro extremo del rollo, el daño se minimiza.

Impregnación con asfalto líquido. Un proyecto de recubrimiento bituminoso que no incorpora un geotextil,

XY
PEX

"IMPERMEABILIZACION DE
CONCRETO POR CRISTALIZACION"

Al

le

T

tos

l,

típicamente necesitará una capa ligante aplicada a una tasa de entre 0,04 y 0,07 galones por yarda cúbica entre la vieja superficie asfáltica y la nueva. El exceso de capa ligante se absorbe por el geotextil para sellar la estructura vial, formando una membrana impermeable.

La función sellante del geotextil impregnado con bitumen se destina a prevenir permanentemente la penetración de agua superficial en las capas inferiores. Si esta función de impermeabilización es imperfecta, la infiltración del agua causará reducción en la resistencia de las capas inferiores a las fuerzas tangenciales y subsiguientemente, bajo el estrés del tráfico, conducirá a la formación de zanjas y grietas y la pérdida de adhesión.

Ligazón adhesiva. La resistencia al cizallamiento, o fuerzas transversales, en la interfaz entre la nueva y la vieja superficie de rodaje debe ser suficiente para prevenir el deslizamiento de la nueva superficie del camino en áreas críticas que sufren de fuertes movimientos laterales. Este alto estrés tangencial tiene una gran probabilidad de ocurrir bajo la presión de muchos virajes y frenajes a altas temperaturas.

Cantidad efectiva de capa ligante asfáltica líquida. Las tasas específicas de aplicación dependerán de las condiciones de la superficie del camino y los factores de construcción de la localidad. Por ejemplo, si el pavimento a ser reforzado tiene mínimo agrietamiento y sólo unas cuantas grietas grandes, no será necesario ajustar la tasa de aplicación de la capa ligante. Por otra parte, si la superficie es áspera e irregular, la tasa de aplicación tendrá que ser aumentada para compensar por las charcas de alquitrán líquido que se formarán en las irregularidades del camino.

Espesor de la superficie. En el diseño de carreteras con superficies de hormigón bituminoso reforzadas con geotextil y destinadas a mucha densidad de tráfico se recomienda una capa superficial de no menos de 5 cm de espesor. Estadísticamente, la eficiencia de un recubrimiento bituminoso complejo respecto a fatiga de flexión y formación de grietas, no puede garantizarse con una superficie más delgada. El espesor no ejerce influencia sobre la impermeabilización.

Procedimiento de construcción. El éxito de las superficies de hormigón bituminoso reforzado con geotextil depende mayormente de la calidad de la construcción y la técnica de instalación. Ignorar especificaciones de ins-

Tabla 1.

Especificaciones Para Tejidos de Pavimentación (Task Force 25, US Federal Highway Administration)

Geotextil Características	Unidad	Mínimo Requisito
Resistencia tensil	lbf	80
Extensión de agarre	%	50
Saturación de asfalto	gal/yda ²	0.2
Punto de fusión	F	300

talación puede conducir a problemas premaduros y a pérdida de ligazón adhesiva, anulando la efectividad del refuerzo.

Las técnicas de instalación generalmente compaginan con los métodos tradicionales de aplicación de alquitrán. Los pasos comprenden:

- barrer la superficie existente;
- rociar el asfalto (aproximadamente 0,8 a 1,2 kg/m²);
- desenrollar el geotextil (100 a 230 g/m²);
- esparcir la capa final de asfalto (40 mm de espesor);
- compactación.

Aunque la mayoría de los textiles para pavimentos se fabrican con polipropileno, el así llamado "bidim geofelt system" consiste de un tejido continuo no-trenzado 100% de poliéster, hecho con fibras especiales planas de poliéster de corte transversal, calandrado con aguja y punzón. Como es relativamente plano, es compacto, con un requisito mínimo de bitumen y deflexión bajo cargas repetidas. Debe recordarse que en todas las aplicaciones mencionadas, a pesar de que lo alegado es que previenen el agrietamiento de reflexión, el hecho es que la ventaja, si es que existe, es solamente indirecta y surge de la función de impermeabilización del geotextil, con el consecuente aumento de la vida funcional del recubrimiento. Se usan compuestos especiales de refuerzo y sellado de gravilla por rociado. El uso de sobrecapas de geomalla asfáltica ataca el problema desde la raíz, al compartir los esfuerzos tensiles.

COMPUESTOS PARA REFUERZO DE SUPERFICIE

En tiempos recientes se ha puesto de moda el uso de tratamientos especiales para el refuerzo de superficies, así como el sellado con gravilla. El desarrollo de compuestos especiales para

esparcir sobre la superficie de pavimentos flexibles se hace difícil por la considerable sensibilidad de estos últimos a las peripecias del tráfico y las condiciones atmosféricas. El propósito de los compuestos es precisamente el de proveer un resguardo contra estos dos fenómenos. El sellado con gravilla o cascajo se usa en el acabado de caminos vecinales fabricados a base de grava no estabilizada o de capas subyacentes de grava/arena combinadas. Estos caminos difieren de los que poseen un lecho rígido y estabilizado en que son altamente susceptibles a deformaciones (v.gr., formación de baches), a causa del bajo módulo de rigidez. Generalmente, se construyen con un cimiento de grava compactada, cubierta de material adhesivo bituminoso, y una capa final de piedra machacada. La instalación adicional de un geotextil retardado previene la formación y/o propagación de grietas al aumentar la fuerza tensil de la superficie, así como su resistencia al estrés tangencial. Garantiza asimismo impermeabilización permanente, incluso después de la formación inevitable de grietas. La adhesión perfeccionada previene la formación de baches y ayuda a absorber fuerzas tangenciales aún fuera de la zona inmediata de impacto de carga. El efecto separador del geotextil evita la penetración de piedras sueltas en la capa de base.

Protección contra la intemperie. La protección contra la intemperie y la durabilidad ante fuerzas de deformación son, a la larga, las principales características que se desean—especialmente en el caso de caminos de tráfico ligero.

La ineficacia de una sola capa de tratamiento superficial, respecto de sellado de terraplenes y subrasantes hechos de materiales no tratados, fue uno de los primeros descubrimientos a

surgir de investigaciones sobre compuestos para el refuerzo de superficies realizadas por el Centre d'Experimentation Routière (C.E.R.). En esta clase de tratamiento, el rol del geotextil es el de formar una película sellante suficientemente espesa para asegurar la durabilidad, a pesar del agrietamiento de la capa subyacente y el desalojamiento de cascajos.

Esta función de sellado también es importante para caminos con volumen mediano de tráfico, cuando el financiamiento inicial es limitado.

Refuerzos. El refuerzo mecánico del acabado es obviamente útil para garantizar protección contra la intemperie. Es también deseable para mejorar el comportamiento del pavimento bajo el tráfico y para alargar su vida, especialmente, formación de baches. En el curso de investigaciones, se observó que este objetivo se logra reduciendo fluctuaciones de humedad. La Intendencia de Tráfico y Carreteras de Nueva Gales del Sur, Australia, ha desarrollado una técnica de bajo costo para reducir fluctuaciones de humedad en formaciones argiláceas. Se coloca una capa ligante bituminosa sobre la arcilla, y se incorpora un geotextil no-trenzado, el Bidem PF2. Una capa sellante convencional de gravilla, aplicada por rociadura, puede entonces colocarse sobre esta superficie. Varios ensayos en Nueva Gales del Sur probaron que esta técnica era efectiva en razón de costos y útil en tramos de 50 km, para caminos de tráfico ligero utilizados el año entero. En el curso de los últimos 5 años, en Francia, se han instalado exitosamente un millón de m² de tejido bituminoso de recubrimiento. Ciertos estudios recientes han mostrado evidencia que el tejido de polipropileno para pavimentos puede usarse con asfalto rociado a temperaturas de hasta 170°C, sin efectos nocivos.

LAS GEOMALLAS EN LOS RECUBRIMIENTOS

Tal como el asfalto, las geomallas son viscoelásticas en su comportamiento respecto de la temperatura y el plazo de carga. En aplicaciones de pavimentación, la malla se somete a la aplicación repetida de bajas tensiones a lo largo de su vida útil. Tiene que resistir—una sola vez—la exposición a altas temperaturas de pavimentación. Bajo pruebas de fatiga, las mallas de polipropileno muestran relajación de carga sin ninguna pérdida de robustez elástica.

La acción de refuerzo de una geomalla se debe a un sólo mecanismo:

el confinamiento. El emparrillado de la malla retiene el material dentro de sus retículas, creando una densa matriz mediante el entrelazamiento y el encierro. Esta matriz espesa tiene más alta rigidez, lo que resulta en mejor resistencia a las tensiones verticales permanentes, así como a las tensiones tensiles horizontales.

La eficacia de la acción de confinamiento de la malla depende de un número de factores. El primero es la relación entre el tamaño de la apertura y el tamaño máximo de las partículas. El segundo factor es el agregado, a saber, su tipo, textura, graduación, angularidad, resistencia, etcétera. Mientras mejor sea el agregado, mejor será su capacidad de entrelazamiento. En tercer lugar, el esfuerzo de compactación determinará el grado de solidez. Finalmente, la resistencia a tensiones tangenciales y la rigidez de la geomalla determinarán la tasa de plastodeformación bajo carga y la eficacia del entrelazamiento.

CAMADAS LIGADAS

Acción de confinamiento. En este caso, con la presencia de un ligante, no puede ocurrir ningún movimiento relativo entre las capas de agregado. Tal movimiento, y su contribución subsiguiente a la resistencia a la deformación, entra en juego sólo cuando la viscosidad del ligante es tan baja que la rigidez de la mezcla proviene totalmente de la matriz del agregado. Con un alto valor de viscosidad de la matriz (y por lo tanto, rigidez de la mezcla) el confinamiento de la geomalla ejerce relativamente menos influencia sobre la tensión vertical permanente. Las tensiones laterales las absorbe la propia geomalla, manteniéndose así la integridad de la matriz de agregado entrelazado. Es este el mecanismo que mejora el promedio de vida del camino. La acción de encierro mejora la resistencia al agrietamiento por fatiga estructural, así como la resistencia a la deformación permanente.

Compactación. Puede verse que la malla y el material entrelazado proveen una capa de partículas rígida, densa, y estrechamente ligada dentro del cúmulo de material reforzado, la cual tendrá un módulo más elevado que el del material circundante. Esta capa rígida es capaz de resistir tanto las tensiones verticales permanentes como las tensiones tangenciales. La eficiencia de esta capa depende del grado de estrechez del entrelazamiento, el cual a su vez depende de la compactación. Esto ex-

plica por qué se ha reportado mejor desempeño en materiales compactados en dos camadas, a causa del alto nivel de entrelazamiento entre la malla y el agregado circundante.

Localización y acción de la malla. Si uno considera la geomalla y el material entrelazado como una sola entidad, que posee propiedades físicas superiores, es fácil correlacionar el efecto de la localización de la malla y la acción de ésta.

Si la malla se coloca en una zona de alto estrés de compresión la acción predominante será la de reducir deformaciones permanentes.

Si la malla se coloca en una zona de altas tensiones radiales, v.gr., cerca del fondo de la camada, la acción en tal caso será la de contrarrestar los efectos de la fatiga. La malla también reducirá la deformación vertical permanente, pero en escala menor. El efecto de una malla es el de crear alrededor suyo una capa densa y rígida; movilizar la fricción entre partículas granulosas por cada lado; resistir los movimientos laterales entre las partículas de la capa granular; y reducir así la deformación permanente de esta camada. La inclusión de una geomalla no mejora las propiedades físicas, en conjunto. La efectividad de su desempeño depende de varios factores. La necesidad de emplear agregados de alta calidad, bien calibrados, sigue siendo tan importante como siempre. Los beneficios del refuerzo se percibirán sólo cuando los materiales empleados sean de primera calidad y cuando la colocación de la geomalla se haya decidido en base a un análisis minucioso de la distribución de esfuerzos y deformaciones a través de todos los niveles del pavimento.

Acción de la malla en la retardación de agrietamiento reflexivo. Tanto el tráfico como los cambios de temperatura causan que las grietas de un pavimento viejo se "reflejen" en el recubrimiento superior. El paso de una carga sobre el tramo que yace sobre una grieta causa que tres pulsaciones de alta concentración de tensión ocurran en la superficie. La carga en movimiento causa el estrés máximo tangencial; luego viene el estrés máximo de flexión; y finalmente, el estrés máximo tangencial se repite, pero en la dirección opuesta. La presencia de un vacío causa que una de estas dos tensiones tangenciales sea más fuerte. Debido al plazo muy breve del paso de la carga, el hormigón bituminoso muestra alta rigidez.

El estrés térmico puede causar propagación de grietas desde arriba

así como desde abajo. Debido al plazo muy lento de cambio de temperatura, la rigidez del hormigón bituminoso es mucho más baja que en el caso de cargas en movimiento. El método óptimo para retardar el agrietamiento de reflexión debido a cargas en movimiento es el de aumentar la rigidez del material en el punto de contacto entre el recubrimiento y la vieja grieta. Este es el rol de una geomalla.

Mecanismo de acción. Hay dos modos de desempeño de los geosintéticos en recubrimientos de hormigón asfáltico. En el primer modo, llamado "alivio de tensiones," la grieta llega al refuerzo, se detiene por un tiempo, y entonces comienza de nuevo del otro lado. En el segundo modo, llamado "refuerzo," la grieta se detiene en la interfaz inferior del refuerzo, y entonces se desvía hasta cierto punto a lo largo de esta cara inferior. Llegado este punto, no progresa más. En el segundo caso, el agrietamiento reflexivo puede postponerse indefinidamente. El modo de acción del geosintético depende de la rigidez relativa del hormigón asfáltico y el material geosintético. En el caso de las geomallas, la malla tiene más rigidez que el hormigón circundante, y por eso entra en operación el segundo modo. Este comportamiento también se explica concibiendo el hormigón asfáltico reforzado como un sistema de tres niveles.

Investigaciones realizadas en 1984 revelaron que el ángulo de curvatura, una medida de habilidad de esparcimiento de carga, es 33% más alto en losas reforzadas. Asimismo, se reveló que la proporción de ciclos de carga a fallas fue más de un 100% mayor. El estrés tensil en el fondo se reduce un 30%, y por lo tanto ocurre un aumento equivalente en vida de fatiga. Para la misma profundidad de surcos, la vida cíclica aumenta aproximadamente un 300%. Con subrasantes débiles, es posible un ahorro de casi 100 mm de espesor de capa de concreto asfáltico, con la misma vida funcional.

Otro amplio programa de investigaciones generalmente reafirmó las conclusiones mencionadas. Un proyecto investigativo titulado "Estudio sobre el uso de geomallas para mejorar el desempeño de pavimentos viales" ha sido patrocinado por el Ministerio de Transporte Superficial (División de Caminos), en el Indian Institute of Technology (ITT), en Delhi. Los resultados preliminares son alentadores:

- el refuerzo con geomallas resulta en la retardación del agrietamiento de re-

flexión en recubrimientos bituminosos;

- las geomallas causan reducción de las grietas de reflexión a lo largo de la interfaz inferior entre la malla y el hormigón asfáltico;

- la textura áspera de la superficie del pavimento existente mejorará la ligazón entre la malla y el hormigón asfáltico;

- la geomalla Tensar SS-2 no mostró ninguna pérdida de resistencia a causa de exposición a las altas temperaturas de la pavimentación.

CONCLUSIONES

Los geotextiles de "calibre de pavimento" (principalmente de polipropileno y preferiblemente de poliéster) son útiles en la minimización de agrietamiento en recubrimientos asfálticos. Funcionan mediante un mecanismo de inhibición de humedad, reduciendo así la fatiga del pavimento y retardando el agrietamiento de reflexión. La eficiencia de los geotextiles empleados para tal fin depende de la geometría del camino, la flexibilidad de la superficie de rodaje, la posición del geotextil, el tipo de asfalto líquido, el tipo de geotextil, el nivel de tensión, y el espesor de la capa superficial.

Las especificaciones de los geotextiles están a la disposición de todos. La técnica de instalación es fácil. Es una técnica ampliamente usada alrededor del mundo.

Los geotextiles pueden emplearse exitosamente en compuestos para refuerzo de superficies y sellantes de piedra molida, para aplicación sobre terraplenes y capas subrasantes mejoradas, así como camadas de base de grava o mezclas de grava/arena. Todo esto ha demostrado ser tanto exitoso como económico. Las geomallas, en virtud de su capacidad de entrelazamiento, su estabilidad bajo altas temperaturas, y su rigidez ayudan en la retención, a medida que las tensiones tangenciales se absorben por la propia malla, retardando la pérdida de integridad de la matriz bituminosa. Este desempeño ha sido ampliamente confirmado en muchos ensayos de laboratorio y en pruebas de campaña. ♦

Esta es una versión ligeramente abreviada de un artículo originalmente publicado en el número de diciembre, 1992, de Civil Engineering & Construction Review, y se reimprime con autorización.

TASK FORCE 25
 ESPECIFICACIONES PARA GEOTEXTILES USADOS EN PAVIMENTOS
 ENERO 13, 1985

1. Descripción

Los trabajos deberán consistir en el suministro y colocación de un geotextil entre las capas de un pavimento, con el propósito de incorporarle una capa impermeabilizante y que al mismo tiempo alivie los esfuerzos dentro de la estructura del pavimento. Estas especificaciones son aplicables para todos los geotextiles usados como cubierta total, del ancho del pavimento o como cubierta parcial, a manera de tiras, longitudinales o transversales, que solo cubran las juntas o grietas.

2. Materiales

2.1 Geotextiles: Las telas usadas con éste nombre deberán estar construidas de fibras sintéticas, no tejidas, termofijadas, resistentes al ataque químico, al moho, y deberán de tener las siguientes características físicas:

PROPIEDAD	VALOR	METODO DE CONTROL
RESISTENCIA A TENSION	80 Lb, MIN. (38 Kg, MIN.)	TASK FORCE 25 METODO 1
ELONGACION A LA RUPTURA	50%, MIN.	TASK FORCE 25 METODO 1
RETENCION ASFALTICA	0.2 gal/yd ² , MIN. (0.9 l/m ² MIN.)	TASK FORCE 25 METODO 8
TEMPERATURA DE FUSION	> 300°F (149°C)	ASTM D276

Observaciones:

Se recomiendan los métodos de la TF25, debido a que las pruebas de la ASTM permiten una gran variabilidad en el equipo, en los procedimientos de prueba y en los reportes. Los métodos recomendados fueron desarrollados por el Comité de Geotextiles de la ASTM y la INDA. Estos procedimientos están a punto de ser aceptados por la ASTM 1990.

2.2 Riego Asfáltico

El material usado para impregnar y sellar el geotextil, así como para pegarlo entre el pavimento existente y la sobrecarpeta, deberá ser un asfalto recomendado por el fabricante y aprobado por el "Ingeniero".

Se deberán preferir asfaltos no rebajados, sin embargo, cuando se usen emulsiones aniónicas y catiónicas, deberán tomarse las precauciones que se señalan en la Sección 4.4. Nunca deberán usarse asfaltos rebajados y soluciones que contengan solventes.

Observaciones:

El tipo de cemento asfáltico especificado comunmente para diseño con mezclas en caliente en cada lugar, es generalmente el material mejor aceptado.

2.3 Agregados

Sobre el geotextil ya tendido e impregnado, se le deberá colocar arena o material de la mezcla en caliente, a voleo (poreo), para facilitar el movimiento del equipo durante la construcción o para prevenir la deformación excesiva del geotextil.

Si se aplica arena, la cantidad en exceso deberá de ser retirada del geotextil antes de colocar la sobrecarpeta.

Observaciones:

No siempre se requiere usar arena, sin embargo, cuando las temperaturas ambientales sean suficientemente elevadas para provocar que el asfalto se lllore, puede formarse una superficie muy pegajosa, que se hará indeseable al adherirse el geotextil a las llantas de los vehículos.

3. Equipo

3.1 Petrolizadora

La petrolizadora deberá ser capaz de regar el asfalto en la cantidad recomendada y en aplicaciones uniformes. No se deberá permitir que chorrée, que se taponée o que gotée. Igualmente deberá de estar equipada con un aspersor de mano que tenga una boquilla sencilla y una válvula que le permita abrir y cerrar.

3.2 Equipo para el tendido del geotextil

Este podrá ser manual o mecánico, siempre que se garantice la cuidadosa colocación de los geotextiles.

3.3 Equipos complementarios

Deberá de contarse con cepillos con cerdas firmes para dejar la superficie del geotextil sin arrugas, con tijeras o cuchillos (charrascas) para cortar el geotextil, y cepillos para aplicar el asfalto en los traslapes del material. En ciertos casos podrían utilizarse rodillos neumáticos y lanzadoras de arena para emparejar el geotextil.

Los rodillos se requieren especialmente en trabajos donde se coloquen capas niveladoras delgadas o se haga bacheo. Ayudan a asegurar la unión del geotextil entre las capas de pavimento, en ausencia de calor y el peso asociados a capas de pavimento asfáltico más gruesas. Un ejemplo de cuando el uso de los rodillos es extremadamente importante es cuando la temperatura ambiente es más baja de lo normal y que lo adhesivo del riego asfáltico ya no ocurre dentro del geotextil.

4. Construcción: Requerimientos y Métodos

4.1 Empacado y Almacenaje del Geotextil

Los rollos del geotextil deberán ser suministrados perfectamente cubiertos para su protección en contra de la humedad y la exposición a largo plazo contra de los rayos ultravioleta UV. Cada rollo deberá ser etiquetado para proporcionar una identificación del producto suficiente para un inventario y para propósitos de control de calidad. Los rollos deberán de almacenarse de tal manera que queden protegidos en contra de los elementos naturales. Si se almacenan a la intemperie, deberán elevarse del suelo y protegerse con una cubierta impermeable.

4.2 Limitaciones del clima

Ni el riego asfáltico ni el geotextil deberán colocarse cuando las condiciones del tiempo no sean las adecuadas, de acuerdo a la opinión del ingeniero. Las temperaturas del aire y del pavimento deberán ser suficientes para permitir que el riego asfáltico adhiera al geotextil en su lugar. Para cementos asfálticos, la temperatura del aire deberá ser de 50° F (10°C) o mayor. Cuando se usen emulsiones asfálticas, la temperatura del aire deberá ser de 60° (15°C) F o mayor.

4.3 Preparación de la superficie

La superficie sobre la cual se colocará el geotextil deberá encontrarse razonablemente limpia de polvo, agua, vegetación y otros desechos. Las grietas que excedan de 1/8 de pulgada (3 mm) de ancho, deberán de calafatearse y los baches deberán de "sacarse" de manera adecuada, dirigido todo esto por el ingeniero. Deberá permitirse que el "calafateo" y el bacheo fragüen, antes de la colocación del geotextil.

Observaciones:

Si las condiciones del pavimento existente son tales que un simple calafateo no fuera suficiente para el relleno de sus grietas y para la preparación de la superficie, entonces será más económico el colocarle una capa reniveladora, anterior a la colocación del geotextil.

4.4 Aplicación del riego asfáltico

El riego asfáltico deberá ser rociado de manera uniforme sobre la superficie del pavimento, seca, a razón de 0.2 a 0.3 gal. por yarda cuadrada (0.9 a 1.3 l/m²) o de acuerdo a la recomendación hecha por el fabricante y aprobada por el ingeniero.

La aplicación de ese riego será usando una petrolizadora, con los aspersores abiertos al mínimo requerido. La temperatura del riego de sello deberá ser lo suficientemente alta para que permita un riego uniforme.

Para cementos asfálticos, la temperatura mínima deberá ser de 290°F (143°C), sin embargo, para evitar caños a los geotextiles, las temperaturas en el tanque distribuidor, no deberán excederse de 324°F (162°C). Los patrones de riego para el asfalto se mejoran al calentarse. Es deseable siempre tener temperaturas comprendidas entre los 130°F (54°C) y los 160°F (71°C). No deberán de alcanzarse temperaturas mayores de los 160°F (71°C), ya que puede destruirse a la emulsión.

El ancho deseable de riego asfáltico deberá ser el ancho del geotextil más 6 pulgadas (15 cm). Este riego asfáltico no deberá de aplicarse con mucha anterioridad a la colocación del geotextil, sino en una distancia razonable, que el contratista pueda garantizar tener el control de la misma, ante el tráfico existente.

Los derrames de asfalto deberán ser limpiados de la superficie de la carretera para evitar su flujo.

Cuando se usen emulsiones asfálticas, estas deberán ser curadas (básicamente, que no queden húmedas) antes de colocar al geotextil y el concreto asfáltico.

Observaciones:

La cantidad de riego asfáltico especificada deberá ser suficiente para satisfacer las propiedades de retención asfáltica del geotextil y al mismo tiempo pegarlo o ligarlo al pavimento antiguo. Para tomar en cuenta las variables en la textura del pavimento y la precisión del "pipero o bombero", la cantidad mínima para ser consumida o aplicada, deberá de ser no menor de 0.2 gal/yard² (0.9 l/m²). Las superficies ásperas y onduladas o agrietadas podrán requerir una mayor cantidad. En las intersecciones de calles, en pendientes muy fuertes o en otras

zonas donde los cambios de velocidad de los vehículos pueda hacerse común, deberá reducirse la tasa de aplicación "normal" en un 20%, pero nunca a menos de 0.2 gal/yd² (0.9 l/m²) o a lo especificado por el fabricante del geotextil. Nota: Cuando se usen emulsiones, el rango de aplicación deberá de aumentarse para compensar el contenido de agua de la emulsión.

4.5 Colocación del geotextil

Este deberá de ser colocado sobre del riego asfáltico con un mínimo de arrugas, antes de que el asfalto se enfríe y pierda adherencia. De acuerdo a las indicaciones del ingeniero, todos los pliegues o arrugas mayores de una pulgada (2.54 cm) deberán de cortarse y dejarse planos. Un buen cepillado o incluso el paso de un rodillo neumático podrían ser necesarios para garantizar una perfecta adherencia entre el geotextil y la superficie por repavimentar.

Los traslapes en las juntas del geotextil deberán ser suficientes para asegurar un cerramiento perfecto de dichas juntas, pero no deberán de excederse de 6 pulgadas (15 cm). Las juntas transversales deberán de ser traslapadas en la dirección de la pavimentación, para evitar que alguna orilla pudiera ser levantada por la pavimentadora. En ocasiones podría requerirse de una segunda aplicación de riego asfáltico a los traslapes del geotextil si, a juicio del ingeniero se requiriese de riego asfáltico adicional para asegurar una liga adecuada en la doble capa de geotextil.

La remoción y el reemplazamiento de las capas de geotextil que hubiesen resultado dañadas, serán responsabilidad del Contratista.

Observaciones

Los problemas relacionados con los pliegues, arrugas o dobleces, van generalmente ligados con el espesor del asfalto que será colocado sobre del geotextil. Cuando los pliegues sean tan grandes como para que puedan doblarse, ninguna cantidad de asfalto será suficiente para satisfacer los requerimientos de la capa múltiple de geotextil que se formará, por tanto, los pliegues deberán de cortarse y luego aplanarse. Se le deberá colocar una cantidad suficiente de riego asfáltico en la parte superior del geotextil para satisfacer las necesidades de su traslape.

En los traslapes de rollos paralelos o adyacentes, deberá de procurarse que su traslape sea mínimo, pero adecuado. Si aún así, el traslape fuera muy grande, podría presentarse el problema de la inadecuada impregnación entre las dos capas del geotextil y su adherencia con el pavimento antiguo. Si este problema ocurriese, un sello asfáltico adicional debería de añadirse a las áreas

traslapadas. Durante la aplicación del sello asfáltico adicional, deberá tenerse cuidado de no aplicarlo en exceso, pues pudiera llegar a causar un "llorado" del mismo.

4.6 Circulación sobre del geotextil

Esta podría permitirse, pero solamente para el tránsito de emergencias o para el paso del equipo de construcción, evitando giros bruscos, acelerones o enfrenones.

4.7 Sobrecarpeta asfáltica

La colocación de una mezcla en caliente como sobrecarpeta, deberá de realizarse inmediatamente después de la colocación del geotextil. La temperatura de la mezcla no deberá de exceder los 325°F (163°C). En caso de que ocurriese un derrame de asfalto antes de colocar la sobrecarpeta, se le deberá de tirar arena o mezcla en caliente para tratar de absorberlo. Para evitar los movimientos o daños al geotextil, los giros de la pavimentadora y los otros vehículos, deberán de ser graduales y reducidos a un mínimo.

4.8 Poreo del geotextil

Antes de colocarle la sobrecarpeta, deberá espolvorearse o porearse el geotextil con una capa de 1.5 a 2 lb/yd² (0.8 a 1.0 kg/m²) y pasarle un rodillo neumático sobre el geotextil para adherirlo con fuerza sobre del riego asfáltico.

Observaciones

El grupo "Task Force" considera que la circulación sobre del geotextil no debería permitirse debido a razones de seguridad. Si dentro de las políticas de la empresa contratista, se permitiese la circulación, podría aplicarse la siguiente recomendación:

"Si se aprobara por el ingeniero, la circulación sobre los geotextiles podría abrirse al tránsito 24 o 48 horas antes de colocarle la superficie de rodamiento. Se deberán de colocar señales y avisos que prevengan al usuario de que la superficie podría resultar "resbalosa", como cuando se encuentra el piso mojado. Estas señales también deberán de indicar la velocidad adecuada para circular. La arena sobrante deberá ser barrida de la superficie del geotextil antes de colocarle la sobrecarpeta. Si, a juicio del ingeniero, la superficie del geotextil aparece seca y con falta de adherencia, luego de ser expuesta al tráfico, se deberá añadir un nuevo y ligero riego asfáltico, antes que se le coloque la sobrecarpeta".

5. Método de medición

5.1 El geotextil se medirá en yardas cuadradas (metros cuadrados).

5.2 El riego asfáltico para el geotextil se medirá en galones (litros).

6. Forma de pago

6.1 Las cantidades aceptadas de geotextil se pagarán de acuerdo a los precios unitarios del contrato, que es de yarda cuadrada en el lugar (metro cuadrado en el lugar).

6.2 Las cantidades aceptadas de riego asfáltico para el geotextil se pagarán conforme a los precios unitarios del contrato, que es de galón completo en el lugar (litros en el lugar).

CONCEPTO	UNIDAD
Geotextil	Yarda cuadrada (metro cuadrado)
Riego asfáltico	Galón (litro)

7. Especificaciones para la vida útil

TABLA C-4
PROPIEDADES MINIMAS DEL GEOTEXTIL RECOMENDADAS PARA
SU VIDA UTIL (a).

RESISTENCIAS				
VIDA UTIL DEL GEOTEXTIL	Grab lb(kg)	(b) punzonamiento lb(kg)	(c) estallamiento lb/in ² (kg/cm ²)	(d) desgarre lb(kg)
Baja	90 (40)	30 (14)	145 (10)	30 (14)
Moderada	130 (60)	40 (18)	210 (15)	40 (18)
Alta	180 (80)	75 (34)	290 (20)	50 (23)
Muy Alta	270 (120)	110 (50)	430 (30)	75 (34)

a) Todos los valores representan valores mínimos.

b) ASTM D751-68.

c) ASTM D751-68.

d) ASTM D1117.

RMYM/pvd



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

GEOTEXTILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS

UTILIZACION DE GEOTEXTILES COMO RESFUERZO EN CAMINOS
RURALES

DR. RAFAEL MORALES Y MONROY

UTILIZACION DE GEOTEXILES COMO REFUERZO EN CAMINOS RURALES

La formación de roderas debido a las grandes descargas de ejes de vehículos pesados, es característico de caminos rurales revestidos (no pavimentados) con subsuelo blando. Para mantener un camino de este tipo permanentemente en uso es muy importante minimizar la formación de roderas, de manera de evitar la formación de fallas de base.

Una posibilidad de evitar fallas locales es el aumento del espesor de la base, con objeto de tener una mejor repartición de la carga y disminuir los esfuerzos normales. Un aumento del espesor de la base significa igualmente un aumento de los costos, que alcanzan proporciones significativas en el caso de algunos rellenos sobre suelos blandos, en donde se pierden continuamente.

Otra posibilidad para evitar fallas de base locales y garantizar el tráfico vehicular es el mejoramiento o estabilización del suelo con cal, cemento o químicos. No obstante, esta posibilidad puede ser costosa y a veces irrealizable.

La construcción con el geotextil representa una alternativa a las posibilidades antes descritas. Con la utilización de geotextiles adecuados como capa separadora se logra disminuir el espesor de la base y con ello los costos; además, el geotextil evita las pérdidas de material de relleno. Caminos transitables, con rellenos mínimos de 40 cm sobre el geotextil y sobre suelos muy blandos se recomiendan con éxito, de manera frecuente, ya que presentan un aumento del 60 % en el valor de la capacidad de carga de un suelo arcilloso saturado ($VRS < 5 \%$) al colocarse geotextil no tejido entre el suelo blando y el relleno areno-gravoso (espesor mínimo de 30 cm), por lo que se tiene una formación más uniforme y homogénea del asentamiento, lo que conduce a una menor formación de grietas y a una mejor redistribución del esfuerzo cortante horizontal; en dos palabras, el geotextil actúa como una losa flexible.

Campos de aplicación

Su campo de aplicación es variado, pero se pueden mencionar, entre otros: caminos de mano de obra, caminos forestales, caminos secundarios, base de caminos pavimentados, caminos rurales, caminos de acceso, estacionamientos, sitios de transbordo, caminos provisionales durante la construcción de obras mayores, como presas o puertos, etc.

Dimensionamiento de la altura de relleno D.

Se recomienda una altura mínima del relleno de $D_{min} = 40$ cm en suelos blandos para garantizar el tráfico vehicular. Este valor empírico asegura el correcto funcionamiento del geotextil. Espesores de relleno menores pueden provocar daños en el geotextil y conducir a la infuncionabilidad del camino.

El material de relleno, que vaya a ser utilizado como base, deberá ser de preferencia granular, con sus aristas arredondeadas, ya que las aristas anquilosas pueden perforar el geotextil. El tipo mínimo de geotextil requerido para evitar perforaciones es función del diámetro del material de relleno dm, y del espesor de relleno D.

El geotextil permite la libre evacuación de agua intersticial ascendente, reteniendo al mismo tiempo las partículas de grano fino.

Consideraciones económicas

Comparaciones entre un camino con y sin geotextil han permitido un estudio de e costos, en donde se ha observado que el ahorro del material alcanza 50 cm. y en ocasiones hasta el 33% del costo total de la obra, incluyendo ya los costos de suministro y colocación del geotextil.

El ahorro de relleno en un suelo con un valor relativo de soporte VRS adecuado podría ser pequeño, del orden de 10 cm. En este caso la utilización del geotextil dependerá de los parámetros regionales.

Proceso constructivo para la colocación del geotextil

El geotextil se desenrolla directamente sobre el césped o sobre la subrasante previamente preparada.

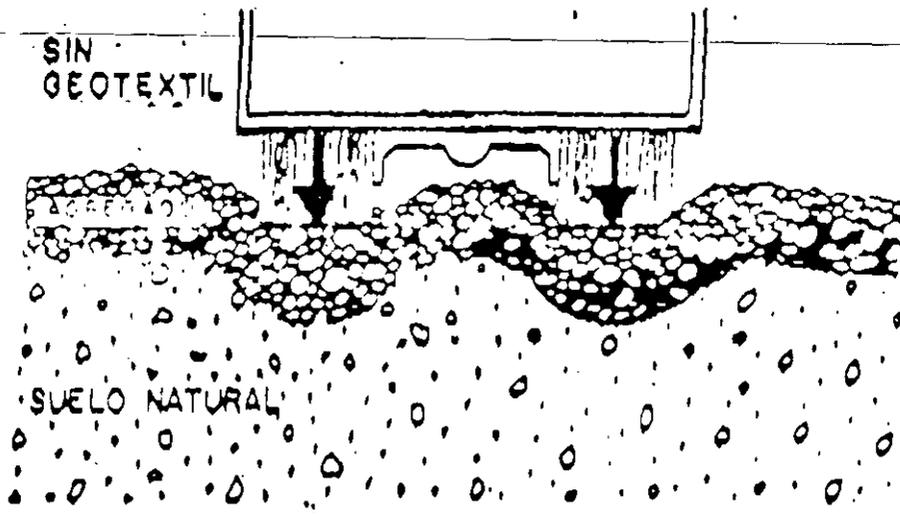
La unión de los rollos de geotextil deberá resistir a las tensiones, y esto se logra por un adecuado traslape, de acuerdo a:

- > 30 cm en suelo plano
- > 50 cm en suelos escabrosos o de bajo valor relativo de soporte

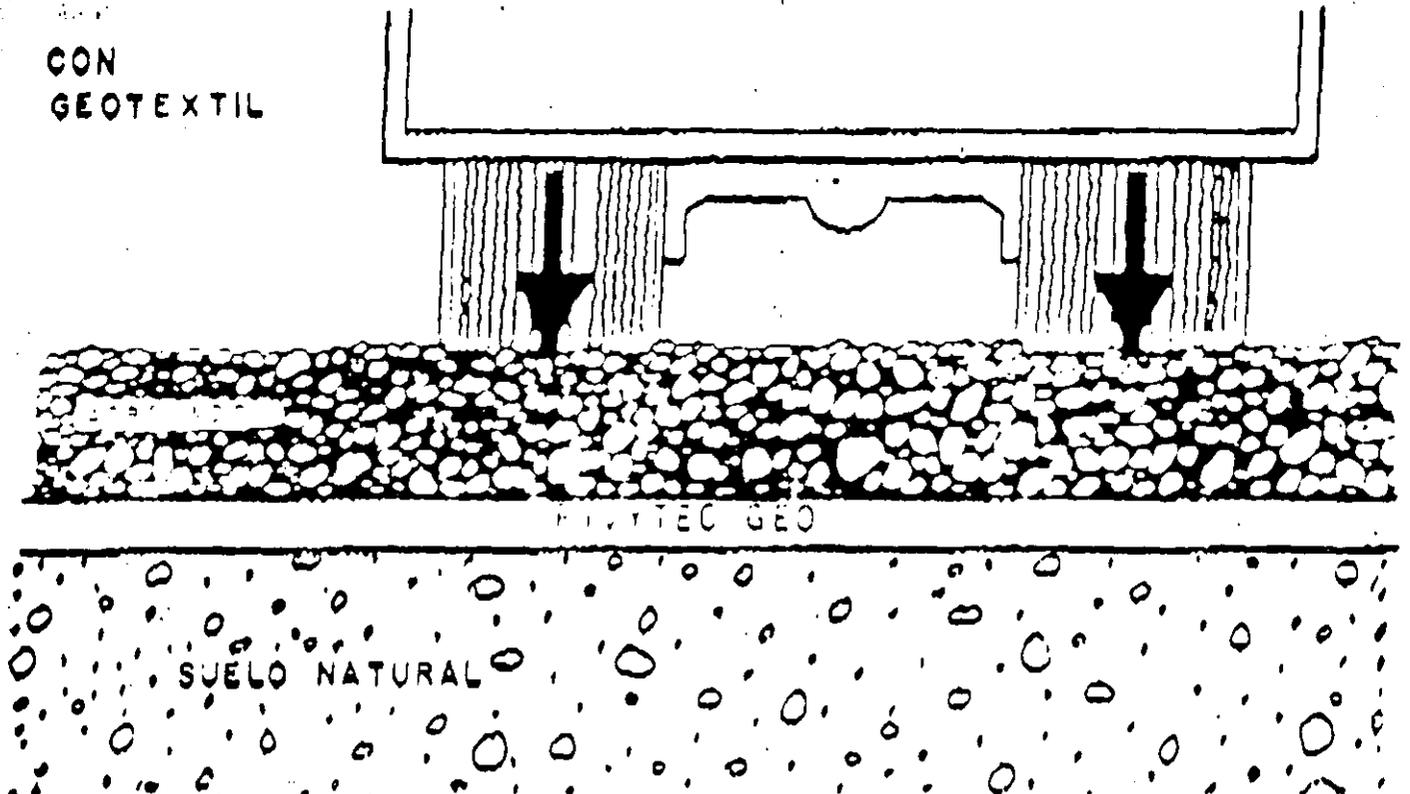
Colocado del material de relleno

La primera capa de relleno se coloca "por encima de la cabeza" de manera que no se transite directamente sobre el geotextil. En seguida se esparce el material pudiendo para ello utilizarse retroexcavadoras. El tránsito de vehículos de la obra debe proceder una vez colocada y compactada la capa mínima (40 cm).

SIN
GEOTEXTIL



CON
GEOTEXTIL



USO DEL GEOTEXTIL EN CARRETERAS REVESTIDAS

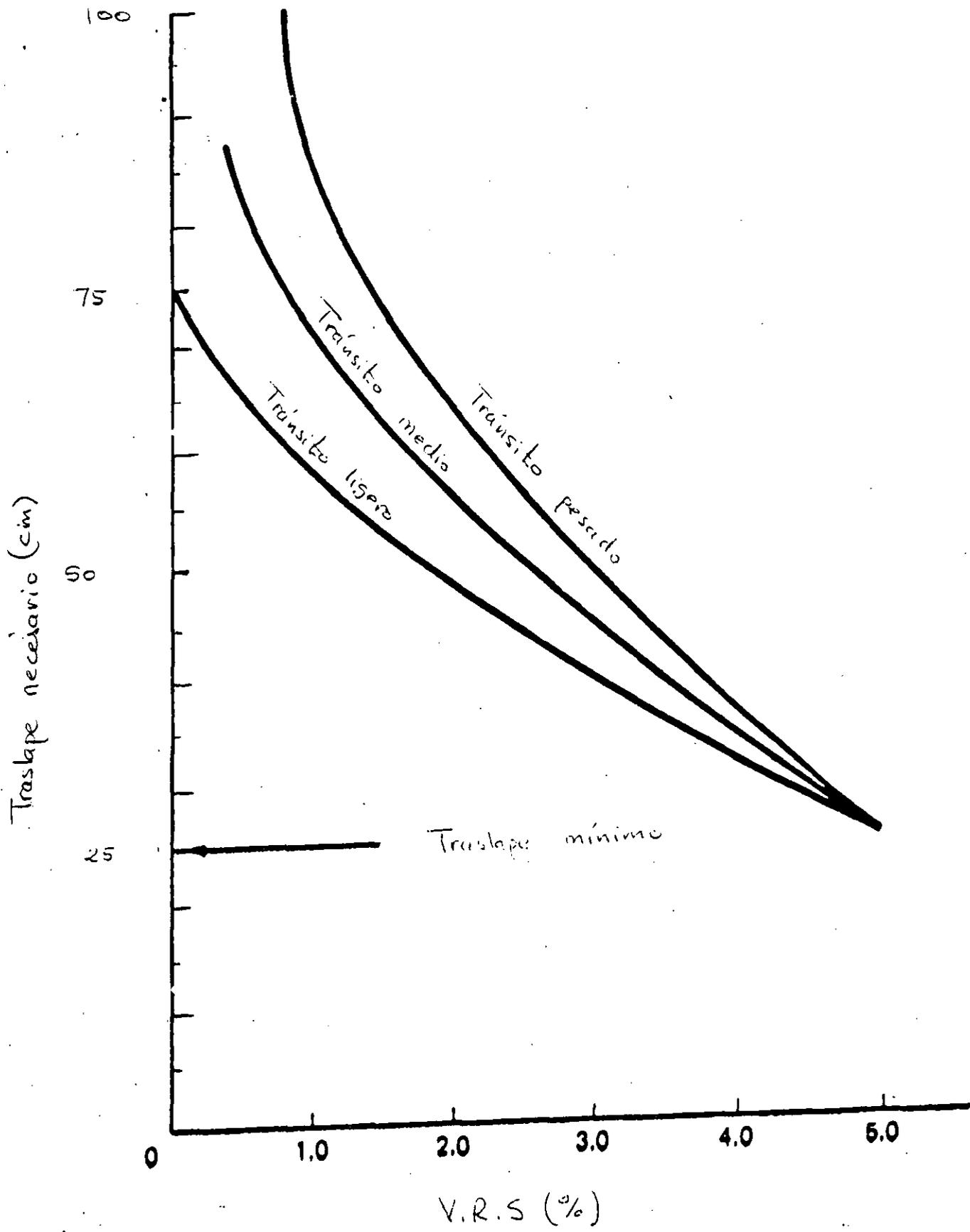
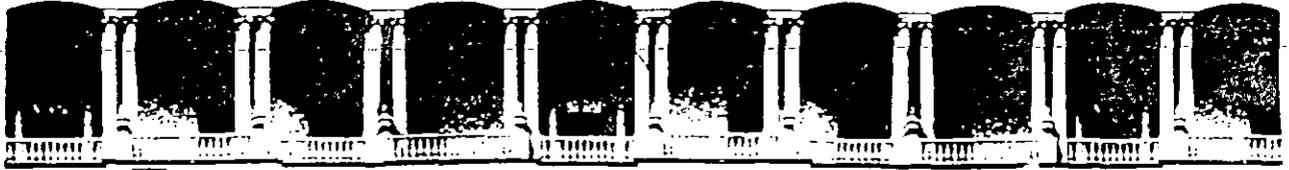


Tabla de traslapes, en función del VRS, para caminos de terracerías.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

GEOTEXTILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS

**USO DE LOS GEOSINTETICOS EN LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS
SOLIDOS**

**DR. RAFAEL MORALES Y MONROY
ING. ESTEBAN OVIEDO HERNANDEZ**

USO DE LOS GEOSINTETICOS EN LA DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS SOLIDOS

- * Dr. Rafael Morales y Monrov.
- ** Ing. Esteban Oviedo Hernández.

1. Introducción

En la búsqueda de sitios para la disposición final de los residuos sólidos, de nuevas técnicas constructivas y de nuevos materiales para su construcción, que conjunten la armonía entre lo económico, seguridad, funcionalidad, el aspecto técnico y que contribuyan principalmente al mejoramiento del medio ambiente o bien a evitar su contaminación, se encuentran los geosintéticos, que presentan una gran gama de productos que reúnen las cualidades antes mencionadas y proporcionan una alternativa más a las contempladas tradicionalmente.

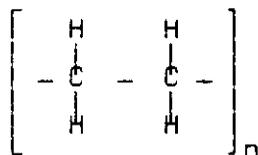
El uso de los geosintéticos ha cobrado una gran importancia durante la última década, dentro de todas las ramas de la ingeniería, y no solamente en el extranjero sino también en México.

A continuación se presenta un panorama general de las características de los geosintéticos y su versatilidad dentro de la Ingeniería, enfocándose principalmente a la utilización de estos productos dentro de la Ingeniería Ambiental, y más propiamente en la disposición final de los residuos sólidos.

2. Materiales con los que se fabrican las fibras sintéticas

La gran mayoría (más de 95%) de los materiales con que se producen las fibras sintéticas, están hechos de polímeros, por lo cual, a continuación se presenta un breve panorama de ellos.

La palabra polímero significa, literalmente, "hecho de muchas partes", o monómeros, en las cuales se repiten las diferentes unidades moleculares que forman una cadena. En el caso del polietileno, su cadena sería del tipo siguiente:



donde la n indica el número de veces que esta unidad se repite. El peso molecular del polímero es importante, ya que:

- a) Al aumentarlo se

- incrementa su resistencia
- incrementa su elongación
- incrementa su resistencia al impacto
- incrementa su resistencia al calor
- disminuye su tendencia a la fluencia
- disminuye su procesabilidad

b) Al reducir la distribución de su peso molecular, se

- incrementa su resistencia al impacto
- disminuye el fracturamiento por esfuerzo
- disminuye la tendencia a la fluencia y
- disminuye su procesabilidad

Las ligas entre las moléculas del polímero y sus cadenas son de una importancia fundamental, para entender su comportamiento. Estas ligas son del tipo de Van der Waals, formando dipolos, y a través de las ligas hidrógeno. Las ligas entre cadenas moleculares son más débiles y en ocasiones se refuerzan por medio de ligas covalentes, las cuales se pueden formar usando:

- monómeros con una valencia mayor que dos
- agentes químicos ("curados") y
- métodos de radiación nuclear

Este tipo de ligas son importantes, pues logran la diferencia entre dos tipos distintos de materiales: los termoplásticos y los termofijados.

Un polímero termoplástico es el que puede calentarse repetidamente hasta reblandecerlo y luego moldearlo o trabajarlo como a uno se le antoja, para que luego, al enfriarse conserve la última forma adoptada.

En un polímero termofijado, el proceso de calentamiento no puede ser repetitivo. Cualquier calentamiento adicional al original, solo conllevará a una degradación de dicho material. La clave del comportamiento de los materiales termofijados es esta liga covalente, adicional, que no existe en los materiales termoplásticos. Ejemplos de materiales termoplásticos son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliéster (PET) y de los termofijados sería los hules de nitrilo y de butilo.

Una clasificación de los geosintéticos, de acuerdo al material de que están formados, sería:

- Termosoldados
- Termoplásticos amorfos y
- Termoplásticos semicristalinos

Con todo lo anterior se puede conseguir, dentro del proceso de fabricación, el plastificar o cristalinizar un geotextil. El incremento en la "cristalinidad" de un geosintético, trae como consecuencia, el incremento de:

- dureza o rigidez
- resistencia al calor
- módulo de elasticidad
- resistencia a la tensión
- resistencia química

y al mismo tiempo, una disminución de:

- permeabilidad
- elongación o deformación a la falla
- flexibilidad
- resistencia al impacto
- resistencia al agrietamiento por esfuerzos.

A los distintos polímeros se les puede colocar aditivos, sólidos o líquidos, ya sea colorantes o absorbentes de rayos ultravioleta, biocidas, retardadores de inflamación, lubricantes, estabilizadores térmicos, etc. Las mezclas resultantes pueden ser homogéneas o heterogéneas, según la afinidad de los parámetros de solubilidad de aditivo hacia el polímero.

Los aditivos pueden ser granulares o fibrosos. Dentro de los primeros se puede mencionar a: carbonatos de calcio, negro de humo, esferas grano de vidrio y hojuelas; polvos y hojuelas metálicas, minerales silicatos, tales como las arcillas, talco y mica.

Dentro de los aditivos fibrosos, se pueden mencionar al: vidrio, carbón, grafito, celulosa, polímeros sintéticos (nylon), etc.

3. Variedad de fibras sintéticas

Los materiales geosintéticos se desenvuelven en seis grandes funciones: separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección e impermeabilización. El uso de los geosintéticos ha tenido dos metas: hacer el trabajo mejor (esto es, sin que se deterioren excesivamente los materiales o sin que se filtre excesivamente el lixiviado) y hacerlo más económicamente (con un menor costo inicial y con una mayor duración, reduciendo además los costos de mantenimiento).

La familia de los geosintéticos está compuesta por:

- Geotextiles
- Geomembranas
- Georredes
- Geomallas
- Geocompuestos

- Geo-otros

3.1 Geotextiles

Estos forman el grupo más amplio dentro de los geosintéticos. Su crecimiento y aceptación ha sido muy grande en los últimos cinco años, y son textiles, en el sentido tradicional de la palabra, pero fabricados de fibras sintéticas, en lugar de las tradicionales: algodón, lana o seda. Con esto se evita la biodegradación, pues están hechas de fibras sintéticas, porosas, tejidas o no tejidas, punzonadas. El mayor punto es que al ser porosas permiten una fácil circulación de agua y aire a través, y a lo largo de sí mismas, pero con diferentes permeabilidades.

Existen al menos 80 aplicaciones específicas para las cuales son aplicables los geotextiles, sin embargo, la fibra solamente trabajará en una de las seis funciones, ya mencionadas con anterioridad: 1) Separación, 2) Refuerzo, 3) Filtración, 4) Drenaje, 5) Impermeabilización (cuando se impregna con asfalto), 6) Protección.

3.2 Geomembranas

Forman el segundo grupo, en tamaño, de geosintéticos. Su crecimiento va directamente ligado a las normas establecidas por la EPA, Environmental Protection Agency, (Agencia de Protección al Medio Ambiente, U.S.A), en relación con la protección al medio ambiente. Son materiales impermeables, muy delgados, en forma de sábanas, de hule o de plástico generalmente HDPE (High Density Polyethylene), utilizados principalmente para cubrir instalaciones que contengan líquidos o sólidos. Su rango de aplicación, sin embargo, es muy grande y tienen al menos treinta aplicaciones diferentes, por sí mismas. Esto ha hecho que se desarrollen geomembranas para cada tipo específico de aplicación.

La mayoría de las geomembranas son negras debido al negro de humo que se les añade, para combatir los efectos nocivos de los rayos ultravioletas UV del sol.

Algunas geomembranas se refuerzan o protegen con geotextiles, para protegerlos de los esfuerzos de tensión y del punzonamiento.

En algunos casos, del deslizamiento de geomembranas colocadas sobre pendientes importantes, estas fueron solucionadas introduciéndoles una superficie rugosa o colocándolas sobre de una geomalla o sobre algún geotextil, que al mismo tiempo las protege del punzonamiento y las hace drenantes, además de permitir la salida de gases.

El mayor problema de las geomembranas se presentaba durante la colocación, ya que la mayoría de ellas, rígidas, deben de ser soldadas in-situ, sin embargo, ya existen algunas otras que pueden pegarse y sellarse por medio de cintas adhesivas que se

colocan in-situ y además pueden ser fabricadas a la medida, para llegar tan solo a la colocarlas en el lugar, ya que llegan a cubrir hasta 4.000 m² en una sola pieza.

3.3 Georredes

Representan un pequeño, pero fuertemente creciente capítulo dentro de los geosintéticos. Están formados por una red de plástico con aberturas muy grandes. Pueden estar orientadas de manera axial o biaxial, para mejorar las propiedades físicas. Tienen al menos unas 25 aplicaciones por sí mismas, y funcionan de dos maneras principales: separación (ocasionalmente) y refuerzo (generalmente).

3.4 Geomallas

Constituyen otro capítulo especializado de los geosintéticos. Están formados por una extrusión continua de costillas de polímeros, con ángulos agudos. Cuando estas costillas se encuentran separadas, se forman aberturas relativamente grandes, configurando una malla. Su principal función es la de drenaje.

3.5 Geocompuestos

Consisten en la combinación de dos o más geosintéticos: geotextil y georred; georred y geomembrana; geotextil, georred y geomembrana; o cualquier combinación de los anteriores con tubos, cables de acero, anclas, etc.

En esta área se ha manifestado ampliamente la creatividad de los ingenieros y constructores, de los fabricantes y de los diseñadores. Las mayores funciones engloban el rango total de funciones enlistadas anteriormente: separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección e impermeabilización. Van generalmente ligados con sus respectivas áreas de aplicación.

3.6 Clay-liners

Con este nombre se conoce a una "membrana" formada por dos capas de geotextiles que encierran a arcilla bentonítica, a manera de sandwich. Estos geocompuestos son muy útiles para los rellenos sanitarios y para obras en las que se requiera impermeabilizar fondos o paredes, como también podrían ser lagunas piscícolas o de oxidación. Su ventaja ante la bentonita o la arcilla natural se presenta sobre todo en su colocación, en donde se disminuyen los volúmenes de 50 ó 60 cm a 0.5 cm además de ahorrarse el difícil proceso de su colocación y compactación, lo que redundaría en ahorro de tiempo y dinero.

3.7 Geo-otros

El término Geo-otros podría descubrir, por sí mismo, su propia amplitud, pues abarca: anclas de polímeros, celdas para encapsulados de suelos, etc. Su principal función va relacionada

con el tipo de geosintético de que está formada, y realiza una de las cinco funciones primarias de los geosintéticos, ya mencionadas con anterioridad.

Existen otros productos que son ultraligeros, fotodegradables, es decir, se desintegran con la exposición al sol luego de haber cumplido con sus funciones. Permiten el crecimiento del pasto y evitan que se produzca la erosión del suelo en esa ladera o talud: minimizan los impactos del viento y la lluvia, protegiendo a la semilla contra el ataque de pájaros e insectos y contra las heladas, creando un efecto de invernadero.

Hay otros más que son biodegradables, fabricados de yute o de fibras naturales. Realizan las mismas funciones que los materiales sintéticos, pero finalmente, al paso del tiempo, se absorben e integran al habitat natural.

4. Los geosintéticos en rellenos Sanitarios

En sitios en donde se desea construir algún relleno sanitario y que no cumplan los requisitos de impermeabilización del subsuelo, debido a que éste sea de tipo aluvial, arenoso, granular, o que tenga posibilidades de agrietamientos por donde se produzcan infiltraciones de sus lixiviados hacia los acuíferos, deben de impermeabilizarse de manera artificial.

Existen varios sistemas. Uno de ellos es el uso de geomembranas (en las partes superior e inferior del Relleno Sanitario), las cuales son generalmente demasiado delgadas y débiles, por lo cual pueden dañarse con facilidad durante su colocación o al acumularse cargas en el lugar, por lo cual, la práctica ha demostrado la utilidad de reforzarlas adecuadamente por medio de la instalación conjunta con algún geotextil no tejido (non-woven), que protege a la membrana contra:

- punzonamiento
- tensiones debidas a cavidades o huecos
- desgaste

4.1 Parámetros de diseño

Los geotextiles y geomembranas, por sus características ya mencionadas, forman la pareja de materiales ideales para ser considerados en el diseño y construcción sitios destinados a la disposición de los residuos sólidos, por tal motivo es necesario conocer algunos de sus parámetros.

4.1.1 Resistencia química y biológica

Los geotextiles y geomembranas presentan una excelente resistencia a los álcalis y a los ácidos, variando entre el 2 y el 13 de la escala del pH, así como alta estabilidad dimensional. No se pudren con la humedad ni son atacados por hongos, resisten la abrasión, son indigeribles por los roedores, se adaptan perfectamente a las superficies y resisten altas temperaturas.

4.1.2 Resistencia Mecánica

Las características mecánicas más relevantes para el geotextil en la construcción de rellenos sanitarios y de desechos peligrosos son la resistencia al punzonamiento y al estallamiento. La resistencia a la tensión es de importancia secundaria. En el caso de las geomembranas, estas generalmente tienen el problema del punzonamiento, y por ello se requiere que vayan protegidas por alguna doble capa de geotextil.

4.1.3 Resistencia al punzonamiento.

La mayor cantidad de daños a las láminas impermeables (geomembranas) resultan del punzonamiento. Para proteger la geomembrana se recomienda utilizar geotextiles de polipropileno con un peso mayor que 250 gr/m².

4.1.4 Trasmisividad

Otra de las características de los geosintéticos (geotextiles, geomallas, geodrenes), es su gran trasmisividad, que puede ser tanto al agua como a los gases:

4.1.4.1 Trasmisividad al agua

Los geosintéticos pueden emplearse como capas drenantes en los siguientes casos:

- Entre membranas de una impermeabilización doble, para evacuar aguas de posibles perforaciones de la primera membrana.
- Entre membrana/suelo o membrana/material del depósito, para drenar agua proveniente del depósito y de la ladera.

La cantidad de agua por evacuar, para una trasmisividad dada, puede ser estimada por medio de la fórmula de Darcy.

4.1.4.2 Trasmisividad al aire o los gases

Los suelos orgánicos y la descomposición de los residuos del mismo origen, producen gases (principalmente metano), que es necesario evacuar al medio ambiente por las laderas y con ayuda de ventosas o respiraderos. El geotextil, las geomallas y los geodrenes, dada su alta permeabilidad ($k > 10 e^{-2}$) y porosidad (90%), facilitan el escape y la conducción de los gases.

5. Presencia de geosintéticos en el proceso constructivo

5.1 Impermeabilización del fondo de la celda:

Una vez construida la celda que va a almacenar los residuos sólidos, se procede a realizar la impermeabilización de la parte inferior, como se observa en la Fig.1. Esta podrá ser colocando una primera capa con geotextil cuya función es de proteger la capa de geomembrana de posibles punzonamientos de materiales con ángulos cortantes al degradarse y asentarse la basura. Se adapta en mejor forma a los asentamientos del relleno sanitario debido al bajo coeficiente de fricción entre geomembrana y geotextil. La capa inferior de geotextil sirve igualmente para evacuar a los gases que se formen en el interior del relleno, evitando con ello el "abolsamiento" de la membrana.

5.2 Impermeabilización superficial

8. Bibliografía

- Bertram, G. E., 1940. An experimental investigation of protective filters. Harvard University.
- Broms, B.B., 1977. "Triaxial tests with fabric-reinforced soil". Col. Inst. Soils Text. Paris, Vol.3.
- Christopher, R., Holtz D., 1984. Geotextile engineering manual.
- Giroud, J.P., Bonaparte R., 1993. Geosynthetics in dam rehabilitation. Geotechnical Special Publication. ASCE.
- Koerner R., 1990. Designing with geotextiles. 2nd Edition. Prentice Hall.
- Raumann, G., 1982. "Outdoor exposure tests on geotextiles". Proc. 2nd Int. Conf. Geotextiles. Las Vegas, NV., USA., IFAI.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. SMMS., 1990. Simposio sobre "Geosintéticos". México.

Una vez que se completó de llenar la celda, el depósito se cubre con un sistema de impermeabilización superficial para evitar la infiltración de precipitaciones pluviales y la posterior migración de sustancias tóxicas al agua subterránea Fig. 1. Esta podrá realizarse colocando una primera capa de geomembrana y encima de ella una capa de geotextil cuya función es proteger a la geomembrana contra daños que pueda ocasionar la colocación del material y el tránsito de vehículos de la obra.

6. Observaciones

La mayoría de las fallas en un sistema de impermeabilización son: las fallas por tensión debidas a los asentamientos producidos por la degradación de la propia basura y los ataques químicos. Las condiciones climáticas, el polvo, personal no calificado y equipo deficiente, son parámetros que influyen de manera importante.

El traslape de los rollos de geotextil varía de 30 a 100 cm, y no se recomienda unir los rollos (soldar o coser), pues esto impide que se lleven a cabo movimientos o asentamientos ocasionados por la descomposición propia de la basura.

7. Conclusiones y recomendaciones

El crecimiento de las fibras sintéticas ha sido explosivo y sorprende la facilidad con la cual ha sido adoptado en la ingeniería sanitaria y ambiental, y específicamente en la disposición final de los residuos sólidos y peligrosos.

Como se menciona la gran variedad de las fibras sintéticas que existen en el mercado y sus características hacen de estos productos una alternativa más en la rama ingenieril, pero no hay que olvidar que no existe normatividad ni datos técnicos en México, por tal motivo su utilización tiene que ser con mucha reserva y con la mejor información sobre el producto que se pretenda utilizar.

Las fibras sintéticas deben de ser tratadas como todos los otros materiales de construcción, como el acero o concreto; sus fortalezas y sus debilidades deben de conocerse para poderlos recomendar, sin embargo, no por ello deben de rechazarse de antemano, por no conocerlos sino al contrario, esto debe significarle a nuestros ingenieros un reto para adentrarse en este nuevo tipo de materiales.

El hacer "sandwiches" con geotextil, colocándolo por encima y por debajo de la geomembrana, presenta varias ventajas:

- permite coleccionar el biogás o evitar que se acumule en el interior del relleno.
- protege a la geomembrana contra punzonamientos.
- garantiza una superficie de trabajo plana, limpia y continua.
- cubre irregularidades en el subsuelo.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

GETEXTILES, GERREDES Y GEOMEMBRANAS

**CONSTRUCCION DE UN TRAMO CARRETERO SOBRE EL LAGO DE CUITZEO
Y SBRE UNA ZONA CON ACTIVIDAD GEOTERMICA**

DR. RAFAEL MORALES Y MOROY

CONSTRUCCION DE UN TRAMO CARRETERO SOBRE EL LAGO DE CUITZEO Y SOBRE UNA ZONA CON ACTIVIDAD GEOTERMICA.

Rafael Morales y Monroy, Gerente Técnico, PRIVIDE, S.A. de C.V.

RESUMEN. El tramo que aquí se describe es el de la carretera concesionada México-Guadalajara, tramo Morelia-Acámbaro. En él se describe el proceso constructivo seguido para atravesar parte del Lago de Cuitzeo, con un tirante de agua de casi 3 m y un subsuelo arcilloso muy compresible, de origen volcánico-lacustre, de más de 20 m de espesor, según los estudios de mecánica de suelos hechos en el lugar.

Se describe el proceso constructivo que se llevó a cabo para atravesar una serie de fumarolas y grietas con agua geotérmica en la zona conocida como Los Hervideros.

En ambos casos se trató de respetar en lo más posible el medio circundante, tratando de conservarlo íntegro sin que interfiriese con la realización de la obra.

1. INTRODUCCION

Al proyectar la carretera concesionada México-Guadalajara, se determinó que para el tramo Morelia-Acámbaro, entre los kilometrajes 209+090 y 219+700, el trazo pasaría sobre una parte del lago de Cuitzeo, donde se tiene un tirante de 3 m de altura, y se asume que el terreno donde se colocarán los terraplenes es un estrato de arcilla muy compresible de origen volcánico-lacustre de un espesor considerable, de más de 20 m. Además, la carretera también pasará por una serie de fumarolas y grietas con agua geotérmica que se conocen, como "Los Hervideros" (Fig. 1).

El proyecto geotécnico en el sub-tramo mencionado indicaba la construcción de dos cuerpos de 10.5 m de corona cada uno, contando éstos con una calzada de 7.00 m y acotamientos laterales de 1.00 m y 2.50 m interior y exterior, respectivamente, con una separación entre hombros de 10.0 m debiendo conservar la rasante igual en los cuerpos.

2. GEOLOGIA

La zona en estudio se localiza dentro del Eje Neovolcánico Transmexicano, que constituye una franja volcánica del Cenozoico Superior que cruza transversalmente a la República Mexicana a la altura del paralelo 20. Está formado por una gran variedad de rocas volcánicas que fueron emitidas a través de un importante número de aparatos volcánicos. La actividad volcánica ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos, lo que le da al paisaje geomorfológico una apariencia muy característica.

Los principales aparatos volcánicos que se localizan en esta provincia son estratovolcanes de dimensiones muy variables, todos ellos edificados por emisiones alternantes de productos piroclásticos y derrames lávicos. Existen, además, aparatos del tipo de conos cineríticos que son generalmente pequeños, y los aparatos dómicos riolíticos que se encuentran ubicados al suroeste de Guadalajara. Además de éstos tipos de emisiones hay evidencias de numerosas emisiones fisurales y de conos adventicios desarrollados en las laderas de los grandes estratovolcanes.

Las zonas contiguas del nor-occidente de Guerrero, Michoacán y estado de México, constituyen una región con alta complejidad estructural que presenta varios dominios tectónicos yuxtapuestos.

Al sur del Eje Neovolcánico aparecen distritos mineros de sulfuros hidrotermales a lo largo de una banda de orientación nor-noroeste-sur-sureste, en los estados de México, Guerrero y Michoacán. Estos yacimientos hidrotermales los atribuyen Campa y Ramírez (1979) al periodo finimiocénico contemporáneo de la combadura que afectó a las rocas premiocénicas. Existe otro grupo de yacimientos de sulfuros en esa región, cuyo origen ha sido atribuido a procesos volcanogénicos y que no guardan orientación preferencial, pero se encuentran asociados a las secuencias volcánico-sedimentarias del Jurásico Superior-Cretácico Inferior.

El Eje Neovolcánico Mexicano, dada su actividad ígnea contemporánea, cuenta con las principales manifestaciones termales, que están relacionadas con la actividad ígnea ácida; algunas de estas manifestaciones se localizan en las áreas de

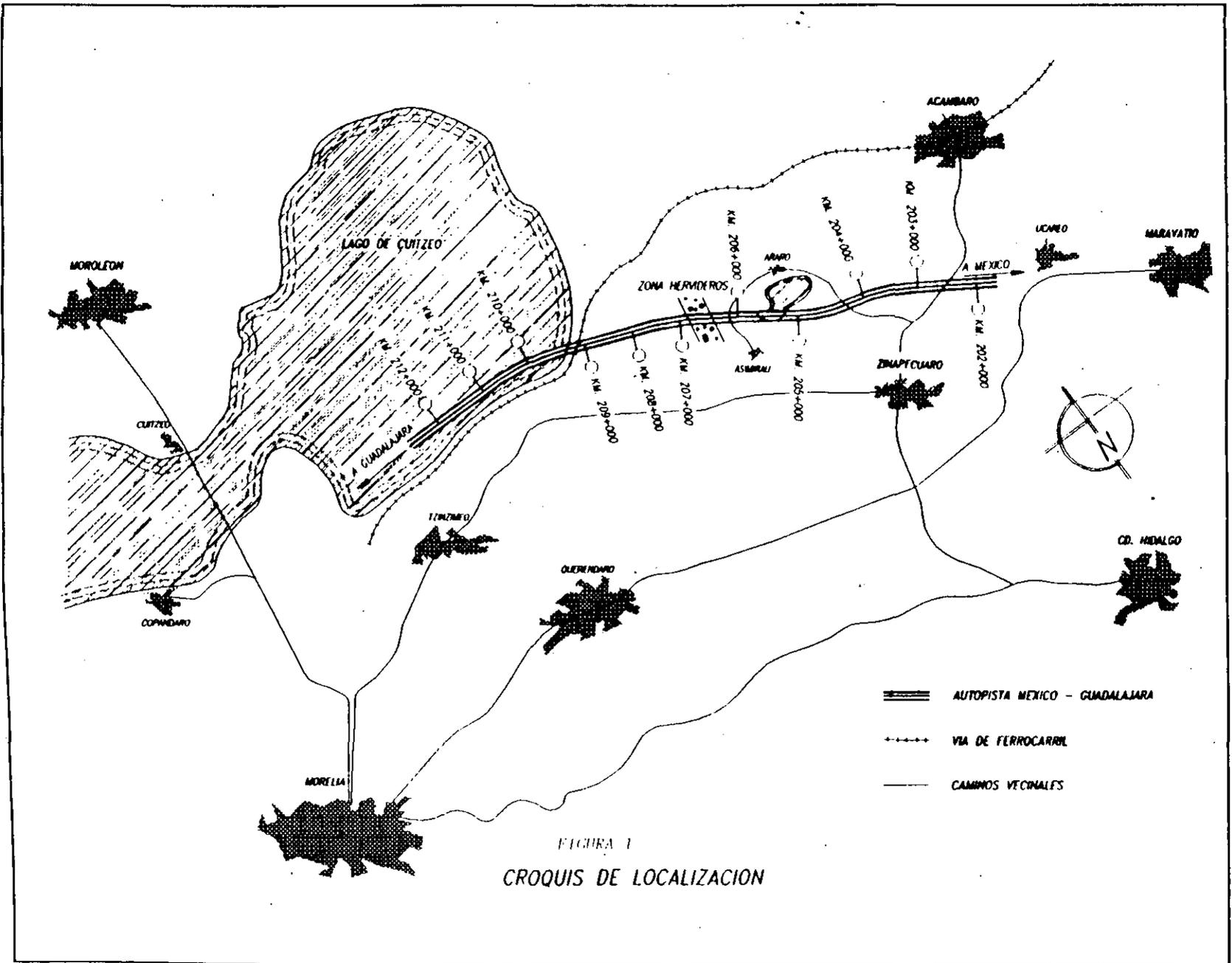


FIGURA 1
CROQUIS DE LOCALIZACION

La Primavera, Jalisco; Ixtlán de los Hervores, Negritos y La de Cuitzeo, en Michoacán; Los Humeros, Puebla; y San Bartolo de los Baños, Querétaro.

3. PROPIEDADES DEL SUBSUELO Y CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DEL LAGO

Basándose en las características de la zona, y en los estudios de mecánica de suelos, se ha determinado que el subsuelo del lago, donde se construirán los terraplenes de la carretera, está conformado por estratos de arcilla y limo muy compresibles hasta una profundidad mayor a 20 m de espesor, lo que debe tomarse en cuenta, debido a que por el peso de los terraplenes de la carretera, se podrían producir asentamientos muy importantes.

3.1. Estratigrafía en la zona del lago

Se hicieron 4 sondeos en la zona del Lago de Cuitzeo, en los kilometrajes 210+000, 218+000, 215+000, y 216+500, con el procedimiento de perforación mixta (tubo Shelby y de penetración estándar) (Plamarte, 1988).

3.1.1 Sondeo No. 1 (Km 210+000)

a) De 0.00m a 1.20m. Arcilla plástica de consistencia muy blanda, café grisácea, saturada, VRS de 0.5%, $q_c = 1 \text{ Ton/m}^2$.

b) De 1.20m a 2.40m. Arcilla limosa de consistencia blanda, plástica, café grisácea, saturada, VRS de 0.5%, $q_c = 1 \text{ Ton/m}^2$.

c) De 2.40m a 7.20m. Limo arcilloso con materia orgánica, blanda, de mediana plasticidad, café obscuro, húmedo.

d) 7.20m a 9.60m. Arcilla limosa de consistencia blanda y mediana plasticidad, café obscura, húmeda.

e) 9.60m a 11.80m. Limo arcilloso, de mediana plasticidad, de consistencia blanda, café obscuro, húmedo, con materia orgánica.

f) 11.80m a 13.00m. Arcilla plástica, poco limosa, de consistencia blanda, gris verdosa, húmeda.

g) 13.00m a 14.80m. Limo arcilloso de mediana plasticidad, de consistencia media, gris, húmedo.

h) 14.80m a 18.40m. Arcilla poco arenosa de media a alta plasticidad, de consistencia blanda, café y gris, húmeda.

i) 18.40m a 20.20m. Limo arcilloso de media plasticidad, de consistencia media, color café grisáceo.

NOTA: Se encontró un tirante de agua a 0.90m sobre el nivel del terreno.

3.1.2. Sondeo No. 2 (218+000)

a) 0.00m a 0.60m. Arcilla de media a alta plasticidad, de consistencia blanda, color grisáceo, saturada, VRS de 3.5%, $q_c = 2 \text{ Ton/m}^2$.

b) 0.60m a 4.95m. Limo arcilloso, de compacidad media, mediana plasticidad, gris verdoso, húmedo.

c) 4.95m a 6.95m. Arcilla limosa, de mediana plasticidad, de consistencia blanda, húmeda.

d) 6.95m a 9.95m. Limo poco arcilloso de baja plasticidad, de compacidad media, gris verdoso, húmedo.

NOTA: Se encontró un tirante de agua a 1.45 m sobre el nivel del terreno natural.

3.1.3. Sondeo No. 3 (215+000)

a) 0.00m a 3.20m. Arcilla poco limosa, de mediana plasticidad, de consistencia muy blanda, saturada, VRS de 1.5%, $q_c = 1 \text{ Ton/m}^2$.

b) 3.20m a 5.80m. Limo poco arcilloso, de baja plasticidad, de compacidad media a firme, café claro, húmedo.

c) 5.80m a 10.00m. Limo poco arenoso, de baja plasticidad, medianamente compacto, gris verdoso, húmedo.

NOTA: Se encontró un tirante de agua a 1.50m sobre el nivel del terreno natural.

3.1.4. Sondeo No. 4 (216+500)

a) 0.00m a 2.00m. Arcilla de media a alta plasticidad, de consistencia muy blanda, gris claro, saturada, VRS de 0.5%, $q_c = 1 \text{ Ton/m}^2$.

b) 2.00m a 5.80m. Arcilla limosa de mediana plasticidad, de consistencia blanda, café claro, húmeda.

c) 5.80m a 10.00m. Limo poco arenoso de baja plasticidad, de compacidad firme, gris claro y verdoso, húmedo.

NOTA: El NAF está a 1.50m sobre el nivel del terreno natural.

3.2. Características de la zona de "Los Hervideros"

Así mismo, la carretera cruza por "Los Hervideros", una zona en donde se observa un fuerte fenómeno de hidro-termalismo, producido por la actividad geotérmica tan marcada que presenta la zona. Se presentan distintos afloramientos de manantiales, producto de la fisuración y el fracturamiento de la roca basal, principalmente basaltos, aunados a la gran acumulación de agua en zonas bajas y en extintas calderas y cráteres volcánicos de la zona, lo que pone en contacto al agua superficial y a la subterránea.

con cajas magmáticas de altas temperaturas, lo que conlleva a que el agua hierva y tienda a emerger a la superficie en forma de vapor y en forma de borbotones, produciéndose, en ocasiones, el fenómeno de los géisers.

En el lugar se reportan aguas con temperaturas alrededor de los 130°C y otras, ya circulantes, con temperaturas diversas, hasta de 20° a 30°C, que se usan para baños termales y medicinales, y que, además, estas aguas son azufrosas y salobres.

4. PROCEDIMIENTO PROPUESTO PARA EL TRAMO DE LA CARRETERA QUE CRUZA SOBRE EL LAGO DE CUITZEO, SUBTRAMO DEL 209+090 AL 219+700

4.1. Proceso de formación de terraplenes

Se verificó la estratigrafía del suelo al momento de pilotear para la construcción de dos puentes dentro del terraplén sobre del Lago de Cuitzeo. Dichos pilotes fueron de fricción y se llevaron a una profundidad de 32 m.

Suponiéndose un VRS de 5% y una altura de terraplén variando entre 3.5 y 9.0 m de altura, se recomendaron geotextiles de 275 a 350 gr/m², los cuales deberían colocarse en el contacto con el terreno natural, aunque fuera por debajo del agua.

El procedimiento para la construcción del terraplén fue el siguiente:

1) Se extenderán los rollos de geotextil sobre el lago, sin remover la vegetación del lugar, y se coserán longitudinal y transversalmente, en estaciones de 20 m.

NOTA: El motivo por el que no se retirará la vegetación natural que se presenta en el lago, formada por manglares, es que al colocar el terraplén sobre ésta, actúa como un "geotextil natural" que ayudará al geotextil que se colocará hasta que el primero se descomponga, por lo que es más conveniente dejarlo.

2) Los rollos de geotextil se produjeron en un ancho uniforme de 4 m. Los tramos de geotextil se cortaron en tramos de 21m para posteriormente formar paneles de 16x21m, habiendo sido cortados y cosidos directamente en la planta.

En campo, se tendieron directamente sobre el agua (dada la baja densidad de los polímeros usados en la producción de los geotextiles, éstos flotaban), donde se unieron por medio de costura hasta formar tramos de 52 m de ancho por 21 m de largo.

El ancho de 52 m corresponde a la base del terraplén y a un sobre-ancho considerado para que pudiera deslizarse el geotextil al momento de la indentación del material.

3) Se transportaron los paneles de geotextil con ayuda de lanchas de remos hacia el centro del lago (debido a la presencia de plantas acuáticas, no era posible utilizar lanchas con motor fuera de borda, aunque se contaba con ellas), en donde fueron cosidos como ya se describió en el punto anterior.

4) Este proceso se repitió sucesivamente, llevando siempre una ventaja de 100 m mínimo a la formación de los terraplenes.

5) Sobre el geotextil, se procedía a "voltrear" material hasta cubrir todo el tirante de agua y "dar piso" a los equipos que estaban acomodando este material.

6) Posteriormente se procedió a construir las siguientes capas de la carretera (Fig. 2).

Previendo que los asentamientos que se producirán en este tramo de la carretera, se propone también un pavimento provisional que tendrá una duración aproximada de 2 temporadas de lluvias (para nuestro caso, 2 años), para que al tercer año se reacomode la sub-base hidráulica y se procederá a la construcción de la base y de la carpeta de concreto asfáltico.

4.2. Pavimento provisional

- 1) Sobre la sub-rasante, 0.30m de sub-base al 100% Porter.
- 2) Sobre sub-base terminada, seca y barrida, riego de impregnación Fm-1 a 1.4 l/m².
- 3) Carpeta de 2 riegos usando material pétreo #2 y 3-B, así como producto asfáltico FR-3 de acuerdo a:

PRIMER RIEGO	DOSIFICACION
Material pétreo # 2 FR - 3	8 - 12 l/m ² 0.8 - 1.5 l/m ²
SEGUNDO RIEGO	DOSIFICACION
Material pétreo 3-B Prod. Asf. FR-3	6 - 8 l/m ² 1.1 - 1.5 l/m ²

5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PROPUESTO PARA EL TRAMO DE LA CARRETERA QUE PASA POR LA ZONA CONOCIDA COMO "LOS HERVIDEROS"

La solución para atravesar esta zona, dadas las condiciones de hidromineralismo, de agua freática superficial, de alta corrosividad, de generación de vapores y otras, ya expuestas, se propone a continuación:

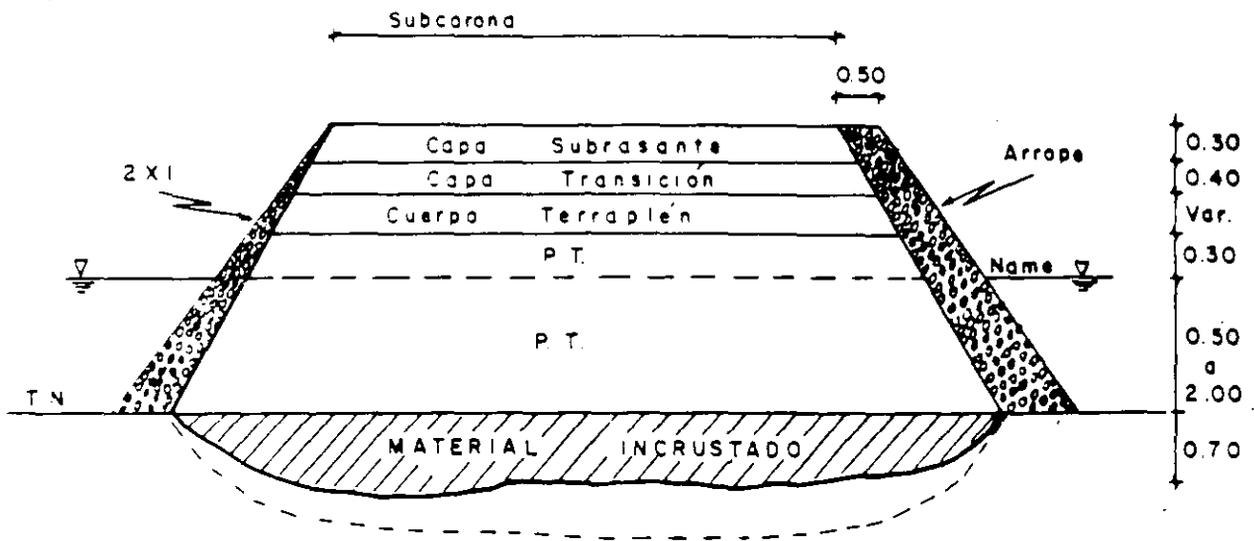


FIG 2

CARRETERA : MEXICO-GUADALAJARA (VIA CORTE)

T R A M O : MARAVATIO - COPANDARO

SUB TRAMO : DE KM. IG. 213+000 AT. 713+000 AD. A KM. IG. 721+047.35 AT. 220+560.00 AD.

O R I G E N : MEXICO, D.F.

Figura 2. Sección tipo en terraplen (Zona del Lago de Cuitzeo).

1) Se formará un terraplén, desplantando la subyacente sobre un geotextil de 450 gr/m², de poliéster.

2) Se harán sub-drenes con geotextil, los cuales deberán usarse en combinación con una capa rompedora de capilaridad, la cual también utilizará un geotextil, arriba del cual se comenzará a colocar la terracería.

La función del geotextil es la de separar las dos capas, la terracería y la rompedora, evitando de ésta manera que el material fino ocupe los huecos dejados en la capa rompedora, succionando por capilaridad el agua y anulando de esa manera su utilidad.

3) En la zona donde se encuentre brotando directamente uno de los hervideros, se hará una caja y después un lavadero, conformándole finalmente una alcantarilla cuadrada de casi 3 m de altura, que atravesará a la carretera de lado a lado, yendo a desembocar en un canal conductor que los lleva hasta los estanques de aprovechamiento.

Estas alcantarillas fueron de concreto reforzado, de alta resistencia, para tratar de minimizar los posibles efectos de la corrosión.

6. REFERENCIAS

1. SCT. Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Carreteras Federales. Dirección del Proyecto de Carreteras. Subdirección de Proyecto. Departamento de Proyecto Definitivo. Oficina de Proyecto Geotécnico. "Proyecto del Pavimento de la Carretera México-Guadalajara (Vía Corta), Tramo Maravatío-Entr. Morelia, Km 165+000 a Km 240+000".
2. Marsal y Mazari. "Presas de Tierra y Enrocamiento". Edit. LIMUSA.
3. Juárez Badillo, Rico Rodríguez. (1982). "Mecánica de Suelos". Edit. LIMUSA. Tomo I, México.
4. Koerner R., (1994). "Designing with geosynthetics". 3rd. Ed. Prentice-Hall.
5. Plamarte, S.A. de C.V., (XI/1988). Registros de Campo. sondeos 1 a 4.

Agradecimientos

El autor hace patente su agradecimiento al Ing. Salvador Mendoza, de DINFRA, S.A. y a sus colaboradores, por las atenciones de que fue objeto. Igualmente, se hace un reconocimiento a la ayuda prestada por el Ing. Juan Ignacio Ortíz Herrera, jefe de la Oficina de Geotecnia, S.C.T., D.G.C.F. para la elaboración de la presente ponencia.

ESTABILIZACION DE UNA CARRETERA SOBRE SUELOS PANTANOSOS CON AUXILIO DE GEOTEXILES

Rafael Morales y Inroy Gerente Técnico PIVIDE, S.A. de C.V.

RESUMEN. En este trabajo se presentan los trabajos realizados en la carretera concesionada Cosoleacaque-La Tinaja, en el Estado de Veracruz para su construcción sobre de unos suelos tipo turbas y arcillas de alta plasticidad, con espesores de más de 10 m de estratos compresibles y VRS menores o iguales a 1%. Se hace una descripción del ambiente pantanoso en donde se desarrollaron dichos tramos, su clima, su entorno ecológico, la limitación de materiales granulares, la solución empleada y sus ventajas en cuanto al ahorro de materiales pétreos, muy limitados, y su repercusión en el medio ambiente local. Se presentan adicionalmente el procedimiento constructivo, y algo de la problemática, la más relevante e informativa, que se suscitó en el lugar.

1. INTRODUCCION

Dentro del plan nacional de carreteras concesionadas, se procedió a la construcción de la carretera Cosoleacaque-Tinaja, en el estado de Veracruz. Esta carretera se desplantó sobre una serie de suelos blandos típicos de la zona costera de Veracruz, atravesando zonas más complicadas unas que otras. Entre el río Papaloapan y el poblado de Joachim, se encuentran los tramos más difíciles, los cuales fueron resueltos desplantando los terraplenes sobre geotextiles (Fig. 1 y 2).

En el cuerpo de este informe se presentan algunos de los tramos, los más problemáticos con algunos de los detalles y fallas que se observaron, así como algunas de las soluciones que se plantearon y los resultados que se obtuvieron:

2. MARCO GEOLOGICO Y TOPOGRAFICO

2.1 Geología

La zona en cuestión se encuentra enclavada en la costa oriental del país, en la puerta de entrada a la región sureste, sobre lomeríos suaves al pie de la Sierra Madre Oriental, pasando también sobre una llanura de inundación, entre los ríos Papaloapan y Hondo, así como por algunas colinas de tipo "lomerío suave", que corresponden geológicamente al plegamiento y erosión de la Plataforma de Córdoba, que desde aquí comienza a formar el Terreno Maya, en su sector de la Llanura Costera del Golfo, en una zona de las más pluviosas de la república, la Cuenca de Veracruz.

La Llanura Costera del Golfo, está formada por una gruesa secuencia marina de calizas areno-arcillosas que descansan sobre un basamento metamórfico constituido por esquistos, gneises y filitas. En su parte más superficial se han depositado turbas en estratos de una potencia variable.

La carretera en construcción sigue en algunos tramos la unión entre la Plataforma de Córdoba, emergida del fondo marino, y la Cuenca de Veracruz. La primera presenta lomeríos y desniveles, que han sido rellenados por material aluvial y vegetal, dando así lugar a pequeños pantanos en forma de cráteres, de diámetro variable.

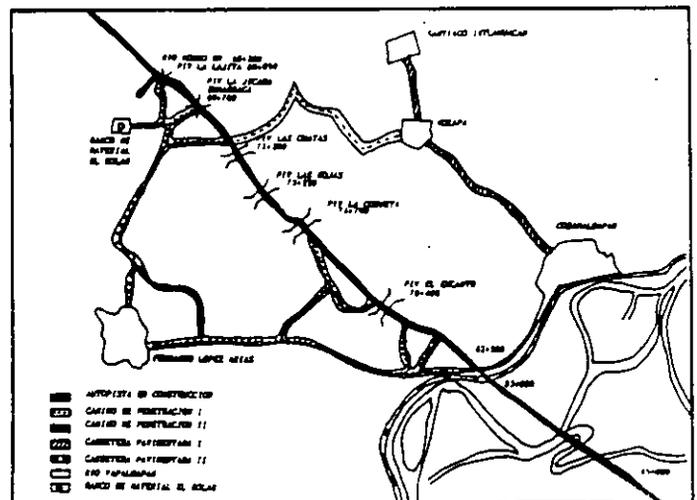


Figura 1

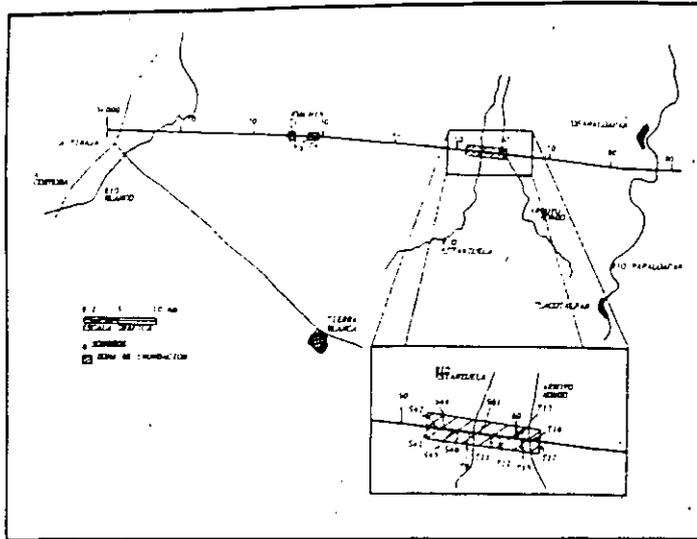


Figura 2

Hacia el Golfo de México se localiza la Llanura Costera del Golfo Sur, llanura de inundación formada por aluviones depositados de manera errática por los ríos del Golfo durante sus divagaciones y desbordamientos.

Está dominado por materiales finos producto de depositación en aguas tranquilas, con alternancias de materiales más gruesos. En ella se encuentran cauces temporales, meandros abandonados y grandes extensiones de aguas someras y de pantano.

Es importante señalar que estos rasgos son más marcados en el lado derecho que en el izquierdo del río Papaloapan. En algunos meandros se han formado playones que pueden servir como bancos de materiales.

2.2 Topografía de la zona

En general tiene una topografía de lomerío suave, como ya se mencionó con anterioridad.

Se forman valles, pequeños pero cerrados, lo que ha ocasionado que la gran cantidad de la zona haya acumulado lixiviados de todo tipo, incluyendo el arrastre de material vegetal, que ha sido acumulado a lo largo del tiempo creando zonas de pantanos y de marismas. Los ríos que alguna vez existieron y que drenaban la zona han quedado truncados al invertirse la pendiente, formando actualmente paleocauces con grandes extensiones de agua retenida y mucha materia orgánica.

2.3 Sísmica y tectónica

La zona en estudio está localizada dentro de una zona sísmica, que presenta eventos frecuentes, encontrándose muy próxima a la falla Clarión, que pasa por Tlacotalpan y en dirección hacia

el pico de Orizaba. Se tiene registrado a Cosamaloapan como epicentro de un sismo de magnitud 5.0 a menos de 60 km de profundidad.

Se ha observado que el efecto sísmico ha causado mayores daños en los terrenos blandos y pantanosos, así como en lugares ribereños, donde las avenidas de los ríos han depositado materiales de acarreo.

2.4 Condiciones hidráulicas e hidrológicas

El nivel freático es variable, de acuerdo a la topografía. En ocasiones coincide con el nivel del terreno, en ocasiones presenta un tirante de agua y en muchas otras se encuentra a unos cuantos centímetros por debajo de la superficie.

Las lluvias, que son muy comunes e intensas, fluyen hacia las zonas más bajas en donde, por no existir una pendiente adecuada, se estancan y pueden causar problemas a la carretera.

La condición crítica de estos suelos es cuando se saturan de agua, por ello debe hacerse notar la importancia que revisten los colectores, a nivel general, y los drenes y subdrenes, a nivel particular.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA OBSERVADA

3.1 Recorrido de campo

Con base en las observaciones realizadas in-situ, y luego de caminar por un tramo de fácil acceso, que en ese entonces se estaba trabajando, se observó que existían zonas de desigual tipo de terreno; se observaba diferente vegetación y diferente grado de humedad de los suelos.

Se observaron grandes zonas de turba, de negra a grisácea y verdosa en ocasiones. Se observaron igualmente suelos arenosos estratificados.

Se hizo también un recorrido, el más pesado, por una zona de lomerío suave que aún no ha sido atacada por las máquinas y se pudo constatar el cambio de consistencia de los terrenos de acuerdo a su posición topográfica:

- 1) Existen terrenos altos en donde es posible caminar sin problema, aunque, a decir de las gentes de ahí, en tiempo de lluvias se vuelven intransitables.
- 2) Hay terrenos denominados de "cultivo de arroz", los cuales son inundables. En estos terrenos costaba trabajo el caminar, aunque no estaban inundados.
- 3) Un tercer tipo de terreno era el "pantanosos", en donde se hundía fácilmente la bota, aunque aparentemente estaba seco y

contaba con vegetación. En ocasiones se hundía uno hasta la rodilla y en otras llegamos a hundirnos hasta la cintura.

4) En la zona de paleocauces y canales, el agua se encuentra represada y guarda tirantes de más de 2 m de altura. Estos lugares son fácilmente identificables pues presentan una tupida vegetación a base de árboles, y no solamente de matorrales, tuiles y pasto de gran altura, como el resto de los terrenos.

3.2 Informes del Laboratorio

Se platicó con gentes de un laboratorio de control de calidad, quienes comentaron que los VRS's de la zona son variables pero que en general fluctúan entre 3.5% y 0.5%, en condiciones saturadas. Se hizo notar la alta sensibilidad que tienen los suelos de la zona.

3.3 Km 82+500 al Km 85+000

En la zona comprendida entre los kilometrajes 82+500 a 85+000, vecina a Cosamaloapan (Fig. 1), se tienen contemplados dos pasos superiores: uno para librar la carretera actual entre Cd. Alemán y Tlacotalpan y el otro para librar el río Papaloapan.

Entre estos dos cadenamientos existe una zona de inundación, sobre de la que afloran principalmente materiales arcillosos, del tipo CH, color café oscuro, que indican una alta presencia de humus. Estos materiales presentan una gran sensibilidad y tixotropía, ya que cambian fuertemente sus propiedades de un estado seco a uno saturado.

La zona estaba plantada con caña de azúcar, cultivo predominante en esta región. Esta caña tiene raíces de tipo fibrosas, que se profundizan hasta 20 ó 30 cm, por lo cual el despalme que se está llevando a cabo se consideró adecuado.

Sobre de esta zona se pretenden levantar terraplenes hasta de 9 m de altura, que sirvan de acceso a los pasos superiores anteriormente mencionados. Esto, aunado a la baja resistencia de los terrenos en esa zona, cuyo VRS fluctúa entre 1.5 y 3.0, revelaba la necesidad de reforzar el terreno, ya que los terraplenes generarían descargas del orden de 15 Ton/m² y el suelo local escasamente resiste 1 Ton/m².

Para tal objeto se propuso mejorar el subsuelo con un geotextil de 350 g/m², que reforzara al subsuelo actuando como capa uniformizadora de cargas, tomando tensiones y haciendo que los hundimientos se redujeran mas no que desaparecieran, dada la cantidad de depósitos compresibles debajo de él.

3.4 Km 81+500 a 82+500

En esta zona, conocida como "El Palenque", el terreno mejora en comparación al terreno anterior, pero sigue siendo una zona

inundable. Presenta una zona de materiales malos ya que se forma una depresión que se ha rellenado por fenómenos naturales, con lixiviados de todo tipo, incluyendo el arrastre de material vegetal (Fig. 1).

En esta zona, en que los terraplenes serían de 1.5 a 2.0 m, se consideró que el refuerzo de las terracerías quedaría debidamente garantizado con un geotextil de 275 g/m².

3.5 Km 78+409; PIV El Encanto

En esta zona se observa poco terreno vegetal, subyacente por material impermeable, tipo humus, lo que vuelve a la zona inundable. Se aconsejó igualmente colocar un geotextil de 275 g/m² (Fig. 1).

3.6 Km 77+220 a 78+070

Esta zona es semejante a la anterior, presentando materiales arrastrados por el agua y depositados de manera tranquila durante la época de inundaciones, por lo que se nota también abundancia en materia orgánica. Al igual que el caso anterior, los terraplenes serán de 1.0 a 1.5 m, por lo que se considera que la estabilización de las terracerías pudiera mejorar colocando un geotextil de 275 g/m² (Fig. 1).

3.7 Km 73+600 a 74+200

Esta zona se encuentra ubicada entre los PIV's Las Hojas y La Corneta, habiéndola alcanzado por el lado de La Corneta, ya que del otro lado el acceso no era posible (Fig. 1). Está ubicada sobre de una depresión como las ya mencionadas, en extensión aproximada a 600 m de diámetro y con espesores de rellenos orgánicos importantes, aunque por su dificultad de acceso no se pudieron evaluar. Se sugirió la utilización de un geotextil más fuerte y espeso, de 400 g/m².

3.8 Km 72+100 a 73+600

Como continuación del tramo anterior, este tramo presenta problemas muy fuertes con el agua; se podría considerar como un tramo "intermedio", para el cual se consideró apropiado colocarle un geotextil de 350 g/m² (Fig. 1).

3.9 Km 71+840 a 72+100

Este tramo (Fig. 1) es también continuación de la problemática de los dos tramos anteriores pero con un terreno un poco menos malo, por lo que se le consideró apropiado colocarle un geotextil de 275 g/m².

3.10 Km 68+000 a 68+600

Este es el tramo del Río Hondo (Fig. 1), el cual también forma una zona de inundación a ambos lados de su cauce, con los

problemas inherentes a ello y que ha formado zonas de terreno malo, compresible y deformable. Para estos casos se consideró que un geotextil de 450 g/m² pudiera funcionar de manera eficaz.

3.11 Km 66+760 a 67+020

Estos terrenos son también parte de la zona inundable del río Hondo (Fig. 1), aunque además forman parte de la topografía y geología local, creando valles cerrados que almacenan el agua y lixiviados de origen aluvial, con almacenamiento de materia orgánica. En ellos se pudo mejorar su comportamiento con un geotextil de 275 g/m².

3.12 Km 60+380 a 61+620

Este tramo presenta nuevamente el aspecto de un pequeño valle cerrado (Fig. 2), una paleocuena, en donde se acumula el agua que no puede fluir, una zona de inundación, la cual ha sido rellenada por material producto de lixiviados y de arrastre, incluyendo materia orgánica. En este lugar se recomienda la utilización del geotextil de 375 a 400 g/m².

4. PRIMERAS RECOMENDACIONES

4.1 Sub-drenaje

Los sub-drenajes deben captar el agua desde la parte de afuera del camino y evitar que se generen sub-presiones, por lo que el filtro con que se propone que se rellenen deberá trabajar de manera eficiente, lo cual se logra desde su génesis, usando material adecuado y protegiéndolo con un geotextil.

La totalidad del subdrén deberá estar revestida por geotextil Pivytec-Geo 200, para evitar que el material granular grueso (tipo grava) se contamine con material fino, producto del arrastre del flujo del agua.

4.2 Uso de capa rompedora de capilaridad

Se recomienda cuando el NAF esté muy elevado, casi coincidente con la superficie del terreno, cercano a ella o a pocos centímetros por debajo.

Para su formación se utilizará un geotextil de 275 g/m², arriba del cual se comenzará a colocar la terracería.

Aquí la función del geotextil de 275 g/m² es la de separar las dos capas, la terracería y la rompedora, evitando de esta manera que el material fino ocupe los huecos dejados en la capa rompedora, succionando por capilaridad el agua y anulando de esa manera su utilidad.

4.3 Recomendaciones generales

En casos en que además de presentarse un NAF elevado, se tengan problemas de suelos blandos, con baja capacidad de

carga, se podrá utilizar una capa de geotextil de 350 g/m² en la superficie del terreno natural y una capa rompedora de capilaridad, actuando como capa separadora, evitando que la capa rompedora se incruste o se indente dentro del suelo blando sobre el cual quedará desplantada.

Sobre esa capa rompedora se colocará una segunda capa de geotextil de 275 g/m², con la finalidad descrita previamente en el inciso 4.2.

En los caminos de penetración, aunque vayan a ser provisionales, su estado de conservación es de mucha importancia, ya que permite la fácil circulación de los vehículos, evitando retrasos, mayor gasto de combustible y aumenta la eficiencia en la construcción. Esto también puede lograrse con la inclusión de los geotextiles, ya que refuerzan las terracerías, evitan la acumulación de agua en exceso y la pérdida de compacidad en las mismas.

Al comenzar a funcionar, las terracerías se deforman y deforman al geotextil, que en ese preciso momento comienza a trabajar. Luego de ello deberá de nivelarse y, con el geotextil ya deformado y reforzando la terracería, el comportamiento de ella se hace eficaz y duradero.

5. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA LA ESTABILIZACION

1) En general se deberá procurar evitar abrir cajas, ya que se destruye la capa superficial del terreno, que generalmente está menos húmeda que las subyacentes y por ende, tiene un mejor comportamiento, además de que no se remoldea.

2) Tampoco se removerá la capa vegetal, a menos de que sea demasiado grande. Se conservarán los pastos y plantas, a menos que ya constituyan un arbusto o que sean pastos muy grandes o tules (Fig. 3). El objeto de conservarlos es que ellos mismos "arman" el subsuelo y le sirven como un geotextil natural, con el defecto de que se descomponen a lo largo del tiempo, pero ahí, es donde comienza a trabajar el geotextil, en el refuerzo de dicho subsuelo.

3) Se colocará el geotextil de 350 g/m² directamente sobre el suelo existente.

4) Se le "volteará" material para terraplenarlo directamente, en capas de un máximo de 30 cm, compactadas al 90% de su P.V.S.M., hasta llegar a un nivel mayor al del NAME local, en al menos un metro.

5) A ese nivel se le colocará un geotextil de 200 g/m² y sobre él se extenderá una capa rompedora, a base de grava sin finos, la cual se volverá cubrir con otro geotextil de 200 g/m². Esto para evitar las incrustaciones del filtro en el terrapién y de la sub-base en el filtro.

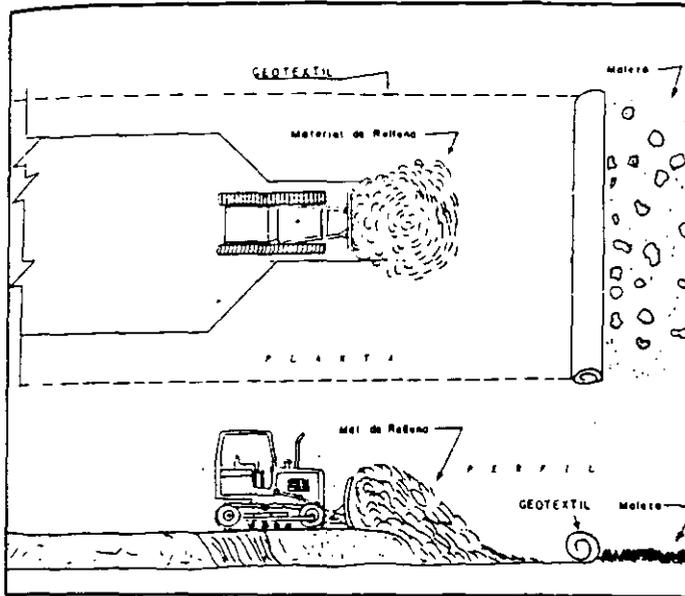


Figura 3

A manera de alternativa, dado que no es fácil tener a mano material para filtro, se recomienda usar un geotextil de 140 g/m² e impregnarlo con un riego de impregnación a razón de 1 l/m².

6) Por encima del geotextil se extenderá el material de sub-base, luego la base y por último la carpeta asfáltica, como se encuentra ya diseñada.

Nota: Si se quisiera alargar la vida de la carpeta asfáltica, se recomendaría colocar también el geotextil Pivytec-Geo 140P de 140 g/m² entre la base y la carpeta, luego del riego de impregnación.

6. PRIMERAS CONCLUSIONES

1. Para poder precisar las recomendaciones que se mencionaron, debió haber sido indispensable contar con un estudio de mecánica de suelos que incluyera, entre otros: tipos de suelo, VRS's, estratigrafía, compresibilidad, hundimientos esperados, etc.

2. El empleo de los geotextiles, tanto en los sub-drenes como en la capa rompedora y en la estabilización de los suelos, resulta indispensable.

3. En los caminos de penetración, la inclusión de los geotextiles permitirá el refuerzo de las terracerías, evitando la acumulación de agua en exceso y la pérdida de compacidad en las mismas (Fig. 1).

4. El tipo de geotextil no puede ser uniforme; sus características deben variar de acuerdo a la altura del terraplén (descarga), y al espesor y a la resistencia del subsuelo local.

7. ESTABILIZACION DE LOS TERRAPLES EN EL TRAMO DE RIO HONDO, KM 54+000 A 60+000

Dándole seguimiento a la obra y a su problemática, se nos informó tener problemas en un tramo de 6 km, aproximadamente. Ante tal situación, se visitó el tramo carretero comprendido entre los ríos Hondo y Estanzuela, en donde se localizan las fallas.

Con esta visita al sitio, complementada con antecedentes geológicos, estratigráficos y de mecánica de suelos que nos fueron proporcionados, así como con otros obtenidos de investigación bibliográfica y documental, y con la ayuda de programas de cómputo y cálculos, se llegó a determinar las causas probables de las fallas y se propuso, en consecuencia, una mecánica de reconstrucción.

7.1 Estratigrafía

Se usó la proporcionada por la compañía consultora de mecánica de suelos (Geotec, 1992), la cual se muestra en la Fig. 4, 5.1, 5.2 y 6.

52+600 a 53+800

Se observa una pequeña depresión en la cual se represa el agua y se ha acumulado gran cantidad de materia orgánica, como se observa en el perfil de la Fig. 4. Esta acumulación de turba es mayor en el centro, alcanzando los 8 m de espesor. Hacia el kilometraje 53+800 se mejoran las condiciones, observándose material más arenoso y firme.

54+300 a 54+700

Los suelos se reblandecen de nuevo y se observa otra vez gran cantidad de materia orgánica, en espesores hasta de 7m, subyacidos por arcilla firme, algo arenosa.

55+000 a 56+000

No se reportan valores ni perfiles estratigráficos. Se desconoce el tipo de material y se ignora si se haya realizado exploración en el sitio.

56+000 a 59+300

Este tramo se inicia de manera aceptable, con 2 m de arcillas muy compresibles que, al acercarse al río Estanzuela se profundizan de manera abrupta a más de 15 m de espesor, conservándose con estos espesores hasta al menos el Km

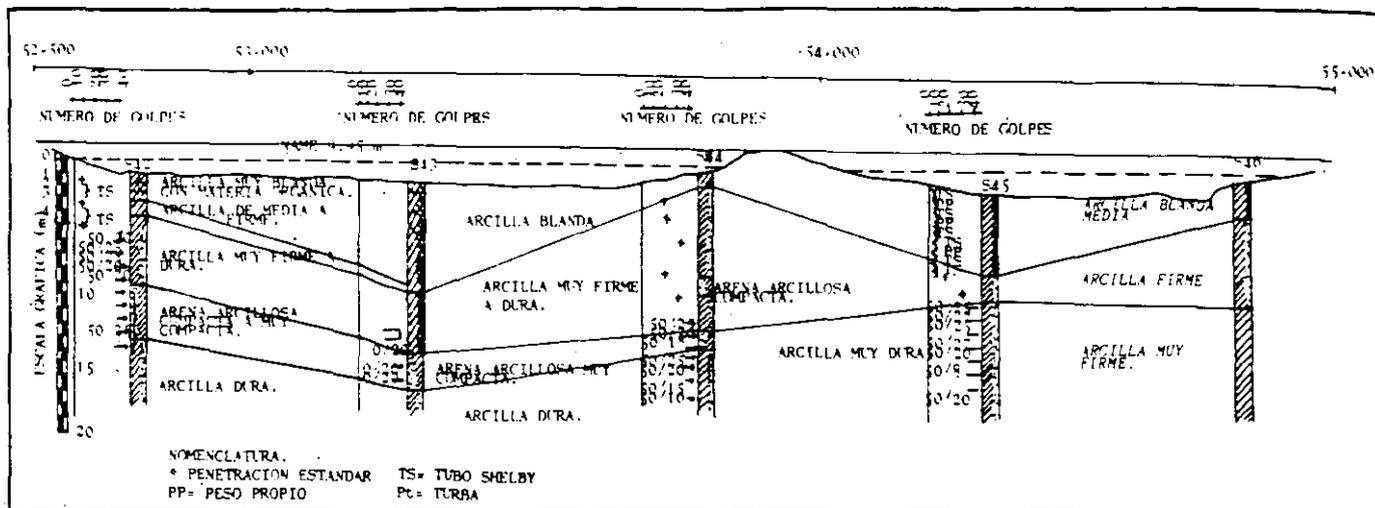


Figura 4. Perfil estratigráfico de la zona de inundación Km 52+500 al 55+000

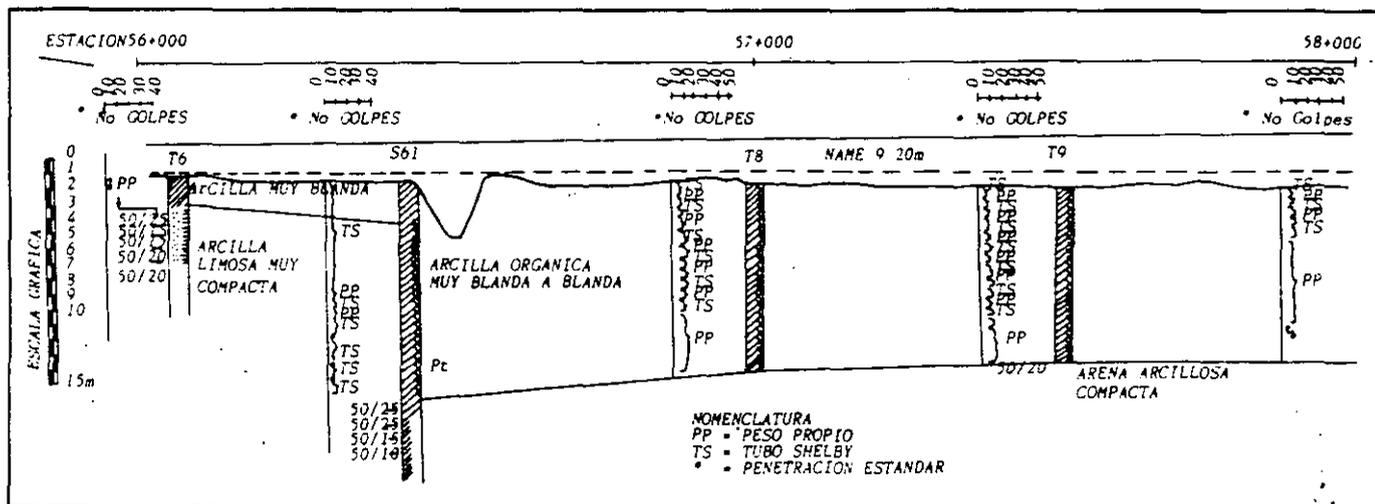


Figura 5.1. Perfil estratigráfico de la zona de inundación Km 56+000 al 58+000

57+000. De ahí en adelante comienzan a reducirse los espesores de arcillas orgánicas hasta 6 m, en el km 58+700 y a solo 3 m en el 59+300 (Figs. 5.1 y 5.2). Esta zona, y la que se describe a continuación, son las más difíciles de todo el camino.

59+800 a 61+680

Este tramo también presenta el aspecto de un pequeño valle cerrado, una paleocuenca, en donde se acumula el agua que no puede fluir, una zona de inundación, la cual ha sido rellenada con material producto de lixiviados y de arrastre, incluyendo gran cantidad de

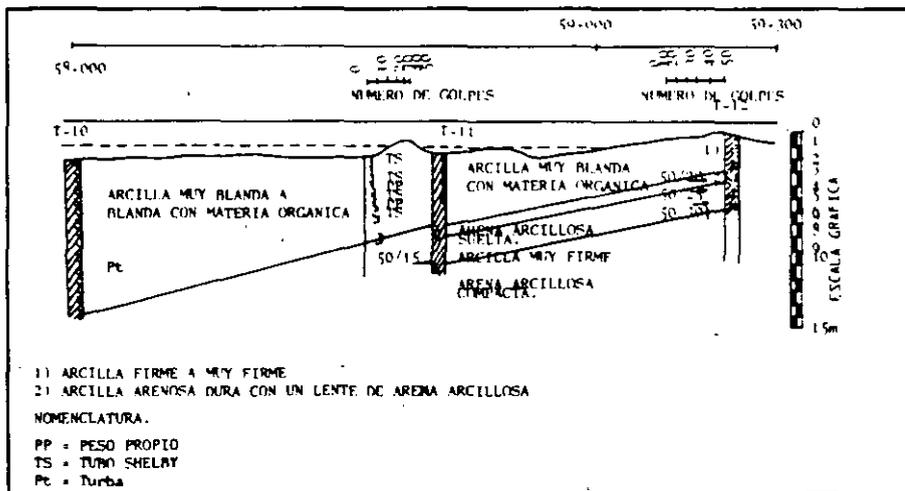


Figura 5.2. Perfil estratigráfico de la zona de inundación Km 58+000 al 59+300

materia orgánica, que alcanza espesores mayores a los 10 m. Los estratos orgánicos se adelgazan hacia el 61+680, en donde ya no se observan, aunque son sustituidos por arcilla de muy blanda a muy dura (Fig. 6). La zona álgida se podría considerar entre el 59+800 y el 61+400.

7.2. Análisis de las fallas

Para estar seguros del fenómeno que se estaba presentando en el sitio, se supusieron distintos círculos de falla hasta llegar al más crítico. El análisis fue realizado por el método de las dovelas, ya que se trata de dos materiales distintos, el del cuerpo del terraplén y el subsuelo de cimentación.

El Factor de Seguridad F.S. mínimo encontrado fue de 1.93, que se considera aceptable. Esto sin considerar la presencia del geotextil, que obviamente incrementa dicho factor de seguridad y modifica la superficie de falla.

Al compararse los resultados con los presentados por la empresa consultora de mecánica de suelos que realizó el estudio, se observó una coincidencia de resultados.

De lo anterior se desprende que la falla no pudo ser "de talud", aunque sí pudo haberse iniciado como tal, sin embargo, extraña que se presentara tanto tiempo después de terminado el terraplén, ya que su condición crítica, como lo indican Bjerrum, Skempton y muchos otros autores, se presenta al inicio de la carga o durante el proceso de construcción.

7.3 Capacidad de carga

Se revisó por capacidad de carga, siguiendo el criterio de Skempton, para cimientos superficiales dentro o sobre terrenos arcillosos:

$$q_c = c.N_c + \delta D_f N_q$$

En este caso la profundidad de desplante D_f se consideró superficial, sobre el terreno natural, por lo que $D_f = D = 0$, con lo que la capacidad de carga crítica que pudiera soportar ese suelo sería:

$$q_c = 5.14 \text{ Ton/m}^2$$

Si se considera un peso volumétrico $\delta = 1.6 \text{ Ton/m}^3$ al material compactado que conforma el cuerpo del terraplén, entonces:

Calculo de la altura crítica para la altura del talud por capacidad de carga de suelo

H(m)	δ (Ton/m ³)	$\sigma = \delta \cdot H$	q_c (Ton/m ²)	F.S.
1	1.60	1.60	5.14	3.21
2	1.60	3.20	5.14	1.61
2.50	1.60	4	5.14	1.29
3	1.60	4.80	5.14	1.07
3.25	1.60	5.20	5.14	0.99 LIM.
3.50	1.60	5.60	5.14	0.9 FALLA
4	1.60	6.40	5.14	0.8 FALLA

7.4 Drenes Verticales

Al haberse colocado una sobrecarga tan importante, como es la del terraplén sobre un suelo saturado y altamente compresible, se generan presiones de poro en exceso, iniciándose con ello la

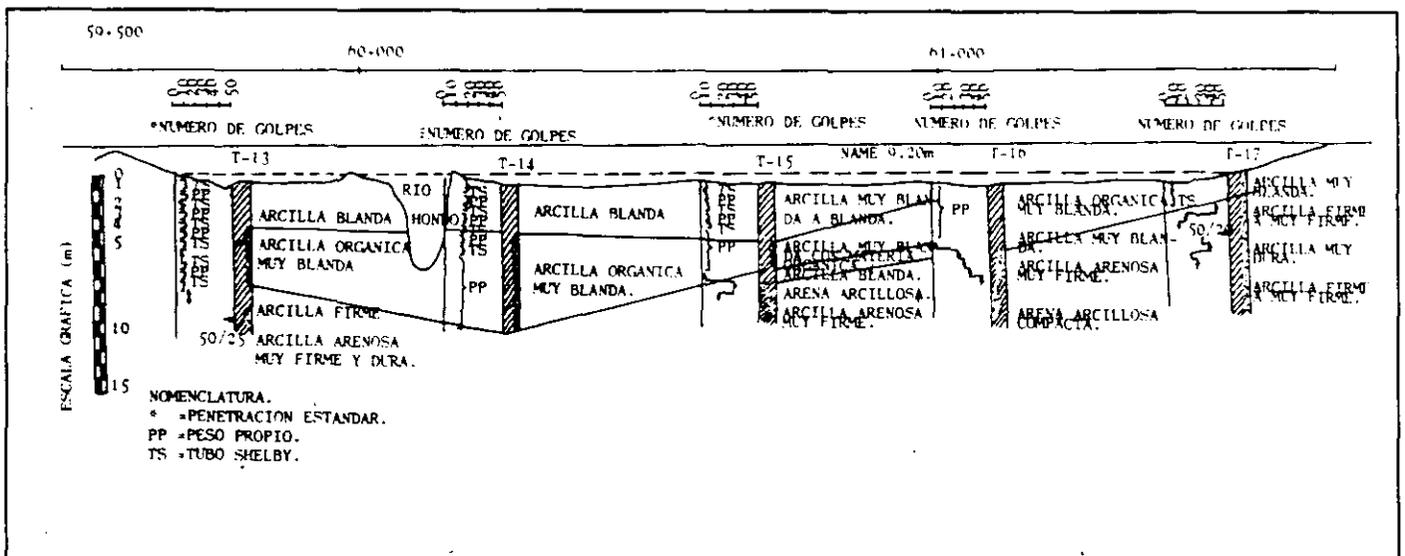


Figura 6. Perfil estratigráfico de la zona de inundación Km 58+000 al 59+300

consiguiente reducción de esfuerzos efectivos, de acuerdo con ese principio:

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

donde:

σ' = esfuerzos efectivos

σ = esfuerzos totales

μ = presiones de poro

Estos esfuerzos efectivos influyen de manera directa sobre la resistencia al esfuerzo cortante, por ello se observa necesario eliminar las presiones de poro en exceso, ya que, en nuestra opinión, fueron las causantes de las fallas, ya que no pudieron eliminarse a medida que se fueran produciendo, debido a la baja permeabilidad del subsuelo. Para disminuir el riesgo de nuevas fallas sería recomendable la colocación de drenes verticales que permitan la disipación de las presiones de poro, aunque, a cambio de ello, inducirán una consolidación más rápida de los terrenos, misma que se traducirá en asentamientos en la corona.

7.4.1 Drenes con tubo de PVC, con geotextil y con arena o grava limpia

La colocación de drenes verticales con tubos de PVC y con geotextil se justifica debido a la mayor complicación en la colocación y fabricación de los drenes de arena. Las ventajas de éstos drenes son:

- * Fabricación más simple y más rápida.
- * Menor utilización de material (no es necesario un filtro de arena, sobretodo donde es escasa o no se encuentra).

7.4.2 Construcción de los drenes

- 1) Perforación de los pozos. Estos podrán realizarse con posteadora o con barreno helicoidal.
- 2) Introducción del tubo de PVC.
- 3) Introducción de la bolsa de geotextil de 140 g/m².
- 4) Colocación de la capa drenante interior y exterior a base de grava de 1/2 a 3/4"; el material debe presentar una permeabilidad suficiente para la evacuación de agua.

7.4.3 Cálculo de los drenes verticales

Se calcularon los drenes de 4" de diámetro para las condiciones de campo, obteniéndose que se requerían drenes de 3m de largo, con una separación de 3m entre sí. Esto producirá asentamientos del orden 1.18 m. Se calculó que el tiempo en que el terreno alcanzaría un grado de consolidación del 70% sería de 35 meses.

7.5 Discusión de resultados y observaciones

Al sobrevolar la zona se observan depresiones, características de las dolinas y de las zonas kársticas, que subyacen a las turbas de la región. Este tipo de formaciones deben esconder, de la misma manera, paleocauces sepultados por material orgánico y aluvial, que en época de lluvias presenta flujo de agua, el cual pudo ser el origen de la pérdida del precario equilibrio alcanzado por los terraplenes.

Por otra parte y luego de los análisis mostrados en incisos anteriores, se observa que las fallas no pudieron haber sido del tipo estabilidad de taludes; corresponden preferentemente a la forma de una falla local, por capacidad de carga (Juárez & Rico, 1980).

Esta falla, y la de talud, fue atenuada por la presencia del geotextil colocado en el contacto entre el subsuelo natural y el terraplén, creándole un precario equilibrio, el cual fue sobrepasado por el peso del terraplén.

Lo extraño del caso es que no hubiera fallado de inmediato, que es la condición crítica, como lo señala Bjerrum en un documento ya clásico. Esto se explica debido a que las presiones de poro generadas no tuvieron manera de disiparse debido a la textura de la turba. Sin embargo, al existir nuevo flujo de agua en el interior (inicio de la temporada de lluvias en las montañas vecinas y aumento de presiones de poro de manera local), se abrieron canales que comenzaron a fallar de manera progresiva, causando las fallas ya señaladas.

8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Observaciones

1. Para poder emitir las recomendaciones que a continuación se mencionan, se contó con un perfil estratigráfico de los suelos, aunque no con todas las propiedades que hubieran podido desearse, por lo cual, algunos valores se supusieron en base a la experiencia en la zona y la propia del personal que realizó las recomendaciones.
2. Las fallas que se presentan son por falta de capacidad de carga del estrato de apoyo.
3. Los métodos correctivos que se le podían aplicar fueron:

3.1 Bermas laterales, con una altura de 2.5 m de altura y un ancho, deseado, de al menos 10.5m y mejor aún de 15 m, aunque esto parece imposible debido a las limitaciones del derecho de vía.

3.2 Bajar el nivel de la rasante actual, sobre todo en las zonas más elevadas.

3.3 Uso de pilotes que atraviesen el plano de falla, que en este caso no se considere que esté muy profundo (aproximadamente 3m por debajo del nivel del terreno natural) y que "armen" el suelo subyacente.

3.4 Uso de drenes de arena y/o grava, empacados en bolsas de geotextil, que le sirva de filtro. Estos drenes podrían mejorar su funcionamiento colocándolos dentro de tubos de PVC perforados, pudiendo actuar además como pilotes.

3.5 Separar los cuerpos de la carretera en las zonas en donde se hizo uno solo, ya que eso aumenta el bulbo de esfuerzos y con ello la profundidad y longitud de la afectación.

3.6 Aligerar el peso de los terraplenes mediante el uso de escoria volcánica (tezontle).

8.2 Proposiciones

De todas las propuestas anteriores, la sexta opción fue la mejor calificada y la aceptada finalmente por la SCT.

Respecto a esta opción, que a la fecha de escribir este artículo ya se estaba llevando a cabo, nos permitimos hacerle las siguientes adiciones y proposiciones, que se consideraron que podrían resultar complementarias al proceso constructivo actual:

1. Construirle bermas laterales, no mayores a 2.5 m de altura, con el mayor ancho posible.
2. Reconstruir el terraplén con tezontle.

8.3 Recomendaciones

1. Construcción de bermas laterales

Abrir caja hasta un metro por arriba del terreno natural. El material producto de dicha excavación será volteado y compactado lateralmente sobre de un geotextil Pivytec-Geo 275 que servirá como separador y como refuerzo para evitar que se indente dentro del terreno natural (Fig. 7).

El ancho de la berma será hasta donde el derecho de vía lo permita, dejando el geotextil 1.5 m más largo que este ancho, para poder arroparlo 1m, cubriendo capas de 0.5 m de espesor.

Se colocarán bermas 1.0m menores que la altura del terraplén del camino, con un máximo de 2.5 m. El número de capas para formar una berma será múltiplo de 0.5m:

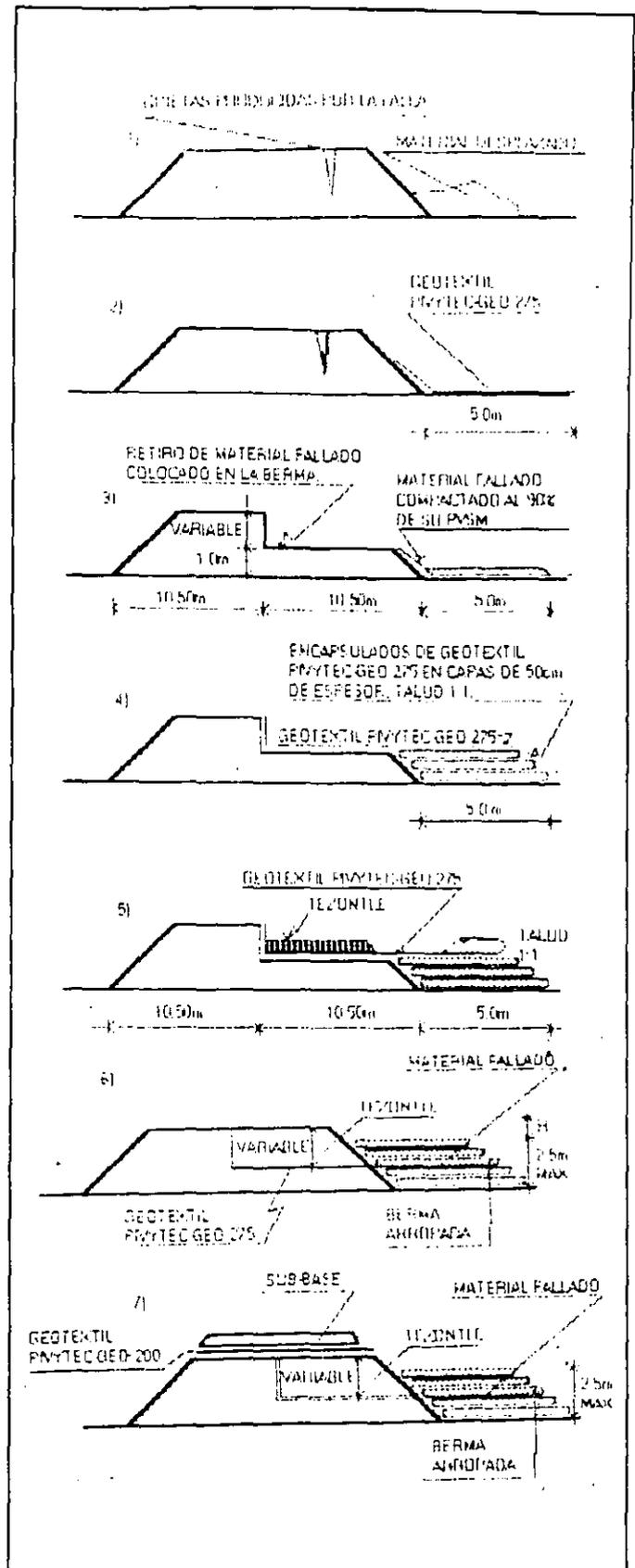


Figura 7. Procedimiento propuesto para la corrección de los terraplenes en la zona de inundación con problemas.

Todo el material que se coloque en la formación del cuerpo del terraplén, deberá de ser confinado por la berma lateral o en defecto, arropado con geotextil. A su vez, las bermas laterales deberán de construirse en forma de encapsulados de geotextil, para evitar que la falta de confinamiento lateral del terreno circundante les permita que fluyan y se pierdan dentro del subsuelo local.

2. Reconstrucción del terraplén con tezontle

Luego de 2 capas de encapsulados para la formación de la berma, es decir, al igualar la altura de la caja que se acaba de formar dentro del cuerpo del terraplén, se deberá continuar terraplenando con escoria volcánica (tezontle) sin compactar, solamente bandeado o acomodado (Fig. 7).

Continuar con este tipo de relleno hasta el nivel de sub-base, en donde se deberá colocar un geotextil Pivytec-Geo 200 que servirá como separador, evitando que el material fino de la sub-base se incruste dentro del cuerpo del terraplén de tezontle, llenándole sus vacíos, haciendo que incremente su peso volumétrico y que pierda, la sub-base, su compactación en el tiempo.

9. CONCLUSIONES

1. El uso de los geotextiles permitió un ahorro de materiales pétreos de casi el 35% de lo estimado en los primeros volúmenes.
2. Los asentamientos, incrustaciones e indentaciones de material, se minimizaron.

10. REFERENCIAS

Juárez E. y Rico A. (1980). "Mecánica de Suelos", Vol. II. Ed. Limusa.
 Bjerrum L. (1972). "Embankments on soft ground". ASCE Conference. Purdue University.

Rico A. y del Castillo H. (1980). "La ingeniería de Suelos aplicada a las Vías Terrestres". Vol. I. Ed. Limusa.

Skempton et al. (1969). Stability of natural slopes and embankment foundations. VII Congr. Int. de Mec. de Suelos. Koerner R. (1994). "Designing with geosynthetics". Ed. Prentice Hall., Geotec. S.A. (1992 ?), Perfiles estratigráficos del tramo comprendido entre los km 54+000 al 60+000. Carretera Tinaja-Cosoleacaque. INEGI. F.I., UNAM. (1984). "Geología de la República Mexicana"

SCT., DGCF., Oficio 068. (1993)

PIVIDE, S.A. (1993, 1994), Reportes internos

11. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece la colaboración y comentarios a los Ing. Elulalio Domínguez Viveros y Alfredo Tavera Guerrero de DINFRA, S.A. por el apoyo que le brindaron para la elaboración de la presente ponencia.

Igualmente desea manifestar su personal reconocimiento al Ing. Moisés Miranda Avendaño, Jefe del Depto. de Supervisión de Obras de la DGCF, S.C.T.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

**CURSOS ABIERTOS
GEOTEXTILES, GEORREDES Y GEOMEMBRANAS**

**MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION
DE LOS GEOSINTETICOS**

ING. MORALES Y MONROY

MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION
DE LOS GEOSINTETICOS

MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION

INDICE

- 1. MATERIALES EMPLEADOS.
 - 1.1. DE ORIGEN NATURAL.
 - 1.2. POLIMEROS SINTETICOS.

- 2. MATERIALES EMPLEADOS.
 - 2.1. EN GEOTEXTILES.
 - 2.2. EN GEOREDES.
 - 2.3. EN GEOMEMBRANAS.

- 3. PROCESOS DE FABRICACION.
 - 3.1. GEOTEXTILES TEJIDOS.
 - 3.2. GEOTEXTILES NO TEJIDOS.
 - 3.3. GEOREDES.
 - 3.4. GEOMEMBRANAS.

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.1. DE ORIGEN NATURAL

- EL HOMBRE SIEMPRE HA BUSCADO MEJORAR SU CALIDAD DE VIDA.
- DESDE LA PREHISTORIA EL HOMBRE A USADO LOS ELEMENTOS A SU DISPOSICION PARA MEJORAR SUS CONSTRUCCIONES.
- MATERIALES USADOS (NO PETREOS) EN LAS CONSTRUCCIONES ANTIGUAS:
 - + PAJA
 - + LANA
 - + ALGODON
 - + PELO
 - + RAMAS Y ARBOLES
- EL PROBLEMA ES QUE SON BIODEGRADABLES.

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- LA EVOLUCION DE LA QUIMICA ORGANICA Y DE LA PETROQUIMICA HA DOTADO AL HOMBRE DE MEJORES MATERIALES Y RESUELTO EL PROBLEMA DE LA DEGRADACION NATURAL.
- HABLAMOS ENTONCES DE LOS MATERIALES DENOMINADOS POLIMERICOS.
- HAY POLIMEROS NATURALES (COMO LAS PROTEINAS Y LOS HIDRATOS DE CARBONO) Y HAY POLIMEROS SINTETICOS (COMO LOS PLASTICOS)

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- POLIMERIZACION:

"CUALQUIER COMBINACION QUIMICA DE VARIAS MOLECULAS EN LAS QUE SE OBTIENE UNA SOLA MOLECULA DE MAYOR TAMANO".

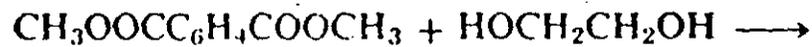
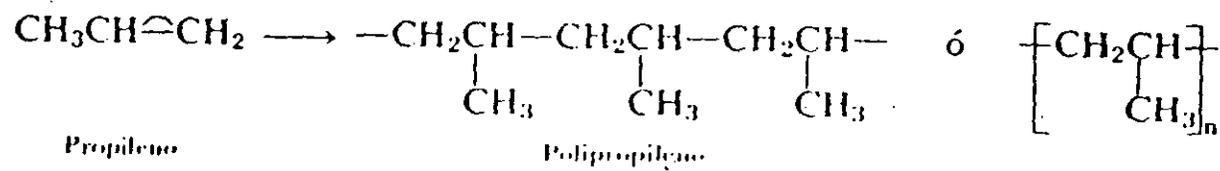
- POLIMERO:

"ES UNA MOLECULA DE GRAN TAMANO FORMADA POR LA COMBINACION DE VARIAS UNIDADES QUIMICAS MAS PEQUENAS QUE SE CONOCEN COMO MONOMEROS".

- CLASIFICACION:

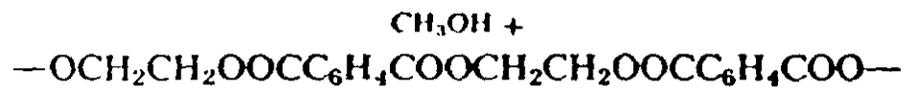
DE ADICION

DE CONDESACION



Tereftalato
de dimetilo

Étilen
glicol

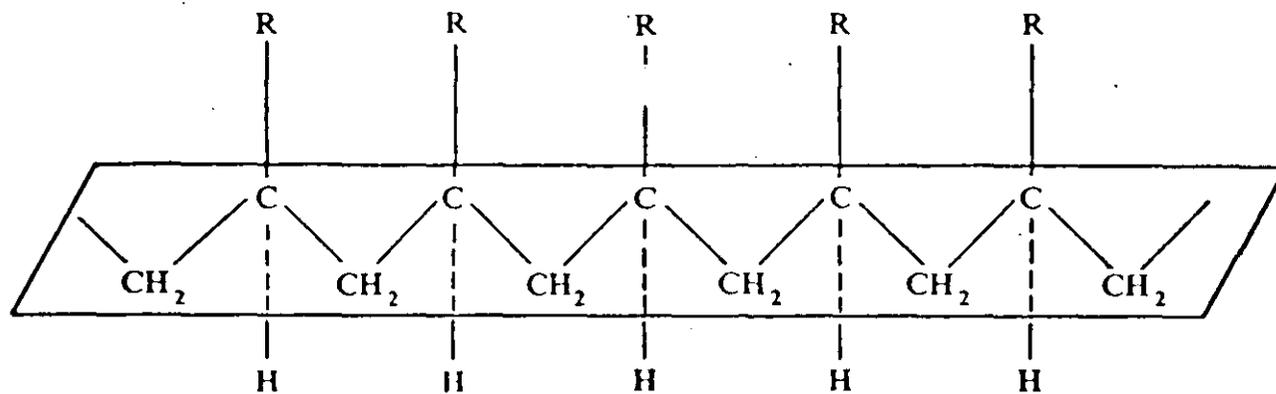


Dacrón

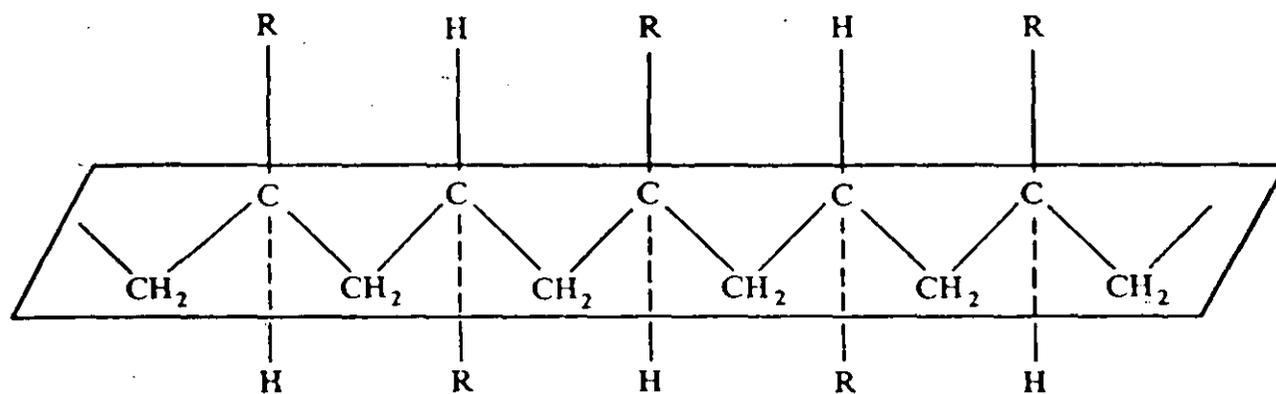
1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

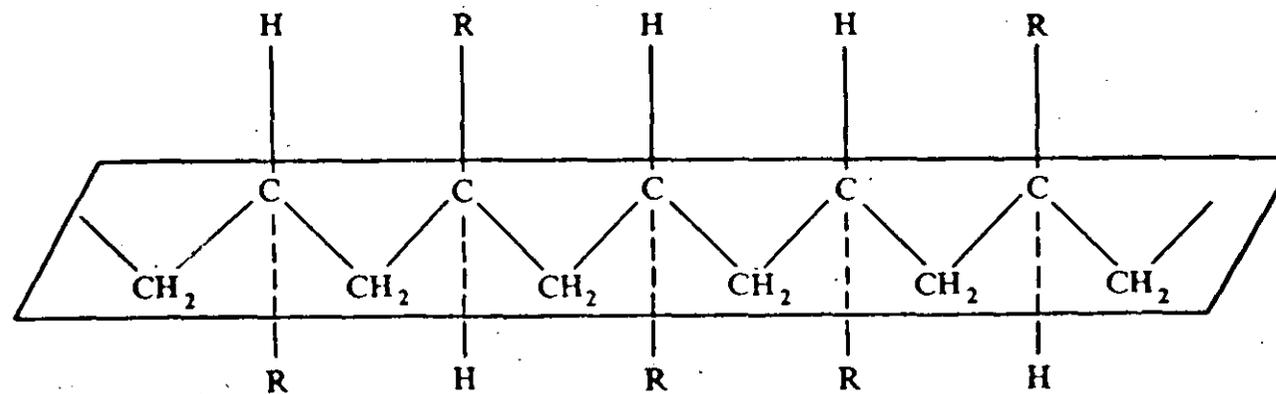
- POLIMEROS DE ADICION:
LA UNIDAD RECURRENTES ES LA MISMA
TAMBIEN LLAMADOS HOMOLIMEROS
EJEMPLO: POLIETILENO
- POLIMEROS DE CONDENSACION:
LA UNIDAD RECURRENTES ES DIFERENTE
COPOLIMEROS, TERPOLIMEROS, ETC.
EJEMPLO: POLIESTER
- ENLACES QUIMICOS:
COVALENTES
DIPOLO-DIPOLO
PUENTE DE HIDROGENO
VAN DER WALLS



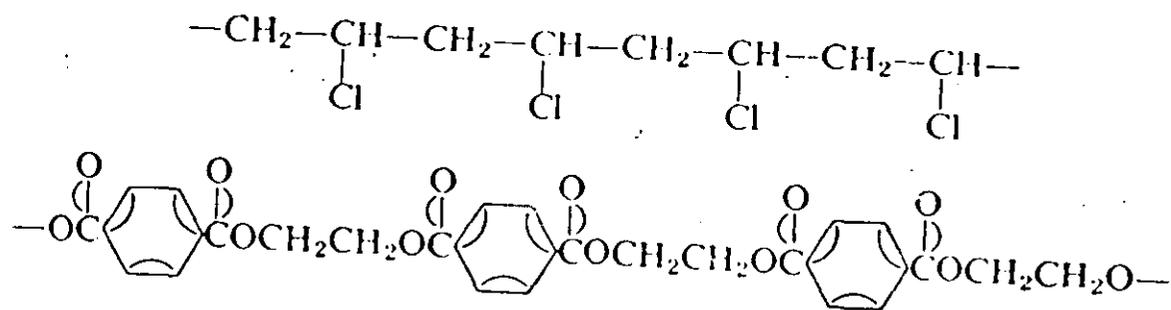
Isotáctico



Sindiotáctico

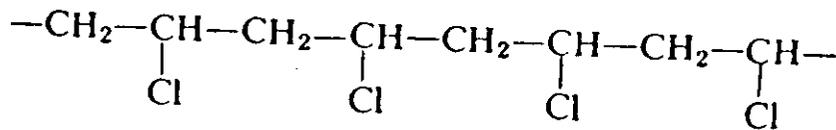


Atáctico

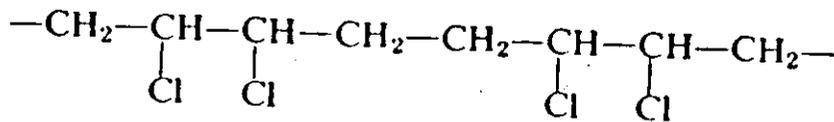


Estos polímeros se llaman **polímeros lineales**.

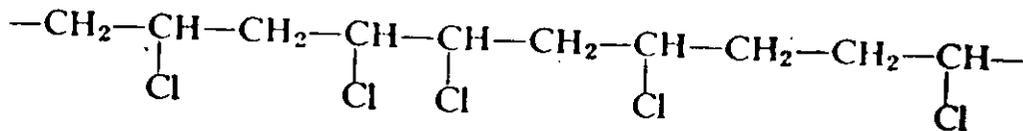
Los monómeros del cloruro de polivinilo se pueden unir entre sí en varias formas: *cabeza con cola*, **1**, *cabeza con cabeza o cola con cola*, **2**, o en una *forma al azar*, **3**.



1



2



3



4

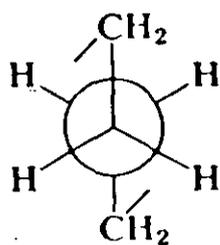


5

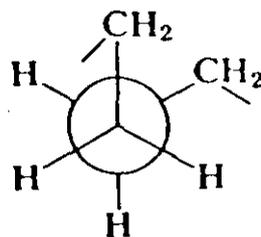


6

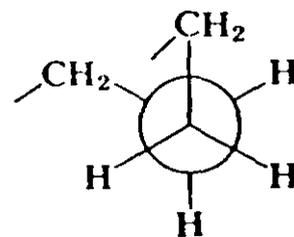
El esqueleto del polietileno puede tener tres conformaciones diferentes.



Anti

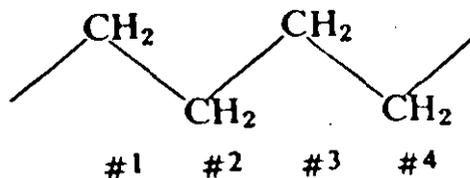


Oblicua (derecha)



Oblicua (izquierda)

En la forma anti, $C_{\#1}$ y $C_{\#4}$, de la cadena de polietileno,



1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- POLIMEROS LINEALES

UNA SOLA CADENA

CONFIGURACIONES:

ISOTACTICA

SINDIOTACTICA

ATACTICA

CONFORMACION:

BARRA

AZAR

HELICE

- POLIMEROS RAMIFICADOS

CRUCES ENTRE CADENAS

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- RELACION ENTRE PROPIEDADES Y ESTRUCTURA
 - PESO MOLECULAR
 - PROMEDIO
 - DISTRIBUCION
 - CRISTALINIDAD
 - PUNTO DE FUSION Y REBLANCEDIMIENTO
 - SOLUBILIDAD
 - TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- PESO MOLECULAR PROMEDIO ALTO AUMENTA:
 - RESISTENCIA A LA TENSION
 - ELONGACION
 - RESISTENCIA AL IMPACTO
 - RESISTENCIA LA CALOR
 - RESISTENCIA A LOS SOLVENTES
 - VISCOSIDAD (RESISTENCIA AL FLUJO)
 - PUNTO DE FUSION
- DISTRIBUCION DE PESOS CERRADA AUMENTA:
 - RESISTENCIA AL IMPACTO
 - RESISTENCIA AL FRACTURAMIENTO
 - VISCOSIDAD (RESISTENCIA AL FLUJO)
 - PUNTO DE FUSION

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- CRISTALINIDAD
LOS POLIMEROS CRISTALINOS TIENEN MAYOR DENSIDAD, SON MENOS SOLUBLES Y TIENEN PUNTOS DE FUSION MAS ALTOS QUE LOS POLIMEROS AMORFOS.
ESTO RESULTA EN MAYOR:
 - DUREZA
 - RESISTENCIA AL CALOR
 - MODULO DE ELASTICIDAD.
 - RESISTENCIA QUIMICA
 - RESISTENCIA MECANICAY UNA MENOR:
 - PERMEABILIDAD
 - ELONGACION
 - RESITENCIA AL IMPACTO
 - RESISTENCIA LA FATIGA

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- PUNTO DE FUSION: ES LA TEMPERATURA A LA CUAL OCURRE EL CAMBIO DE FASE.
- PUNTO DE ABLANDAMIENTO O TRANSICION VITREA: CUANDO EL MATERIAL EMPIEZA A PERDER SU CONSISTENCIA SOLIDA.
- SOLUBILIDAD: FUNCION DEL PESO PROMEDIO MOLECULAR, DE LA CRISTALINIDAD Y DE LA RECTICULACION DEL MATERIAL.
PARA DISOLVER UN POLIMEROS SE NECESITA QUE LA FUERZA DEL SOLVENTE SEA MAYOR QUE LA DE LOS ENLACES.
POR LO GENERAL EL POLIMEROS SE "HINCHA" EN VEZ DE DISOLVERSE.

TABLE 1.4 SOME PHYSICAL PROPERTIES OF SYNTHETIC FIBERS (STANDARD LABORATORY CONDITIONS FOR FIBER TESTS: 70°F AND 65% RELATIVE HUMIDITY)

Fiber	Breaking tenacity (g/denier)*		Specific gravity	Standard moisture regain (%)	Coefficient of thermal expansion ($\times 10^{-5}$ per 1°F)	Effects of heat
	Standard	Wet				
Polyethylene (high-density)	—	—	0.96	2.0	12.5	—
Polypropylene (filament and staple)	4.8–7.0	4.8–7.0	0.91	3.0	6.2	Melts at 325°F (163°C) to 335°F (168°C)
Polyester						
Regular-tenacity filament	4.0–5.0	4.0–5.0	1.22 or 1.38	0.4 or 0.8	4.2 to 4.8	Melts at 480°F (249°C) to 550°F (288°C)
High-tenacity filament	6.3–9.5	6.2–9.4	1.22 or 1.38	0.4 or 0.8	4.2 to 4.8	Melts at 480°F (249°C) to 550°F (288°C)
Regular-tenacity staple	2.5–5.0	2.5–5.0	1.22 or 1.38	0.4 or 0.8	4.2 to 4.8	Melts at 480°F (249°C) to 550°F (288°C)
High-tenacity staple	5.0–6.5	5.0–6.4	1.22 or 1.38	0.4 or 0.8	4.2 to 4.8	Melts at 480°F (249°C) to 550°F (288°C)
Nylon						
Nylon 66 (regular- tenacity filament)	3.0–6.0	2.6–5.4	1.14	4.0–4.5	5.5	Sticks at 445°F (229°C); melts at about 500°F (260°C)
Nylon 66 (high- tenacity filament)	6.0–9.5	5.0–8.0	1.14	4.0–4.5	5.5	Same as above
Nylon 66 (staple)	3.5–7.2	3.2–6.5	1.14	4.0–4.5	5.5	Same as above
Nylon 6 (filament)	6.0–9.5	5.0–8.0	1.14	4.5	5.0	Melts at 414°F (212°C) to 428°F (220°C)
Nylon 6 (staple)	2.5	2.0	1.14	4.5	5.0	Melts at 414°F (163°C) to 428°F (220°C)

Source: Modified from Shreve and Brink [25].

*Denier is the equivalent to the grams per 9000 meters in the thread used to make synthetic fabrics. The higher the denier, the heavier the fabric.

1. MATERIALES EMPLEADOS

1.2. POLIMEROS SINTETICOS

- TERMOPLASTICOS:
ES AQUEL QUE PUEDE REBLANDECERSE POR CALENTAMIENTO REPETIDAS VECES PARA MOLDEARLO Y AL ENFRIAR CONSERVA LA ULTIMA FORMA ADOPTADA.
EJEMPLO: PP, PET, PE
- TERMOFIJO:
ES AQUEL QUE UNA VEZ QUE SE ENFRIA TOMA UNA FORMA FIJA QUE NO PUEDE SER CAMBIAD SIN DANAR AL POLIMERO.
GRAN CANTIDAD DE RAMIFICACIONES COVALENTES
EJEMPLO: HULES DE NITRILO, BUTILO

2. MATERIALES

2.1. EN GEOTEXTILES

- POLIMEROS SINTETICOS DE TIPO TEXTIL.
- PRESENTACIONES:
 - MONOFILAMENTO
 - HILO
 - FILAMENTO CONTINUO
 - FIBRA CORTA
 - SLIT-FILM
- DENIER: EL PESO EN GRAMOS DE 9,000 m. DE MATERIAL. (DECITEX)
- LARGO
- RIZOS O TORCIDOS

- monofilament
- multifilament
- staple
- staple yarn
- slit film
- slit-film yarn

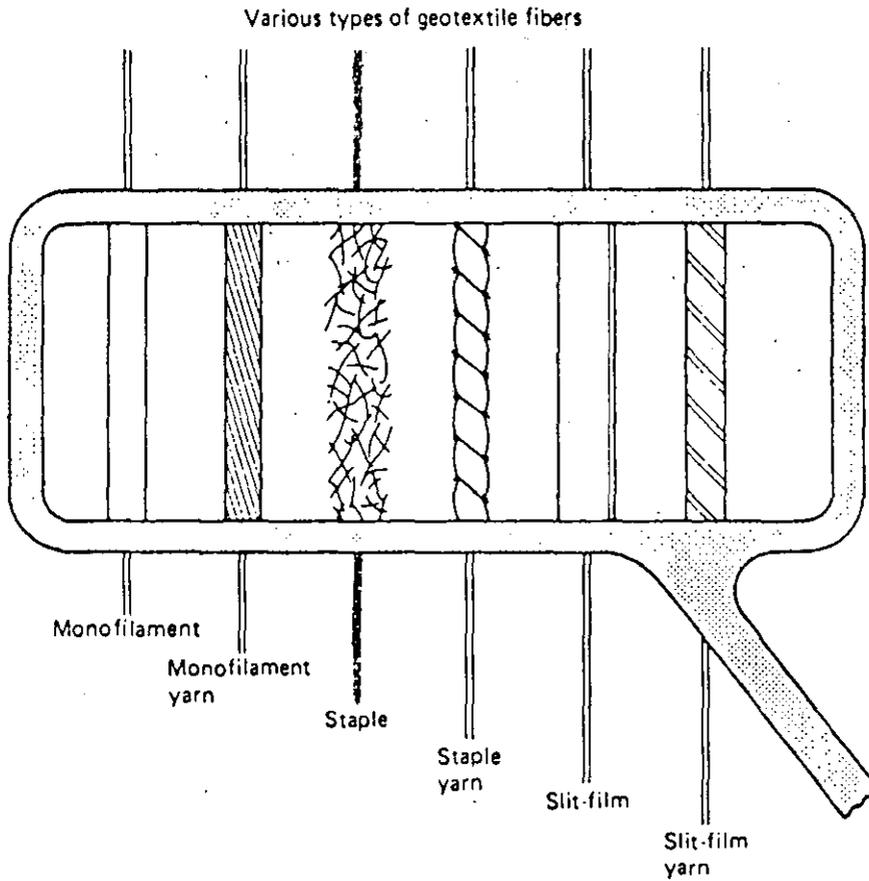
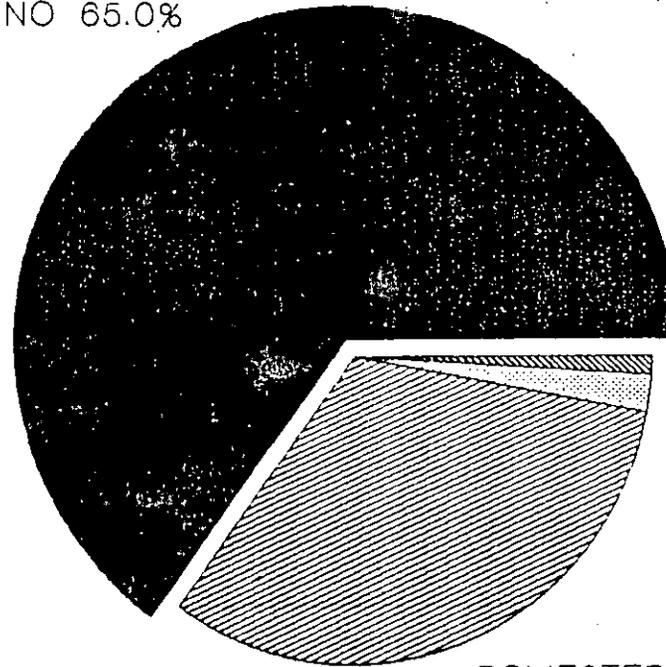


Figure 1.5 Types of polymeric fibers used in the construction of geotextiles

MATERIALES EMPLEADOS GEOTEXTILES

POLIPROPILENO 65.0%



POLIETILENO 1.0%
NYLON 2.0%

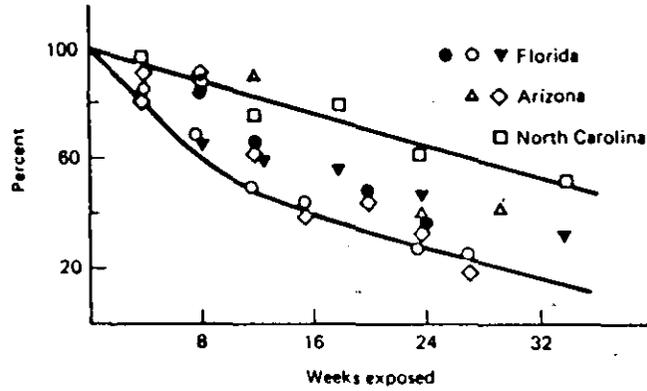
POLIÉSTER 32.0%

2. MATERIALES

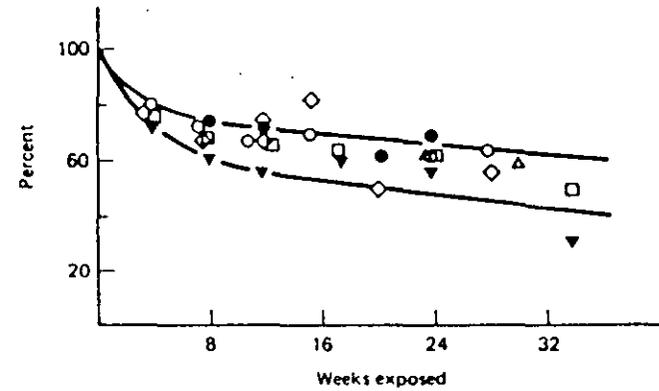
2.1. EN GEOTEXTILES

- DEGRADACION TERMICA
 - POLIPROPILENO $T_f = 165\text{ C}$
 - POLIESTER $T_f = 240\text{ C}$
- DEGRADACION QUIMICA - ASTM D 453
- DEGRADACION POR HIDROLISIS
 - GANAR HUMEDAD - POCO EFECTO
 - ACIDA - POLIAMIDAS
 - BASICA - POLIESTERES
- DEGRADACION BIOLOGICA - NO RELEVANTE
- DEGRADACION SOLAR
 - CRITICA SI NO SE TRATA LA FIBRA
 - POLIPROPILENO ES SUCEPTIBLE

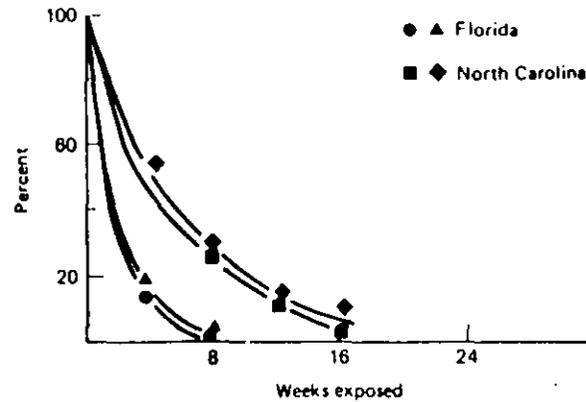
Sec. 2.2 Geotextile Properties and Test Methods



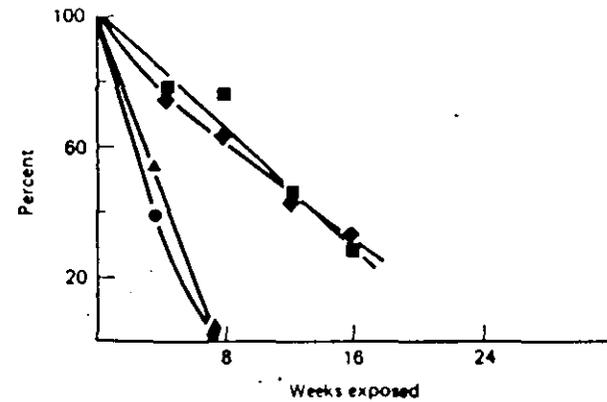
(a) Strength retained versus exposure for polyester fabrics.



(b) Elongation retained versus exposure for polyester fabrics.



(c) Strength retained versus exposure for polypropylene fabrics.



(d) Elongation retained versus exposure for polypropylene fabrics.

TABLE 2.10 EFFECT OF pH LEVEL ON DEGRADATION OF VARIOUS GEOTEXTILES AT 68°F (20°C) AFTER 120 DAYS (Continued)

Geotextile type	Solution	Weight (gm/m ²)	pH = 2	pH = 4	pH = 7	pH = 10	pH = 12
PET staple needle-punched nonwoven (Mixture of white and black fibers, Type "A," Manufacturer 6)	Na(OH)	150	-18%+	nc	nc	-27%	-32%
PET staple needle-punched nonwoven (B) (Mixture of white and black fibers, Type "B," Manufacturer 6)	Na(OH)	150	nc	nc	nc	-13%	-16%
PET staple needle-punched nonwoven (all white fibers, Manufacturer 6)	Na(OH)	150	nc	nc	nc	nc	nc
PET needle-punched nonwoven (A) (carbon black blended fibers, Type "C," Manufacturer 6)	Na(OH)	134	-12%	-15%	nc	nc	nc
PET needle-punched nonwoven (B) (carbon black blended fibers, Type "D," Manufacturer 6)	Na(OH)	134	nc	nc	nc	nc	nc
PET staple needle-punched nonwoven (bottle grade resin, Manufacturer 7)	Na(OH)	264	nc	nc	nc	nc	nc

(All fibers are continuous unless otherwise noted)

Note:

- (1) "nc" means no change within estimated experimental accuracy of $\pm 10\%$.
- (2) "ic" means inconclusive due to large scatter of the data.
- (3) "+" means that longer testing time is required to draw a meaningful conclusion.
- (4) "++" means the result is questionable. The strength dropped after 7 days and then remained constant.

TABLE 2.10 EFFECT OF pH LEVEL ON DEGRADATION OF VARIOUS GEOTEXTILES AT 68°F (20°C) AFTER 120 DAYS

Geotextile type	Solution	Weight (gm/m ²)	pH = 2	pH = 4	pH = 7	pH = 10	pH = 12
PP monofilament woven (Manufacturer 1)	Ca(OH) ₂	220	—	—	nc	nc	nc
PP needle-punched nonwoven (Manufacturer 2)	Ca(OH) ₂	770	—	—	nc	nc	nc
PP melt-bonded nonwoven (Manufacturer 3)	Ca(OH) ₂	100	—	—	nc	nc	nc
PVC monofilament woven (Manufacturer 4)	Ca(OH) ₂	95	—	—	nc	nc	nc
PET staple needle-punched nonwoven (all white fibers, Manufacturer 5)	Ca(OH) ₂	550	—	—	nc	nc	nc
PET melt-bonded nonwoven (Manufacturer 3)	Ca(OH) ₂	100	—	—	nc	nc	nc
PET staple needle-punched nonwoven (Mixture of white and black fibers, Manufacturer 5)	Na(OH)	450	—	—	nc	-33%	-53%
PET melt-bonded nonwoven (Manufacturer 3)	Na(OH)	100	—	—	nc	nc	nc



TECHNICAL
INFORMATION

HERCULES STAPLE FIBER

CHEMICAL
RESISTANCE

Chemical Resistance

Hercules staple is highly resistant to most chemical reagents – acids, bases, i. organic and organic chemicals. The specific chemicals used in an exposure test in comparison with polyester fiber demonstrate the superiority of olefin fiber in caustic solutions and in other selected chemicals.

CHEMICAL RESISTANCE – 1000 Hours Exposure

21°C (70°F)

Chemical	Polypropylene	Polyester
10% Sulfuric Acid	80-79%	80-79%
96% Sulfuric Acid	80-79%	80-79%
10% Nitric Acid	80-79%	80-79%
70% Nitric Acid	80-79%	80-79%
10% Hydrochloric Acid	80-79%	80-79%
37% Hydrochloric Acid	80-79%	80-79%
5% Formic Acid	80-79%	NO TEST
90% Formic Acid	80-79%	80-79%
10% Oxalic Acid	80-79%	80-79%
40% Sodium Hydroxide	80-79%	80-79%
28% Ammonium Hydroxide	80-79%	80-79%
3% Hydrogen Peroxide pH = 4	80-79%	NO TEST
3% Hydrogen Peroxide pH = 11	80-79%	NO TEST
0.5% Sodium Hypochlorite pH = 10	80-79%	NO TEST
0.3% Sodium Chlorite pH = 4	80-79%	NO TEST
0.3% Sodium Chlorite pH = 7	80-79%	NO TEST
0.3% Sodium Chlorite pH = 11	80-79%	NO TEST
Sodium Hydrosulfite pH = 13	80-79%	NO TEST
Acetone	80-79%	80-79%
Benzene	80-79%	80-79%
Ethanol	80-79%	80-79%
Carbon Tetrachloride	80-79%	80-79%
M-Cresol	80-79%	80-79%
Phenol (90%)	80-79%	80-79%
Sodium Chloride	80-79%	80-79%
Aluminum Chloride	80-79%	80-79%
Copper Sulfate	80-79%	80-79%
Manganese Chloride	80-79%	80-79%

Key

	80% of original strength retained
	60-79% of original strength retained
	20-59% of original strength retained
	0-19% of original strength retained

We cannot anticipate all conditions under which this information and our products, or the products of other manufacturers in combination with our products, may be used. We accept no responsibility for results obtained by the application of this information or the safety and suitability of our products, either alone or in combination with other products. Users are advised to make their own tests to determine the safety and suitability of each such product, or product combination for their own purposes. Unless otherwise agreed in writing, we sell the products without warranty, and buyers and users assume all responsibility and liability for loss or damage arising from the handling and use of our products, whether used alone or in combination with other products.

11/92

PRINTED IN U.S.A.

Hercules Incorporated, Absorbent and Textile Products/3169 Holcomb Bridge Rd./Norcross, GA 30071/(404) 447-9120
FAX (404) 449-1232

2. MATERIALES

2.1. EN GEOTEXTILES

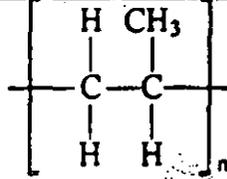
- ADITIVOS PARA LAS FIBRAS
 - APRESTOS
 - HIDROFILICOS
 - HIDROFOBICOS
 - COLOR
 - BLOQUEADORES ULTRAVIOLETA
 - LUBRICANTES
 - RETRARDANTES A LA FLAMA

- OTROS FACTORES
 - DENIER
 - CONTENIDO DE RECICLADO
 - PROCESO DE TENIDO DE LA FIBRA
 - PESO MOLECULAR
 - ALINEACION DEL POLIMERO

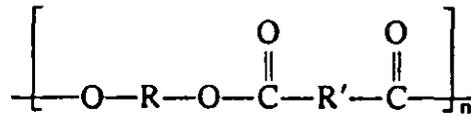
2. MATERIALES

2.2. EN GEOREDES

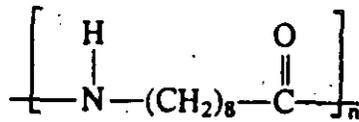
- POLIMEROS SINTETICOS DE TIPO PLASTICO Y TEXTIL.
- PRESENTACIONES:
 - PLACAS DE MATERIAL ORIENTADO
 - FILAMENTOS CONTINUOS ALTA TENACIDAD
 - CINTAS RECUBIERTAS
- MATERIALES
 - POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD
 - POLIPROPILENO
 - POLIESTER
 - FIBRA DE VIDRIO
- ACABADOS
 - ACRILICOS, PVC, ASFALTOS



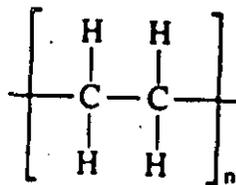
(a) Polypropylene



(b) Polyester



(c) Polyamide (Nylon 6)



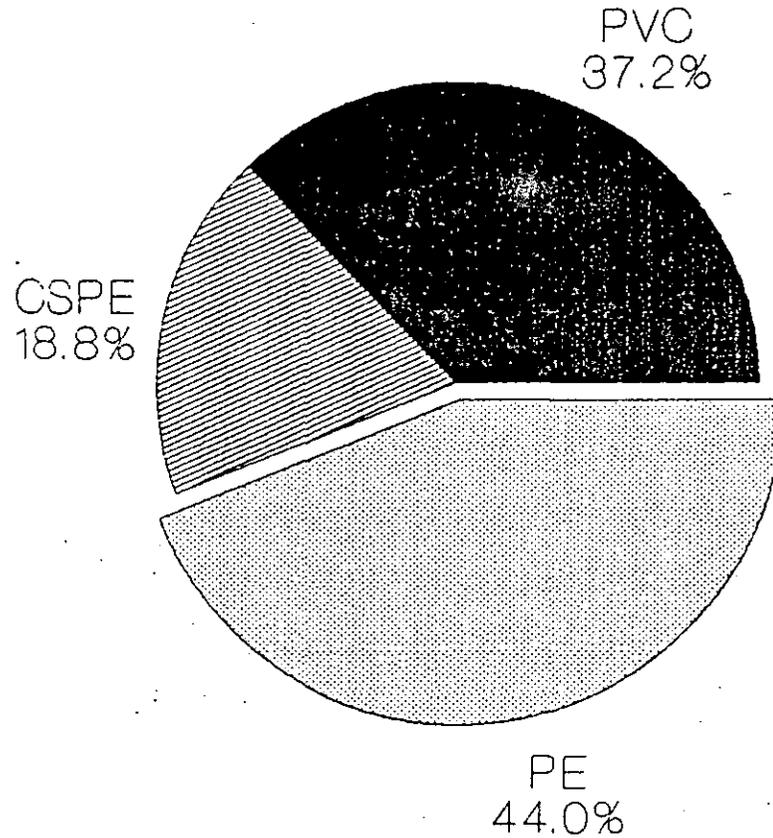
(d) Polyethylene

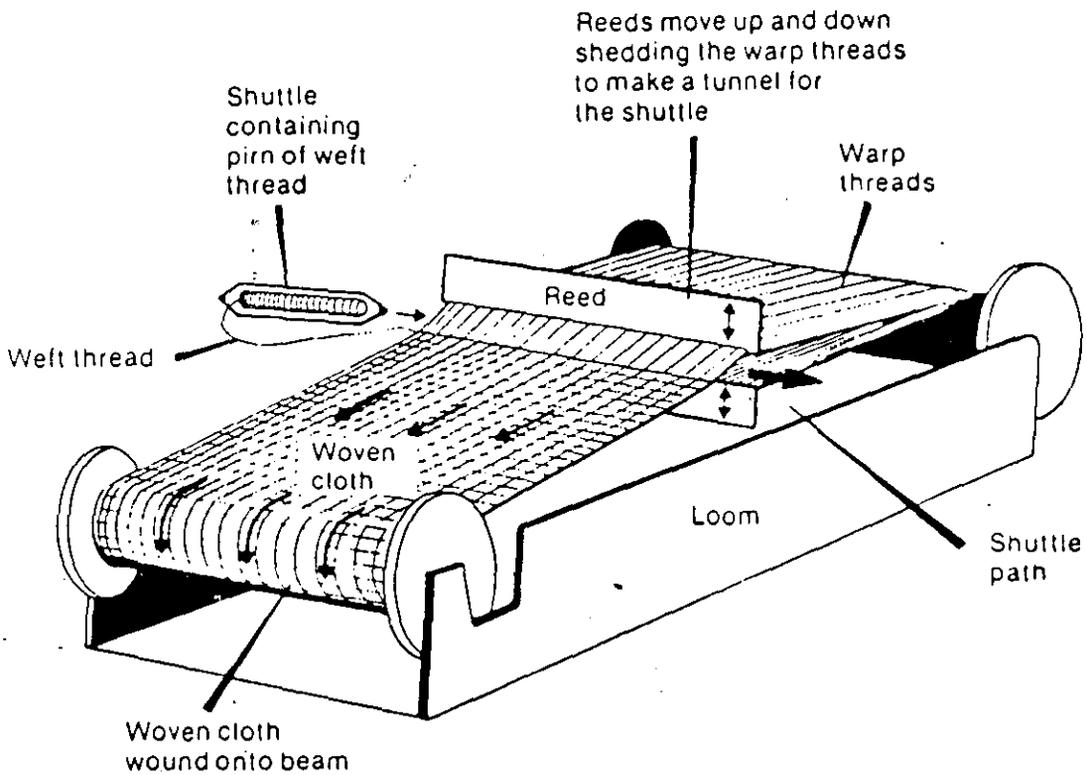
2. MATERIALES

2.3. EN GEOMEMBRANAS

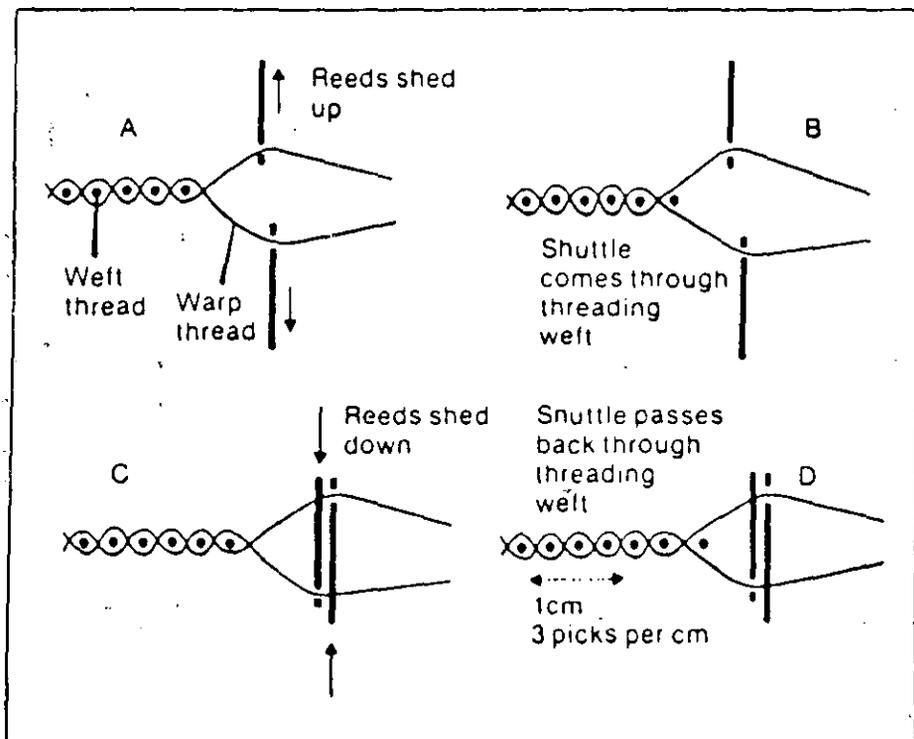
- POLIMEROS SINTETICOS DE TIPO TERMOPLASTICO O TERMOFIJO
- PRESENTACIONES:
 - PELICULAS
 - LIQUIDOS
- MATERIALES:
 - POLIETILENO (HDPE, LLDPE, VLDPE)
 - PVC
 - HYPALON (CSPE)
 - URETANO
 - HULES BUTILO, NEOPRENO, ETC.

MATERIALES EMPLEADOS GEOMEMBRANAS





(a)



3. PROCESOS DE FABRICACION

3.1 GEOTEXILES TEJIDOS

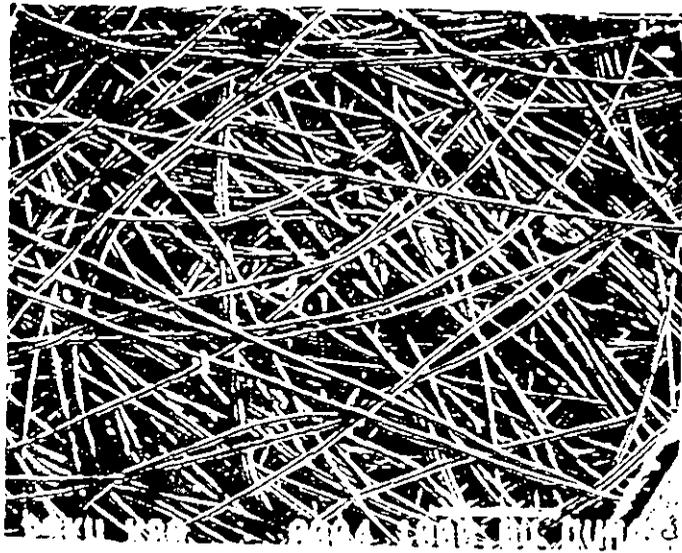
- TELAS FABRICADAS A BASE DE HILOS, MONOFILAMENTOS O CINTAS (SLIT-FILM) PARA DE USO INGENIERIL.
- PROCESOS TEXTILES:
 - PIE Y TRAMA
 - INSERCION DE TRAMA
- MATERIALES:
 - HILOS DE POLIESTER DE ALTA TENACIDAD
 - SLIT-FILM O MONOFILAMENTO DE PP
- VENTAJAS: BARATOS EN SU RELACION PRECIO RESISTENCIA A LA TENSION.
- VARIBLE: CONSTRUCCION DE LA TELA

3. PROCESOS DE FABRICACION

3.2 GEOTEXTILES NO TEJIDOS

- TAMBIEN CONOCIDOS COMO NONWOVENS
- NONWOVEN ▪ AGLOMERACION DE FIBRAS CORTAS PARA PRODUCIR TELAS DE APLICACION MUY ESPECIFICA.
- TECNICAS MAS USUALES DE AGLOMERACION EN LOS GEOTEXTILES:
 - Punzonado (Needle Punch)
 - Cosido o Tramado (Stitch Bond)
 - Extruido (Spun Bond)
- FIBRA CORTA: MENOR A 4 PULGADAS
- PROCESO:
FIBRA+FORMACION DEL VELO+LIGADO=TELA

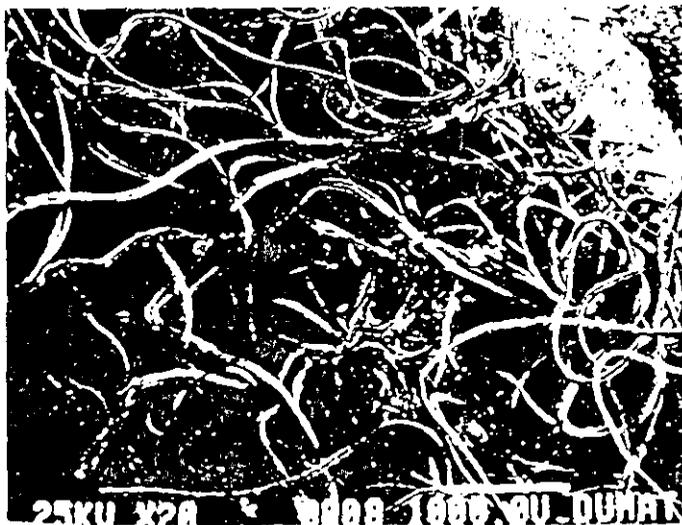
SPUNBONDED

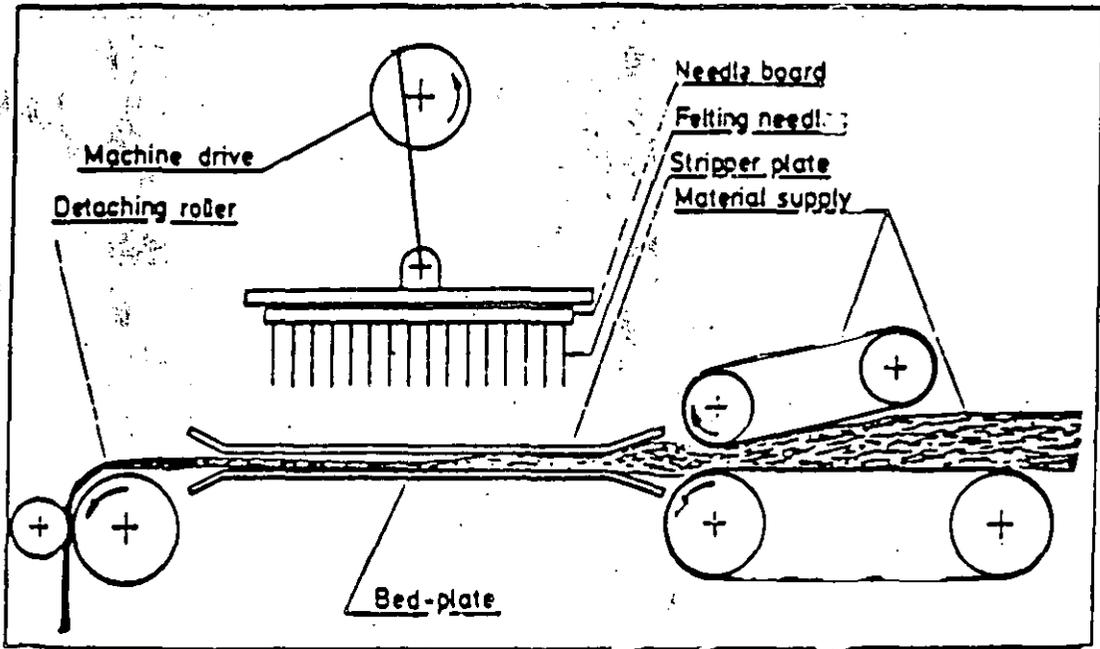


NEEDLE PUNCH

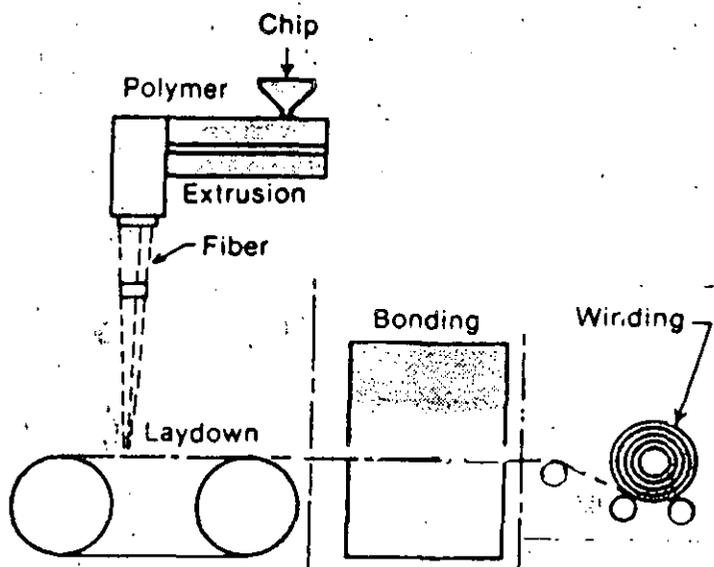


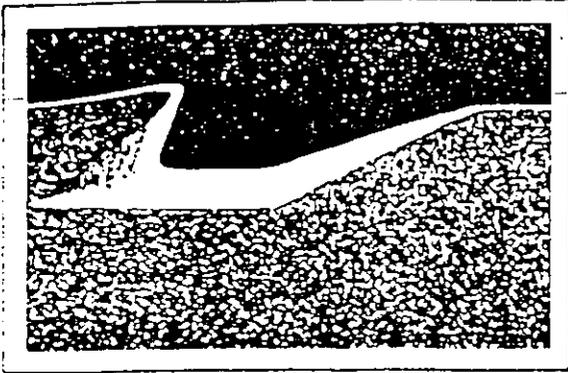
LIGADO
QUIMICO



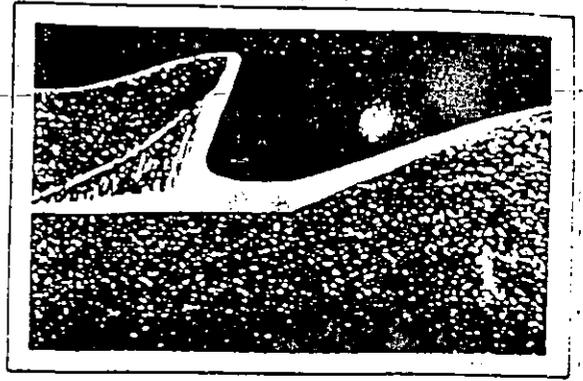


Spun-bonding Process

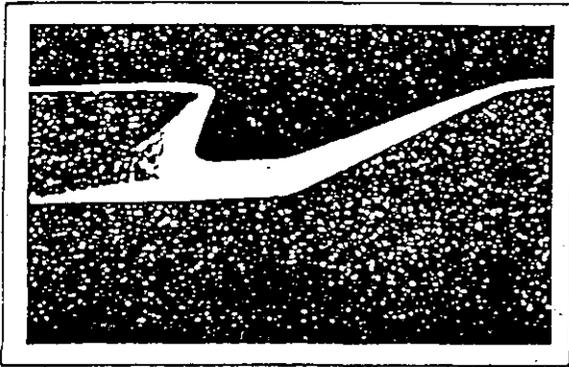




FOSTER "NK" BARB



FOSTER "K" BARB



FOSTER "B" BARB

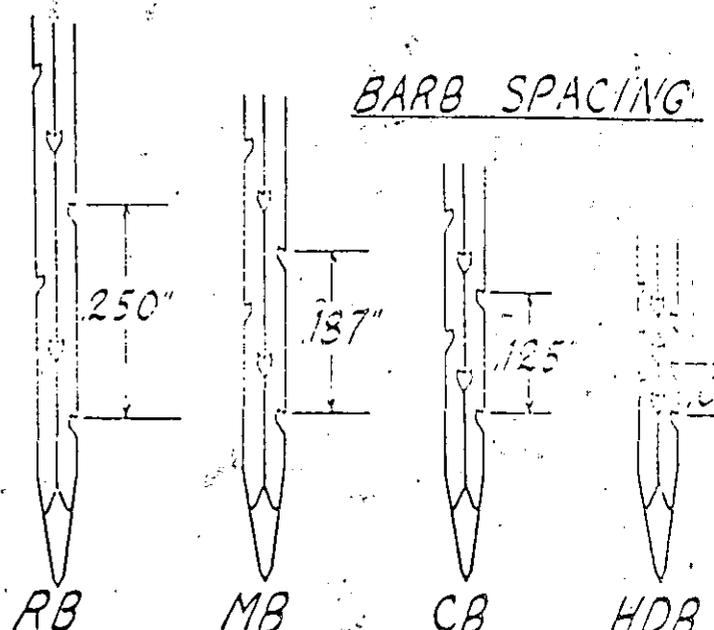
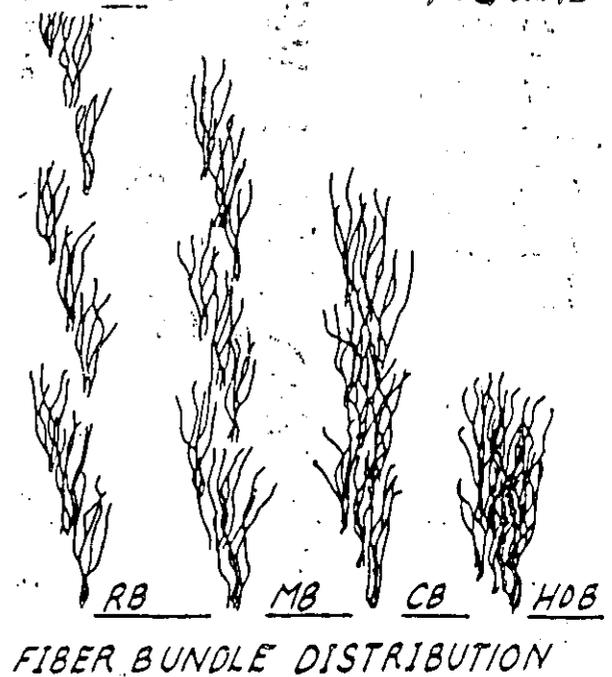
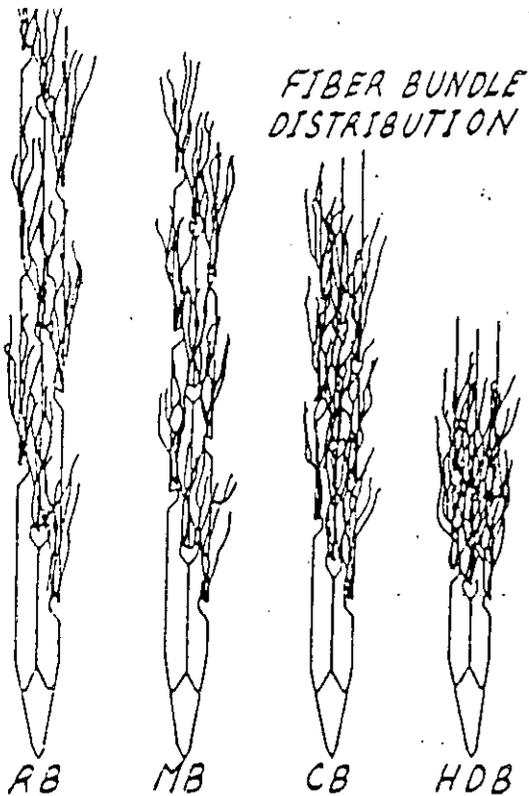


FIGURE 9



3. PROCESOS DE FABRICACION

3.2 GEOTEXILES NO TEJIDOS

- FORMACION DEL VELO:
CARDADO
EXTRUSION
- LIGADO:
QUIMICO-----> RESINA
COSIDO-----> HILO
MECANICO-----> PUNZONADO
TERMICO-----> PUNTO DE FUSION
- LOS GEOTEXILES USAN POR LO MENOS UNO DE ELLOS Y CASI SIEMPRE DOS; POR EJEMPLO EL PUNZONADO Y EL TERMOFIJADO.
- MUCHAS VARIABLES A CONTROLAR

3. PROCESOS DE FABRICACION

3.3. GEOREDES

- SON MATERIALES DE ORIGEN PLASTICO O TEXTIL PARA REFUERZO.
- APERTURAS TIPO RED O MALLA. RIGIDAS O FLEXIBLES
- PLANCHAS DE POLIPROPILENO ORIENTAS EN UNA O DOS DIRECCIONES Y SUAJADAS.
- EXTRUSION Y SOLDADO DE FILAMENTOS CONTINUOS DE POLIPROPILENO
- CINTAS TEXTILES TEJIDAS Y REVESTIDAS DE RESINAS PLASTICAS O ASFALTOS
- FILAMENTOS DE FIBRA DE VIDRIO REVESTIDOS

3. PROCESOS DE FABRICACION

3.4 GEOMEMBRANAS

- TAMBIEN CONOCIDAS COMO LINERS
- SON PELICULAS DE ORIGEN PLASTICO QUE SE CARACTERIZAN POR SU IMPERMEABILIDAD
- TECNICAS MAS USUALES:
 - Calandreo
 - Extrusion
 - Coextrusion
 - Espreado
- PUEDEN ESTAR O NO REFORZADAS Y SER DE UNO O MAS MATERIALES
- DIFERENTES TIPOS DE ACABADOS Y ESPESORES

3. PROCESOS DE FABRICACION

3.4 GEOMEMBRANAS

- **CALANDREO:**
Fundir un plastico entre dos rodillos y formar una pelicula de un espesor determinado por la apertura entre ellos.
- **EXTRUSION/COEXTRUSION:**
Fundir un plastico usando un Extrusor y luego hacer pasar el polimero fundido a traves de un dado (ranura).
- **ESPREADO:**
Impregnar o recubrir un Geotextil in-situ con una resina de Uretano para formar una barrera impermeable.

