



Ensayo de resistencia a tracción de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C). Interpretación de las curvas tensión-deformación

Tensile strength test of clay geosynthetic barriers (GBR-C). Interpretation of the load strain curves

Ángel Leiro, Beatriz Mateo y Helena García
Laboratorio Central de Estructuras y Materiales
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)

Silvia Llorente y Andrés Marín
CETCO Iberia, S.L.U.

Resumen

En el presente artículo se describe la importancia de la correcta interpretación de las curvas de tensión-deformación obtenidas en el ensayo de resistencia a tracción de las Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C). Este ensayo puede inducir a la asignación errónea del punto de carga máxima y de la deformación correspondiente, lo cual tiene una incidencia significativa en determinados tipos de aplicaciones, como es el caso de la instalación de estos materiales en taludes con una pendiente apreciable. En este sentido en el artículo se presenta la realización de una serie de pasos a nivel en los cuales se procedió a impermeabilizar los taludes mediante el empleo de un GBR-C.

PALABRAS CLAVE: Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C), Ensayo de resistencia a tracción, Curvas tensión-deformación, Impermeabilización de taludes de carretera.

Summary

This work describes the importance to interpret correctly the load strain curves obtained in the tensile strength test of clay geosynthetic barriers (GBR-C). This test can lead to a wrong assignment of the maximum load and the corresponding strain, what is very important in certain applications, as when these materials are installed in slopes with appreciable descent. Regarding this, the paper provides the study of some level crossings, where the waterproofing of the slope was made with clay geosynthetic barriers.

KEY WORDS: Clay geosynthetic barriers, GBR-C, Geosynthetic clay liners, GCL, Tensile strength test, Load strain curves, Road slopes waterproofing

1. Introducción

1.1. Fabricación de Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C)

Las Barreras Geosintéticas Arcillosas se componen de bentonita de sodio granular encapsulada entre dos geotextiles, generalmente uno tejido y otro no tejido.

Existen distintos métodos para la unión de los geotextiles, pero el que le confiere al producto final una mayor estabilidad mecánica es el proceso de agujado. Este proceso de agujado consiste en pasar fibras del geotextil superior no tejido a través de la capa de bentonita y el geotextil tejido mediante agujas. De esta manera se obtiene un sistema único y uniforme que evita el desplazamiento de la bentonita, asegurando así una distribución homogénea a lo largo de todo el producto y, por tanto, asegura una buena impermeabilidad durante su vida útil.

La producción de GBR-C exige un estricto control de calidad, siendo esencial la calidad de las materias primas. Los geotextiles, además del soporte para la bentonita, aportan al producto final la resistencia mecánica que garantiza su integridad ante cualquier tracción una vez instalado.

El primer paso antes de comenzar una producción es definir los requisitos del material según la aplicación. El material de uso más extendido es el compuesto por un geotextil tejido de 100 g/m², un geotextil no tejido de 200 g/m² y 5 kg/m² de bentonita.

Los geotextiles utilizados para la fabricación de las Barreras Geosintéticas Arcillosas son, generalmente, bobinas de alrededor de 5 m de ancho, aunque puede variar en función del fabricante.

El proceso comienza con el desenrollado del geotextil tejido, puesto que es el soporte sobre el que se adiciona la bentonita sódica granular.

La bentonita debe ser sometida a un proceso de separación física previo:

- En primer lugar pasa por distintos tamices que rechazan los granos de mayor tamaño.
- En segundo lugar se retiran mediante un proceso de aspiración los finos presentes en la bentonita ya que su hinchamiento es más lento.



Figura 1. Geotextil no tejido



Figura 2. Barreras geosintéticas arcillosas en bobinas apilables

Tras la tolva de aplicación de la bentonita se coloca el geotextil superior no tejido que, mediante un proceso de agujado, aportará las fibras que dan lugar al conjunto, mostrado en la *figura 1*.

Este proceso de fabricación está sometido a un estricto control de calidad establecido por las normas europeas de aplicación y completado por el propio sistema de control de calidad implantado por el fabricante.

La flexibilidad de las Barreras Geosintéticas Arcillosas les permite ser suministradas en forma de bobinas apilables, tal y como muestra la *figura 2*. Esto hace que su instalación en obra sea sencilla pues consiste únicamente en desenrollar y tratar los solapos.

1.2. Control de la fabricación

Existen seis normas europeas para la obtención del marcado CE de barreras geosintéticas según las distintas aplicaciones de este tipo de materiales. Estas normas permiten describir las barreras geosintéticas en función de los valores declarados para las características pertinentes de una utilización prevista, determinadas mediante un ensayo conforme al método especificado. También incluyen los procedimientos para la evaluación de la conformidad y el control de la producción en fábrica.

El sistema de evaluación de la calidad establecido para la obtención del marcado CE de las barreras geosintéticas es 2+ y consiste en la certificación del control de



Figura 3. Instalación de barreras geosintéticas arcillosas en un talud

producción en fábrica por un organismo de inspección notificado, incluyendo una auditoría inicial y auditorías periódicas del control de producción en fábrica.

Las normas son:

- **UNE EN 13491.** Barreras Geosintéticas. Requisitos para su utilización como membranas de impermeabilización frente a fluidos en la construcción de túneles y obras subterráneas.
- **UNE EN 13492.** Barreras Geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de vertederos para residuos líquidos, estaciones de trans-

ferencia o recintos de confinamiento secundario.

- **UNE EN 13493.** Barreras Geosintéticas. Requisitos para su utilización en almacenamiento de residuos sólidos y en vertederos.
- **UNE EN 13361.** Barreras Geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de embalses y presas.
- **UNE EN 13362.** Barreras Geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de canales.
- **UNE EN 15382.** Barreras Geosintéticas. Características requeridas para su

uso en infraestructuras de transporte.

Cada norma incluye una tabla con las características aplicables a todas las condiciones de utilización que son necesarias para la armonización (H), las características aplicables a todas las condiciones de utilización pero que no son necesarias para la armonización (A) y, por último, las características aplicables a condiciones de utilización específicas y no necesarias para la armonización (S). Las características necesarias para la armonización (H), características esenciales, son las que el fabricante debe declarar sus valores con su correspondiente tolerancia. Así por ejemplo, en la *tabla 1* se encuentran las características aplicables a los GBR-C para su utilización en la construcción de embalses y presas.

Adicionalmente, el fabricante puede realizar otros ensayos para el control de fabricación y de sus materias primas, todo ello recogido en su manual de control de calidad.

En primer lugar, se llevan a cabo ensayos de tipo iniciales para definir los valores de las propiedades que se han de declarar de acuerdo con la correspondiente norma armonizada.

También se efectuarán ensayos de tipo iniciales sobre cualquier producto existente que haya sufrido una modificación de las materias primas básicas o de los procesos de fabricación que afecten a las propiedades declaradas o al uso del producto.

Los ensayos que se efectuarán son los de referencia, se especifica en la norma correspondiente y serán seleccionados para las características indicadas en la *tabla 1* en función de la utilización prevista para el producto.

La durabilidad de una barrera geosintética depende de su capacidad para soportar los distintos mecanismos de degradación, es decir, la reducción de las propiedades mecánicas de los materiales que la componen. Estos mecanismos vienen indicados en el anexo B de cada una de las normas para el marcado CE de las barreras, citadas anteriormente, y son los siguientes:

- Oxidación acelerada
- Solvatación
- Fisuración bajo tensión en un medio ambiente activo
- Ataque microbiológico
- Lixiviado de componentes solubles

Tabla 1. Tabla de características aplicables a GBR-C para su utilización en la construcción de embalses y presas (UNE EN 13361)

Propiedades	Aplic.	Métodos de ensayo	Observaciones
<i>Propiedades físicas</i>			
Espesor	A	UNE EN 964-1	
Masa por unidad de superficie	A	UNE EN 14196	
<i>Propiedades Hidráulicas</i>			
Permeabilidad al agua (estanqueidad a los líquidos)	H	ASTM D 5887	
Permeabilidad a los gases	S	Anexo C de UNE EN 13493	(1)
Índice de hinchamiento	A	ASTM D 5890	
<i>Propiedades Mecánicas</i>			
Resistencia a la tracción	H	UNE EN ISO 10319	
Alargamiento	A	UNE EN ISO 10319	
Punzado estático	H	UNE EN ISO 12236	
Resistencia al estallado	S	prEN 14151:2001	(2)

(1) Es aplicable si es usada como barrera de gas. Actualmente no hay un método estándar para la determinación de la permeabilidad al gas de los GBR-C. En el anexo C de la Norma EN 13493:2005 se describe un método que tiene en la actualidad un carácter experimental y puede utilizarse como información.

(2) Sólo aplicable al elemento polimérico de la membrana de la GBR-C.

- Intercambios iónicos y degradación de aditivos

En el anexo B se hace referencia también a los métodos de ensayo que han de utilizarse para el estudio de estos mecanismos, así como se facilita información sobre los criterios de evaluación y los niveles de aceptabilidad que se han de tener en cuenta para interpretar y aplicar los resultados obtenidos en dichos ensayos.

Para evaluar el comportamiento de una barrera geosintética sometida a un ensayo de durabilidad, se realiza una comparación entre las propiedades de tracción (resistencia a la tracción y alargamiento de rotura) de una probeta realizada con la barrera geosintética ensayada y las de una probeta testigo, ajustándose el método de evaluación a la Norma Europea UNE EN 12226 [1].

Los criterios de aceptación se expresan en función de las propiedades de tracción; y el nivel de aceptabilidad no debe suponer una modificación que exceda del 25% respecto de los valores iniciales para la resistencia a la tracción y para el alargamiento de rotura del material. Ambos criterios pueden suponer la aceptación del producto. Para ciertos ensayos se indican métodos de evaluación complementarios.

En aquellos casos en que una determinada barrera geosintética se fabrique en varios gramajes o espesores, se ensayará solamente el de valor inferior. Sin embargo, si después se considera uno de gramaje o espesor superior a fin de satisfacer el nivel de durabilidad recomendado en el ensayo pertinente, entonces se debe realizar también el ensayo correspondiente a este último.



Figura 4. Barreras geosintéticas arcillosas en un talud

La durabilidad de las Barreras Geosintéticas Arcillosas se establecerá con los ensayos suplementarios siguientes:

- Efecto de los ciclos de mojado/secado (EN 14417:2005) [2].
- Efecto de los ciclos de congelación/descongelación (EN 14418:2005) [3].

En ambos casos el criterio de aceptación debe ser que el incremento del valor de la permeabilidad sea inferior o igual al 25%.

1.3. Ensayo de resistencia a tracción y alargamiento

La resistencia a tracción es uno de los parámetros esenciales recogidos en todas las normas armonizadas de utilización de los geosintéticos. Si bien los GBR-C, en general, durante su vida útil no se ven sometidos a sollicitaciones resistentes, durante su instalación pueden estar sometidos a esfuerzos, por lo cual deben ser capaces de sobrevivir a su puesta en obra.

Sin embargo, en determinadas aplicaciones, como por ejemplo en un talud con una pendiente apreciable (*figuras 3 de la página anterior y 4*), es importante conocer exactamente el valor de su deformación en el punto de carga máxima para asegurar su funcionalidad durante su vida útil, y por tanto asegurar la estabilidad del talud.

Cuando se realiza el ensayo de resistencia a tracción hay que prestar especial atención a las curvas tensión-deformación, ya que suele suceder que en estas curvas, en ambos sentidos, se producen dos puntos de inflexión, correspondientes a puntos de carga máxima del GBR-C. Esta circunstancia puede tener una incidencia significativa, ya que a veces ocurre que de los dos posibles puntos de carga máxima-deformación, es en el segundo, que corresponde a un valor superior, en el que realmente se produce la rotura del GBR-C. Por tanto, si el ensayo se detiene en el primer punto y se asigna el valor de la carga de este punto



Figura 5. Impermeabilización de los taludes de la supresión de pasos a nivel en la localidad de Puebla de Híjar (Teruel)



Figura 6. Detalle de la impermeabilización del talud de un paso a nivel en la localidad de Puebla de Híjar (Teruel)

como el valor de carga máxima, se estaría cometiendo un error.

No obstante, el estudio de una serie de ensayos realizados sobre diferentes materiales muestra que no siempre se mantiene esta tendencia: hay un primer pico en el que el GBR-C mantiene su funcionalidad, y un segundo pico correspondiente a la rotura con un aumento considerable de la carga y el alargamiento, siendo este último realmente el punto de deterioro del material. En algunos casos se obtiene una curva tensión-deformación con un único pico, correspondiente a su carga y alargamiento en rotura y deterioro del geosintético.



Figura 7. Dinamómetro universal

2. Experimental

2.1. Utilización de GBR-C en la impermeabilización de taludes de pasos a nivel

Este tipo de GBR-C se ha utilizado para la impermeabilización de los taludes de la supresión de pasos a nivel en la localidad de Puebla de Híjar en Teruel, con una superficie de 15 000 m² de impermeabilización, por la empresa CETCO S.L.U. (figuras 5 de la página anterior y 6).

Los trabajos ejecutados consisten en la colocación de un sistema de impermeabilización basado en:

- Barrera Geosintética Arcillosa (GBR-C) de Cetco Iberia de 5,5 mm de espesor y 3 500 gr/m².
- Barrera Geosintética polimérica (GBR-P) de Polietileno de Baja Densidad PEBD de Osrodeck de 800 galgas de espesor.

En dicha obra se impermeabilizaron los pasos 398, 401, 407, 411 y 417.

En el diseño de la formación de los terraplenes y trasdoses se utilizó un material arcilloso con posibilidad de expansión en contacto fundamentalmente con el agua de lluvia. Los taludes tenían una inclinación de 45° aproximadamente. La altura era variable llegando a alcanzar en su punto más alto unos 20 m.

Para evitar la entrada de agua y las consiguientes expansiones, se decidió impermeabilizar los terraplenes de todos los

pasos a nivel. Posteriormente se procedió a la colocación de un material de cobertura para futura revegetación.

Se colocaron 15 000 m² de un GBR-C de BENTOMAT CL-35.

2.2. Estudio del comportamiento de la Barrera Geosintética Arcillosa (GBR-C)

En el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX se ha realizado el estudio del comportamiento de un GBR-C similar al utilizado en la impermeabilización de los taludes de la supresión de los pasos a nivel citados anteriormente [4]. Se ha realizado un análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a tracción en la dirección transversal y longitudinal al sentido de la máquina. Los ensayos han sido realizados según la norma UNE EN ISO 10319: 1996 [5].

El estudio ha comprendido el análisis de las curvas tensión-deformación de todos los geosintéticos que se utilizaron en la fabricación del GBR-C ensayado: geotextil tejido (GTXT), geotextil no tejido (GTX-NT), así como las propias barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C). Para el estudio más detallado de éstas, se procedió a ensayarlas con y sin bentonita, es decir, se ensayaron la propia barrera geosintética arcillosa (GBR-C) completa (con bentonita) y los dos geotextiles, tejidos y no tejidos, ensamblados, pero sin la bentonita encapsulada en su interior.

2.2.1. Probetas de ensayo

Se cortaron 10 probetas de ensayo de cada uno de los geosintéticos mencionados (de acuerdo con la norma UNE EN-ISO-9862:2005) [6], en las direcciones de fabricación (longitudinal) y perpendicular a la de fabricación (transversal). Las probetas se cortaron de zonas que fueron producidas una a continuación de la otra con los mismos geotextiles y de la misma zona del GBR-C. Cada probeta de ensayo se talló a una anchura de 200 mm ± 1 mm y a una longitud de 250 mm ± 1 mm, suficiente para asegurar 100 mm entre las mordazas. La dimensión de longitud designada se coloca paralela a la dirección en que se aplica la fuerza de tracción.

2.2.2. Equipo de ensayo

El equipo empleado para realizar el ensayo es un dinamómetro universal marca INSTRON modelo 5569 equipado con mordazas de la misma marca que cumplen las especificaciones de la mencionada norma (figura 7 de la página anterior).

2.2.3. Procedimiento de ensayo

Se ajustó la distancia de las mordazas para obtener una longitud de ensayo de 100 mm ±3 mm, montándose las probetas de ensayo en la parte central de las mordazas. Se comprobó que, tanto en la dirección de la máquina como en la dirección transversal, la longitud de la probeta fuese paralela a la dirección de aplicación de la fuerza. El ensayo se realizó a una velocidad de 20 mm/min hasta la rotura de la probeta. Una vez obtenidos los resultados, se retira la probeta y se reajustan las mordazas hasta la posición inicial.

3. Resultados

En las tablas 2 y 3, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a tracción en los sentidos transversal y longitudinal respectivamente.

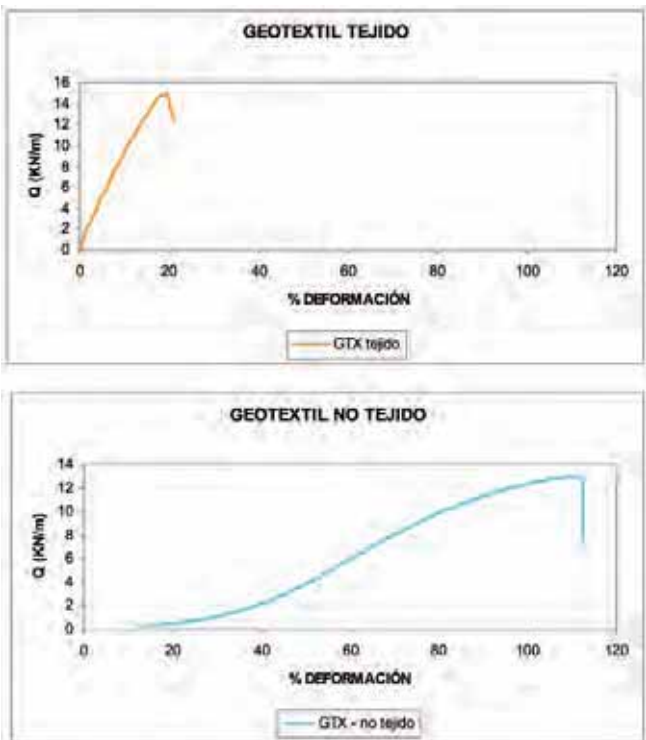


Figura 8. Curvas tensión-deformación de los geotextiles tejido y no tejido, en sentido transversal

Tabla 2. Resistencia a tracción en el sentido transversal

	Carga (kN/m)		Deformación (%)	
Geotextil tejido	15		18	
Geotextil no tejido	14		110	
	Primer pico	Segundo pico	Primer pico	Segundo pico
GBR-C (con bentonita)	6,68	10,61	10,87	70,2
GBR-C (sin bentonita)	12,52	10,60	10,50	94

Tabla 3. Resistencia a tracción en el sentido longitudinal

	Carga (kN/m)		Deformación (%)	
Geotextil tejido	16,5		35	
Geotextil no tejido	18		80	
	Primer pico	Segundo pico	Primer pico	Segundo pico
GBR-C (con bentonita)	12	15	17	64
GBR-C (sin bentonita)	17,5	12	25	65

3.1. Estudio de las curvas tensión-deformación de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C)

Las curvas tensión-deformación de los GBR-C son similares en los sentidos transversal y longitudinal. Si bien se han ensayado 5 probetas de cada uno de los geosintéticos en cada sentido, para el estudio de las curvas tensión-deformación se ha considerado solamente la curva de una probeta de cada material, elaborada a partir de los datos obtenidos en el ensayo.

3.1.1. Curvas tensión-deformación sentido transversal

En la figura 8 se observan las curvas tensión-deformación correspondientes a los geotextiles tejido y no tejido, en sentido transversal.

- Curva tensión-deformación del GBR-C sin bentonita.

Inicialmente se estudió la curva tensión-deformación del GBR-C sin la bentonita (figura 9).

La curva tensión-deformación presenta dos picos. En el primer pico (12,52 kN y 10,5% de deformación) se produce la rotura



Figura 9. Curva tensión-deformación del GBR-C sin bentonita (sentido transversal)



Figura 10. Curva tensión-deformación del GBR-C con bentonita (sentido transversal)



a) Aspecto del GBR-C por el lado del geotextil tejido

b) Aspecto del GBR-C por el lado del geotextil no tejido

Figura 11. Aspecto del GBR-C una vez alcanzado el valor de carga y deformación correspondiente al primer pico: a) por el lado del geotextil tejido, b) por el lado del geotextil no tejido

del geotextil tejido del GBR-C, la carga es menor que la obtenida por el geotextil tejido (15 kN), debido al debilitamiento de los hilos como consecuencia del agujado. En este punto se ha roto el geotextil tejido pero no su estructura, debido a la estabilización de la unión de los geotextiles tejido y no tejido. Se van rompiendo los hilos del geotextil tejido, la carga disminuye y el GBR-C se mantiene inalterado. A continuación empieza a entrar en carga el geotextil no tejido y la

carga sube hasta que se produce la rotura completa de los dos geotextiles que componen el GBR-C (10,60 kN y 94% de deformación). La carga y deformación obtenidas disminuyen con respecto al geotextil no tejido (14 kN, 110% de deformación), como consecuencia del debilitamiento producido por su agujado.

- *Curva tensión-deformación del GBR-C con bentonita.*

La curva obtenida en este caso se en-

cuentra en la *figura 10 de la página anterior*.

El primer pico de 6,68 kN y 10,87% de deformación, es consecuencia de la rotura del geotextil tejido. Esta rotura se produce a una carga del orden del 50% de la obtenida en el caso del GBR-C sin bentonita. Este debilitamiento es originado por el confinamiento de la bentonita. En este punto se han roto algunas de sus fibras, pero mantiene su estructura debido al cosido (agujado) del geotextil no tejido. Se observa que no se produce la salida ni desplazamiento de la bentonita, el GBR-C mantiene íntegra su estructura. Es decir, mantiene de manera absoluta su funcionalidad, como se aprecia en la *figura 11*.

A partir de ese punto la carga empieza a subir hasta que se produce la rotura brusca del geotextil no tejido (10,61 kN/m de carga y 70,2% de deformación) que coincide con la salida de la bentonita del GBR-C. La carga de rotura de este segundo pico es un poco menor que la del geotextil no tejido (14 kN, 110% de deformación) debido, como en el



Figura 12. Aspecto del GBR-C por el lado del geotextil no tejido, una vez superado el primer pico y antes de que se produzca su rotura (segundo pico)

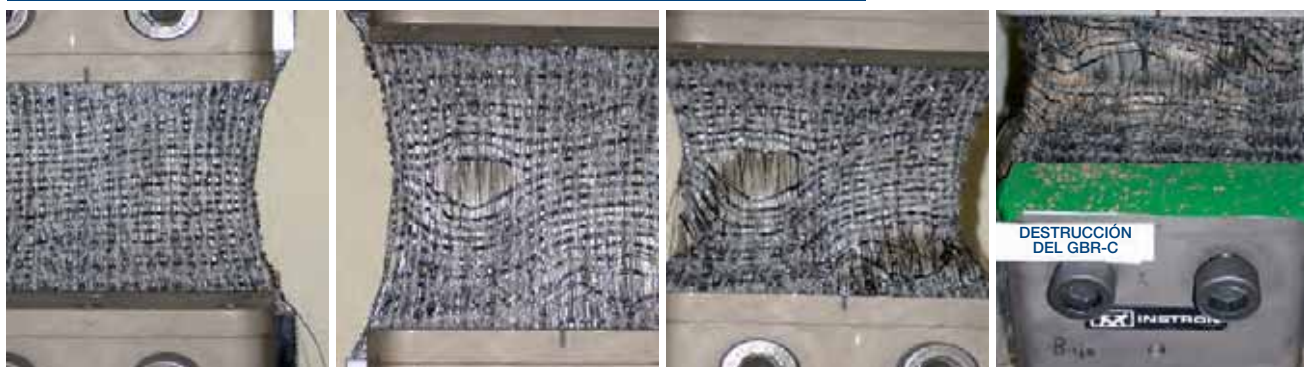


Figura 13. Diferentes aspectos de la rotura brusca del geotextil no tejido, y por tanto, simultáneamente la destrucción completa del geotextil tejido, ya que está agujado al geotextil no tejido. En ese momento es cuando se produce la salida al exterior de la bentonita, y por tanto, el GBR-C pierde su funcionalidad.



Figura 14. Estado de las probetas de GBR-C, una vez rotas. Se aprecia el deterioro completo de los geotextiles, tejidos y no tejidos, así como la salida al exterior de la bentonita

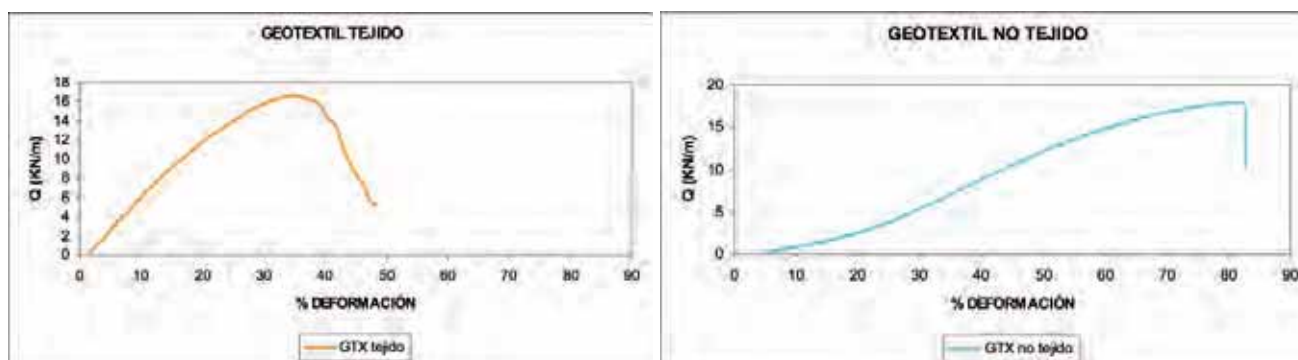


Figura 15. Curvas tensión - deformación correspondientes a los geotextiles tejido y no tejido en sentido longitudinal

caso anterior, al debilitamiento producido por el agujero; no obstante, coincide con la carga del segundo pico del GBR-C sin bentonita.

Este segundo pico del GBR-C con bentonita, 10,61 kN y 70,2% de deformación, es el que se debe tomar para el cálculo en proyecto, ya que hasta este punto el GBR-C mantiene la bentonita encapsulada y sin que se produzca su desplazamiento, es decir, el GBR-C mantiene su funcionalidad.

En las figuras 11, 12, 13 de la página anterior y 14 se aprecia la secuencia del ensayo de resistencia a tracción, para el caso de las muestras GBR-C con bentonita.

3.1.2. Curvas tensión-deformación sentido longitudinal

En la figura 15 se encuentran las curvas tensión-deformación correspondientes a los geotextiles tejido y no tejido, en sentido longitudinal.

Las curvas, como se ha citado, son similares tanto para el caso del GBR-C sin bentonita como para el del GBR-C con bentonita y en ambos casos se producen dos picos (figuras 16 y 17 de la página siguiente).

En el GBR-C sin bentonita, el primer pico de 17,5 kN de carga es del orden del 45%, superior al segundo pico de 12 kN;



Figura 16. Curva tensión-deformación correspondiente al GBR-C sin bentonita (sentido longitudinal)

mientras que en el GBR-C con bentonita, el primer pico de 12 kN de carga es un 25% inferior al segundo pico obtenido de 15 kN.

Se pueden hacer los mismos comentarios que se han hecho para el caso de la curva tensión-deformación en el sentido transversal. El primer pico de 12 kN de carga es consecuencia de la rotura del geotextil tejido y el GBR-C mantiene su funcionalidad; y en el segundo pico de 15 kN, se produce la rotura del GBR-C y la pérdida de la bentonita, siendo éste el valor que se debe considerar como de carga de rotura.

En resumen, en las curvas tensión-deformación de los GBR-C, en ambos sentidos, en general, aparecen dos picos. El segundo pico, que coincide con el valor de carga máxima, es el que corresponde con la rotura del GBR-C, produciéndose la salida de la bentonita, y por tanto, su pérdida de funcionalidad. El valor de la carga de este segundo pico, es el que debe considerarse como el valor de carga máxima para el cálculo. El ensayo debe prolongarse, por tanto, hasta comprobar el deterioro total del GBR-C que se pone de manifiesto



Figura 17. Curva tensión-deformación correspondiente al GBR-C con bentonita (sentido longitudinal)

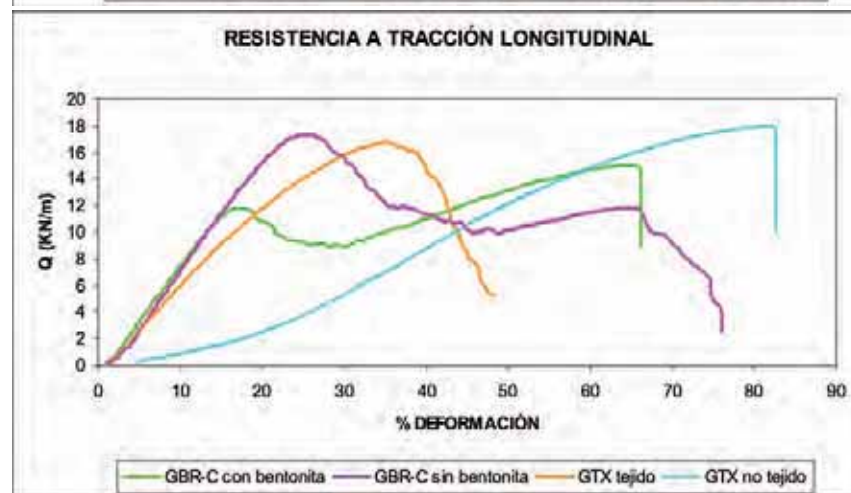
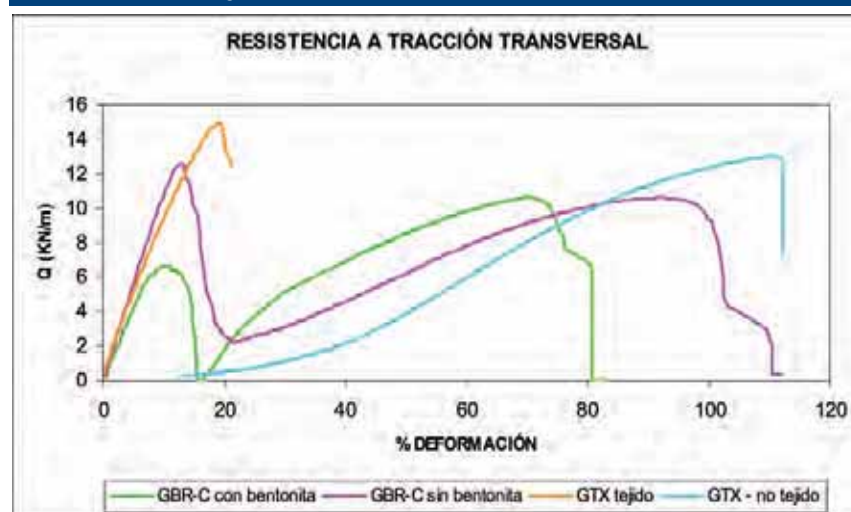


Figura 18. Curvas tensión-deformación obtenidas para todos los geosintéticos ensayados

por la pérdida de la bentonita. En la figura 18 se encuentran todas las curvas tensión-deformación obtenidas.

4. Conclusiones

A la hora de evaluar el ensayo de resistencia a tracción de un GBR-C, principalmente en determinados tipos de aplicacio-

nes, como es el caso de la instalación de estos materiales en taludes con una pendiente apreciable, deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- En la realización del ensayo de resistencia a tracción de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C), hay que prestar especial atención a toda la curva tensión-deformación.

- El ensayo debe prolongarse hasta el deterioro (rotura real) del GBR-C, donde éste ha perdido su funcionalidad, y no parar el ensayo tras la obtención de un primer pico que, como se ha visto, puede deberse a la rotura de alguno de los hilos del geotextil tejido y a la estabilización del anclaje sin que se haya producido el deterioro del GBR-C.
- Una vez terminado el ensayo, la curva tensión-deformación debe ser analizada e interpretada antes de concluir, y no considerar, erróneamente, el valor de la carga máxima y deformación (y por tanto de su rotura) el del primer pico.
- El ensayo debe ser realizado por personal técnico con formación y experiencia suficientes para la correcta interpretación íntegra de la curva tensión-deformación y observar el ensayo de manera que se pueda valorar si en el primer pico se produce el deterioro del GBR-C.

5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Juan Carlos Vega Rico y Francisco García González por su participación en la realización de los ensayos correspondientes a la parte experimental de este trabajo.

6. Bibliografía

- [1] UNE EN 12226. Geotextiles y productos relacionados. Ensayos generales para la evaluación después del ensayo de durabilidad.
- [2] EN 14417. *Geosynthetic barriers. Test method for the determination of the influence of wetting-drying cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.*
- [3] EN 14418. *Geosynthetic barriers. Test method for the determination of the influence of freezing-thawing cycles on the permeability of clay geosynthetic barriers.*
- [4] Estudio sobre Barreras Geosintéticas bentoníticas. Informe técnico para CETCO IBERIA SLU. 2010.
- [5] UNE EN-ISO 10319:1996. Geotextiles. Ensayo de tracción para probetas anchas (ISO 10319:1993).
- [6] UNE EN-ISO 9862:2005. Geosintéticos. Toma de muestras y preparación de probetas (ISO 9862:2005). ❖