

Utilización

Por José A. Hinojosa
Dr. Ingeniero de Caminos
Jefe del Servicio de Geotecnia
M.O.P.U.—Carreteras



Introducción

Es evidente el importante desarrollo de los geotextiles en los últimos años, habiéndose pasado en un intervalo corto de tiempo, de ser utilizados en obras provisionales y con funciones sólo de separación a formar parte de obras definitivas y con funciones de refuerzo, filtración y drenaje.

Concepto-Definición-Constitución-Clasificación

Se denomina geotextil a todo material permeable, de apreciable deformabilidad, en forma de lámina, constituido por fibras poliméricas extruídas o estiradas, filamentosas o aplanadas, fabricado según uno o varios procesos de origen textil, con trama regular (tejidos) o entrecruzadas sin ordenación preferente (no tejidos) que, incorporado y/o asociado a trabajos de ingeniería civil, cumple determinadas funciones: separación-anticontaminación, filtración, drenaje, refuerzo, protección, impermeabilización, etc.

Los polímeros sintéticos de uso más extendido en la fabricación de geotextiles son:

- Poliamidas (PA)
- Poliolefinas
 - Polietileno (PE)
 - Polipropileno (PP)
- Poliester (PES)
- Poliacrilnitrilo (PAC)

Estos productos son, proporcio-

de geotextiles en obras de carreteras

A continuación publicamos un estudio realizado por el Dr. Hinojosa sobre el importante desarrollo que en los últimos años ha tenido el empleo de geotextiles en obras definitivas y con nuevas funciones.

nalmente a su peso, más tenaces que el acero, pero sus alargamientos en rotura son muy diferentes.

Las densidades varían desde 1,38 del policéster de alta densidad, pasando por el 1,14 de las poliamidas, hasta el 0,91 del polietileno y polipropileno (flotan).

Las temperaturas de fusión varían desde 290° C del poliéster hasta 165° C del polipropileno, y las habituales de operación entre 150° C del poliéster y los 55° C del polietileno (no se producen alteraciones químicas importantes).

De lo anterior se deduce que unos materiales son más adecuados que otros para las diferentes posibles aplicaciones, debiéndose tener en cuenta en el diseño. A continuación se indican a modo de ejemplo algunas recomendaciones:

— Poliamidas: Se deforman plásticamente sólo bajo cargas elevadas, siendo alta su susceptibilidad a la hidrólisis, no debiendo usarse en medios ácidos.

— Polietileno: Bajo cargas a largo plazo, se deforma incluso en las zonas cristalinas.

— Polipropileno: Además del problema del polietileno a la fluencia, es muy sensible a la oxidación ultravioleta y térmica.

— Poliéster: Es bastante insensible a problemas de fluencia, y resiste bien la degradación térmica y ultravioleta, no debiendo utilizarse en medios básicos.

En la fabricación de geotextiles se utilizan diferentes tipos de fibras: hilo monofilamento, hilo multifilamento, fibras discontinuas, hilos de

fibras discontinuas y cintas, que pueden ser definidas por su densidad, módulo elástico, resistencia a tracción, alargamiento, módulo específico, resistencia específica, punto de fusión, curva dinamométrica (R- ϵ) y curva de fluencia (ϵ -t).

Los geotextiles se clasifican tradicionalmente en *no tejidos* y *tejidos*.

Los geotextiles no tejidos propiamente dichos, fabricados por unión por vía seca o por vía fundida (agujeteados, soldados químicamente, termosoldados) se fabrican con fibras discontinuas o filamentos.

Se asimilan a éstos:

— Mallas no tejidas (a base de hilos o bandas)

— Geotextiles tricotados

— Geomallas

— Capas tridimensionales

— Estructuras alveolares

— Materiales incorporados al suelo como fibras cortas, fibras continuas, micromallas, minimallazos, etc.

Los geotextiles tejidos (trama y urdimbre) se fabrican a partir de cintas, láminas fibriladas, hilos multifilamentos, hilos monofilamentos, fibras cortadas y mallas.

Características que definen un geotextil

Un geotextil estará sometido durante su vida de servicio a una serie de solicitaciones determinadas; pero hay que tener en cuenta que durante su puesta en obra puede estar some-

tido a otras solicitaciones diferentes que pueden provocar desgarros (paso de maquinaria), punzonamientos y cortes (caída de bloques), colmatación, etc.

Para poder resistir todas estas solicitaciones el geotextil debe tener una serie de características.

Una ficha técnica completa de un geotextil debería definir los siguientes puntos:

- Generalidades
 - Nombre del producto
 - Fabricante-productor
 - Fecha de fabricación
- Características de fabricación
 - Materias primas: clase y características
 - Forma de las fibras
 - Constitución del geotextil.
- Tipo de geotextil
 - Tejido: trama y urdimbre
 - No tejido
 - Unión vía seca
 - Unión vía fundida (mecánica, térmica, química)
- Características geométricas
 - Peso superficial: P (g/m²)
 - Espesor nominal y compresibilidad para 2,20 y 200 KN/m²: e (mm).
- Características hidráulicas
 - Porometría
 - O_n — tamaño malla [tejidos] (mm)
 - D_n — diámetro eficaz de poros [no tejidos] (mm)
 - Permeabilidad
 - Normal $K_n = \psi \cdot e$ (m/s)
 - Paralela $K_p = \theta/e$ (m/s)

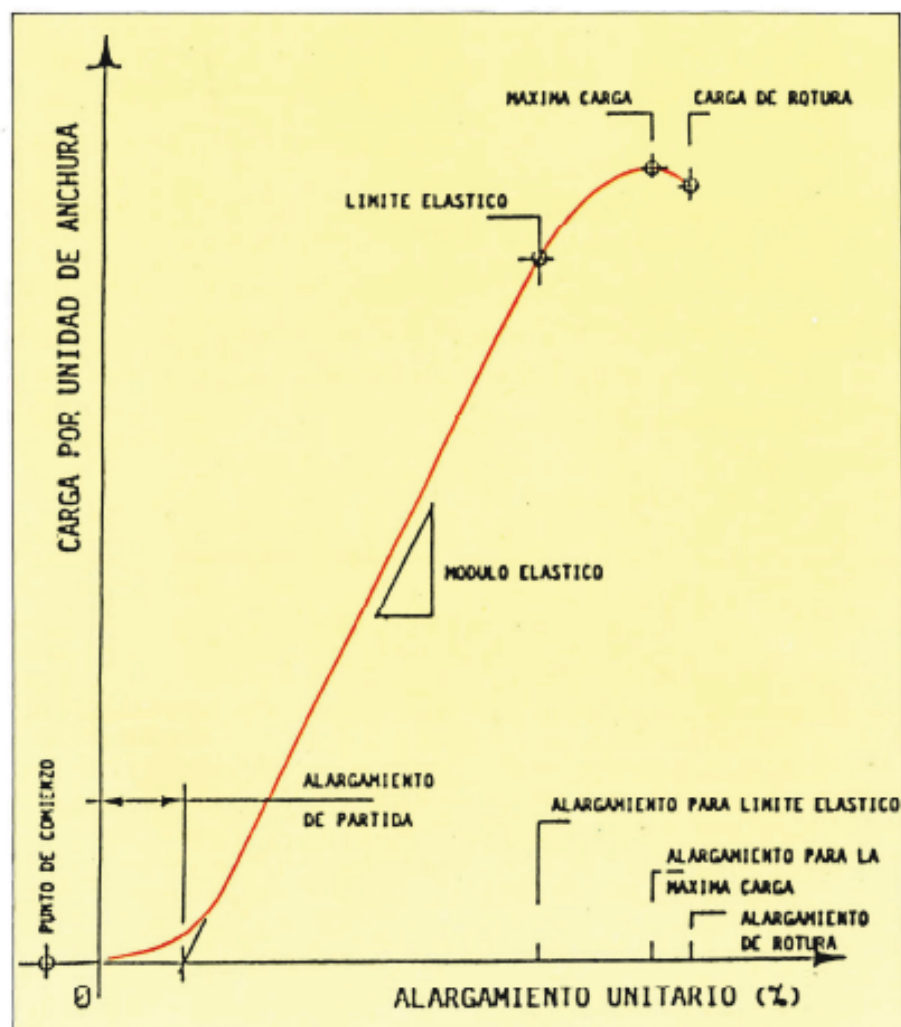


Figura 1.

Curva típica carga-deformación de un geotextil.

A continuación se comentan únicamente algunos puntos de interés sobre los ensayos que habitualmente se realizan sobre geotextiles, con toma de posición en algún caso entre las diferentes alternativas existentes para su realización, ya que una descripción pormenorizada de los mismos haría excesivamente largo el texto y por otra parte puede ser consultada en la bibliografía existente.

Como recomendación de carácter general es preciso indicar que los ensayos deben ser efectuados sistemáticamente en dos direcciones perpendiculares (sentido de producción y sentido transversal).

Para la toma de muestras se utilizará un rollo de anchura mínima 1 m y a una distancia mínima al borde de 100 mm. La dimensión mínima de la probeta depende del ensayo, y la división en lotes del tipo de control de calidad a efectuar. La atmósfera normal para los ensayos es de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ y $65 \pm 2\%$ de humedad.

Los ensayos que habitualmente se realizan sobre los geotextiles tratan de medir o cuantificar las siguientes propiedades de los mismos (se indica entre paréntesis la denominación del ensayo correspondiente).

Peso superficial (Determinación del peso por unidad de área)

Se utilizan muestras de $0,01 \text{ m}^2$

Espesor nominal (Determinación del espesor por unidad de área)

Se utilizan muestras de $0,01 \text{ m}^2$ bajo presiones de 2, 20 y 200 KN/m^2

Porometría o tamaño de poro aparente (Distribución del tamaño de poro aparente o determinación del tamaño de malla)

En el momento actual la utilización del tamizado hidrodinámico da resultados más reales, en oposición al tamizado vibratorio que presenta resultados divergentes. En general se

Los ensayos deben ser efectuados sistemáticamente en dos direcciones perpendiculares (sentido de producción y sentido transversal).

— Características mecánicas

- Comportamiento en tracción monodireccional (Figura 1).

- Resistencia a rotura R_t (KN/m)

- Alargamiento en rotura ϵ_r (%)

- Módulo (curva $R-\epsilon$) M (KN/m)

- Comportamiento a fluencia y relajación:

- Alargamiento para un % de la carga de rotura en períodos de tiempo determinados ϵ_k (%)

- Comportamiento al desgarro (estático y dinámico)

- Resistencia al desgarro R_d (KN)

- Comportamiento al punzonamiento

- Resistencia a rotura (valor máximo de carga para rotura) R_p (KN)

- Deformación de rotura (deformación para la máxima carga de rotura) ϵ_r (%)

- Comportamiento a la perforación

- Resistencia a rotura O_p (mm)

- Comportamiento al estallido o reventón

- Resistencia a rotura R_e (KN/m^2)

- Deformación de rotura ϵ_r (%)

- Comportamiento frente al rozamiento

- Rozamiento suelo-geotextil s_s

- Rozamiento geotextil-geotextil s_s

- Comportamiento ante sollicitaciones localizadas

- Comportamiento a la flexibilidad (aptitud de conformación)

— Características de durabilidad

- Resistencia agentes climáticos (UV, agua)

- Resistencia agentes químicos [ácido láctico, CO_2 , Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$]

- Resistencia a agentes biológicos (bacterias)

- Resistencia a agentes físicos

Ensayos

La medida de las características geométricas, hidráulicas, mecánicas y de durabilidad se realiza mediante ensayos. Previamente a su ejecución es preciso definir el muestreo, la forma de llevar a cabo la toma de muestras, y efectuar un acondicionamiento y conservación de las mismas.

mede el D_{90} (no tejidos) u O_{90} (tejidos) con malla portante del geotextil.

Permeabilidad normal. Permisividad. (Determinación de la permeabilidad al flujo de agua).

Se mide la aptitud de percolación y el poder filtrante, utilizándose un permeámetro con carga de agua constante o variable, siendo posible elegir el número de capas de geotextil.

Permeabilidad paralela. Transmisividad. (Determinación de la transmisividad).

Se mide la aptitud para dejar circular agua para diferentes gradientes en su plano y el poder drenante. El flujo puede ser radial o unidireccional, utilizándose gradientes del orden de $1/3$, con carga hidráulica constante $H = 50$ cm.

Resistencia a tracción uniaxial y deformación. (Determinación del comportamiento a tracción)

Las dimensiones de la probeta en geotextiles tejidos y no tejidos debe ser de 200×100 mm², y la velocidad de separación de mordazas constante de 300 mm/min.

Fluencia. (Determinación de la deformación de fluencia)

Se utiliza el aparato de ensayo para resistencia a tracción uniaxial u otro más sencillo. Las dimensiones son las indicadas para este último ensayo. Generalmente se utiliza una carga del 25% de la resistencia a tracción uniaxial para tiempos de 1, 24, 96 y 504 horas.

Resistencia al desgarro. (Determinación de la resistencia al desgarro)

Se utiliza en general una probeta trapecial (Figura 2), pudiendo utilizarse máquinas con velocidad de desgarro constante o con velocidad de separación de mandíbulas constante. Hay discrepancias importantes en las dimensiones y en el valor resultado del ensayo (valor máximo, valor medio de los máximos, etc.) Puede ser estático o dinámico, siendo en este último caso la velocidad de desgarro del orden de 1000 veces mayor que en el caso estático y precisándose una máquina específica y compleja ($v = 100$ mm/min)

Resistencia al punzonamiento. (Determinación del comportamiento al punzonamiento)

Se utiliza el aparato del ensayo CBR. El diámetro del émbolo suele ser de 50 mm y el de la muestra de geotextil 150 mm. La velocidad de avance del émbolo es 60 mm/min.

Resistencia a la penetración o per-

“E *n el momento actual la utilización del tamizado hidronámico da resultados más reales, en oposición al tamizado vibratorio.”*

foración. (Determinación de la resistencia a la penetración o perforación)

Se utiliza el molde del ensayo CBR para colocar el geotextil ($\phi_{\text{muestra}} = 150$ mm.) sobre el que se deja caer un cono de $\phi = 50$ mm., $\alpha = 45^\circ$ y una masa 1 Kg desde 500 mm de altura.

Resistencia al estallido o reventón. (Determinación de la resistencia al estallido o reventón)

Se mide la presión máxima ejercida por un fluido sobre una probeta sometida a extensión multidireccional.

Rozamiento. (Determinación del rozamiento suelo-geotextil y geotextil-geotextil)

Se utilizan ensayos de rozamientos (sobre una lámina de geotextil fija a un bastidor se hace deslizar el suelo respecto a la lámina de corte directo) y de extracción (se extrae la lámina de geotextil embebida en el suelo bajo aplicación de una sobrecarga).

Exposición a rayos UV y al agua. (Determinación de la resistencia a la radiación UV y al agua).

Se utiliza un ensayo de envejeci-

miento acelerado, que mide el deterioro de una propiedad determinada del geotextil (p.e. R_t) debido a la luz UV y agua, lo que da una idea de vulnerabilidad a estos efectos (radiación, temperatura y humedad). Se utiliza luz de xenon, que permite una comparación cualitativa entre diferentes productos, proporcionando sólo de forma relativa el posible comportamiento a corto plazo. Los ensayos de exposición a la intemperie pueden durar mucho tiempo.

Estabilidad química, física o biológica. (Determinación de la resistencia a agentes químicos, físicos o biológicos)

Se mide el deterioro de alguna propiedad (p.e. peso) por la exposición a estos agentes, obteniéndose datos sobre la estabilidad a los mismos.

Las características medidas en los ensayos citados anteriormente son las más habitualmente determinadas en los geotextiles. No obstante existen algunas otras, que aunque sólo sea mencionarlás, deben ser indicadas aquí:

— Flexibilidad (en el plano del geotextil y perpendicular al mismo)

— Cizallamiento y tracción sobre fibras

— Efecto de la compactación

— Efecto del choque o caída de piedras

— Fluxión

— Comportamiento a la colmatación

— Ensayos para evaluar las propiedades de las juntas y conexiones (fundamentalmente comportamiento a tracción y transmisividad)

Los ensayos que cuantifican las ca-

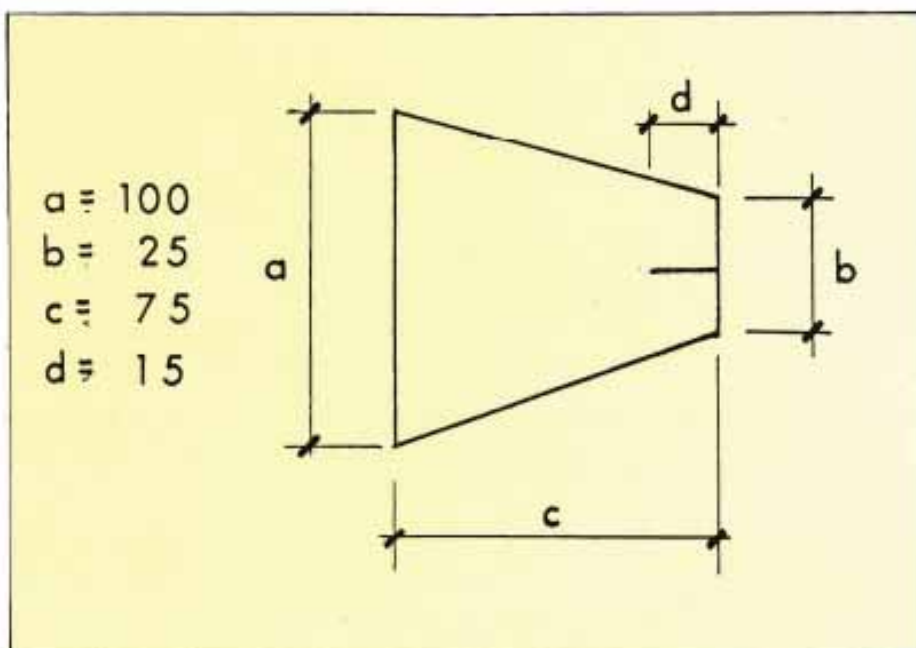


Figura 2. Probeta (forma y dimensiones) para el ensayo de desgarro.

TABLA 1

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN

CARACTERÍSTICA DEL GEOTEXTIL	ENSAYO (S) UTILIZADO (S)	OBSERVACIONES
Abertura de filtración D_n u O_n (mm)	Distribución del tamaño de poro aparente o determinación del tamaño de malla.	$D_n = D_{95}$ Tamizado hidrodinámico
Permisividad $\psi = \frac{K_n}{e} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	Determinación de la permeabilidad al flujo de agua.	
Transmisividad $\theta = K_v \cdot e \text{ (m}^2\text{/s)}$	Determinación de la transmisividad	
Resistencia a tracción uniaxial $R_t \text{ (KN/m)}$	Determinación del comportamiento a tracción monodireccional	Tamaño probeta: $200 \times 100 \text{ mm}^2$ ϵ_1 = deformación entre mordazas ϵ_2 = estricción ϵ^* = deformación real $\epsilon^* = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_1 \cdot \epsilon_2$
Deformación $\epsilon_T \text{ (\%)}$		
Módulo a tracción $M \text{ (KN/m)}$		
Rozamiento suelo-geotextil $\varphi_{sg} \text{ (}^\circ\text{)}$ tan $\varphi_{sg} = f \cdot \tan \varphi$	Determinación del rozamiento suelo-geotextil y geotextil-geotextil	
Resistencia al desgarro (estático y dinámico) $R_d \text{ (KN)}$	Determinación de la resistencia al desgarro.	
Resistencia al estallido o reventón $R_e \text{ (KN/m}^2\text{)}$	Determinación de la resistencia al estallido o reventón.	
Resistencia al punzonamiento $R_p \text{ (KN)}$	Determinación del comportamiento al punzonamiento.	
Resistencia a la penetración o perforación $O_p \text{ (mm)}$	Determinación de la resistencia a la penetración o perforación.	
Resistencia a solicitaciones localizadas	Determinación del comportamiento ante solicitaciones diversas (compactación, cizallamiento, etc.)	
Durabilidad ante agentes climáticos, químicos, físicos, biológicos	Determinación de la resistencia a agentes diversos	Se calcula: $\frac{\nabla R_t}{(R_t)_i}$ ó $\frac{\nabla P}{P_i}$
Fluencia $\epsilon_k \text{ (\%)}$	Determinación de la deformación de fluencia	Carga 25% de resistencia a tracción uniaxial para $t = 1, 24, 96, 504$ horas

AUTOR/PAIS	CRITERIOS	TEJIDOS	NO TEJIDOS	FLUJO LAMINAR ESTACIONARIO	FLUJO TURBULENTO ALTERNATIVO	SUELOS	OBSERVACIONES
CALHOUN	$d_{95}/d_{50} < 1,0$, $d_{90} \leq 200 \mu m$ ($L > 50\%$)	X	X	X			LIMITE DE FILTRACION
TAN ET AL	$d_{95}/d_{50} \leq 2$						
RAGUTZKI	$d_{95}/d_{50} \leq 1,7 - 2,7$	X		X		$0,1 < d_{50} < 0,3$	
	$d_{95}/d_{50} \leq 0,5 - 1,3$	X			X	ARENAS UNIFORMES CON CARGA	
	$d_{95}/d_{50} < 0,5 - 1,5$		X		X	ARENAS UNIFORMES CON CARGA	
	$d_{95}/d_{50} < 0,5 - 0,7$	X	X		X	ARENAS UNIFORMES SIN CARGA	
OGINK (DHL)	$d_{90}/d_{50} \leq 1$	X		X			LIMITE DE FILTRACION
	$d_{90}/d_{50} \leq 1,8$		X	X			LIMITE DE FILTRACION
	$d_{90}/d_{15} \leq 1$	X			X		NO FORMACION DE FILTRO NATURAL
	$d_{90}/d_{50} \leq 1$		X		X		NO FORMACION DE FILTRO NATURAL
SOCIEDAD ALEMANA DE MECANICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES	$d_{95}/d_{50} \leq 1,7 - 2,7$	X		X			
	$d_{95}/d_{50} \leq 0$	X			X	ARENA UNIFORME	
	$d_{50}/d_{90} = 25 - 37$		X			SUELO COHESIVO	
ZITSCHER	$d_{50}/d_{90} < 1,70 - 2,75$	X		X		SUELO GRANULAR	
	$d_{50}/d_{90} < 0,5 - 1,0$	X			X	SUELO GRANULAR	
RIJSWATERSTAAT	$d_{90}/d_{50} \leq 2$				X		
	$d_{95}/d_{50} \leq 2$						
	$d_{95}/d_{15} \leq 1,5$						CARGA CICLICA CON FILTRO NATURAL
	$d_{95}/d_{15} \leq 1,0$						CARGA CICLICA SIN FILTRO NATURAL; EFECTOS NO ESPERADOS CARGA CICLICA SIN FILTRO NATURAL; EFECTOS ESPERADOS

NOTAS: L = LIMOS

Figura 3.

racterísticas citadas se utilizan en el control de geotextiles, variando el tipo y cantidad según sea su objetivo y utilización.

En el caso de recepción en obra, se utilizarán ensayos sencillos como son los de identificación del tipo de material, determinación de espesor nominal y de peso superficial.

Los ensayos a realizar en laboratorios homologados, además de los de estabilidad química si se prevén ambientes agresivos, son lo de punzonamiento y porometría (función separación-anticontaminación), resistencia a tracción uniaxial y alargamiento, punzonamiento y desgarramiento (función refuerzo), porometría y permisividad (función filtración y porometría y transmisividad (función drenaje).

Los ensayos de caracterización u homologación incluyen todos los indicados anteriormente (Tabla I).

Funciones y dimensionamiento

A continuación se exponen algunos comentarios y consideraciones en

determinados aspectos del dimensionamiento referentes a las funciones de filtración, drenaje, separación-anticontaminación y refuerzo-armado, exponiendo también algunas disposiciones y posibles diseños.

Filtración

El uso del geotextil en esta aplicación surge como consecuencia de la necesidad de colocar algo que filtre entre un material drenante y el suelo, precisándose cumplir ciertas exigencias de retención y permeabilidad.

Las características fundamentales del geotextil, que definen su aptitud para realizar esta función, son su abertura de filtración o malla y su permisividad y, en un segundo plano, el peso por unidad de área y la resistencia a tracción.

Aunque existen multitud de criterios de retención según países y autores, éstos tienden a ser homogéneos. En la figura 3 se muestran los más conocidos.

Influyen en la permeabilidad diversos factores como son el tamaño y número de poros por unidad de área, suelo, carga hidráulica, bloqueo, colmatación, temperatura y composición del agua, entre otros.

“Las características fundamentales del geotextil, son su abertura de filtración o malla y su permisividad y, en un segundo plano, el peso por unidad de área y la resistencia a tracción.”

Aunque el filtro debe cumplir determinadas condiciones desde este punto de vista (la permeabilidad no debe decrecer con el tiempo bajo el efecto de la colmatación, la permeabilidad del filtro debe ser superior a la del suelo, el conjunto filtro-suelo no debe dar lugar a presiones intersticiales significativas), se debe buscar un equilibrio entre el paso de finos al comienzo de la vida de servicio del filtro y la pérdida gradual de permeabilidad. A ello tienden las relaciones habituales de Heerten, Giroud y Louidière (Figura 4. Ver página 48).

CRITERIOS DE RETENCION (II)

AUTOR / PAIS	CRITERIOS	TEJIDOS	NO TEJIDOS	FLUJO LAMINAR ESTACIONARIO	FLUJO TURBULENTO ALTERNATIVO	SUELOS	OBSERVACIONES
LOUDIERE	$O_{95}/d_{85} \leq 1$ ($O_{95} > 50 \mu m$)					GRANULAR GRANULOMETRIA ABIERTA, AUTOFILTRANTE (COHESIVO)	
FAYOUX	$O_{95}/d_{85} \leq 0,8$ ($O_{95} > 50 \mu m$)					GRANULAR GRANULOMETRIA CERRADA, $C_u \leq 4$ (COHESIVO)	
INGOLD	$O_{90}/d_{90} \leq 1$ $0,2 - \sqrt{2/C_u}$ $O_{90}/d_{90} \leq 2 C_u$; $O_{90} \leq 2 d_{90}$ $O_{90} < 200 \mu m$ ($L > 50 \%$)					SUELO GRANULAR $C_u \leq 5$ SUELO GRANULAR $C_u > 5$	
HEERTEN	$O_{90}/d_{50} < 10$; $O_{90}/d_{90} < 2$ $O_{90}/d_{50} < 10$; $O_{90}/d_{90} < 1$ $O_{90}/d_{90} < 1$; $O_{90} < 0,3 mm$ $O_{90}/d_{10} < 5 \sqrt{C_u}$; $O_{90}/d_{90} < 2$ $O_{90}/d_{10} < 5 \sqrt{C_u}$; $O_{90}/d_{90} < 1$ $O_{90}/d_{10} < 1,5 \sqrt{C_u}$; $O_{90}/d_{50} \leq 1$; $O_{90} \leq 0,5 mm$		X			SUELO GRANULOMETRIA FINA $L > 40 \%$ CON COHESION ESTABLE A LARGO PLAZO SUELO GRANULOMETRIA FINA $L > 40 \%$ DEL HUSO II SUELO GRANULOMETRIA FINA $L > 40 \%$ SUELO $L < 15 \%$ SUELO $L < 15 \%$ DEL HUSO II SUELO $L < 15 \%$ SUELO $15 \% < L < 40 \%$	CARGA ESTATICA CARGA ESTATICA CARGA DINAMICA CARGA ESTATICA CARGA ESTATICA CARGA DINAMICA (COMO SUELO $L < 15 \%$)
CFGG	$O_t/d_{85} \leq C$						$C_1 = 0,8 - 1,0$ GRANULOMETRIA $C_2 = 0,8 - 1,25$ SUELO $C_3 = 0,6 - 1,0$ GRADIENTE $C_4 = 0,3 - 1,0$ DREN, FILTRO
FRANCIA	$C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$						
ASTM	$O_t/d_{85} \leq 1$ $O_{95} = 0,211 mm$					SUELO PASA # 200 $\leq 50 \%$ OTROS SUELOS	NO GEOTEXTILES PARA SUELOS CON $d_{85} < 0,074$

NOTAS: L - LIMOS

HUSO II { 1) FRACCION LIMOSA Y $C_u < 15$
2) FRACCION $[0,02 mm < d < 10 mm] > 50 \%$
3) $IP < 15$ ó $A/L < 0,5$

Figura 3. Continuación.

CRITERIOS DE RETENCION (III)

AUTOR / PAIS	CRITERIOS	TEJIDOS	NO TEJIDOS	FLUJO LAMINAR ESTACIONARIO	FLUJO TURBULENTO ALTERNATIVO	SUELOS	OBSERVACIONES
HOLANDA	$O_t/d_{50} < 10$; $O_t/d_{90} \leq 1$ $O_t/d_{50} < 2,5$; $O_t/d_{90} \leq 1$ $O_t/d_{50} < 1$ $O_t/d_{50} < 10$; $O_t/d_{90} \leq 1$; $O_t \leq 0,1 mm$					SUELO GRANULAR $C_u \geq 5$ SUELO GRANULAR $C_u < 5$ MATERIAL COHESIVO FINO	CARGA ESTACIONARIA CARGA CICLICA
REINO UNIDO	$O_{90}/d_{90} < 1$ $O_{90}/d_{85} < 1$						FLUJO UNIDIRECCIONAL Y/O LAMINAR FLUJO BIDIRECCIONAL Y/O TURBULENTO
BELGICA	$O_{90}/d_{90} \leq 2$						
ESTADOS UNIDOS	$EOS/d_{85} < 2$ $EOS/d_{85} < 1$					SUELOS ESTABLES	CUERPO DE INGENIEROS
LAWSON	$O_{90}/d_{10} \geq 1$						LIMITE DE PERMEABILIDAD
FAURE	$O_t/d_{85} < 1,0 - 1,2$ $O_t/d_{85} < 1,5 - 2,0$						CONDICIONES CRITICAS (σ BAJO, i ó v ALTO) CONDICIONES POCO CRITICAS ($\sigma = 100 Kpa$, i ó v BAJO)
SCHOBER and TEINDL	$O_{90}/d_{50} = 1,7 - 3,0$						
CHEN	$O_{90}/d_{85} < 1,2 - 1,8$ $O_{90}/d_{50} < 10 - 12$						

Figura 3. Continuación.

El Comité Francés de Geotextiles y Geomembranas da valores de $K_g/e > 10^6 K_s$ en casos normales y $K_g/e > 10^5 K_s$ para arenas limpias. Otros criterios recomiendan relaciones para suelos cohesivos $K_g/K_s \geq 100$ (con D_w máximo y e mínimo) y para suelo granular.

$$K_g \geq \frac{e \cdot K_s}{5 d_{50}}$$

La pérdida de permeabilidad se puede estimar mediante factores de reducción (Figuras 5 y 6. Ver páginas 38 y 39).

Drenaje

La función del geotextil como dren es poco usada, excepto si se utilizan grandes espesores, pudiendo en este caso poder evacuar caudales importantes en su plano (capas drenantes).

Las características fundamentales que miden su capacidad de drenaje son, además del espesor, la permisividad y la transmisividad. Si no es así, se utiliza en unión con otros elementos que aumenten su sección útil y por tanto su capacidad de drenaje en su plano (p.e. doble geotextil con alma de plástico rugoso). También se deben tener en cuenta para esta función, la resistencia a tracción y el comportamiento a fluencia.

Separación

-anticontaminación

Para prevenir la contaminación se debe evitar la mezcla de finos del suelo con el material del firme o terraplén (condiciones estáticas) y el paso de finos del suelo bajo la acción de cargas alternativas y rápidas debidas al tráfico (condiciones dinámicas), por lo que la función de separación-anticontaminación es semejante a la de filtración, excepto cuando el terreno presenta irregularidades o cuando es tan blando que se deforma apreciablemente bajo la carga del firme o terraplén.

La característica fundamental que mide la aptitud del geotextil para cumplir esta función es la abertura de filtración, aunque también se deben considerar el peso por unidad de área, el comportamiento carga-deformación, la resistencia al desgarro, la fricción y la abrasión.

Para especificar la resistencia del geotextil frente a estas solicitaciones, se pueden utilizar:

- Ensayos del laboratorio de carreteras noruego (presión y punzonamiento sobre aparato CBR modificado)

- Ensayo de punzonamiento

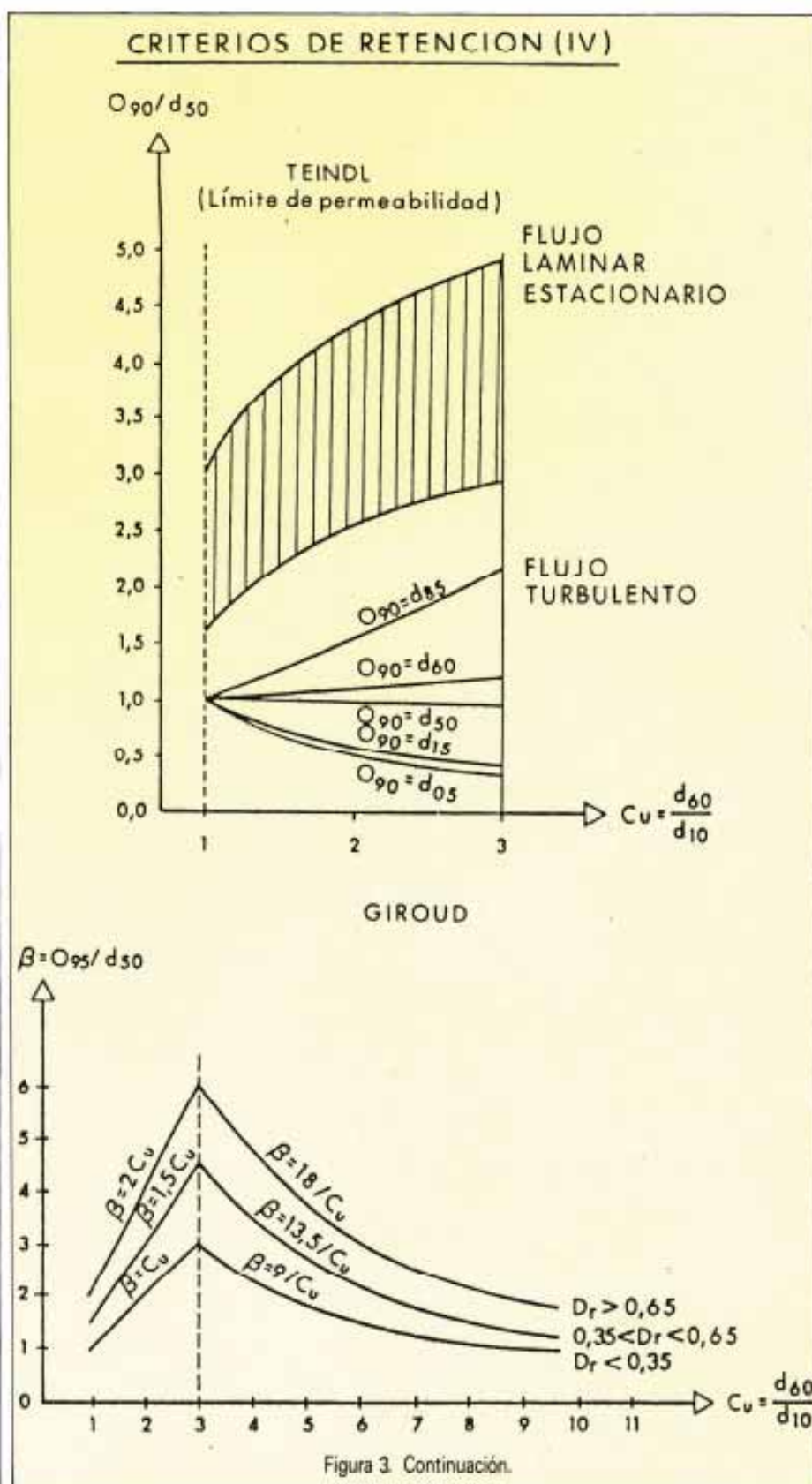


Figura 3. Continuación.

(DIN 54307) utilizado por la norma alemana.

- Ensayos de tracción que utilizan las normas belga y francesa.

Un geotextil utilizado como separador en explanadas no necesita tener gran permeabilidad, y si es usado durante la construcción debe tener función de separación y refuerzo debiendo ser en este caso su permeabi-

lidad del mismo orden de magnitud que la de la capa inferior (muchos geotextiles son suficientemente permeables para su uso en carreteras en esta función).

En la figura 7 se muestran algunos diseños interesantes. (Ver página 37).

Refuerzo-armado

Desde este punto de vista son las

CRITERIOS DE PERMEABILIDAD

AUTOR	VALOR DE LA RELACION K_g/K_s	OBSERVACIONES
HEERTEN (1.981)	> 1	
GIROUD (1.982)	$> 0,1$	Casos normales (poca importancia la aparición de presiones intersticiales)
LOUDIERE et AL (1.983)	> 100	Presas
CFGG	$> 10^5 e$	Presas de tierra
	$> 10^4 e$	Condiciones normales
	$> 10^3 e$	Arenas limpias

K_g - Permeabilidad del geotextil (Con flujo perpendicular al plano del filtro)

K_s - Permeabilidad del suelo

e - Espesor del geotextil

Figura 4. Criterios de permeabilidad.

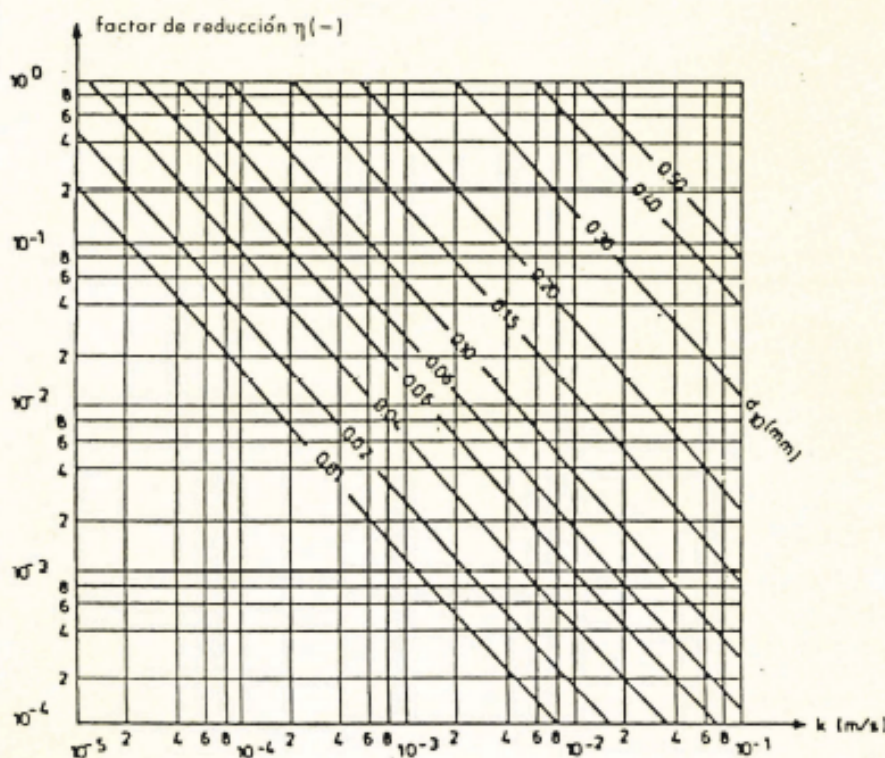


Figura 5. Factor de reducción de permeabilidad para geotextiles tejidos.

propiedades mecánicas las que más interesan destacar.

En principio, y por su favorable comportamiento tensión-deformación, deben utilizarse geotextiles de resistencia a tracción unitaria alta (tejidos que no sean de poliéster), con deformaciones que bajo las tensiones de trabajo deberán ser compatibles

con la deformabilidad admisible a la estructura en cuestión y sin llegar a estados de rotura, es decir, elongaciones pequeñas para cargas altas.

Para las utilidades habituales las deformaciones máximas en servicio no superan el 6% y las cargas de rotura son superiores a 200 KN/m, debiéndose prever pérdidas del 10-15%

“La característica fundamental que mide la aptitud del geotextil para cumplir esta función es la abertura de filtración, aunque también se deben considerar el peso por unidad de área, el comportamiento carga-deformación, la resistencia al desgarro, la fricción y la abrasión.”

de esta carga por daños mecánicos (tráfico pesado, equipos de compactación, etc).

El geotextil se utiliza como refuerzo por su resistencia a tracción y desgarro, y actúa distribuyendo cargas, transfiriéndolas a otras zonas por anclaje.

Las características fundamentales del geotextil que miden su aptitud para cumplir esta función son la resistencia a tracción, el módulo de tracción y al ángulo de rozamiento suelo-geotextil, aunque también deben tenerse en cuenta los comportamientos a fluencia, físico-químico-biológico y a radiaciones UV.

El geotextil, por otra parte, no

“**L**as características fundamentales del geotextil que miden su aptitud para cumplir esta función son la resistencia a tracción, el módulo de tracción y el ángulo de rozamiento suelo-geotextil, aunque también deben tenerse en cuenta los comportamientos a fluencia, físico-químico-biológico y a radiaciones UV.”

debe presentar, en las condiciones de servicio y durante la vida prevista de la estructura, un comportamiento dúctil en el que se produzcan grandes deformaciones y después rotura, para lo cual deberá establecerse un nivel de tensiones adecuado.

Mediante ensayos de rozamiento o de extracción se puede determinar el rozamiento suelo-geotextil, o en su defecto tomar valores generalmente admitidos:

$\varphi_{sg} \geq 0,5 - 1,0 \varphi$ (suelos granulares)

$a \geq 0,5 - 0,7 C_u$ (suelos cohesivos) siendo

φ - ángulo de rozamiento interno del suelo

C_u cohesión sin drenaje

En la movilización del rozamiento tienen importancia diferentes factores, entre los que se pueden destacar: la dilatancia del relleno en el contacto, el espesor del refuerzo, las deformaciones en servicio de la estructura, etc.

Para cálculos aproximados y a efectos de evaluar la mejora de resistencia al corte del terreno primitivo, puede considerarse que el refuerzo proporciona una cohesión ficticia de valor

$$C_f = \frac{t_f \sqrt{K_p}}{2 \Delta h} \text{ horizontal (caso de refuerzo)} \\ \text{horizontal}$$

$$C_f = \frac{t_f [K_p \cos^2 \beta - \sin^2 \beta]}{2 \Delta h \sqrt{K_p}}$$

(Caso de refuerzo formando un ángulo β con la tensión principal mayor)

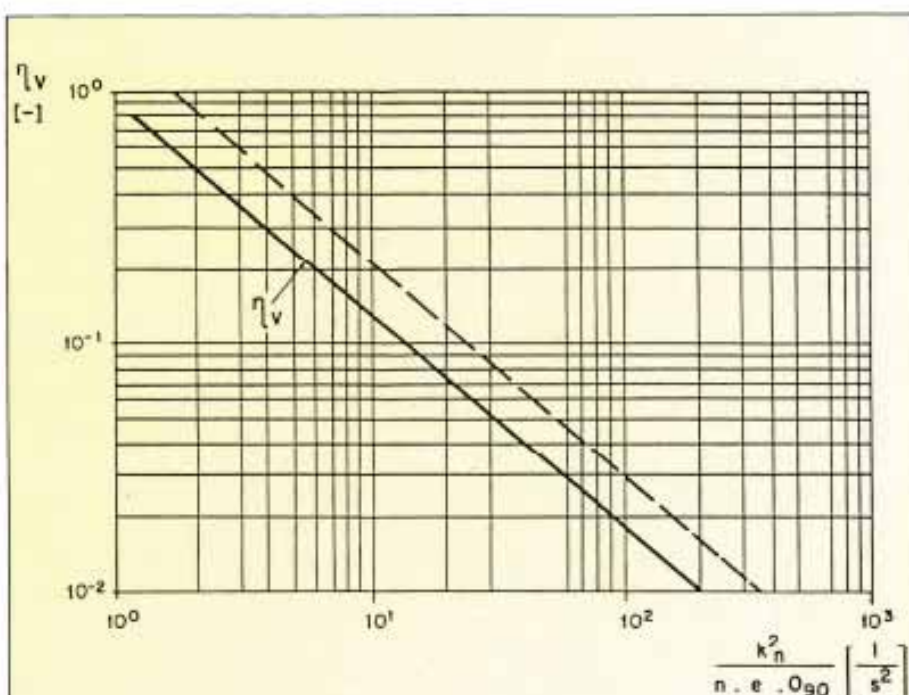


Figura 6. Factor de reducción de permeabilidad para geotextiles no tejidos.

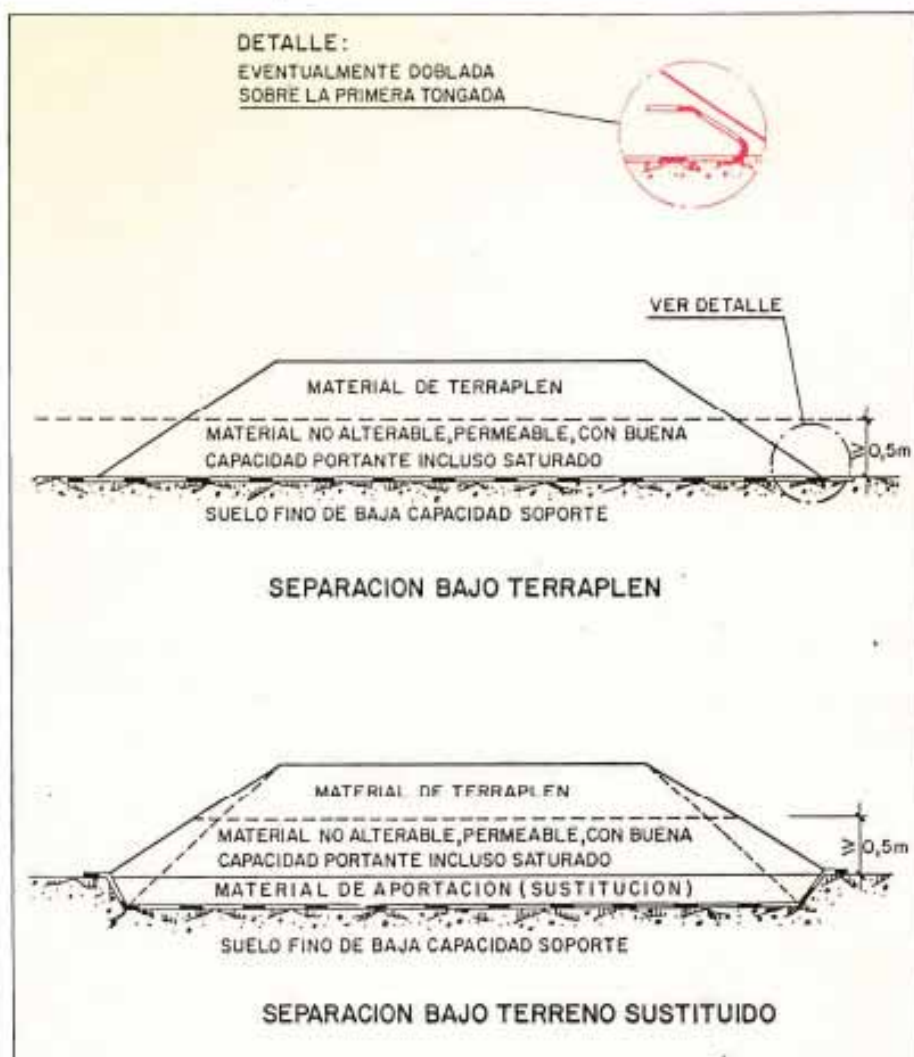


Figura 7.

Diseños de terraplenes con geotextil en función principal de separación-anticontaminación.

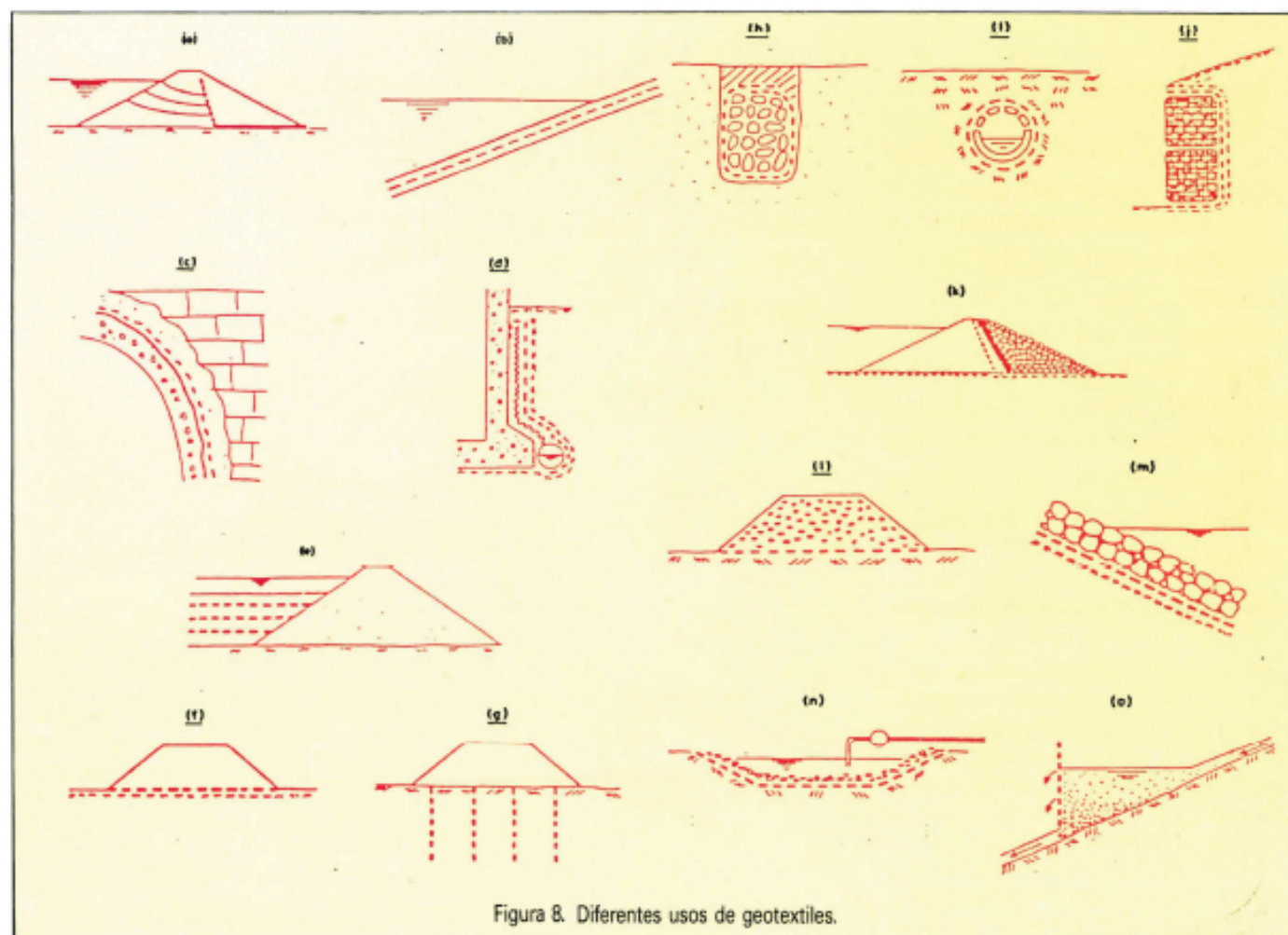


Figura 8. Diferentes usos de geotextiles.

siendo

$$K_p^2 = \tan^2(45 + \varphi/2)$$

Δh = separación entre planos de refuerzo

t_1 = resistencia a tracción del refuerzo ($= \epsilon_{adm} \times M$)

Durabilidad

Las cadenas poliméricas que constituyen el geotextil, bajo la acción de ciertos agentes agresivos pierden una parte más o menos importante de su cristalinidad, adoptando estados más amorfos, por lo que el geotextil pierde parte de su resistencia mecánica y llega a ser frágil.

En general se puede decir, después de una experiencia de algunos años de utilización, que la opinión técnica actual es que los geotextiles tienen una durabilidad comparable a la vida económica de las obras de ingeniería civil, no siendo en principio un obstáculo para su empleo en obras de carretera.

No obstante se comentan a continuación determinados riesgos específicos:

Radiación UV.— Se debe limitar la exposición a la luz solar (máximo 1 mes), aunque se puede mejorar la resistencia añadiendo moléculas de carbón al polímero. La resistencia decrece así: PES-PE-PP. Se deben tomar algunas precauciones, como son envolverlos, almacenaje en oscuridad, etc. No obstante no se presentarán problemas importantes por estar enterrado el material.

Calor.— Los poliésteres y algunas poliamidas (PA 6) con límites de cristalinidad entre 55° y 65°C pueden presentar problemas en zonas cálidas, aunque su utilización en estructuras de firme (como armadura antigrietitas) no plantea problemas por el rápido enfriamiento.

Ambientes agresivos.— Los geotextiles presentan, en general, una resistencia suficiente en condiciones normales. No obstante se deberán realizar pruebas con soluciones con pH variable [ambientes ácidos: ClH (pH=5); ambientes básicos: Na (OH) (pH=9); ambientes salinos: 11% ClNa, 15% Cl₂ Ca] para asegurar pérdidas de resistencia a tracción inferiores al 10% y pérdidas de masa inferiores al 0,25% respecto a la inicial.

En general no existen problemas en lo que se refiere a la resistencia biológica y frente a agentes contaminantes.

Es preciso hacer mención que para temperaturas superiores a 30°C se pueden producir fenómenos de hidrólisis, con pérdidas de resistencia que pueden llegar al 30%.

No obstante lo anterior, se debe tener en cuenta que hay otros procesos que pueden alterar las características de los geotextiles a largo plazo, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

— **Fluencia.**— No afecta más que a los geotextiles que trabajan a tracción (aumento continuo de deformación de las láminas, provocando reducción de las secciones, con lo que se produce un aumento de tensiones y así sucesivamente). Esto puede dar lugar a deformaciones inadmisibles que conduzcan a la ruina de la obra.

Depende de:

- Naturaleza del polímero
- Relación σ trabajo/ σ rotura
- Temperatura

— **Colmatación.**— Sólo afecta a geotextiles con función de filtro o dren.

Depende de:

- Características del flujo que los atraviesa: presencia, cantidad, naturaleza de los finos en suspensión, gradiente hidráulico.

- Fenómenos biológicos (bacterias), químicos (colmatación férrica, concreciones calcáreas, etc.)

- Alteración físico-química: ligada al medio en que se encuentra el geotextil: rayos UV, pH, hidrocarburos, solventes.

Utilización de los geotextiles en carreteras

Generalidades

Son numerosos los usos de los geotextiles en carreteras y obras anejas, en una o varias de las funciones que pueden realizar. Es clásica la representación de Giroud de los posibles usos de los geotextiles (Figura 8), en la que se han subrayado las de aplicación inmediata a carreteras.

Las aplicaciones más características y frecuentes de los geotextiles en carreteras son las siguientes:

“La opinión técnica actual es que los geotextiles tienen una durabilidad comparable a la vida económica de las obras de ingeniería civil.”

- Vías de circulación (caminos provisionales, carreteras no pavimentadas, bases de carretera pavimentada, pistas de obra, etc.)

- Terraplenes sobre suelos blandos.

- Estabilización de laderas naturales y taludes de terraplén.

- Estructuras de contención.

- Estribos de apoyo de estructuras.

- Zanjas drenantes.

- Capas drenantes horizontales.

- Drenaje de estructuras de contención.

También se utilizan en túneles (im-

permeabilización), consolidación de suelos (drenes verticales), etc.

Dentro del ámbito de utilización de los geotextiles, la carretera se constituyó el primer campo en el que se usaron en cantidades importantes. Distinguiremos dos grupos fundamentales:

- Uso en la explanada.

- Uso en terraplenes y estructuras de contención.

Dentro del primer apartado, los usos del geotextil se pueden clasificar, según su función, en los siguientes:

- Separación-anticontaminación (entre capa de aportación y suelo o entre dos capas de aportación de distinta naturaleza).

- Filtración (en las diferentes estructuras de drenaje, sustituyendo a los filtros granulares convencionales con mejor permeabilidad, mayor seguridad y menor coste).

- Drenaje (en el plano del geotextil, para lo que se emplean espesores importantes o asociados a almas de plástico, para saneamiento de las plataformas viales).

- Refuerzo en estructuras de firme no pavimentadas y/o tratadas.

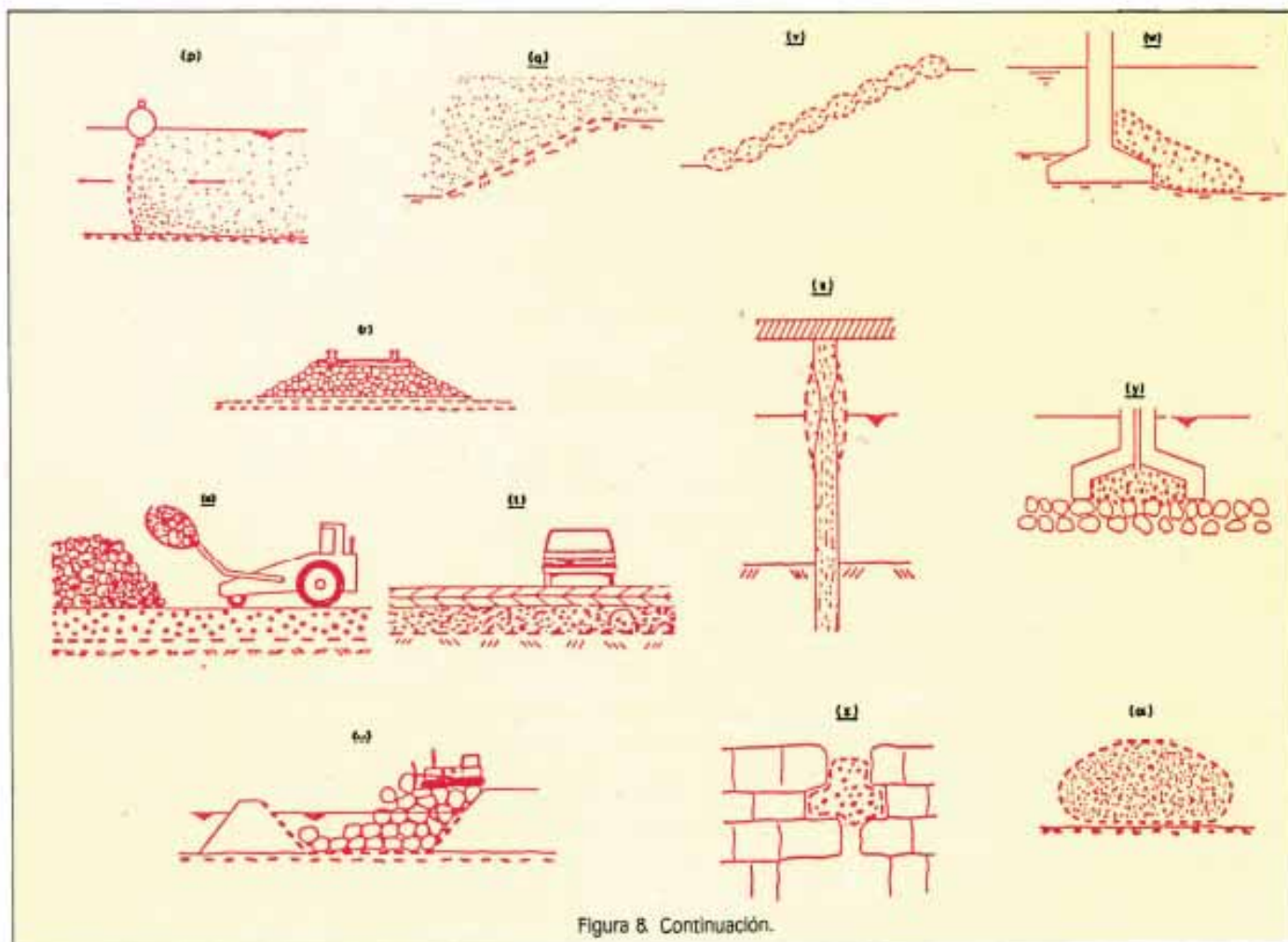


Figura 8. Continuación.

— Armado antigrietas, en aglomerados bituminosos, procedentes de retracción de materiales de base tratados con conglomerantes hidráulicos.

— Protección antierosión en taludes.

Dentro del segundo apartado, los usos del geotextil según la función que desempeñan, se pueden concretar en:

— Separación-anticontaminación (impidiendo la interpenetración de dos materiales de diferentes características: técnicas "sandwich" en un

ción que puede considerarse principal o más importante.

Separación-Anticontaminación

Se incluye dentro de este apartado aplicaciones de geotextiles en las que la función principal es la separación-anticontaminación, existiendo otras secundarias también dignas de tenerse en cuenta: pistas, vías de bajo tráfico, explanadas, bases de futuras vías pavimentadas provisionalmente en rodadura.

En vías no pavimentadas, además de las funciones de separación y con-

tencia y, si el suelo es muy blando, los criterios de aceptación no son exigentes porque el geotextil resuelve el problema.

La función fundamental es de separación-anticontaminación, evitando la mezcla del suelo fino y el material granular. Las funciones secundarias y no por ello menos importantes son las de drenaje (acelerando la consolidación del suelo y evacuando las aguas lateralmente), refuerzo-armado [(oponiéndose a las deformaciones repetidas —fatiga— y reduciendo las roderas (efecto de repar-

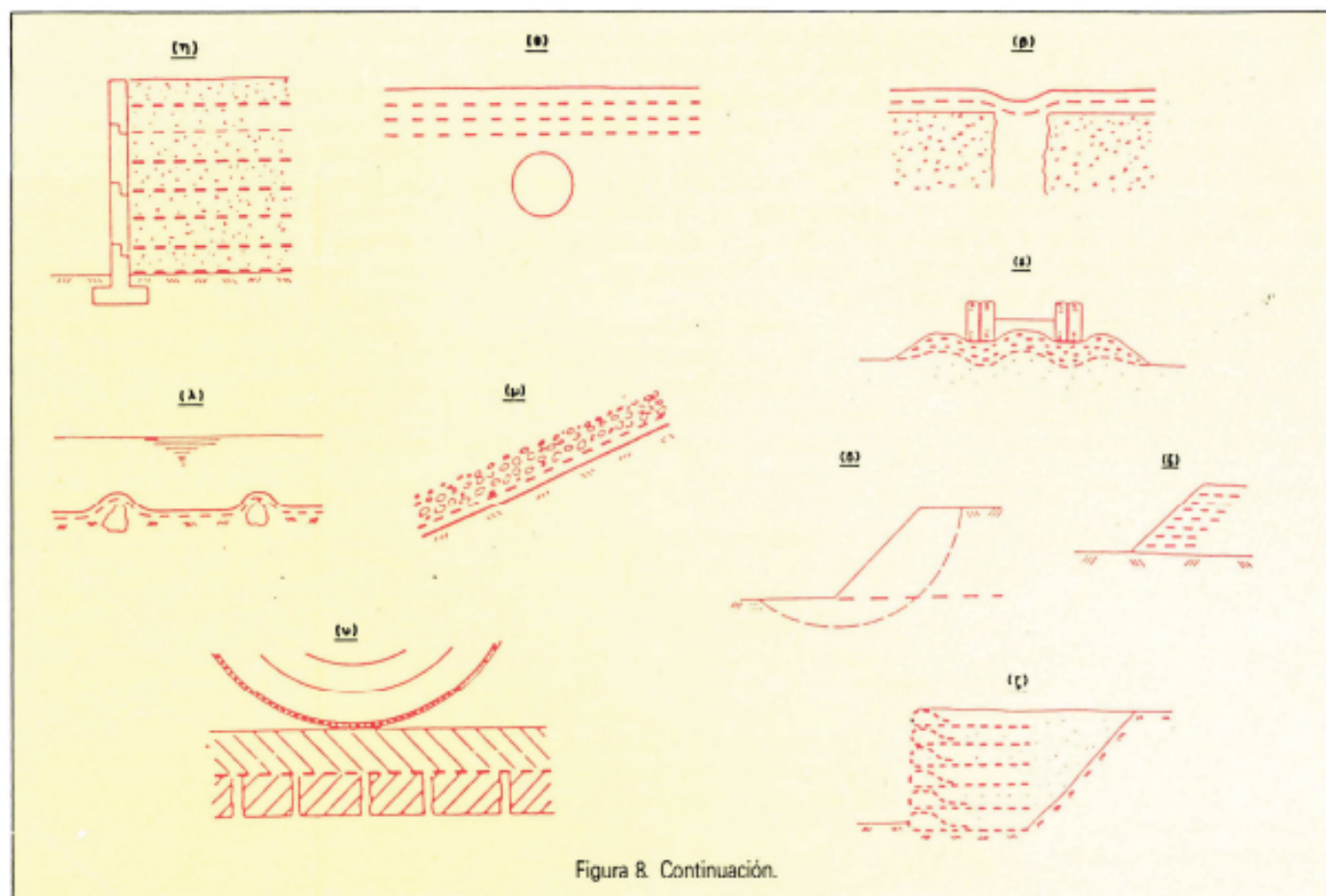


Figura 8. Continuación.

macizo con materiales granulares y arcillosos, cimentación de terraplén en suelos blandos, etc.)

— Filtración-drenaje (consolidación de suelos en terraplenes sobre suelos compresibles).

— Refuerzo (participando en el funcionamiento mecánico de una estructura —macizos de suelo armado, cimiento de terraplenes— o aumentando la capacidad portante)

No es fácil definir aplicaciones de geotextiles identificadas con funciones determinadas, sino que en general a una de aquellas corresponden varias de éstas. En lo que sigue se comentan algunos usos de geotextiles ordenados y clasificados por la fun-

finamiento de la explanada, los geotextiles producen por efecto membrana una mejora de la capacidad de soporte de los suelos muy blandos ($CBR < 3$) y un mejor reparto de cargas, permitiendo reducir los espesores de material granular y mejorar la transitabilidad de los terrenos de muy baja calidad.

Como el trabajo del geotextil precisa unas deformaciones importantes, este tipo de aplicación debe limitarse a vías de tráfico ligero, en las que se puedan aceptar ciertas roderas.

En general puede decirse que en un suelo de consistencia media, la inclusión de un geotextil no añade resis-

to y efecto de membrana)] y antihielo, existiendo también un aumento de estabilidad de terraplén contra una rotura o un deslizamiento.

Los métodos de dimensionamiento utilizan criterios empíricos, suponiendo un aumento fijo de 2-3 puntos en el coeficiente CBR, o realizan cálculos más o menos complicados. (Figura 9).

Entre los parámetros que utilizan estos métodos se encuentran los siguientes:

— Tipo de aplicación del geotextil
— Tráfico (tipo de vehículos, intensidad, frecuencia, carga por eje, tonelaje total). Se trata de cargas de carácter cíclico.

— Nivel de servicio, definido por la profundidad de rodadura admisible que en pistas de obra puede ser del orden de 10 cm., en explanadas de 3-4 cm., y en vías con tráfico por debajo de 2 cm.

— Estructura de la vía, con una o dos capas granulares (también dos geotextiles) de diferente espesor.

— Calidad de la explanada, definida por algún parámetro de entre los siguientes: CBR, C_u , E_v , K , q_c .

— Material de aportación, angular o redondeado, machacado o rodado, definido por alguno de los si-

gradiente y del tipo de sollicitación (D_n u O_n y K_n).

Para su puesta en obra deben observarse las siguientes reglas:

— Preparar el terreno (dejar la vegetación —asegura un papel de filtro—, eliminar elementos que dañen el geotextil).

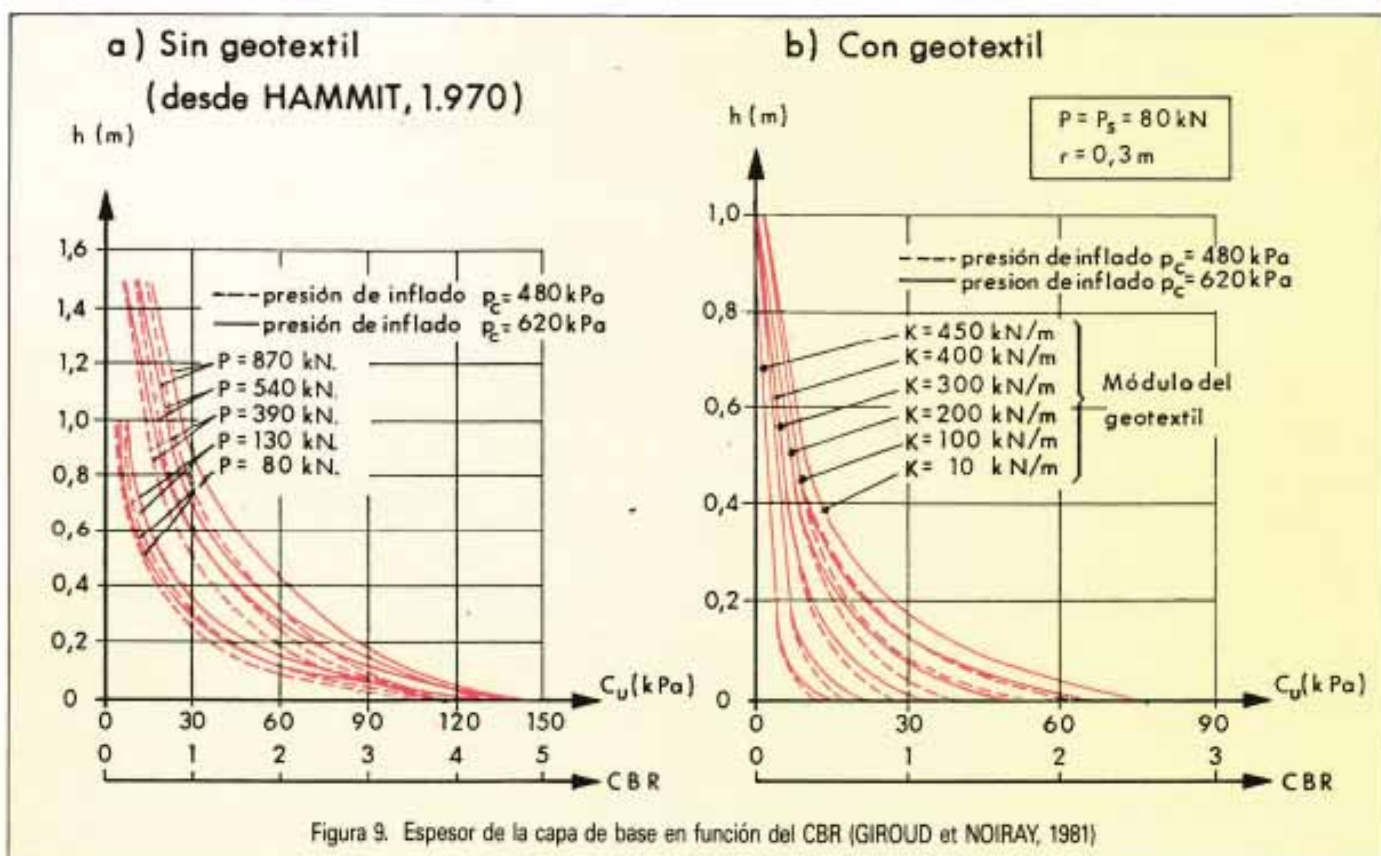
— Colocar una capa de 0,5 m de espesor de material no susceptible al agua, cuando se trata de suelos blandos saturados, o de material más fino cuando haya peligro de punzonamiento del geotextil.

— Utilizar recubrimientos entre

rollos de 0, 3-0, 5 m. en uniones para solape, 0, 1-0, 2 m. en unión soldada o grapada.

— Anclar los geotextiles debajo de los bordes longitudinales al menos 0,5 m. (1,0 m. en suelos blandos saturados) para movilizar el efecto de armadura.

— Recubrir el geotextil inmediatamente después de su puesta en obra por una capa de 0, 1-0, 2 m. de material de aportación y compactarlo (comenzar cargando el geotextil lateralmente para movilizar el rozamiento suelo-geotextil).



siguientes parámetros: U , ϕ , C_c , EA, peso máximo de los bloques, altura máxima de caída.

A partir de los datos, los diferentes métodos obtienen el espesor material de aportación sin y con geotextil de unas características determinadas (generalmente definido por su módulo $M = T/\epsilon$).

Para el diseño y elección del geotextil se tienen en cuenta las acciones sobre el mismo durante la puesta en obra y durante su vida útil, lo cual permite definir sus características mecánicas (resistencia a tracción, deformación, resistencia a la perforación, resistencia al punzonamiento), de durabilidad a agentes químicos, biológicos y atmosféricos y características hidráulicas en función del

“**E**n vías no pavimentadas, además de las funciones de separación y confinamiento de la explanada, los geotextiles producen por efecto membrana una mejora de la capacidad de soporte de los suelos muy blandos y un mejor reparto de las cargas.”

Refuerzo-Armado

La aplicación de los geotextiles para reformar y armar se utiliza fundamentalmente en terraplenes (sobre suelos blandos) y estructuras de sostenimiento (de pendiente elevada, macizos reforzados, etc.)

Los métodos de dimensionamiento se basan en modelos de masas en equilibrio límite para el relleno y el geotextil, considerándolos en el cálculo como anclajes o tirantes.

Los métodos clásicos van mejor para geotextiles de elevada resistencia y baja deformabilidad, ya que para geotextiles de elevado alargamiento se añaden otros fenómenos que no se pueden tener en cuenta (interacción suelo-geotextil, incremento de resistencia al corte en la proximidad del geotextil, etc.).

Terraplenes sobre suelos blandos

Un geotextil colocado sobre un suelo blando y comprensible tiene las siguientes funciones: separación-anticontaminación, filtración (fundamental cuando la primera capa del terraplén está formada por materiales drenantes), drenaje (en propio plano, acelerando la consolidación) y refuerzo (difícilmente cuantificable su efecto sobre la estabilidad —apreciable cuando se utilizan geotextiles de elevadas características mecánicas—, facilitando de forma importante la puesta en obra de la primera capa, reduciendo su espesor, mejorando su transitabilidad, con homogeneización de reacciones y deformaciones). Asegura por tanto la estabilidad local, pero no modifica la capacidad soporte del suelo ni disminuye los asentos.

El papel de refuerzo del geotextil se limita, generalmente, al tiempo necesario para que sus resistencia al corte después de la consolidación aumente de forma suficiente. La sollicitación del geotextil es importante al principio y disminuye después con el tiempo. Las cargas procedentes del peso del terraplén son fundamentalmente de carácter estático.

Las características que debe tener el geotextil para que pueda ser utilizado en este tipo de aplicación son:

- Desde el punto de vista de separación-anticontaminación: *continuidad* (prestando atención especial a las roturas localizadas y desgarros); para ello se precisa resistencia a tracción, deformabilidad y resistencia al desgarro.

- Desde el punto de vista de filtración: *Capacidad del filtro*.

- Desde el punto de vista de drenaje: *Permeabilidad*.

- Desde el punto de vista de refuerzo: *Buen comportamiento resistencia-deformación* (intervienen en la puesta en obra de las primeras capas del terraplén).

Los parámetros que es preciso definir son:

- Suelo de cimiento (definido generalmente por su valor C_u).
- Material de aportación (definido generalmente por su permeabilidad y posibilidad de punzonar).
- Tamaño máximo del material de aportación.
- Espesor de las capas.

El geotextil se coloca generalmente en la base del terraplén, y su uso

“**P**ara el diseño y elección del geotextil se tienen en cuenta las acciones sobre el mismo durante la puesta en obra y durante su vida útil.”

presenta las siguientes ventajas, además de las derivadas de las funciones de anticontaminación-separación, filtración y drenaje:

- Mejora de la resistencia al deslizamiento de los taludes.
- Reducción de asentos por redistribución.
- Reducción de deformaciones horizontales.

Los posibles mecanismos de rotura son:

- Estabilidad interna del terraplén. Está asegurada cuando la pendiente al talud es inferior al ángulo de rozamiento interno del material del terraplén.

- Estabilidad externa contra el deslizamiento del macizo por rotura del suelo,

- Extrusión del suelo blando.

Con esta base las comprobaciones a realizar son las siguientes:

1. Estabilidad interna del propio terraplén (Figura 10).

$$F = \frac{\tan \phi'_t}{\tan \beta}$$

2. Evitar el deslizamiento del material del terraplén sobre el geotextil.

$$\tan \varphi_{sg} > K_a \tan \beta \quad K_a = \frac{1 - \sin \phi'_t}{1 + \sin \phi'_t}$$

3. Evitar la rotura, por superficies de forma determinada, del terraplén

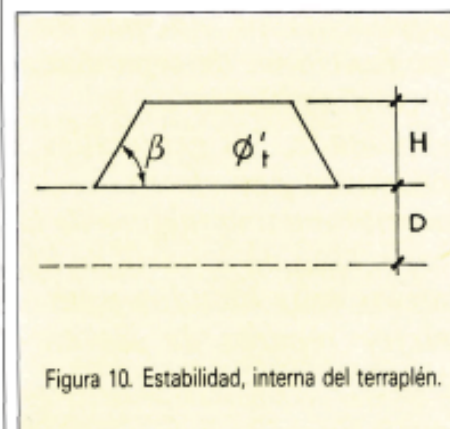


Figura 10. Estabilidad, interna del terraplén.

y suelo de cimentación, durante un tiempo equivalente al 90% de la consolidación del mismo.

La resistencia del geotextil se incorpora a los métodos convencionales de estabilidad de diversas formas: métodos de rebanadas, método de los desplazamientos, etc.

Pueden utilizarse diferentes procedimientos:

- Método de deslizamiento de bloques.
- Método de deslizamiento de poligonales.
- Método de deslizamiento por rotura circular.

En este último caso, y según Bishop, la expresión que da el valor de refuerzo necesario es la siguiente (Figura 11):

$$Tr = \left[F_r \cdot \sum \omega \sin \alpha - \sum \frac{\omega \tan \phi'_t \cdot \sec \alpha}{1 + (\tan \phi'_t \cdot \tan \alpha / F_r)} \right] \sec \theta$$

ecuación implícita, en la F_r es el coeficiente de seguridad del geotextil.

4. Deformabilidad. La resistencia del refuerzo debe movilizarse con deformaciones inferiores a las críticas para la estabilidad del terraplén.

Por la interposición del refuerzo no debe suponerse una reducción de asentos en el cálculo del asiento final, aunque el terraplén puede presentar una cierta reducción de los movimientos horizontales y de los asentos diferenciales entre diferentes zonas del mismo.

Se deberán hacer las siguientes comprobaciones:

- La tracción en el refuerzo debe ser inferior a la que produce en el mismo un alargamiento unitario del 10%.

La máxima deformación durante la vida útil del refuerzo no excederá del 15%, debiendo tomarse para ésta el tiempo necesario para que se produzca el 90% de la consolidación del suelo blando bajo la carga del terraplén, y puede estimarse de forma aproximada mediante la expresión.

$$t_{90} = \frac{T_{90} \cdot D^2}{C_v} \quad (s)$$

siendo

T_{90} — Factor de tiempo
 D — Espesor de terreno blando (m) si está drenado por una cara, o semiespesor si existe drenaje por ambas caras.

C_v — coeficiente de consolidación
 Para el cálculo de la deformación se tendrá en cuenta:

— la deformación bajo carga del terraplén

$$(\epsilon_c < 10\%)$$

— la deformación bajo el efecto de la comparación (en general despreciable) ϵ_c

— la deformación por asiento del terraplén, que puede evaluarse mediante la expresión

$$\epsilon = \sqrt{1 + (S_c/H \operatorname{ctg} \beta) - 1}$$

siendo S_c el asiento en el eje del terraplén

— la deformación debida a la fluencia del refuerzo ϵ_f , que puede deducirse a partir de expresiones analíticas, curvas $\epsilon_f - \log t$ o curvas $T_{adm} - \log t$

Por tanto $\epsilon_c + \epsilon_c + \epsilon_s + \epsilon_f$

$$< \epsilon_{adm} (= 15\%)$$

5. Drenaje. Se deberá cumplir

$$K_g > 5 K_s$$

siendo K_g la permeabilidad normal del geotextil y K_s la permeabilidad del suelo

6. Capacidad de soporte. Se debe comprobar la posibilidad de rotura por extrusión de una franja de terreno en el borde del terraplén, cuando el espesor del terreno de apoyo sea pequeño comparado con el ancho del mismo.

Estableciendo el equilibrio de la franja de terreno, teniendo en cuenta los empujes a ambos lados y la tracción en el refuerzo se puede determinar la longitud crítica.

Cuando no se cumple esta condición, existen dos soluciones:

— Tender el talud

— Recargar el pie del talud

Si utilizando cualquier método de diseño, el factor de seguridad que éste defina es insuficiente respecto al elegido, será necesario realizar un nuevo dimensionamiento o bien realizar una construcción por etapas.

Para ello se deberá definir el aumento máximo de resistencia al corte que se produce para alturas determinadas, y calcular los grados de consolidación necesarios y en consecuencia los tiempos de cada etapa. Si es preciso se pueden disminuir los tiempos de consolidación por los medios habituales (p.e. drenes verticales a base de materiales poliméricos.)

Refuerzo de taludes

Los geotextiles pueden utilizarse en la estabilización de laderas naturales y en taludes de terraplenes, así como en la reconstrucción de taludes en zonas deslizadas (colocando de nuevo el material movido o incorporando materiales de aportación en forma de espaldón de refuerzo).

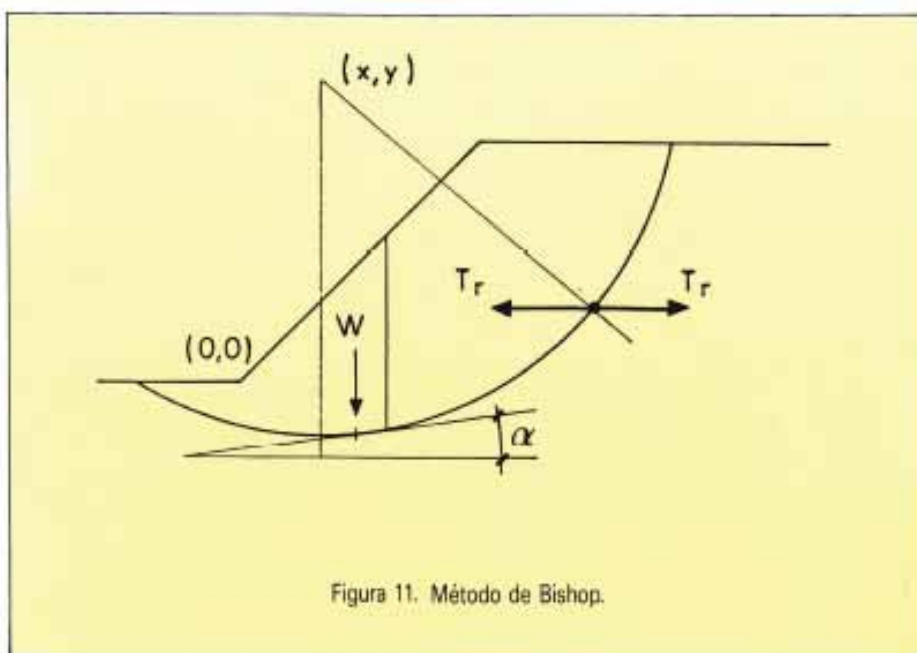


Figura 11. Método de Bishop.

Las funciones principales que desempeña el geotextil son el refuerzo y el drenaje.

Para el dimensionamiento se utilizan teorías de equilibrio límite, con superficies críticas de rotura de tipo plano o curvo, debiendo determinarse:

— La resistencia a suministrar por el geotextil.

— La disposición, longitud y separación de las capas de geotextil.

— La estabilidad global del talud reforzado.

Cuando se estudian superficies de rotura curvas se utilizan o los métodos clásicos de estabilidad de taludes, con fuerzas exteriores en la dirección del refuerzo repartidas uniformemente en toda la altura del talud, o la solución que considera la variación de la resistencia del refuerzo con el nivel de deformaciones (método de los desplazamientos), que tiene en cuenta el efecto membrana en las proximidades de la superficie de rotura (Figura 12, en página 47).

También pueden utilizarse superficies de rotura que den lugar a dos cuñas, con una fuerza única de refuerzo o repartida en los diferentes planos.

En el caso de espaldones pueden tantearse superficies de rotura mixtas.

Una vez obtenida la fuerza estabilizadora a suministrar por el geotextil (R), se debe repartir por razones constructivas entre un número de capas (n), lo que permite conocer la separación entre ellas (Δh), que suele estar comprendida entre 0,5 y 1,0 m.

A partir de aquí se puede escribir

$$\frac{R}{\frac{H}{\Delta h} + 1} \leq t_{adm}$$

siendo t_{adm} la carga de servicio del geotextil.

La longitud de anclaje exterior a la superficie crítica viene dada, a cada nivel de profundidad z por la expresión.

$$L_a \geq \frac{F \cdot t_{adm}}{\gamma \cdot z \tan \varphi_{cg}}$$

Muros

La inclinación límite de un talud de un macizo de tierra armada depende únicamente de las características intrínsecas del material del terraplén. Taludes más inclinados sólo son posibles realizando estructuras de sostenimiento, que en el caso que nos ocupa se construyen por capas y se refuerzan con geotextiles.

Tiene diversas aplicaciones entre las que pueden citarse los macizos reforzados con cara envuelta con o sin revestimiento de paramento, estructuras de sostenimiento con sacos de geotextil, muro de gaviones de geotextil, muros de paneles prefabricados, etc.

Aunque existen numerosos procedimientos de cálculo, tanto para pared vertical como para macizos de cara inclinada ($\beta > 70^\circ$), que pueden verse en la bibliografía existente sobre el tema, se resumen aquí las líneas generales del dimensionamiento.

Estabilidad externa. Se deberán hacer las comprobaciones habituales para cualquier tipo de muro, a saber:

— Resistencia al deslizamiento de la base.



- Resistencia al vuelco
- Resistencia del cimiento
- Resistencia a rotura general por círculo.

Estabilidad interna. Se deberán hacer las siguientes comprobaciones específicas:

1. Resistencia a tracción del geotextil (rotura) por unidad de anchura

$$T_{max} = K_a \cdot \gamma \cdot H \cdot \Delta h$$

(Figura 13)

suponiendo que se acepta como ley para presión lateral $\sigma_h = K_a \cdot \sigma_v$

La máxima carga admisible del refuerzo es el producto de la resistencia a tracción del geotextil, por un coeficiente que englobe el efecto de vulnerabilidad química, biológica y de daños de obra, dividido por el coeficiente de seguridad adoptado, lo

cual deberá ser mayor que T_{max} , calculada anteriormente.

2. Anclaje del geotextil (Figura 14)

La resistencia a extracción del geotextil vendrá dada por una expresión del tipo

$$T = 2 \sigma_v l_z \tan \varphi_{sg} = 2 l_z \tan \varphi_{sg} (\gamma z + q)$$

La longitud total de refuerzo viene dada por la expresión

$$l_t = h \cdot \cot (45 + \varphi/2) + \frac{K_a \cdot \Delta h}{\tan \varphi_{sg}}$$

$$l_t (\text{mín}) = 0,8 H$$

3. Exceso de deformación del geotextil. Para el cálculo de la deformación del geotextil, se utilizará el procedimiento que se definió al estudiar los terraplenes sobre suelos blandos.

4. Permeabilidad. Análogamente

“**L**os geotextiles pueden utilizarse en la estabilización de laderas naturales y en taludes de terraplenes, así como en la reconstrucción de taludes en zonas deslizadas.”

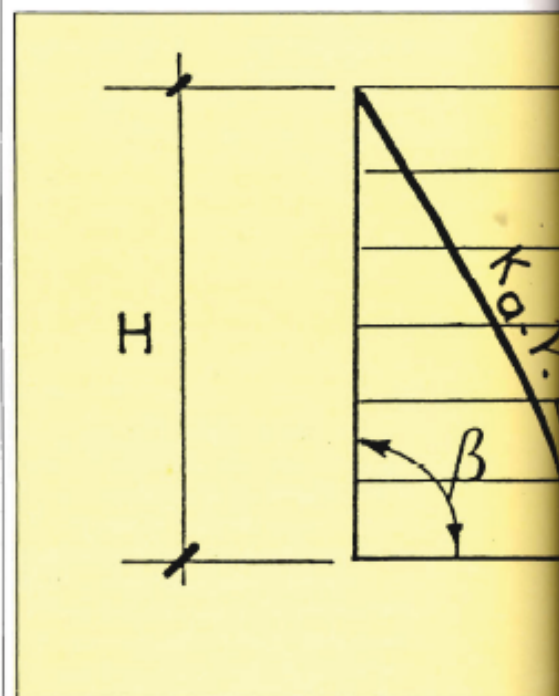
al caso de terraplenes, se deberá verificar

$$K_g > 5 K_s$$

Estribos

El dimensionamiento puede seguir el procedimiento general indicado para muros teniendo en cuenta respecto a los asientos que se incluirán entre los correspondientes al terreno de cimentación los debidos a las cargas transmitidas por el tablero (en la mayor parte de los casos —altura grande y luz pequeña— la parte más importante de los asientos se produce durante la construcción).

Sin embargo, las estrictas tolerancias respecto a deformación que se imponen a estas estructuras limitan considerablemente su utilización, y sólo en el caso de estructuras isostáticas debe considerarse esta solución, ya que las estructuras hiperestáticas exigen que los asientos que se produzcan sean muy pequeños.



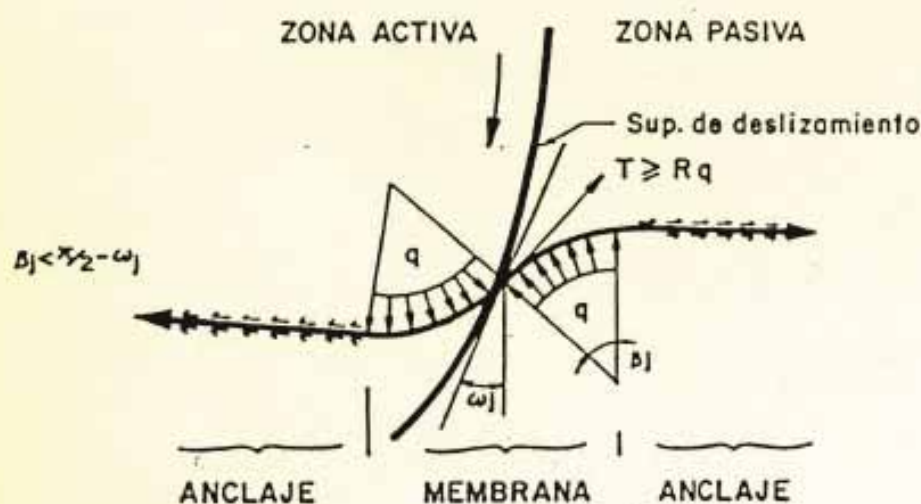
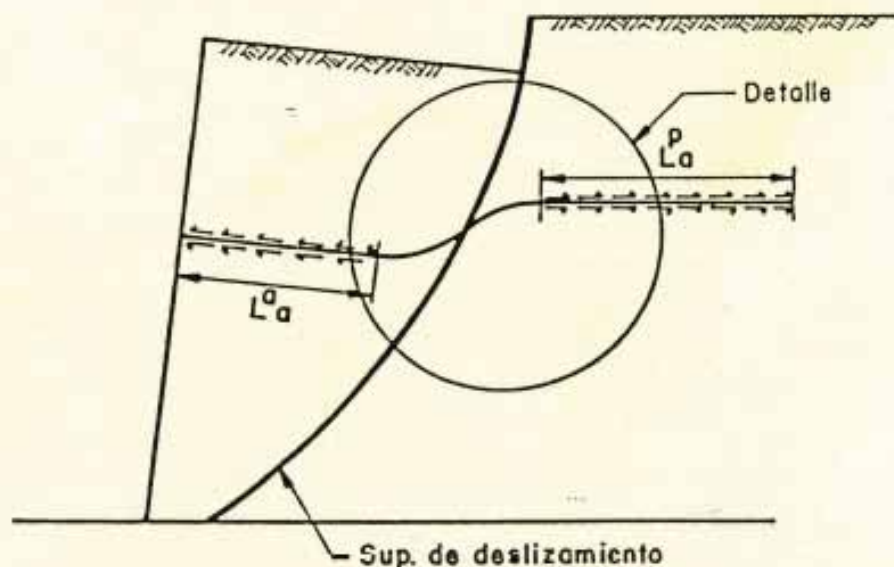
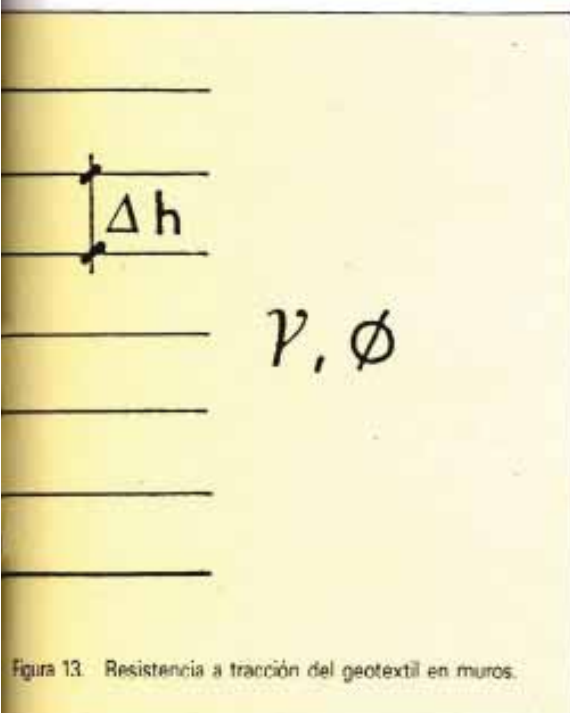


Figura 12. Principio del método de los desplazamientos (Gourc, 1987).



Puesta en obra

Se deberán seguir las siguientes recomendaciones de tipo práctico:

— Utilizar como material de aportación los calificados como suelos adecuados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

— Los taludes y muros reforzados se ejecutarán de forma escalonada ascendente, mediante el uso repetido de un bastidor frontal que da forma exterior al geotextil y que, una vez rellena y compactada la mitad de la altura de la capa y colocado el machón delantero sobre el que se dobla hacia atrás el geotextil para su anclaje, se vierte y compacta material hasta enrasar con la capa superior del machón. También se pueden utilizar parámetros con sacos o gaviones de geotextil, con la capa superior del machón. También se pueden utilizar

parámetros con sacos o gaviones de geotextil.

— La disposición de las capas de geotextil será uniforme en toda la altura por razones constructivas (0,50-0,75 m).

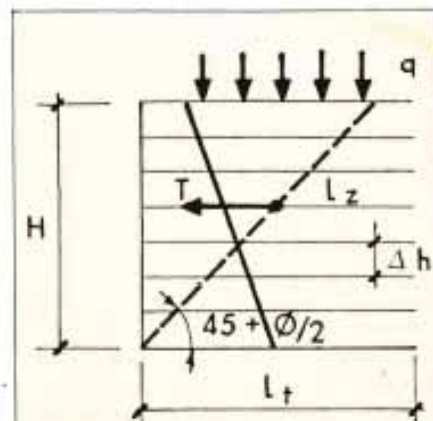


Figura 14. Anclaje del geotextil en muros.

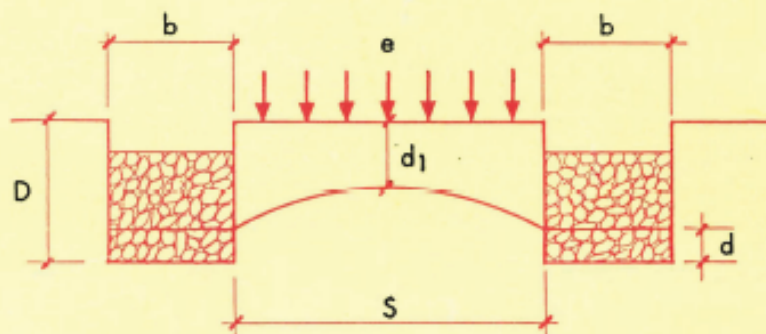


Figura 15. Zanjas drenantes.

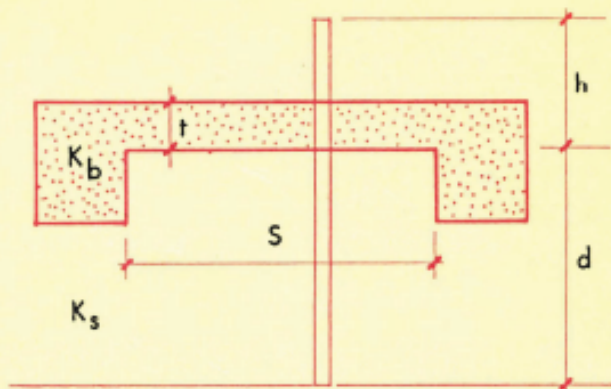


Figura 16. Capas drenantes.

— Las capas de geotextil deben protegerse frente a las acciones meteorológicas y ambientales, mediante vegetación, gunitado, placas prefabricadas, forros, etc.

Drenaje

Cuando se utiliza un geotextil como filtro, se debe dimensionar a partir de criterios de retención (comparando la abertura de filtración O_n con el diámetro del suelo a filtrar), fijando también un criterio de permeabilidad mínimo. La utilización como dren suele exigir un modelo que represente el régimen hidráulico del suelo a drenar. En cualquier caso el objetivo fundamental es evitar la colmatación del geotextil.

Las aplicaciones principales de los geotextiles en materia de drenaje son las zanjas drenantes (para rebajamiento del nivel freático, etc.), drenaje de taludes y pendientes (corazas drenantes), capas drenantes horizontales, drenaje de macizos (geotextil compuesto filtro-dren, drenes subhorizontales, zanjas transversales en taludes y por supuesto el caso ya visto de terraplenes sobre suelos blandos).

Para el diseño (calculado en base

el parámetro O_{90}/d_{50}) deben considerarse resistencias mínimas a tracción de 5-10 KN/m para deformaciones del 10%, debiéndose utilizar criterios de retención del tipo $K_g \geq F \cdot K_s$, pudiéndose tomar valores de F que varían desde 100 para geotextiles gruesos no tejidos, hasta 10 para geotextiles delgados no tejidos (si se dispone de ensayos pueden utilizarse hasta valores de 2).

Las zanjas drenantes se calculan mediante la ley de Darcy a partir de los caudales infiltrados desde capas drenantes o por la elevación del ni-

“**C**uando se utiliza un geotextil como filtro, se debe dimensionar a partir de criterios de retención, fijando también un criterio de permeabilidad mínimo.”

vel freático. Pueden llevar o no tubo de drenaje.

Los datos de entrada para su dimensionamiento son las propiedades granulométricas (curva granulométrica), la permeabilidad del suelo y la capacidad de descarga que debe tener el dren.

Los métodos de dimensionamiento pasan por definir la porometría del geotextil (O_{95}) a partir de la curva granulométrica del suelo, con $O_{95} \geq 200 \mu m$, y la permeabilidad del geotextil mediante la conocida expresión $K_g > 5 K_s$.

Después, a partir de la velocidad v (función del árido que envuelve y de la pendiente) y del valor del caudal Q necesario, se define la sección del dren. Si existe tubería de drenaje, la pendiente y el diámetro definen el caudal.

La profundidad del dren se define por expresiones como la que se indica a continuación (Figura 15):

$$D = \frac{1}{2} s \sqrt{\frac{e}{K_s} + \left(\frac{eL}{bv}\right)^2}$$

siendo

e — aportación (m/s)

v — velocidad (m/s)

L — longitud del dren (m)

Las capas drenantes horizontales se calculan por fórmulas de la hidráulica de medios porosos, basadas en la ley de Darcy (en base a ensayos de permeabilidad de suelo y material drenante).

El espesor de la capa drenante puede calcularse utilizando la expresión (Figura 16):

$$t = \frac{1}{2} s \sqrt{\frac{K_s}{K_b} \cdot \frac{h}{d}}$$

En el caso de una aportación e , el espesor viene dado por la fórmula:

$$t = \frac{1}{2} s \sqrt{\frac{e}{K_b}}$$

El caudal evacuado por metro de dren será

$$Q_{max} = \frac{2 t^2 K_b}{s}$$

Hoy día se utilizan con ventajas importantes en el drenaje de trasdós de estructuras de contención los denominados drenes planos (Figura 17). Existen dos tipos principales: drenes flexibles y semirrígidos o rígidos.

Los drenes flexibles están compuestos de un alma de plástico alveolar de espesor reducido (1-3 cm) recubiertos de geotextil en sus dos capas.

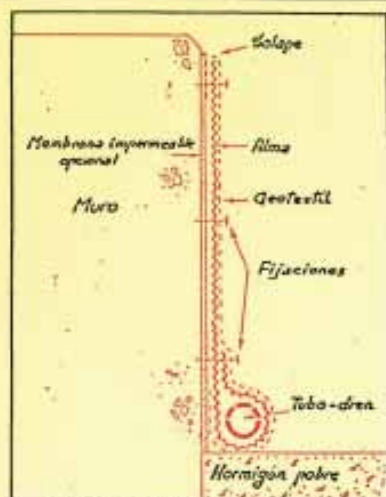
Este tipo de dren sustituye con ventaja a las zanjas drenantes en aque-

llas zonas en las que el caudal a evacuar es pequeño y compatible con su captación y desagüe. No precisan material granular ni tubos y por ser flexibles se adaptan a las irregularidades del terreno u obras de paso o desagüe. Se ponen en obra por métodos tradicionales (excavación de zanjas y relleno) o por métodos modernos (máquina zanjadora-colocadora).

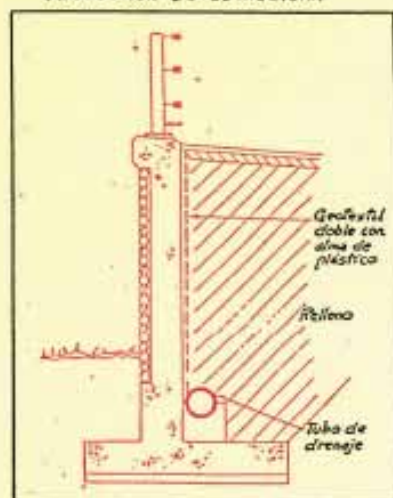
Los drenes semirrígidos o rígidos son de menor altura que los flexibles, utilizándose preferiblemente en obras de reparación, captación de aguas del firme, etc.

El dimensionamiento se efectúa de la misma forma que para las zanjas drenantes, obteniéndose la capacidad del núcleo por la expresión siguiente:

$$Q = \frac{1}{2} s \left(K_s \cdot \frac{h}{d} + e \right)$$



PROTECCION DE ESTRUCTURA



DRENAJE DE MURO

UTILIZACION DE LOS GEOTEXTILES DOBLES CON ALMA DE PLASTICO

Figura 17. Drenes planos.

BIBLIOGRAFIA

Emploi des geotextiles-Circulaire 576 N.M /6 M. Travaux Publics-Services Techniques Generaux. Bélgica (1985)

Curso sobre el empleo de geotextiles en estructuras de tierra.
Gabinete de Formación y Documentación
CEDEX MOPU (1986)

Geotextiles and geomembranes in civil engineering
Van Zanten. Balkema (1986)

III^{ème} Congres international des geotextiles-Comptes Rendus. Viena (1986)

Colloque international sur l'emploi de textiles en geotechnique-Comptes Rendus-Paris (1977).

Diseño y práctica-Polyfelt ts (Chemie Linz)

Manuel des geotextiles-Association suisse des professionnels de geotextiles.

Geotextile testing and the design engineer-Joseph E. Fluett, JR., editor ASTM. STP 952

Utilisation des matériaux nontissés dans les ouvrages de genie civil-Pourquoi Bidim. Rhone-Poulenc Textile

Manual de diseños técnicos-propex geotextiles. Productos ARCO SYSTEMS S.A.

A geotextiles design guide-Don&Lowplc.

Proceedings of the international symposium on geosynthetics-geotextiles and geomembranes-JCIGS (1987)

Notions generales sur les geotextiles en geotechnique routiere-M. Transports. Direction des routes-Francia.

Geotextiles and geomembranes. Vol 4.
Special issue on geotextiles in Japan. Elsevier.

Polymer grid reinforcement. Edit. Thomas Telford.

Recommandations pour l'emploi des geotextiles sous remblais sur sols compressibles. CFGG (1985).

Recommandations pour l'emploi des geotextiles dans les systemes de drainage et de filtration. CFGG. (1986).

Recommandations pour l'emploi des geotextiles dans les voies de circulation provisoire, les voies a faible trafic et les couches de forme. CFGG (1981).

Recommandations generales pour la reception et la mise en oeuvre des geotextiles-Normes françaises d'essai-CFGG (1984).

Proyector con geotextiles (Marzo 1988).
Curso Colegio I.C.C.P.-A.T.C.

Uso de geotextiles en explanadas. J.A. Hinojosa, Conferencia XVII Semana de la Carretera. Barcelona (Febrero 1988).

Drenaje. I. Morilla, Conferencia XVII Semana de la Carretera. Barcelona (Febrero 1988).

XI Congress international de mecanique des sols et des travaux de fondations-San Francisco (1985).

- Volume 1 Construction geotechnique.

- Volume 3 Construction employant le genie geotechnique

Applications de geotextiles.

Normes françaises enregistrées sur les geotextiles. Vocabulaire et essais. AFNOR (1983).

Caracteristiques des geotextiles-Mesures, specifications, controles. MM. Blivet, Delmas, Puig, Schaeffner. Bulletin de Liaison des laboratoires des ponts et chaussées n.º 142 (1986).