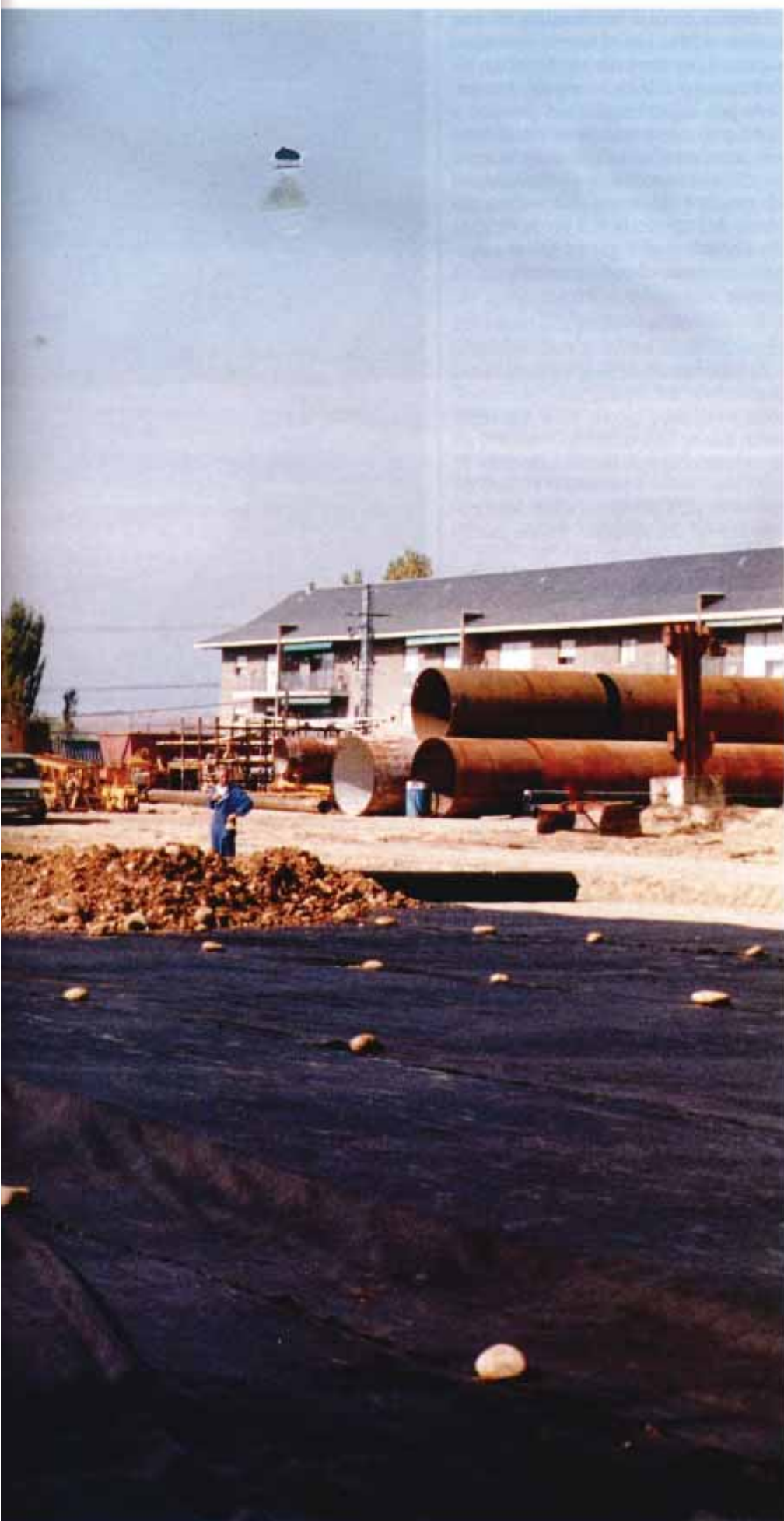


Durabilidad de los geotextiles

Por José María Muñoz Cebrián
Centro de Estudios de Carreteras, CEDEX





Antecedentes

Los geotextiles tal vez constituyen en la historia de los materiales de construcción uno de los casos que más hayan marcado una época en la evolución de los sistemas constructivos, tanto en la ingeniería civil como en la arquitectura y en el urbanismo y cuyo desarrollo, posiblemente, aún no ha hecho más que empezar; pero como pasa con todo lo nuevo que empieza, la falta de experiencia plantea problemas y dudas a la hora de evaluar la verdadera dimensión de sus posibilidades de aplicación y de su posterior evolución con el tiempo.

Se está confirmando cada vez más, que los geotextiles pueden cumplir muchas funciones diferentes y resolver problemas de una gran importancia técnica y económica, pero ¿cuanto pueden durar de hecho en condiciones aceptables de servicio las obras construidas con estos materiales cuando se proyectan con unas expectativas de duración de muchos años? La respuesta pertenece a un área muy poco estudiada todavía para los geotextiles: LA DURABILIDAD.

El interés por el problema de la durabilidad de los materiales poliméricos, con que están fabricados los geotextiles, no es nada nuevo. Por los años 40 ya existían en el mercado, aunque a precios elevados, materiales de este tipo; vinílicos, polietileno, poliamidas, bakelita, y algunos más, durante la II Guerra Mundial cuando se observó que algunos de estos materiales que había que almacenarlos en condiciones críticas extremas y en medios ambientes muy diversos, se deterioraban manifiestamente, por lo que se crearon los primeros comités para el estudio de estos problemas. Desde entonces la atención dada a estos temas ha aumentado progresivamente.

Ahora bien, el interés internacional centró su atención concretamente sobre los geotextiles hace tan sólo una quincena de años, empezando a proponer y a aplicar métodos científicos para la investigación y desarrollo de sus posibilidades.

Así, en diez años se han celebrado diversas reuniones internacionales que han contemplado el tema de los geotextiles desde distintos puntos de vista:

— **International Symposium of Geotextiles, París, France (1977).**

“**S**e está confirmando cada vez más, que los geotextiles pueden cumplir muchas funciones diferentes y resolver problemas de una gran importancia técnica y económica.”

- Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas USA (1982).
- Third International Conference on the Durability of Building Materials and Components, Espoo, Finland (1984).
- RILEM Seminar on Long Term Behaviour of Geotextiles, Sain-Rémy, France (1986). Publicado en 1988.
- Third International Conference on Geotextiles, Vienna, Austria (1986).
- XVIIIe Congrés Mondial de la Route, Bruxelles, Belgique (1987).

Además de una publicación casi continua de trabajos científicos y técnicos sobre diversos aspectos del campo de aplicación de los geotextiles.

Pues bien, así como ha habido un importante adelanto en todo lo relativo al estudio teórico, proyecto y construcción de las diversas aplicaciones de los geotextiles, en lo referente al estudio de su durabilidad la

situación es casi la misma que hace quince años, limitándose, prácticamente, a los aspectos mecánicos e hidráulicos o a la experiencia acumulada por las industrias del plástico y textil para otro tipo de aplicaciones, sin tener en cuenta las situaciones y problemas específicos que ocasionan el empleo de estos materiales en obras de ingeniería y, a veces, llegando a conclusiones que en nuestra opinión no son del todo correctas o, al menos sí son discutibles.

En este trabajo se va a exponer un resumen de lo que se ha considerado más interesante de la documentación disponible así como las opiniones, más o menos personales sobre el tema que se está tratando, basadas en la experiencia que desde hace más de diez años viene teniendo el Centro de Estudios de Carreteras sobre los problemas de durabilidad de los materiales de construcción.

Como el fenómeno de la durabilidad de los materiales poliméricos es muy complejo y diverso, se van a distinguir aquí dos aspectos del mismo:

- 1.— Durabilidad intrínseca del material; es decir, cambios morfológicos o estructurales en las macromoléculas o modificación de su composición, lo que conduce a su envejecimiento y posterior degradación que puede ser producida por diferentes tipos de agresión.
- 2.— Durabilidad de la función específica que debe desempeñar el material; es decir, fenómenos de fluencia, deformación y fatiga; rotura física del material; colmatación, etc.



Aunque a lo largo de esta exposición se comentarán los dos puntos anteriores, la atención principal se centrará en el primero que es el que está menos estudiado y dentro de él, en el aspecto biológico que es uno de los más importantes.

La deterioración de los materiales y su posterior degradación natural.

Cuando se fabrica un acero, un cemento o un material polimérico, es necesario consumir una considerable cantidad de energía. Por tanto, se puede considerar, que todos estos productos se encuentran en un estado de energía mucho mayor que el que tenían sus materiales originales correspondientes y todos los materiales empleados corrientemente en la construcción degeneran con el tiempo volviendo a sus minerales originales o a sus componentes iniciales, por lo que al estudiar cualquier proyecto se debe tener presente la forma y velocidad a esta regresión con respecto a los materiales que se vayan a emplear.

La intensidad y características de estas alteraciones en el caso de los geotextiles, está determinada por su composición química y estructura molecular, la geometría del material,





la función que debe cumplir, su relación con el medio ambiente y, lo que es más importante, por la naturaleza del suelo que le rodea.

Desde el punto de vista ambiental se pueden considerar dos niveles: medio ambiente regional y microambiente.

Los datos suministrados por la evaluación del medio ambiente regional servirán de base, entre otros, para la selección del material y tratamientos protectores ya que tendrán en cuenta los mecanismos y tipos de agresión más importantes de la región, los ciclos de humedad-sequedad, así como los diferentes factores climáticos, temperatura, radiación solar, etc.

El microambiente es el ambiente local que rodea al material y es la base para el estudio cuantitativo de las relaciones entre las propiedades que afectan a la degradación del material y los agentes de envejecimiento que le causan. Por la misma circunstancia, el suelo, es un elemento fundamental a tener en cuenta ya que

por su naturaleza no constituye el mejor ambiente para alojar muchos de estos materiales y si no se toman las debidas precauciones para prevenir sus efectos, puede llegar a producirse la deterioración de las construcciones. Más adelante se expondrán las propiedades más características de los suelos con respecto a su agresividad.

En la figura 1 se han tratado de reunir esquemáticamente algunas de las aplicaciones y funciones de los geotextiles y los medios ambientales que pueden afectar a su durabilidad.

De la consideración de todos los aspectos anteriores se puede deducir que para abordar el estudio del programa de la durabilidad de los geotextiles, es necesario disponer de un buen conocimiento de la naturaleza química y propiedades de estos materiales; de la función que tienen que cumplir; de los factores que pueden influir en su deterioración en la condiciones específicas de cada situación en particular, y de la experiencia adquirida en sus diferentes aplicaciones; todo esto permitirá seleccionar los parámetros más característicos que deben tenerse en cuenta en cada caso con objeto de elegir el material más adecuado y poder prever, simular, estudiar y valorar los diferentes fenómenos de agresividad que pueden presentarse en este tipo de obras de ingeniería.

La sistemática a seguir deberá considerar los siguientes puntos:

1. Materiales utilizables y sus aplicaciones.
2. Factores que afectan a la durabilidad de los materiales y forma de valorarlos.
3. Análisis de la experiencia actual.

“La intensidad y características de estas alteraciones en el caso de los geotextiles, está determinada por su composición química y estructura molecular, la geometría del material, la función que debe cumplir, su relación con el medio ambiente, y, lo que es más importante, por la naturaleza del suelo que le rodea.”

4. La durabilidad de los geotextiles desde el punto de vista biológico.

Materiales utilizables y sus aplicaciones

Si se quiere estimar con suficiente fiabilidad la respuesta de los geotextiles ante los diferentes factores que pueden afectar a su durabilidad, es imprescindible tener los conocimientos adecuados de los tipos, naturaleza, composición química, estructura molecular, aditivos empleados y formas comerciales, de que puede disponerse en el mercado de estos materiales, así como de las aplicaciones concretas a las que se les va a destinar y las funciones que tendrán que cumplir en las mismas.

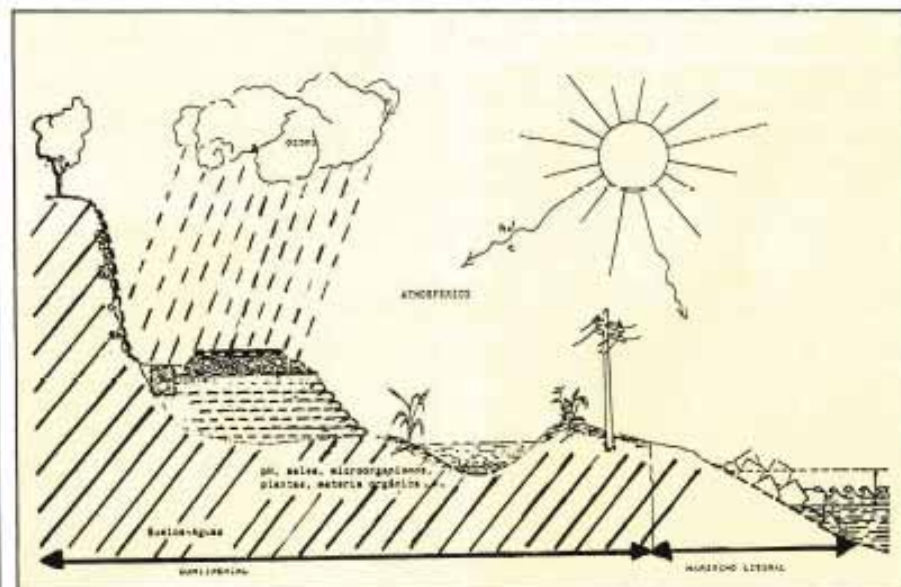


Fig. 1.— Medios ambientales y diferentes aplicaciones de los geotextiles

TABLA 1: MATERIALES UTILIZABLES Y SUS APLICACIONES

MATERIALES			EMPLEO
TIPOS			AREAS GENERALES DE APLICACION
ORIGEN	COMPOSICION		Puentes Presas Terraplenes, muros, etc. Cimentaciones Carreteras y Aeropuertos Industriales Forestales Ferrocarriles Protección: conducciones, laderas, etc Hidráulicas Estructuras enterradas Obras marítimas Obras subterráneas Construcciones militares Defensas diversas
Natural			
Animal	Proteína	Lana, Seda	
Vegetal	Celulosa	Algodón, Yute	
Transformado			
Orgánico	Acetato de celulosa	Rayón	
"	Mezcla hidrocarburos	Bituminosos	
Sintético			
Orgánico	Poliamida	Nylon	
"	Poliaramida	Kewlar	
"	Poliéster	Terileno	
"	Polioléfina	Polipropileno	
"	"	Polietileno	
"	Vinílico	PVC	
"	Elastómeros	Neopreno	
ADITIVOS			FUNCIONES
Estabilizantes UV; Antioxidantes; Lubricantes; Plastificantes, Colorantes; Bactericidas; Fungicidas, etc			Refuerzo; Drenaje; Filtración; Separación; Anticontaminación; impermeabilización; etc.
FORMAS COMERCIALES			SITUACIONES
Tejido; Agujeteado; Termosoldado; Quimiosoldado; Conformado; Geomallas; Cintas; Membranas; Films; etc			Tipos de suelos y rocas; Dispersión geográfica; Condiciones ambientales y estaciones; Agentes agresivos

En la tabla 1 se resumen los tipos de materiales básicos y las diferentes áreas de aplicación en que pueden intervenir los geotextiles fabricados a partir de ellos.

Esta tabla pretende solamente dar una visión de conjunto que ponga de manifiesto las diferentes variables que pueden presentarse, tanto por los materiales empleados como por sus aplicaciones y funciones posibles, que unidas a otros factores geotécnicos, ambientales, etc, han de jugar un papel importante en el problema de la durabilidad.

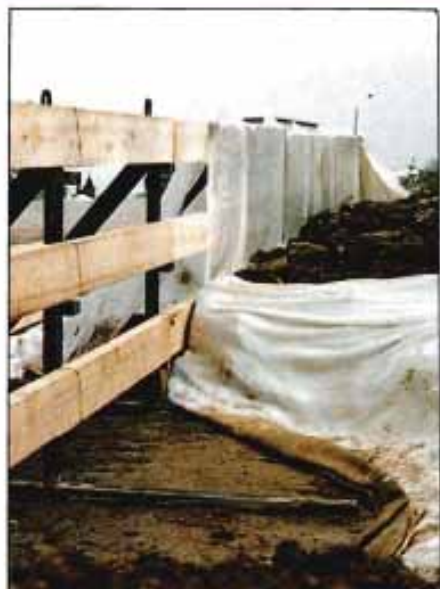
Puede observarse en la tabla la gran diversidad de materiales con diferente naturaleza, composición y estructura molecular, a los que hay que añadir los posibles aditivos que pueden emplearse y tener en cuenta, además, la variedad de formas comerciales con que se manufacturan y su gran superficie de trabajo; por otra parte, si se tiene en cuenta también la diversidad de situaciones específicas donde van a estar ubicados estos materiales, las diferentes funciones que deben cumplir y el conjunto de factores que han de soportar en cada aplicación en particular, se comprenderá que existan un número de variables considerable que hay que tener en cuenta a la hora de elegir un material para cada caso con-

creto; esto obligará a estudiar previamente el tipo de material a emplear y las características tecnológicas a exigirle, para determinar los parámetros a tener en cuenta en cada caso con el fin de simular en el laboratorio, mediante los ensayos oportunos, la incidencia en su comportamiento desde el punto de vista de predecir su durabilidad y, por tanto, su evolución y comportamiento con el tiempo.

Factores que afectan a la durabilidad de los materiales y forma de valorarlos

Los geotextiles, en cualquiera de sus aplicaciones, se pueden ver afectados con el tiempo, por un conjunto de cambios no deseables que mo-





difican sus propiedades iniciales debidos a los diversos factores a que puede estar sometido el material; la influencia alternada de calor y frío, de clima seco y húmedo, la acción de la radiación solar, así como las características particulares del suelo y las condiciones específicas de la obra, pueden causar paulatinamente la degradación del material.

El análisis de esta situación ha llevado a la opinión internacional de los encargados del estudio de estos temas, a establecer una clasificación de los diferentes factores que pueden afectar a la durabilidad de los geotextiles, para, de esta forma, planificar las investigaciones necesarias con el fin de estudiar el problema y sus posibles soluciones.

En la tabla 2 se recogen los factores que se han establecido y alguna de las causas implicadas más importantes.

“**L**os geotextiles, en cualquiera de sus aplicaciones, se pueden ver afectados con el tiempo, por un conjunto de cambios no deseables que modifican sus propiedades iniciales debidos a los diversos factores a que puede estar sometido el material.”

A continuación se describen brevemente los aspectos más característicos de cada uno de estos factores de forma independiente, (tabla 2) aunque, en realidad, el fenómeno de la deterioración es la consecuencia resultante del conjunto, muchas veces simultáneo, de todos ellos. También se indica la manera de evaluar estos fenómenos en el laboratorio, y la importancia de cada uno de estos factores en el comportamiento definitivo del material.

Mecánicos

Acciones potenciales

- Manipulación durante la puesta en obra: desgarró, abrasiones, impactos, etc.
- Naturaleza del material y función: fluencia, deformación, rotura por fatiga, desgarró, perforaciones, etc.



Físicos

Acciones potenciales

- Radiación solar: la energía asociada a las radiaciones emitidas

TABLA 2. — Factores que afectan a la durabilidad de los geotextiles

1. Mecánicos	(roturas por fatiga, fluencia, desgarró, abrasión, impacto, etc).
2. Hidráulicos	(colmatación, humedad, etc).
3. Físicos	(fotodescomposición, fotooxidación, temperatura, etc).
4. Químicos	(ácidos, bases, disolventes orgánicos, oxidantes en general, etc).
5. Biológicos	(microorganismos, algas, hongos, plantas, animales, etc).

Evaluación

Ensayos normalizados de las características afectadas.

Importancia técnica

Dependiendo de la función a desarrollar, las características que relacionan las propiedades mecánicas tienen una gran importancia, tanto desde el punto de vista funcional (refuerzo, etc), como operacional durante la puesta en obra.

Hidráulicos

Acciones potenciales

- Alteraciones de la función prevista: colmataciones, contaminaciones por microorganismos o partículas de suelo, desgarró, etc.

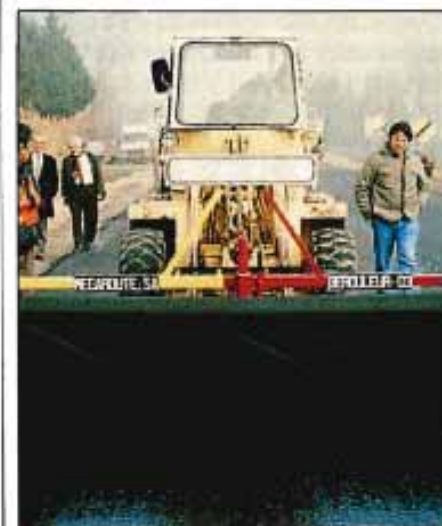
Evaluación

Ensayos de permeabilidad y porosimetría.

Importancia técnica

Es importante para todas las aplicaciones en que el geotextil tenga que cumplir funciones de filtro o drenante o de otras características hidráulicas.

por el sol por sí sola, o unida a otros efectos, como cambios bruscos de temperatura, variaciones cíclicas de humedad, esfuerzos mecánicos, etc, puede iniciar una reacción de degradación superficial del polímero a través de radicales libres que modifican su estructura molecular provocando escisión de cadenas, reticulación, modificación de la cristalinidad,



“**L**a mayoría de los materiales termoplásticos no se alteran significativamente, desde el punto de vista químico, a las temperaturas normales de servicio aunque, en general, se modifican sus propiedades mecánicas.”

etc., de graves consecuencias para su comportamiento mecánico.

- Temperatura: Este factor, junto con la participación del oxígeno ambiental, puede producir una degradación termooxidativa del material en algunas de sus aplicaciones de consecuencias similares a las referidas en el párrafo anterior. En ausencia prolongada de oxígeno, cuando se emplea como refuerzo de mezclas bituminosas extendidas en caliente, pueden presentarse reblandecimientos entre los 120 y 160 °C, dependiendo de la naturaleza del material. De todas formas, al margen de los casos citados, la mayoría de los materiales termoplásticos no se alteran significativamente, desde el punto de vista químico, a las temperaturas normales de servicio aunque, en general, se modifican sus propiedades mecánicas.

Evaluación

Ensayos especiales en cámaras de envejecimiento acelerado que permiten exponer los materiales a la radiación UV, humedad y temperatura en ciclos controlados.

Importancia técnica

Cuando los geotextiles van a estar almacenados sin protección a la intemperie durante un tiempo prolongado o van a desempeñar su función expuestos a la acción de la radiación solar y de las oscilaciones de temperatura y humedad, estos factores de naturaleza física pueden tener una importancia decisiva en el comportamiento del material, que vendrá influido, fundamentalmente por su naturaleza y aditivos incorporados.



Químicos

Acciones potenciales

- La respuesta a los agentes químicos de los materiales poliméricos es, en general, bastante satisfactoria dependiendo fundamentalmente de su propia naturaleza química. Los productos más agresivos son los de naturaleza polar: ácidos, bases, detergentes, etc, así como los disolventes orgánicos.
- Este tipo de agresividad se manifiesta por efectos tales como solubilización, plastificación, aumento de la fragilidad, etc, que se intensifican con el aumento de temperatura y esfuerzos mecánicos.

Evaluación

Ensayos normalizados que permiten exponer los materiales a diferentes agentes químicos y en las condiciones y concentraciones que sean más representativos de la realidad prevista.

Importancia técnica

Este tipo de agresividad no debe causar grandes problemas a los geotextiles si se toman las debidas precauciones al seleccionar el polímero y los suelos donde van a desempeñar su función. Puede tener más importancia cuando se aplican a áreas de almacenamiento, ferrocarriles o situaciones donde puedan estar en contacto prolongado o accidental con disolventes orgánicos (gasoil, fueloil, gasolina). Las tablas exhaustivas que dan las casas comerciales para la resistencia química a un gran

número de productos químicos no tienen ninguna utilidad.

Biológicas

Acciones potenciales

- Organismos vivos que en su actividad utilicen el material, o alguno de sus componentes, como fuente de energía para su desarrollo.
- Organismos vivos que durante su actividad vital ataquen al material con sus productos del metabolismo.
- Organismos vivos que deterioren físicamente el material, o le alteren superficialmente o afecten al desempeño de sus funciones con su simple presencia física.

Los organismos implicados en estos procesos pueden ser muy diversos: bacterias, hongos, algas, raíces, gusanos, insectos, roedores, etc., todos ellos intrínsecamente relacionados con las características del suelo y el medio ambiente que rodean al material susceptible de alteración.

Como consecuencia de estos fenómenos, si el material es afectado por alguna de las acciones anteriores, va perdiendo progresivamente sus propiedades iniciales pudiendo llegar a un estado de degradación irreversible.

Evaluación

Se necesitan ensayos especiales que deben ser realizados por laboratorios cualificados y que deben ser informados de todos los factores y circunstancias que entran en juego.

Importancia técnica

El factor biológico del conjunto de

fenómenos que se producen en los ambientes donde suelen desarrollar sus funciones los geotextiles es uno de los aspectos más importantes en relación con su durabilidad y pese a la evidencia que se tiene de ello todavía no se le ha reconocido suficientemente su importancia.

Como se verá más adelante, en comparación con los materiales de origen natural, se ha considerado a los materiales poliméricos sintéticos resistentes al ataque por microorganismos, ya que, por su estructura orgánica fundamental, no sirven, en principio, como fuente nutritiva para su metabolismo; sin embargo, cada vez se está poniendo más en evidencia que los aditivos empleados en las diferentes formulaciones de los plásticos, tales como plastificantes, lubricantes, etc, si son susceptibles al ataque por microorganismos, iniciándose así su envejecimiento que, si va progresando, con el tiempo llega a producir su degradación y deterioración.

Análisis de la experiencia actual

La experiencia de que se dispone actualmente sobre la durabilidad de los geotextiles es muy incompleta y parcial y se debe a la obtenida en estos últimos años en algunos tipos de obras de ingeniería en que se han utilizado estos materiales. Para su análisis, se ha dividido aquí la documentación consultada en distintos apartados que se corresponden con la clasificación hecha anteriormente

para los factores de agresividad que se han considerado como causa de la deterioración de estos materiales.

Aspectos generales

RANKILOR, ha puesto en marcha un plan de investigación muy interesante a desarrollar en los 10 años que consiste en estudiar la degradación de distintos materiales poliméricos en marcos geográficos muy diversos: Reino Unido, Circulo Polar Artico, Costa Tropical de Yakarta y Desierto de Nuevo Mejico; los materiales estudiados abarcan tipos y formas comerciales: polipropileno, polietileno, poliéster, poliamida y policloruro de vinilo, a los que somete a diferentes medios ambientales: exposición a la radiación solar, intemperie, enterrados, y en agua del mar. Como dato interesante y a la vez sorprendente, se tiene que se ha encontrado, en dos años y medio desde que inició la experiencia, que las muestras conservadas como control se degradaban significativamente alterando sus propias propiedades mecánicas.

LEFLAIVE, opina que en el caso de aplicaciones como sistemas de filtración, si el geotextil ha funcionado bien durante un año sin problemas de colmatación o desgarró, los problemas que cabe esperar serán los debidos a la acción microbiológica por la interacción suelo-geotextil por lo que habrá que investigar este aspecto.

En cuanto a la función mecánica piensa que no debe haber problemas si se profundiza en el conocimiento de las propiedades de los geotextiles en relación con su estructura interna para prever su evolución e identificar los parámetros significativos, que

“La experiencia de que se dispone actualmente sobre la durabilidad de los geotextiles es muy incompleta y parcial y se debe a la obtenida en estos últimos años en algunos tipos de obras de ingeniería en que se han utilizado estos materiales. ”

permitan estudiar previamente su comportamiento y conocer su tendencia al envejecimiento.

AIPCR.— Las respuestas de los países que han contestado a la encuesta formulada para presentar en el Congreso Mundial de Carreteras de 1987, sobre todos los aspectos que afectan a la durabilidad de los geotextiles carecen por completo de interés.

Aspecto mecánico

VARIOS autores han detectado problemas de perforación y desgarró por los áridos en contacto con el material, así como por el desarrollo de vegetación, en geotextiles a base de polietileno y polipropileno.

LECLERQ, ha observado, al cabo de 10 años de servicio, problemas de fluencia y fatiga ante diferentes sollicitaciones que modifican la estructura interna de materiales tales como polipropileno y polietileno.

Aspecto hidráulico

IONESCU, ha detectado problemas de colmatación por el suelo o por el desarrollo microbiano, así como contaminaciones que alteran la función drenante aunque puede decirse, que en general, han funcionado bien durante 15 años. Los materiales estudiados fueron poliéster y polipropileno.

ROLLIN, cita ocho regiones diferentes del mundo donde la permeabilidad de los geotextiles se ha visto seriamente dañada por la formación de óxidos e hidróxidos de hierro debida a la oxidación microbiológica de iones ferrosos, activada, además, por condiciones favorables a reacciones de oxidación-reducción.

GREENWAY, ha encontrado un buen comportamiento de los geotex-



tiles cuando se emplean en funciones de filtración.

CONGRESO MUNDIAL DE CARRETERAS (1987), se comenta el problema de la colmatación férrica de sistemas filtrantes sin especificar las causas, así como las debidas al efecto de partículas de suelo.

WISSE, ha detectado también el problema de la colmatación férrica y opina, además, que el hierro, al igual que el manganeso y cobre actúan como catalizadores del fenómeno de la termooxidación de polipropileno que, en condiciones normales necesita altas temperaturas, pero en la presencia de estos metales puede resolverse a temperatura ambiente. No comenta la posibilidad de la colaboración microbiológica en este fenómeno reconocida ya por varios autores en otros casos.

Aspecto físico

RAUMAN, ha medido pérdidas de resistencia mecánica de hasta un 30% por exposición prolongada al sol de polímeros a base de poliolefinas.

GREENWAY, la exposición a la intemperie de geotextiles a base de polipropileno, polietileno y poliéster acusan pérdidas de resistencia de un 15% en general, y en caso particular con poliéster hasta un 35% sin encontrarle otra explicación que el posible efecto de la contaminación urbana; en nuestra opinión posiblemente, por hidrólisis ácida.

WISSE, ha observado degradación termooxidativa vía radical del polipropileno cuando se expone a la intemperie.

El fenómeno es menor bajo el agua en la atmósfera debido a la menor proporción de oxígeno; sin embargo, el agua del mar produce la extracción y lavado de algunos antioxidantes, dando el mismo resultado que los que no tienen estos aditivos.

Aspecto químico

VERDU, hace un estudio del comportamiento a largo plazo de materiales poliméricos pero demasiado teórico y poco práctico para el caso de aplicación de los geotextiles. Analiza el problema de la hidrólisis en poliamidas y poliésteres que achaca la acción de suelos muy ácidos y muy básicos pero sin penetrar en el origen de esta situación y la posible evolución de la degradación por causas biológicas una vez iniciada la deterioración por hidrólisis. Ha observado el hinchamiento de algunos polímeros por absorción de agua

disminuyendo la temperatura de transición vítrea, fenómeno que es reversible al secarse.

CONGRESO MUNDIAL DE CARRETERAS (1987), existe una opinión bastante generalizada del riesgo de hidrólisis con las poliamidas en suelos inundados y/o ácidos. En Francia parece que no ha habido problemas de este tipo en 18 años, pero no indican que tipos de suelos han empleado.

LECLERQ, ha observado la producción de hidrólisis de geotextiles a base de poliéster por determinación de grupos terminales-COOH. Este fenómeno se produce muy intensa-

“WISSE, ha detectado también el problema de la colmatación férrica y opina, además, que el hierro, al igual que el manganeso y cobre actúan como catalizadores del fenómeno de la termooxidación de polipropileno que, en condiciones normales necesita altas temperaturas, pero en la presencia de estos metales puede resolverse a temperatura ambiente.”

mente en suelos ricos en iones ferrosos, cuando el material de relleno es fosfoyeso y en suelos pantanosos. No da explicación al motivo por el que estos suelos son tan agresivos, pero parece que son tres casos típicos donde puede jugar un papel fundamental el aspecto microbiológico.

Aspecto biológico

CONGRESO MUNDIAL DE CARRETERAS (1987), la información recogida para este congreso supone que no hay problemas de origen biológico.

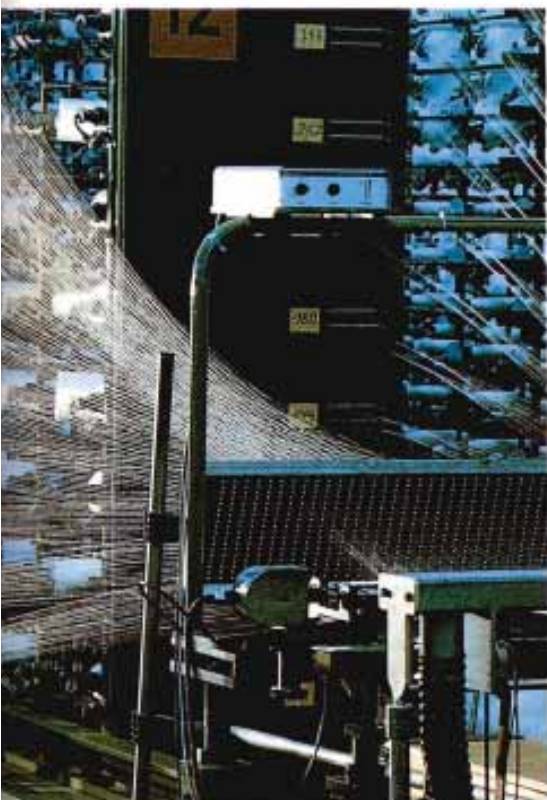
IONESCU, contempla la colmatación de elementos filtrantes por el desarrollo de microorganismos, que es una de las causas, ignoradas por otros investigadores, del deterioro de las funciones hidráulicas de los geotextiles.



ROLLIN, ya ha comentado el fenómeno de colmatación de elementos filtrantes por óxidos e hidróxidos de hierro producidos por actividad microbiana, fenómeno que ha sido observado por otros autores.

En resumen: como puede deducirse del análisis de la documentación consultada, la experiencia real de los problemas que afectan a la durabilidad de los geotextiles empleados en diferentes tipos de obras es todavía insuficiente. Hay unos cuantos aspectos en los que sí se dispone de unos conocimientos bastante satisfacto-





rios, pero el problema de la durabilidad, tal como se ha planteado al principio de este trabajo, es decir, el envejecimiento estructural con modificaciones en su composición íntima que puede conducir a la degradación del material, está tratado muy superficialmente; por otra parte, el aspecto biológico del envejecimiento está prácticamente ausente en todos los programas de investigación dedicados al estudio de la durabilidad, cuando a nuestro juicio, como a continuación se tratará de demostrar, es quizá uno de los factores principales



en el conjunto de fenómenos que pueden afectar a la durabilidad de los geotextiles.

De todas formas, puede decirse que si se elige adecuadamente el geotextil, tanto desde el punto de vista de su naturaleza química como de su forma comercial, de acuerdo con la aplicación y función concreta que va a desarrollar, y se tiene en cuenta también el tipo y características del suelo que va a estar en contacto con él, así como las condiciones particulares de la obra y se toman las debidas precauciones durante la construc-

“Puede decirse que si se elige adecuadamente el geotextil, tanto desde el punto de vista de su naturaleza química como de su forma comercial, la aplicación y función concreta que va a desarrollar, el tipo y características del suelo, así como las condiciones particulares de la obra y se toman las debidas precauciones la durabilidad del geotextil será aceptable como para no plantear problemas a largo plazo.”

ción, la durabilidad del geotextil será lo suficientemente aceptable como para no plantear problemas a largo plazo.

La durabilidad de los geotextiles desde el punto de vista biológico

Aunque hace ya muchos millones de años que las plantas verdes sintetizan compuestos orgánicos a partir del anhídrido carbónico, ninguno de estos compuestos ha llegado a acumularse en cantidades considerables. Tan solo una ínfima fracción se ha conservado en condiciones anaerobias en forma de compuestos de car-

bono fuertemente reducidos presentes en el petróleo, gas natural y carbones. En condiciones aerobias todos los compuestos formados biosintéticamente son degradables. Para cada compuesto natural, por complicado que sea, existe un microorganismo capaz de degradarlo total o parcialmente; los fragmentos que surgen de esta forma son utilizados por otras especies y así sucesivamente. Los microorganismos que presentan pues un conjunto como omnipotentes bioquímicamente y se habla de un "principio de potencialidad microbiana ilimitada". Recientemente ha resultado necesario limitar dicho principio. Algunos compuestos de bajo peso molecular creados y sintetizados por el hombre (algunos insecticidas y detergentes) y algunos polímeros sintéticos de elevado peso molecular resisten, por ahora, la degradación microbiana.

El papel que desempeñan los microorganismos en la naturaleza está basado en el recambio cíclico de ciertos elementos fundamentales que componen la materia viva, en un proceso constante de mineralización llevado a cabo durante la descomposición de todo tipo de compuestos orgánicos como inorgánicos, de acuerdo con los diferentes ciclos biogeoquímicos naturales.

Esta actividad la pueden desarrollar gracias a su versatilidad y especificidad metabólica basada en las posibilidades enzimáticas para cada tipo de microorganismo y compuesto a degradar. De esta forma, las sustancias naturales cualquiera que sea su estructura, son susceptibles a la degradación microbiana en más o menos tiempo, cuando las condiciones necesarias sean favorables. Ahora bien, cuando se trata de materiales sintéticos, sobre todo los de elevado peso molecular, las cosas ya no ocurren así pero tampoco son imposibles: ya se conocen insecticidas y detergentes que son biodegradables y ya se han detectado también casos de materiales poliméricos que sufren un envejecimiento y degradación por efecto microbiano. La explicación, sin entrar en detalles innecesarios, es la siguiente:

Las bacterias poseen sistemas primitivos de control genético pudiendo sintetizar gran variedad de enzimas con las que desarrollan las actividades metabólicas necesarias para utilizar los materiales que tienen disponibles. Cuando un microorganismo se encuentra con un producto

extraño a su ambiente nutricional habitual, al principio es incapaz de utilizarlo, pero después de estar en contacto con él durante un tiempo determinado, acaba por producir el enzima adecuado para su utilización, por un mecanismo natural adquirido a lo largo del proceso de evolución biológica.

Esta es, pues, la razón por la que los materiales poliméricos pueden sufrir con el tiempo algún tipo de degradación microbiana, si se dan las circunstancias favorables cuando están desarrollando una función determinada en unas condiciones ambientales que, como es lógico, deben durar muchos años, dadas las expectativas de la vida de servicio con que se construyen estas obras de ingeniería.

Lo difícil en estos casos es iniciar la degradación que, como ya se ha indicado, requiere un tiempo determinado, pero una vez iniciada por cualquier tipo de agresividad (hidrólisis, degradación termooxidativa, etc) el fenómeno se puede ir acentuando progresivamente de acuerdo con el esquema teórico expuesto anteriormente.

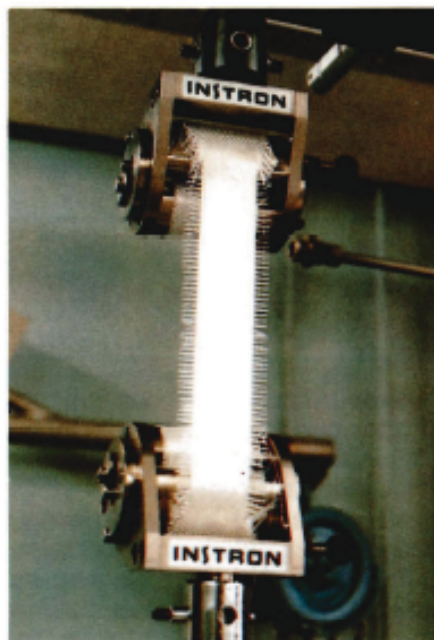
En el resumen que se ha hecho sobre la experiencia que se tiene de la durabilidad de los geotextiles, ya se han visto algunos casos confirmados de problemas creados por la actividad biológica; otros de los que se describen, aunque sus autores no los atribuyen a estas causas, en nuestra opinión obedecen asimismo a fenómenos de tipo biológico. Aparte de estos casos, en otras áreas de la tecnología, existen pruebas evidentes de fenómenos de degradación microbiana de algunos tipos de materiales poliméricos. A continuación se comentan algunos de ellos:

- Se ha comportado en algunos casos (IONESCU) que la capacidad filtrante de geotextiles empleados con este fin perdían su función por la colmatación de sus poros circundante al material. La causa ha podido estar, en el empleo de un suelo rico en materia orgánica; en la circulación por el sistema filtrante de aguas contaminadas biológicamente o en que las características del suelo favorecieran el desarrollo de microorganismos aun en ausencia de materia orgánica. En estos casos no se ha deteriorado el material en sí mismo, sino su función.

- Otra forma de colmatación ha sido descrita por ROLLIN, WISSE y otros, debida a la formación de de-



“Los fenómenos de hidrólisis pueden ser peligrosos para el envejecimiento y degradación del material ya que, una vez iniciado el proceso, como se ha visto anteriormente, puede ir progresando el fenómeno a lo largo del tiempo que ha de estar en contacto el material con los microorganismos de su entorno ecológico.”



pósitos de óxidos e hidróxidos de hierro que disminuían la función filtrante. Este es un caso típico y muy extendido de bacterias que tienen la capacidad de oxidar compuestos reducidos de azufre y hierro, obteniendo la energía para su desarrollo de esta reacción. Este fenómeno se podía haber evitado conociendo de antemano los suelos donde pueden presentarse otros problemas. Este caso es distinto que el anterior pues, aparte del problema de la colmatación, existe también el riesgo ya comprobado de degradación del material ya que si se emplean poliamidas y poliésteres se producen fenómenos de hidrólisis debidas al pH fuertemente ácido que se forma como consecuencia del metabolismo de los microorganismos responsables de los procesos de oxidación.

- Otros casos descritos por LECLERQ sin dar una explicación satisfactoria son los debidos a fenómenos de hidrólisis al emplear geotextiles a base de poliéster en suelos pantanosos o de fosfoyeso. Los suelos pantanosos son susceptibles a favorecer el desarrollo de bacterias anaerobias que, si se dan además otras circunstancias favorables, pueden ser las causantes de unos valores de pH capaces de favorecer la hidrólisis. En el caso del fosfoyeso, este suelo, debido a su riqueza en fósforo, puede ser también un medio ideal para favorecer la actividad microbiana.

- Los fenómenos de hidrólisis pueden ser peligrosos para el envejecimiento y degradación del material ya que, una vez iniciado el proceso, como se ha visto anteriormente, puede ir progresando el fenómeno a lo largo del tiempo que ha de estar en contacto el material con los microorganismos de su entorno ecológico.

Se podrían seguir citando casos diferentes, aunque el corto espacio de tiempo transcurrido desde que se vienen empleando los geotextiles, y la dificultad de diagnosticar estos fenómenos si no se tienen conciencia de ellos, no ha dado lugar, todavía, a que se ponga de manifiesto.

Todas estas razones y comentarios no pretenden establecer una postura negativa y pesimista ante esos problemas, sino todo lo contrario al poner de manifiesto unos fenómenos reales y posibles con el fin de evitar eficazmente situaciones específicas que acabarían, muy probablemente, degradando un material determinado a lo largo de muchos años que deben durar estas obras de ingeniería.

TABLA 3. — Estimación de la agresividad del suelo

PARAMETRO	CALIFICACION	PARAMETRO	CALIFICACION	PARAMETRO	CALIFICACION
<u>Tipo de suelo</u>		<u>Contenido de agua (%)</u>		<u>Sulfatos y bacterias reductoras de sulfatos</u>	
—suelos granulares	-3	—Superior a 60	1	—Ausentes	0
—suelos calizos	-2	—60 a 30	2	—Trazas	2
—suelos yesíferos	±1	—20 a 5	1	—Presentes	4
—suelos margosos, arenas arcillosas	0	—Inferior a 5	0		
—suelos arcillosos	2	<u>Actividad del ión hidrógeno (ph)</u>		<u>Sulfuro de hidrógeno y actividad bacteriana</u>	
—suelos orgánicos	3	—Superior a 6	0	—Ausentes	0
—suelos pantanosos	4	—Inferior a 6	1	—Trazas (5 ppm H ₂ S)	2
—residuos mineros	5			—Presentes (5 ppm H ₂ S)	4
<u>Condiciones generales</u>		<u>Acidez total (mep/kg)</u>		<u>Sulfuros metálicos y bacterias oxidantes de sulfuros</u>	
—L.L. ≥ 50	2	—Inferior a 2,5	0	—Ausentes	0
—I.P. ≥ 25	2	—2,5 a 5,0	1	—Trazas	2
—Presencia de agua	1	—Superior a 5,0	2	—Presentes	4
—Suelo alterado	2				
—Agua no presente	0	<u>Alcalinidad total (mep/kg)</u>		<u>Materia orgánica-Bioactividad (ppm/C)</u>	
—Suelo inalterado	0	—Superior a 1.000	-2	—Inferior 20	0
—Compactación y drenaje adecuados	-2	—200 a 1.000	-1	—20 a 50	1
		—Inferior a 1.000	0	—Superior a 50	2
<u>Resistividad (ohm.cm.)</u>		<u>Contenido de cloruros (ppm ó mg/kg)</u>		CLASIFICACION FINAL (suma de puntos)	
—Superior a 10.000	0	—Superior a 100	1	Negativo	No agresivo
—5.000 a 10.000	1	—Inferior a 100	0	0 a 4	Poco agresivo
—2.300 a 5.000	2			5 a 10	Agresivo
—1.000 a 2.300	3	<u>Contenido de sulfatos (ppm ó mg/kg)</u>		Superior a 10	Muy agresivo
—Inferior a 1.000	4	—Superior a 1.000	3		
<u>Potencial redox (mv, pH7)</u>		—500 a 1.000	2		
—Superior a 400	-2	—200 a 500	1		
—200 a 400	0	—Inferior a 200	0		
—0 a 200	2				
—Inferior a 0	4	<u>Demanda biológica de hidrógeno (ml de H₂/100g/día)</u>			
<u>Iones ferrosos</u>		— Superior a 5	3		
—Superior a 125	3	— 5 a 1	2-1		
—125 a 50	1				
—Inferior a 50	0	<u>Variaciones de temperatura</u>			
<u>Residuos de carbón</u>		—Modifica la calificación			
—Ausentes	0				
—Presentes	4				

Indudablemente, la mayor parte de los fenómenos de agresividad, sobre todo los biológicos, que pueden afectar a la durabilidad de los geotextiles se producen con mucha más intensidad en ambientes terrestres y marítimos que en atmosféricos, aparte de ser también bastante más complejos y difíciles de enjuiciar.

Con este motivo y con objeto de

dar un esquema práctico de actuación ante las causas de alterabilidad y los efectos previsibles sobre la durabilidad de los geotextiles, se han confeccionado unas tablas orientativas a partir de datos obtenidos de la bibliografía consultada y de la experiencia de que se dispone sobre estos temas en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX.

La Tabla 3 reúne una serie de factores que se ha considerado que deben tenerse en cuenta para juzgar la agresividad de los suelos hacia los materiales que pueden emplearse en obras de ingeniería, incluidos los geotextiles, sin especificar a qué tipo de material tiene una aplicación más directa cada factor. La estimación se hace mediante un baremo basado en

Tabla 4. — Resistencia a la deterioración de algunos materiales orgánicos

MATERIAL AGENTES		NATURALES	BITUMINOSOS	POLIESTIRENO	POLIESTER	POLIAMIDA	POLIARAMIDA	POLIETILENO	POLIPROPILENO	POLICLORURO DE VINILO (PVC)	POLIURETANO	ELASTOMEROS	PLASTICO REFORZADO
		BIOLOGICOS	Actividad bacteriana	M	R	D	PA	PA	D	R	R	PA	M
Hongos	M		B	PA	M	B	B	E	E	B	M	PA	PA
Insectos	M		E	B	R	R	B	E	R	B	B	B	E
Roedores, gusanos	M		E	B	R	R	R	E	R	B	B	B	E
Plantas, raíces	R		B	B	B	B	B	M	R	B	R	B	E
QUIMICOS	Acidos	R	B	B	PA	PA	R	E	E	B	R	B	B
	Alcalis	R	B	B	PA	PA	B	E	E	B	R	B	E
	Disolventes orgánicos	PA	M	R	B	B	B	B	B	B	PA	M	R
	Sales disueltas	PA	B	D	B	B	B	B	B	B	D	B	B
	Materia orgánica	M	B	B	R	D	B	E	E	B	M	B	B
FISICOS	Oxidantes	B	B	R	B	R	B	B	R	D	B	R	B
	Calor seco	B	R	B	B	R	B	R	PA	E	B	PA	B
	Calor humedo	M	R	B	R	PA	B	R	PA	R	M	PA	B
MECANICOS	Radiación UV	M	R	B	E	B	B	B	M	E	B	R	B
	Abrasión	M	B	M	E	E	E	R	B	E	B	B	B
	Desgarro	M	B	M	B	B	B	M	R	B	R	B	B
	Fluencia	R	M	R	B	B	E	M	M	R	D	B	E

M: Mala; R: Regular; B: Buena; E: Excelente; D: Desconocida; PA; Potencialmente



la experiencia y conocimientos teóricos de que se dispone de estos materiales cuando están en contacto con el suelo.

La Tabla 4 recoge datos de la resistencia a la degradación de los materiales orgánicos, naturales y sintéticos, más empleados con respecto a los tipos de agresiones más frecuentes que han de soportar en cada situación determinada.

Consideraciones finales

De acuerdo con las reflexiones anteriores, la sistemática a seguir para asegurar una buena utilización y durabilidad de los geotextiles, podría ser la siguiente:

- 1.— Definir la función principal que tiene que desempeñar el material y las propiedades físicas y mecánicas generales que se le deben exigir en principio.
- 2.— Estimar y valorar las sollicitaciones mecánicas y los diferentes factores de agresividad a que va a estar sometido el material en las condiciones específicas de la obra.
- 3.— Elegir el material que reúna las propiedades generales y particulares deseables de acuerdo con la naturaleza química, estructura molecular y forma comercial más adecuada para cumplir su cometido correctamente.
- 4.— Realizar los ensayos previos oportunos para simular la situación real que va a soportar el material y evaluar su comportamiento con el tiempo.
- 5.— Organizar el control de durabilidad necesario a corto y largo plazo que sirva para el seguimiento de la obra como para adquirir experiencia con vistas a futuras actuaciones.
- 6.— Una vez recogida la suficiente información y experiencia, se deberá estudiar la redacción de unas normas de ensayo, recomendaciones técnicas y especificaciones, para la selección, aceptación y control de los materiales que intervienen en esta unidad de obra desde el punto de vista de su durabilidad.
- 7.— La experiencia acumulada servirá también para comunicar a las casas productoras de geotextiles los diferentes problemas encontrados con el fin de que estudien nuevas formulaciones que permitan crear estructuras y materiales que salven estas dificultades o den oportunidad a nuevas aplicaciones.

DURABILIDAD: ELECCION Y CONTROL DE UN GEOTEXTIL





BIBLIOGRAFIA

1. CANNON, E.W. "Fabrics in civil engineering" Civil Engng, March (1976).
2. CHRISTOPHER, B. "Geotextiles". ASTM standardization Séries, (1983).
3. XVIII Congrès Mondial de la Route, Bruxelles (1987).
4. GREENWAY, D.R. "Filtration and degradation behaviour of some nonwoven geotextiles in Hong Kong". Third International Conference on Geotextiles, Vienna (1986).
5. IONESCU, A. "Methods Used for Testing the Bio-Colmation and Degradation of Geotextiles Manufactured in Romania". Sec. Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, USA.
6. KING, R.A. "A review of soil corrosiveness with particular reference to reinforced earth". T.R.R.L. Report SR 316 (1977).
7. LECLERQ, B. "Evolution des caractéristiques mécaniques et physicochimiques des géotextiles prélevés dans quelques ouvrages". Durability of Geotextiles, RILEM (1988).
8. LEFLAIVE, E. "Les géotextiles pourquoi et quel avenir?". Bull. Liaison Labo. P. et Ch., 124 (1983).
9. LEFLAIVE, E. "The different aspects on long-term behaviour of geotextiles". Durability of Geotextiles, RILEM (1988).
10. LOVELOCK, D.W. and GILBERT, R.I. "Microbial aspects of the Deterioration of Materials". Academic Press. London (1975).
11. MUÑOZ CEBRIAN, J.M. "Posibilidades de la investigación biológica en problemas planteados en los diferentes campos de la ingeniería y del urbanismo". Bol. Lab. Carreteras y Geotecnia, 145 (1981).
12. MUÑOZ CEBRIAN, J.M. "Durabilidad y envejecimiento de geotextiles". Carreteras, n 26 (1986).
13. RANKILOR, P.R. "Problems relating to light degradation and site testing of geotextiles". Durability of Geotextiles, RILEM (1988).
14. RAUMAN, G. "Outdoor Exposure Test of Geotextiles". Sec. Int. Conf. of Geotextiles, Las Vegas, USA.
15. ROLLIN, A.L. "Mecanismos de Colmatage des geotextiles". Durability Problem of Geotextiles, RILEM (1988).
16. RUBIO GUZMAN, B. "Curso sobre el empleo de geotextiles". CEDEX. Madrid, (1986).
17. SOTTON, M. and LECLERQ, B. "Some Answer's Components on Durability Problem of Geotextiles". Sec. Int. Conf. on geotextiles, Las Vegas, USA.
18. SOTTON, M. and LECLERQ, B. "Geotextiles and Aging Test". Sec. Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, USA.
19. "Standard Test Method for Chemical Resistance of Pipe Coatings". ASTM G 20-77.
20. "Standard Test Method for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi". ASTM G 21-70 (1980).
21. "Standard Test Method for Determining Algal Resistance of Plastics Films". ASTM G 29-75 (1980).
22. "Standard Test Method for Determining Resistance of Plastics to Bacteria". ASTM G 22-76 (1980).
23. Third International Conference on the Durability of Building Materials and Components, Finland (1984).
24. VERDU, J. "Problems lies a la prediction du comportement a long terme des materiaux polymeres". Durability of Geotextiles, RILEM (1988).
25. WISSE, J.D.M. "The role of thermo-oxidative ageing in the long-term behaviour of geotextiles". Durability of Geotextiles, RILEM (1988).