

Geocompuestos de drenaje: Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor

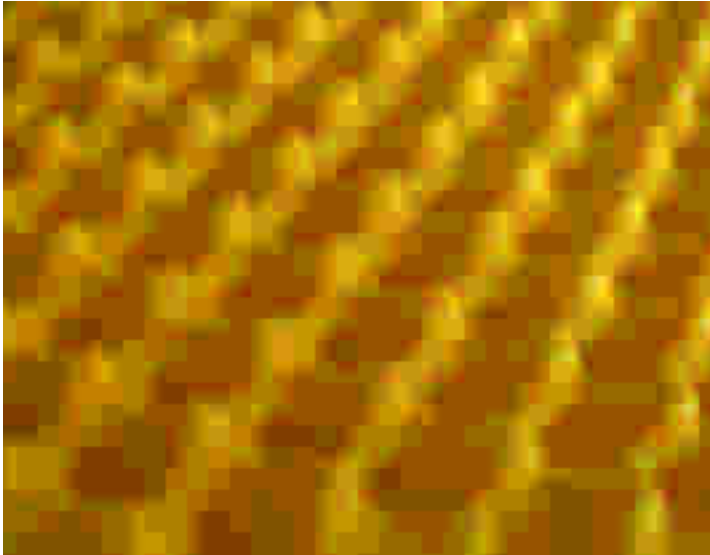


Foto izquierda: Núcleo de geocompuesto drenante con estructura alveolar simétrica.
Foto derecha: Ensayo de capacidad hidráulica.



Javier Aguilar Alfaro, Director de la División de Geosintéticos de Composan.

Resumen

El comportamiento de los geosintéticos a la fluencia, es decir, la disminución de su espesor con el tiempo, en compresión o compresión + cizallamiento, bajo tensiones constantes, ha sido objeto de numerosos estudios. Del mismo modo, se han intentado identificar los factores que influyen en la transmisividad, y, por ende, en la capacidad de flujo de los geocompuestos de drenaje. Entre estos productos, los más estudiados son los que constituyen el núcleo drenante de una georred. En este estudio hemos considerado 4 tipos de geocompuestos de drenaje, cada uno con un geoespaciador de estructura diferente. Hemos logrado evaluar su capacidad de flujo a largo plazo en un plano, utilizando únicamente las normas europeas de fluencia en compresión y de capacidad de flu-

jo. Primero, hemos desarrollado un proceso experimental que permite validar nuestro método. Éste consiste en analizar las disminuciones de espesor de los productos con el tiempo, lo que permite estimar, a partir de su capacidad de flujo a corto plazo, su capacidad de flujo a largo plazo. En una segunda etapa, hemos deducido de nuestros resultados los factores de reducción que, aplicados a las capacidades de flujo a corto plazo (según la norma), permiten estimar las capacidades de flujo a largo plazo. Por comparación, hemos mostrado que los factores de reducción actualmente publicados se refieren esencialmente a productos no compresibles o semi-compresibles. De este modo hemos descubierto, para el producto compresible estudiado, unos factores de reducción muy superiores, del orden del doble.

Palabras clave: Geocompuestos

de drenaje, capacidad de flujo, espesor, compresibilidad.

1. Introducción

El dimensionamiento de la capacidad de flujo de los geocompuestos de drenaje no es fácil. La diferencia entre la capacidad de flujo del producto, medida en laboratorio (Q_m), y la capacidad de flujo a largo plazo en el suelo (Q_{LTS}) puede ser importante. Numerosos estudios, a menudo basados en georredes, han determinado que sobre Q_{LTS} intervienen múltiples factores: el gradiente hidráulico, la naturaleza de los materiales que se encuentran alrededor del producto in situ (hormigón, suelo, residuos, etc.), vinculada a la intrusión del geotextil filtro en el núcleo drenante, la tensión aplicada al producto (normal y cizallamiento), la fluencia del geocompuesto, la colmatación química y biológica, etc.

Zanzinger y Gartung (1999) han

mostrado que el factor de reducción debido a la fluencia del geoespaciador es el más alto de todos los factores que influyen sobre el flujo. La norma UNE EN ISO 12958 subraya además el efecto importante de la compresibilidad de un producto sobre su flujo con el paso del tiempo.

La fluencia de un geosintético es la disminución de su espesor con el tiempo, bajo tensión constante. La disminución del espesor de un geosintético implica una disminución de su transmisividad (Giroud, 2000), definida por:

$$\Theta = k \cdot T_g \quad (1)$$

donde Θ es la transmisividad, k la conductividad hidráulica y T_g el espesor del geosintético.

La fluencia implica así una disminución de la transmisividad: por un lado directamente, disminuyendo el espesor T_g del producto; pero también indirectamente, disminuyendo la conductividad k cuando T_g disminuye.

En este estudio hemos investigado la relación entre la fluencia a compresión de geocompuestos de drenaje, y la disminución con el tiempo de su capacidad de flujo. Campbell y Wu (1994) han mostrado que, para estimar el flujo de los geocompuestos, era preferible analizar la capacidad de flujo más que la transmisividad. Además, se ha utilizado el enfoque de la norma UNE EN ISO 12958, basado en la capacidad de flujo. La capacidad de flujo y la transmisividad están vinculadas por la ecuación:

$$Q = \Theta \cdot i \quad (2)$$

donde Q es la capacidad de flujo, Θ la transmisividad, e i el gradiente hidráulico. En el plano experimental, el gradiente hidráulico ha sido mantenido igual a 1.

Luciani (1985) ha demostrado que el comportamiento de los geocompuestos a la fluencia depende en gran medida de su proceso de fabricación. Por eso hemos decidido centrar este estudio en cuatro geocompuestos de drenaje que incluyen geoespaciadores de estructura diferente:

■ C1 (compresible): núcleo drenante geotextil asociado sobre las 2

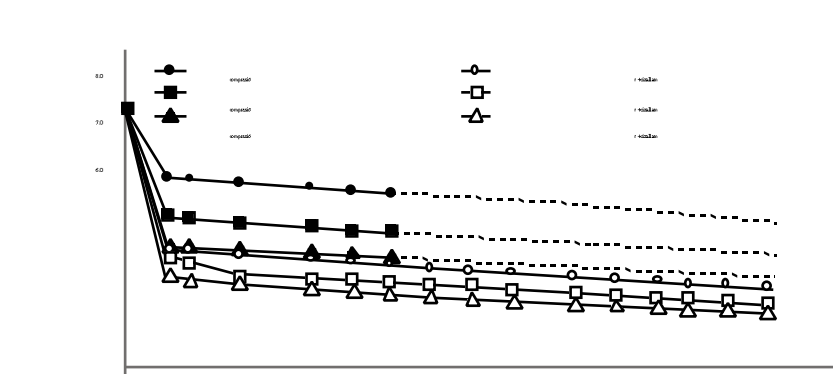


Figura 1. Evolución del espesor según el tiempo para C1.

caras a un geotextil no tejido agujereado.

■ C2 (semi-compresible): núcleo drenante formado por el entrelazamiento de monofilamentos, recubierto en las 2 caras con un geotextil termosoldado.

■ NC1 (no compresible): núcleo drenante constituido por una malla extruida en PEAD, recubierto en las 2 caras por un geotextil termosoldado.

■ NC2 (no compresible): núcleo drenante constituido por una lámina extruida en PEAD termoformada simétrica, recubierto en las 2 caras por un geotextil Geotexan termosoldado.

El plan experimental constaba de dos fases: en una primera hemos determinado las propiedades de fluencia a compresión de los productos, para obtener su espesor a largo plazo. Para ello hemos realizado ensayos de fluencia según la norma UNE EN 1897, tanto en compresión como en compresión-cizallamiento. En una segunda etapa hemos medido la capacidad de flujo de todos los productos bajo distintas tensiones, y luego la evolución de sus capacidades de flujo, deducida de su espesor. Así hemos podido calcular la capacidad de flujo a largo plazo de los productos, a partir de su espesor a largo plazo.

2. Ensayos de fluencia

2.1. Desarrollo de los ensayos

Se han realizado dos series de ensayos según la norma UNE EN 1897:

■ Una primera serie con una combinación de carga normal y de carga en cizallamiento. La tensión normal fue de 50, 100 y 200 kPa durante 504 h. La tensión de cizallamiento fue igual al 20% de la tensión normal.

■ Una segunda serie únicamente con una carga normal, bajo las mismas tensiones y durante 1 h.

Los ensayos fueron limitados respectivamente a una duración de 504 h y de 1 h, en lugar de las 1 008 h especificadas por la norma: ya que la casi totalidad de la reducción del espesor tiene lugar durante la primera hora de ensayo, y al cabo de una hora ya se alcanza la parte lineal de la curva de fluencia.

Las curvas de fluencia a compresión simple han sido trazadas a partir de 1 h y hasta 504 h, por extrapolación lineal.

2.2. Resultados de los ensayos

La tabla 1 presenta los espesores de las muestras de los 4 productos ensayados, medidos bajo una tensión de 5 kPa según la norma EN 964-1.

Productos	Espesor inicial (mm) bajo 5 kPa
C1	6,8
C2	3,9
NC1	5,1
NC2	7,0

Tabla 1. Espesores iniciales de los geocompuestos.

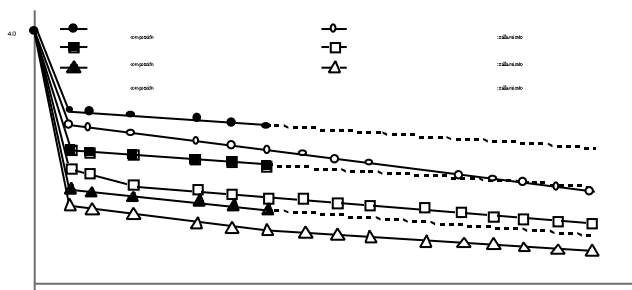


Figura 2. Evolución del espesor según el tiempo para C2.

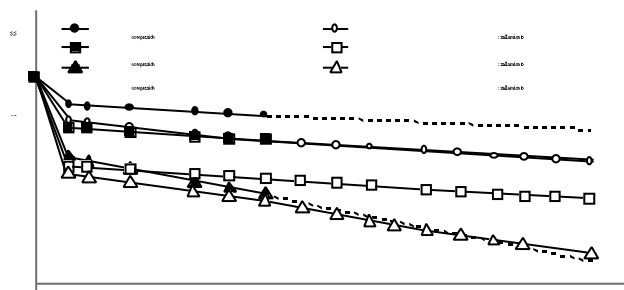


Figura 3. Evolución del espesor según el tiempo para NC1.

Los resultados de los ensayos según los 2 métodos se presentan en las figuras 1 a 4. Las líneas continuas corresponden a las mediciones realizadas, y las prolongaciones de las curvas en línea punteada han sido extrapoladas (la ecuación de la recta de extrapolación se indica en las figuras).

En la figura 1, las curvas indican que el espesor del producto, en el caso de una tensión normal, es superior al espesor de una tensión normal + cizallamiento, para las tensiones ensayadas, comprendidas entre 50 y 200 kPa. El efecto del cizallamiento sobre el espesor es inmediato: Se puede observar en cuanto se aplica la tensión.

Por ejemplo, bajo 100 kPa de tensión normal, el espesor de C1 después de una hora de ensayo es de 3,5 mm; mientras que, bajo un tensión normal de 100 kPa más una tensión de cizallamiento de 20 kPa, se reduce a 2,1 mm. Notamos que el espesor de C1 (figura 1) bajo una tensión de 50 kPa + 10 kPa de cizallamiento da el mis-

mo espesor que bajo una simple tensión normal de 200 kPa. Igualmente, bajo 50 kPa de tensión normal, el espesor de C2 es de 3,4 mm; mientras que bajo un tensión normal de 50 kPa + una tensión de cizallamiento de 20 kPa, se reducía a 3,2 mm después de una hora de ensayo.

En cambio, notamos que las curvas de espesor obtenidas por los dos métodos de carga son similares. La reducción de espesor del producto es la misma a lo largo de un período dado.

Las curvas obtenidas para los productos NC1 y NC2 (figuras 3 y 4) muestran que el efecto del cizallamiento sobre la fluencia, si existe, es débil.

El espesor de NC1 es de 4,2 mm bajo 200 kPa de tensión normal, mientras que, bajo un tensión normal de 200 kPa + una tensión de cizallamiento de 20 kPa, se reduce a 4,1 mm después de una hora de ensayo. Igualmente, bajo 200 kPa de tensión normal, el espesor de NC2 es de 6,1 mm; mientras que,

bajo un tensión normal de 200 kPa + una tensión de cizallamiento de 20 kPa, se reduce ligeramente a 6,0 mm después de una hora de ensayo.

2.3. Análisis de los resultados

Los espesores medidos han sido expresados como deformaciones según la siguiente fórmula :

$$D = \frac{T_{g0} - T_{gx}}{T_{g0}} \cdot 100 \quad (3)$$

donde D es la deformación en %, T_{g0} es el espesor inicial (mm) y T_{gx} es el espesor final después de x horas de pruebas (mm).

Bajo esta forma, los resultados han podido ser comparados gracias a gráficas como la de la figura 5, para una tensión normal de 200 kPa.

También hemos extraído de estos resultados, los valores de las deformaciones a 1 hora, que figuran en la tabla 2.

C1 y C2 son los productos más compresibles, con deformaciones que van hasta el 50% para C1 a más del 25% para C2, bajo una carga normal a compresión de 200 kPa. Los productos NC1 y NC2 son mucho menos compresibles, con una deformación bajo una carga normal a compresión de 200 kPa de 17 y 12% respectivamente.

Cuando aplicamos una carga que asocia compresión normal con cizallamiento, nos damos cuenta de que el producto C1 incrementa su deformación hasta un 73,8%, mientras que

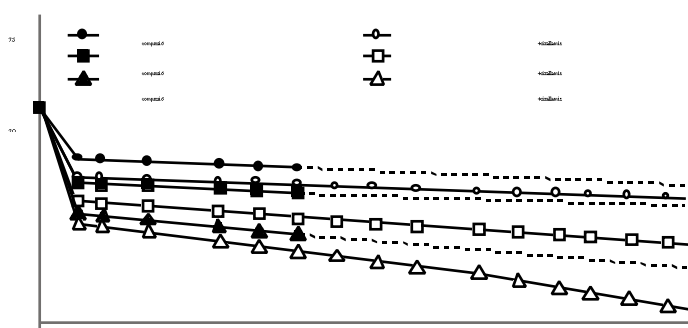


Figura 4. Evolución del espesor según el tiempo para NC2.

los productos C1, NC1 y NC2 no aumentan sensiblemente su deformación.

Estos 4 productos tienen deformaciones muy variables durante su carga. El producto más compresible, C1, tiene más fluencia bajo el efecto del cizallamiento, mientras que su geoespaciador tiene la estructura más homogénea.

3. Capacidad de flujo a largo plazo

3.1. Método

Para estimar la capacidad de flujo a largo plazo de los geocompuestos ensayados, hemos procedido en tres etapas:

■ Hemos extraído de las *figuras 1 a 4*, generadas por los ensayos de fluencia, parejas (tiempo t , espesor T_g).

■ A partir de la *figura 10*, también generada por los ensayos de fluencia, hemos determinado la tensión σ necesaria para obtener un espesor T_g en una célula de capacidad de flujo después de 2 minutos, y no después de un tiempo t .

■ Hemos reflejado esta tensión σ en las *figuras 6 a 9*. Por eso hemos podido deducir la correspondiente capacidad de flujo Q . Al finalizar, hemos obtenido una pareja (capacidad de flujo Q , tiempo t).

Los datos de la tercera etapa han sido obtenidos durante la segunda fase experimental. Se ha medido la capacidad de flujo de cada producto bajo varias configuraciones: tensiones variables, tiempos variables

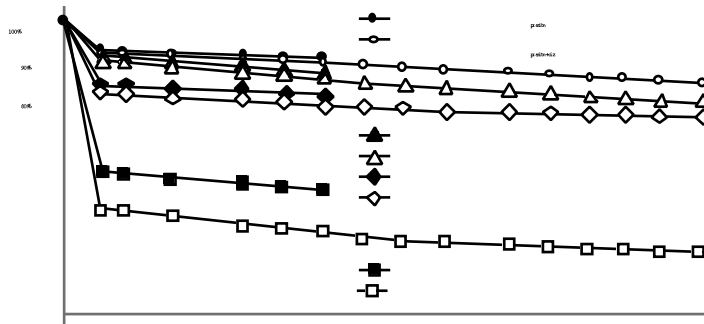


Figura 5. Comparación de las curvas de fluencia bajo 200 kPa.

Productos	Deformaciones (%) después de fluencia a compresión a 1 h			Deformaciones (%) después de fluencia a compresión + cizallamiento a 1 h		
	50	100	200	50	100	200
Tensiones kPa						
C1	33,2	48,5	58,8	61,2	68,7	73,8
C2	13,4	19,2	25,6	17,7	23,8	28,6
NC1	5,5	9,3	17,6	9,3	15,4	18,5
NC2	5,9	8,2	12,2	7,5	11,1	14,1

Tabla 2. Deformaciones (disminución del espesor).

de aplicación de la tensión (2 minutos, según la norma UNE EN ISO 12958, y 1 hora), entre soportes diferentes (placas rígidas y placas de espuma). En cambio, el gradiente hidráulico ha sido mantenido constante e igual a 1.

3.2. Capacidad de flujo, función de la tensión

El dispositivo experimental utilizado cumple la norma UNE EN ISO 12958.

Todos los geocompuestos han sido ensayados bajo cuatro tensiones: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa y más de 300 kPa; estas tensiones han sido

aplicadas entre dos placas rígidas y entre dos placas de espuma. Para cada tensión y tipo de soporte, se ha utilizado una nueva probeta. Cada probeta ha sido objeto de dos mediciones para cada tensión y tipo de soporte: medición inmediata del flujo (según la norma) y luego medición del flujo 1 h después de aplicar la tensión.

La capacidad de flujo (según la norma) en función de la tensión aplicada ha sido representada en las *figuras 6 a 9*. Éstas muestran que la capacidad de flujo:

■ Disminuye cuando la tensión aplicada aumenta.

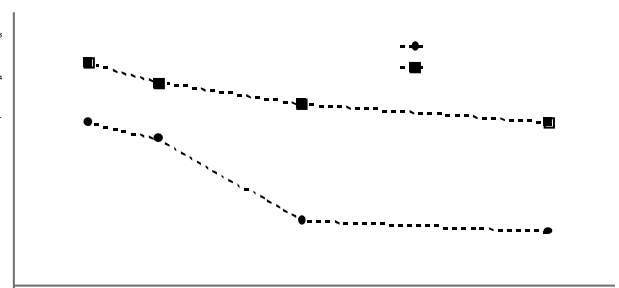
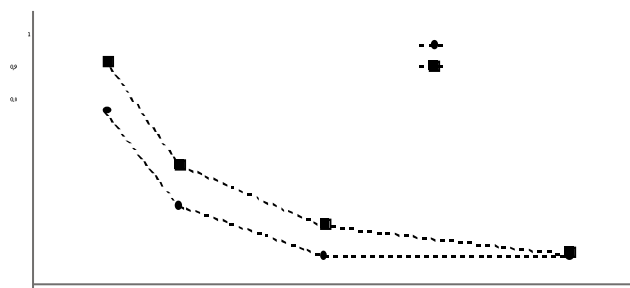


Figura 6. Producto C1: relación capacidad de flujo / tensión.

Figura 7. Producto C2: relación capacidad de flujo / tensión.

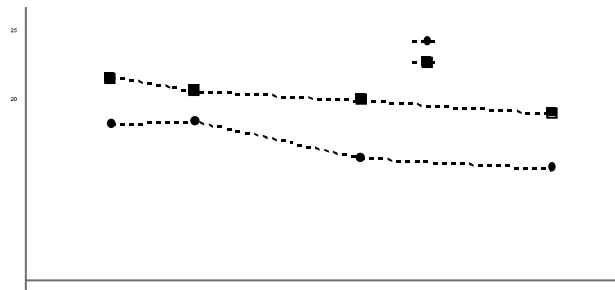
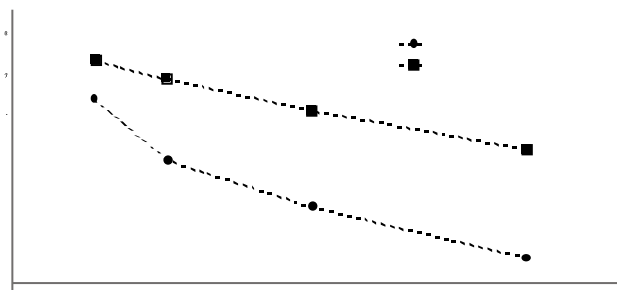


Figura 8. Producto NC1: relación capacidad de flujo / tensión.

Figura 9. Producto NC2: relación capacidad de flujo/tensión.

■ Es más débil entre dos placas de espuma que entre dos placas rígidas.

Para un producto compresible (figura 6), la disminución de la capacidad de flujo entre dos placas rígidas o dos placas de espuma es comparable.

Para productos no compresibles o semicompresibles (figuras 7 a 9), mientras que la disminución de capacidad de flujo es casi lineal entre dos placas rígidas, entre dos placas de espuma esta disminución presenta siempre un nivel importante, el cual corresponde ciertamente a la penetración de la espuma compresible en la estructura poco compresible.

3.3. El espesor: pasarela entre el corto y el largo plazo

Con el objetivo de validar nuestro procedimiento, para cada pro-

ducto y cada tensión se han verificado los siguientes valores de la capacidad de flujo Q . Éstos corresponden a:

■ La medición directa de Q después de aplicar la tensión durante 1 h.

■ El cálculo de Q después de 1 h. Para evaluar la capacidad de flujo después de 1 h, el espesor de la muestra se constata después de 1 h de fluencia a compresión, como se describe en el párrafo 2.2, y luego se determina la tensión correspondiente a este espesor después de la aplicación de esta tensión durante 2 minutos (figura 10).

Por último, la capacidad de flujo correspondiente a esta tensión se obtiene según las gráficas de capacidad de flujo/tensiones (figura 6 a 9). Los resultados se presentan en la tabla 3.

Constatamos que la aproximación a largo plazo, utilizando como base

del razonamiento la evolución del espesor, da resultados en buena correlación con los experimentales.

Como nuestro procedimiento era válido para una hora, se ha admitido que también lo era para duraciones más largas. Además, los resultados finales corroboran esta hipótesis, ya que los valores obtenidos corresponden a los valores publicados sobre los geoespaciadores del tipo georredes.

3.3.1. Relación capacidad de flujo/espesor

Como la capacidad de flujo de las georredes es proporcional a su espesor, esta relación debía ser verificada para los geocompuestos ensayados.

Para cada producto se ha trazado la capacidad de flujo calculada, vinculada a su espesor, generada por los ensayos de fluencia, según el logaritmo del tiempo.

Los datos obtenidos entre dos placas de espuma han sido reflejados en las figuras 11 a 14. También se han trazado las curvas de tendencia, indicando su coeficiente de correlación.

Estas gráficas muestran que, cualquiera sea el tipo de producto, la relación de la capacidad de flujo con el espesor varía de manera globalmente lineal según el tiempo, para las tensiones ensayadas.

De hecho, en la figura 11 (producto C1), las rectas son paralelas cualquiera sea la tensión aplicada (o el tipo de soporte), excepto en el caso de 200 kPa aplicada entre dos pla-

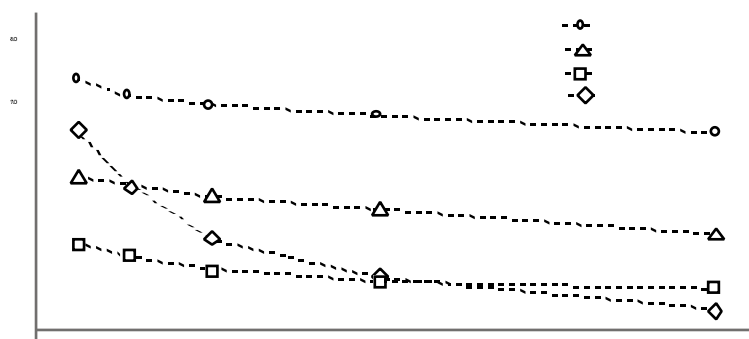


Figura 10. Espesores después de 2 minutos de fluencia.

Productos	Placas rígidas		Placas de espuma	
	Q medida	Q calculada	Q medida	Q calculada
C1	0.7	0.7	0.6	0.5
C2	13.6	13.5	9.2	10.0
NC1	6.8	6.8	5.4	5.3
NC2	19.2	19.1	13.7	15.4

Tabla 3. Capacidades de flujo (l.min^{-1}) después de 1 h bajo 50 kPa.

cas de espuma. Esta última recta es casi horizontal: para C1, la relación capacidad de flujo / espesor no puede descender a priori por debajo de $0,03 \text{ l.min}^{-1}.\text{mm}^{-1}$. Las curvas han sido extrapoladas de manera que la relación no descienda por debajo de $0,03 \text{ l.min}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

El producto NC1 (figura 13) es un caso similar, incluso si no se ha alcanzado el valor asintótico. Así, para la extrapolación de las rectas se ha escogido la hipótesis optimista de que el último punto obtenido corresponde a este valor límite. Las rectas han sido extrapoladas de manera que no desciendan nunca por debajo de $0,3 \text{ l.min}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

Aunque la evolución de esta relación parece interesante, el valor de esta relación parece ser revelador únicamente del tipo de geoespaciador. Los valores obtenidos ($\text{l.min}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) son muy distintos :

- de 0,03 a 0,18 para C1
- de 0,76 a 3,97 para C2
- de 0,30 a 1,43 para NC1
- de 1,55 a 2,95 para NC2

3.3.2. Capacidad de flujo a largo plazo

Las figuras 11 a 14 muestran la evolución de la relación entre la capacidad de flujo y el espesor en función del tiempo. Además, la evolu-

ción del espesor en función del tiempo también se conoce, gracias a los ensayos de fluencia. El valor de la capacidad de flujo a largo plazo se puede calcular sencillamente a partir de estos dos valores.

Las tablas 4 a 7 muestran el valor de la capacidad de flujo, medido según la norma UNE EN ISO 12958 (Q_f), y el acercamiento de la capacidad calculada de flujo a largo plazo (Q_f) (en este caso, el cálculo ha sido realizado para una duración de 10 años).

Resulta evidente una neta diferencia de comportamiento entre los productos compresibles y los productos semi-compresibles y no compresibles. De hecho, para los primeros la capacidad de flujo inicial disminuye aproximadamente en las mismas proporciones entre los dos tipos de soporte. En cambio, para los segundos, la capacidad de flujo disminuye con el tiempo mucho más entre dos placas de espuma que entre dos placas rígidas.

Para el producto compresible, la

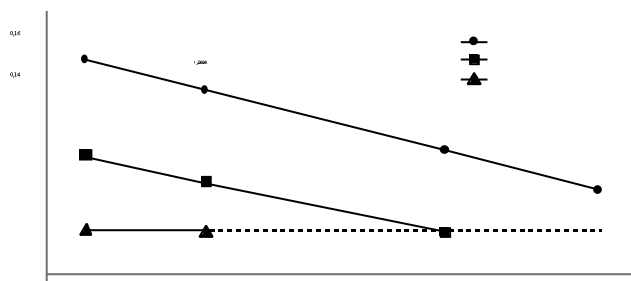


Figura 11. Producto C1: Evolución de la relación Q / T_g .

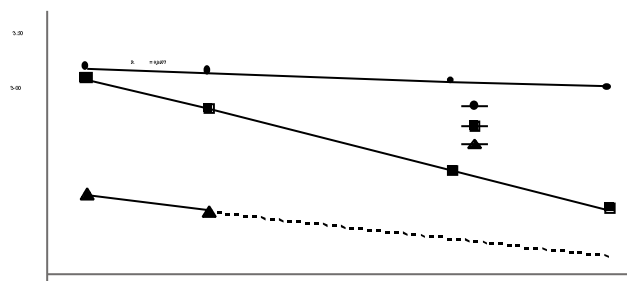


Figura 12. Producto C2: Evolución de la relación Q / T_g .

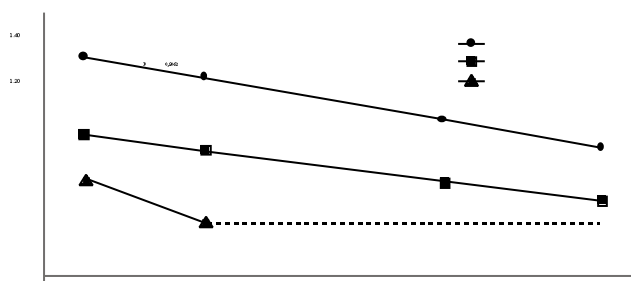


Figura 13. Producto NC1: Evolución de la relación Q / T_g .

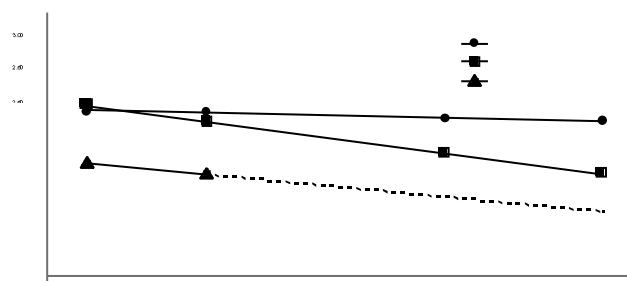


Figura 14. Producto NC2: Evolución de la relación Q / T_g .

capacidad de flujo disminuye con el tiempo únicamente por el fenómeno de fluencia. En cambio, para los productos semi-compresibles o no compresibles, además de la fluencia de los productos, la penetración de la espuma en la estructura aumenta con el tiempo, incluso a tensión constante.

Asimismo, en la *tabla 4* se destaca un valor: la capacidad de flujo a 10 años bajo 200 kPa es igual al 60% de su capacidad de flujo medida según la norma. Este porcentaje tan alto se explica fácilmente por la naturaleza compresible del producto. Como 200 kPa es una tensión relativamente alta, la disminución de espesor debida a la fluencia es mínima con respecto a la disminución de espesor inmediata.

4. ¿Qué factores de seguridad escoger?

La capacidad de flujo de un geocompuesto decrece con el tiempo. Para prever esta disminución de su rendimiento, se aplica un coeficiente de seguridad al valor anunciado, es decir, medido según la norma. Este coeficiente de seguridad es en realidad el producto de coeficientes de seguridad parciales (Koerner, 1998). Los 4 factores principales que se deben tener en cuenta son:

■ Fluencia del núcleo drenante (RF_{CR})

■ Intrusión del geotextil en el núcleo drenante, vinculada a las deformaciones del geotextil con el tiempo (RF_{IN})

■ Colmatación química del núcleo drenante (RF_{CC})

■ Colmatación biológica del núcleo drenante (RF_{BC})

Así podemos calcular la capacidad de flujo a largo plazo en el suelo (Q_{LTIS}), en función de la capacidad de flujo medida (Q_m), mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{LTIS} = \frac{Q_m}{RF_{CR} \cdot RF_{IN} \cdot RF_{CC} \cdot RF_{BC}} \quad (4)$$

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	0,86	0,44	0,21	0,66	0,29	0,10
Q_i (10 años) l/min	0,34	0,07	0,06	0,2	0,07	0,06
Q_i/Q_i (%)	40	16	29	30	24	60

Tabla 4. Capacidad de flujo de C1 después de 10 años.

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	13,81	12,57	11,25	10,26	9,18	4,36
Q_i (10 años) l/min	12,45	10,64	7,42	8,75	3,99	2,05
Q_i/Q_i (%)	90	85	66	85	43	47

Tabla 5. Capacidad de flujo de C2 después de 10 años.

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	6,94	6,37	5,34	5,76	3,86	2,40
Q_i (10 años) l/min	6,22	5,05	2,11	3,28	2,01	1,02
Q_i/Q_i (%)	90	79	40	57	52	42

Tabla 6. Capacidad de flujo de NC1 después de 10 años.

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q_i l/min	19,52	18,45	17,37	15,35	15,50	12,05
Q_i (10 años) l/min	17,99	16,80	13,83	14,02	11,51	8,90
Q_i/Q_i (%)	92	91	80	91	74	74

Tabla 7. Capacidad de flujo de NC2 después de 10 años.

En la literatura se brindan rangos de variaciones de estos factores de reducción para los productos que tienen una geomalla como núcleo drenante, según el tipo de aplicación. Así pues, el factor de reducción RF_{CR} suele estar comprendido entre 1,1 y 2,0 (Koerner, 1998) según las aplicaciones (para las geomallas).

A partir de los resultados obtenidos en las *tablas 2 a 5*, vamos a poder brindar un rango de variación para los 4 productos ensayados. Sólo se toman los resultados entre placas de espuma, ya que representan mejor las condiciones in situ (suelos, residuos, etc.).

4.1. Producto C1

Su geoespaciador es un geotextil. Hemos obtenido un rango de factor de reducción comprendido entre 3,3 y 4,2 para tensiones débiles a medianas. Es el único de los productos ensayados cuyo factor de reducción para tensiones elevadas es realmente más débil que para tensiones inferiores, con un valor de 1,7.

4.2. Producto C2

Su geoespaciador está constituido por monofilamentos entrelazados. El rango de variación de RF_{CR} está comprendido entre 1,2 y 2,3. Cuanto más

fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción. Su naturaleza semi-compresible se reconoce en los factores de reducción: para tensiones fuertes, RF_{CR} es ligeramente inferior al correspondiente a las tensiones medianas (2,1 para 2,3).

4.3. Producto NC1

Su geoespaciador es una georred. El rango de variación de RF_{CR} está comprendido entre 1,7 y 2,4. Cuanto más fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción. Este rango se acerca a los valores comúnmente difundidos, aunque es ligeramente superior.

4.4. Producto NC2

Su espaciador es una lámina termoformada simétrica. El rango de variación de RF_{CR} está comprendido entre 1,1 y 1,4. Cuanto más fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción.

5. Conclusión

La norma UNE EN 1897 recomienda realizar el ensayo de fluencia a compresión + cizallamiento sólo en el caso de los productos sensibles a la ruptura a cizallamiento. Para ser más exhaustivos, los cuatro geocompuestos de este estudio han sido ensayados tanto a compresión simple como a compresión + cizallamiento.

Los resultados muestran que el cizallamiento tiene una incidencia inmediata sobre el espesor de todos los productos. Por ejemplo, el producto a priori menos sensible al cizallamiento (geoespaciador geotextil) es en realidad el más sensible de todos los productos ensayados: pierde entre 15% y 30% de espesor más con respecto a un ensayo de fluencia a compresión simple. Por ende, todos los productos deberían ser sistemáticamente sometidos al ensayo de fluencia con cizallamiento.

Además, hemos mostrado que la capacidad de flujo está apenas ligada a su espesor. Se admite que la principal causa de disminución de la capacidad de flujo con el tiempo es la fluencia. El método presentado en este artículo, basado en la evolución del espesor del producto con el tiempo, y por ende en el conocimiento de sus espesores a corto plazo y largo plazo, permite evaluar la capacidad de flujo del producto a largo plazo a partir de su capacidad de flujo a corto plazo.

Como resultado de este estudio, se proponen factores de reducción vinculados a la fluencia RF_{CR} : aplicados a los productos ensayados, permiten tomar en cuenta el efecto de la fluencia en los dimensionamientos. Sus valores son comparables con los valores citados en la literatura, en el caso de los productos no compresibles y semi-compresibles: obtenemos un rango comprendido entre 1,1 y 2,5 contra los 1,1-2,0 habitualmente empleados. En cambio, estos valores no se aplican al producto compresible, ya que los valores obtenidos son más de dos veces superiores.

Hemos estudiado la capacidad de flujo a largo plazo, analizando el espesor a largo plazo de productos solicitados esencialmente a compresión simple. Teniendo en cuenta el efecto importante del cizallamiento sobre el espesor de los productos, que se evidencia en la primera parte del estudio, sería interesante preparar un dispositivo experimental que permitiera medir la capacidad de flujo de un producto sometido también al cizallamiento. En efecto, el cizallamiento puede intervenir en dos niveles sobre los resultados de capacidad de flujo: además de una disminución del espesor, es posible que haya un cambio en la interconexión de los huecos, que modifique la conductividad hidráulica del producto y, por ende, también su capacidad de flujo.

6. Referencias

Campbell, R.P., 1992: «In-Plane

Flow of Geosynthetics for Landfill Drainage», M.S. thesis, University of Colorado at Denver.

Campbell, R.P., and Wu, J.T.H., 1994: «In-Plane Flow of Four Geosynthetics for Landfill Drainage», *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 17, No.1, pp. 3-16.

EN 964-1, 1995: «Determinación del espesor bajo tensiones—Partida 1».

UNE EN 1897, 2003: «Determinación de las propiedades de fluencia en compresión».

UNE EN ISO 12958, 1999: «Determinación de la capacidad de flujo en el plano».

Giroud, J.P., Zhao, A., and Richardson, G.N., 2000: «Effect of Thickness Reduction on Geosynthetic Hydraulic Transmissivity», *Special Issue on Liquid Collection Systems*, *Geosynthetics International*, vol.7, N°s 4-6, pp.433-452.

Koerner, R.M., Luciani, V.A., and Carroll, R.G., Jr., 1985: «Drainage Geocomposites», *Proc. Geotechnical Fabric Conference '85*, Cincinnati, Ohio, IFAI Publ., pp. 157-174.

Meydiot, V., and Lambert, S., 2000: «Influence of joints on transmissivity of drainage geocomposites», *Eurogeo 2000*, Vol.2, pp.773-777.

Narejo, D.B., and Richardson, G.N., 2003: «Designing with GRI Standard GC8», *GFR*, August 2003, pp. 20-23.

Palmeira, E.M., and Gardoni, M.G., 2000: «Tabulated Values of Hydraulic Transmissivity and Thickness of Nonwoven Geotextiles Subjected to Compressive Stress», *Personal communication*, April 2000.

Reddy, Dr. D. V., and Fluet, J.E., Jr., 1995: «The Effect of Compressive Creep on the Structural Integrity and Drainage Capacity of Landfill Lining Systems», *Executive Summary*.

Richardson, G.N., Giroud, J.P., and Zhao, A., 2002: «Lateral Drainage Update – Part 1», *GFR*, v.20, n°. 1, pp. 12-17

Richardson, G.N., Giroud, J.P., and Zhao, A., 2002: «Lateral Drainage Update – Part 2», *GFR*, v.20, n°. 2, pp. 18-21 ■