

Estudio de las propiedades de las bentonitas para su utilización en barreras geosintéticas arcillosas

ÁNGEL LEIRO LÓPEZ (*), BEATRIZ MATEO SANZ (**), HELENA GARCÍA CIDONCHA (***)
y MANUEL BLANCO FERNÁNDEZ (****)

RESUMEN Las bentonitas utilizadas en la fabricación de barreras geosintéticas arcillosas deben tener una serie de propiedades para que puedan comportarse como un sistema impermeable. Entre las bentonitas utilizadas en la industria, la bentonita sódica es la que tiene una permeabilidad más baja debido a su alta capacidad de absorción de agua en el espacio interlaminar, lo que da lugar a su hinchamiento, formando una barrera al flujo de agua.

En este artículo se presenta el estudio de las propiedades de cuatro bentonitas con el fin de evaluar su calidad para su utilización en las barreras geosintéticas arcillosas. Para ello se han estudiado las principales propiedades: absorción de agua, hinchamiento, pérdida por filtrado, capacidad de intercambio catiónico y contenido de montmorillonita. Además, con el objeto de optimizar el procedimiento de caracterización de las bentonitas, se han establecido correlaciones entre los diferentes ensayos realizados, para identificar los más adecuados.

Por último, se ha llevado a cabo un ensayo de compatibilidad para estudiar el comportamiento de las bentonitas en presencia de agua con una gran cantidad de sales, ya que en este caso puede tener lugar un intercambio iónico entre los iones sodio que se encuentran en el espacio interlaminar y los cationes disueltos en el agua, lo que da lugar a una disminución del hinchamiento de la bentonita y por tanto a la pérdida de propiedades para su utilización como barrera impermeable.

STUDY OF THE PROPERTIES OF BENTONITES FOR THEIR USE IN CLAY GEOSYNTHETIC BARRIERS

ABSTRACT *Bentonites used for the production of clay geosynthetic barriers need to meet some properties so that they can be a waterproofing system. Among the bentonites used in industry, sodium bentonite has the lowest permeability due to its high water absorption capacity in the inter-laminar space, causing it to swell and form a barrier to water flow. This paper provides the study of the properties of four bentonites to evaluate their quality. For this study, the main properties have been tested: water absorption, swelling index, fluid loss, cation exchange capacity and montmorillonite content. In order to optimize the procedure for the characterization of bentonites, correlations between different tests have been done, to identify the most suitable ones. Finally, a compatibility test has been carried out to study the performance of bentonites in water containing a high amount of sales, because in this case, an ion exchange between the interlayer sodium ions of bentonite and cations dissolved in the water can take, resulting in a decreased swell of the bentonite.*

Palabras clave: Bentonitas, Barreras Geosintéticas Arcillosas, GBR-C, Impermeabilización.

Keywords: Bentonites, Clay Geosynthetic Barriers, GBR-C, Waterproofing.

1. INTRODUCCIÓN

Las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C) están formadas generalmente por bentonita sódica encapsulada entre un geo-

textil tejido y otro no tejido, mediante un proceso de agujado (Leiro 2009). Este sistema funciona formando una membrana de baja permeabilidad en contacto con el agua. La bentonita

(*) Licenciado en Ciencias Químicas. Coordinador Técnico Científico del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. Presidente de IGS España. E-mail: Angel.Leiro@cedex.es

(**) Licenciada en Ciencias Químicas. Jefa de Sección Técnica del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructura y Materiales (CEDEX), Madrid, España. Asistente Secretaría de IGS España. E-mail: Beatriz.Mateo@cedex.es

(***) Licenciada en Ciencias Químicas. Técnica de Laboratorio. Laboratorio Central de Estructura y Materiales (CEDEX), Madrid, España. E-mail: Helena.García@cedex.es

(****) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. Vicepresidente de IGS España. E-mail: Manuel.Blanco@cedex.es

sódica tiene una gran capacidad de absorción de agua, lo que produce su hinchamiento formando una barrera de permeabilidad muy baja.

Las bentonitas son arcillas formadas esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, con una estructura estratificada, formada por capas de óxido de silicio tetraédrico y óxido de aluminio octaédrico. Estas láminas se encuentran separadas por cationes débilmente hidratados (principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+), que compensan las cargas negativas resultantes de las sustituciones isomórficas de cationes por otros con valencias diferentes (Informe Técnico CEDEX, 2010).

Esta morfología laminar, la presencia de cationes débilmente unidos (intercambiables) en el espacio interlaminar, y el tamaño de partícula (inferior a $2\mu\text{m}$), son las principales características que confieren a las bentonitas las propiedades que las hacen adecuadas para su utilización en las barreras geosintéticas arcillosas. Entre estas propiedades cabe destacar el hinchamiento, la absorción de agua y la capacidad de intercambio catiónico (Leiro *et al.* 2011).

Los iones intercambiables localizados en el espacio interlaminar de la estructura de la arcilla son los que producen el hinchamiento de la bentonita. Son capaces de unirse a moléculas de agua formando capas sobre capas que hacen que las láminas de la bentonita se separen. Este incremento del espacio interlaminar hace que la bentonita se hinche, por lo que cuanto más agua es absorbida por el ion, mayor será su hinchamiento.

Existen varios tipos de bentonitas dependiendo del principal ion intercambiable que tengan. La bentonita sódica, con un alto contenido de montmorillonita, presenta mejores propiedades de impermeabilización que las bentonitas de calcio o magnesio. Estos cationes de sodio intercambiables son capaces de absorber más agua, formándose más capas de agua a su alrededor, lo que se denomina "doble capa".

Pero la elevada capacidad de intercambio catiónico puede ser un problema en determinados casos especiales. Es muy importante tener en cuenta que la presencia de determinadas sustancias químicas puede reducir el espesor de la doble capa y dar lugar a un aumento del coeficiente de permeabilidad, k .

Cuando una GBR-C está en contacto con aguas contaminadas o salinas, puede tener lugar un intercambio entre los iones sodio del espacio interlaminar de la bentonita y los cationes disueltos en el agua (como calcio o magnesio). Este tipo de reacción de intercambio reduce la cantidad de agua que puede estar retenida en el espacio interlaminar produciendo una disminución del hinchamiento.

Por ese motivo, cuando una GBR-C va a estar en contacto con aguas contaminadas o duras, es recomendable realizar un ensayo de compatibilidad para determinar el comportamiento de la bentonita con el agua de obra. Si no están garantizadas unas propiedades hidráulicas apropiadas, pueden utilizarse bentonitas tratadas con polímeros para mantener el hinchamiento adecuado. Estas bentonitas mantienen un sellado efectivo contra los contaminantes y evitan el intercambio iónico.

2. EXPERIMENTAL

Este trabajo muestra los resultados del estudio de cuatro bentonitas para conocer su idoneidad como componente de una barrera geosintética arcillosa. Se han llevado a cabo los ensayos más representativos para conocer las propiedades de las bentonitas:

- Caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X, para evaluar el contenido de montmorillonita.

- Absorción de agua (método del plato poroso).
- Coeficiente de hinchamiento.
- Pérdida por filtrado.
- Capacidad de intercambio catiónico.

Con los resultados de estos ensayos se ha realizado una evaluación del comportamiento de las bentonitas para su utilización en las barreras geosintéticas arcillosas. Como resultado de esta evaluación, se ha realizado una clasificación de las bentonitas según su calidad.

Además, se han realizado correlaciones entre los resultados de los diferentes ensayos para identificar los más adecuados para la caracterización de las bentonitas.

Por último, se ha llevado a cabo un ensayo de compatibilidad con varios productos elaborados con la bentonita que ha presentado el valor más alto de capacidad de intercambio catiónico.

2.1. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA MEDIANTE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

La composición mineralógica de las bentonitas fue estudiada mediante difracción de rayos X. Se realizó el análisis de las muestras en polvo para lo cual las bentonitas se molieron en un molino de bolas hasta obtener un tamaño de partícula inferior a $0,074\text{ mm}$. La Figura 1 muestra los difractogramas obtenidos, en los que se identifican filosilicatos en todas las muestras.

Para comprobar la presencia de esmectitas, que son los filosilicatos que confieren a las bentonitas su capacidad de hinchamiento, se prepararon tres tipos de agregados orientados:

- Agregado orientado sin tratamiento (A.O.).
- Agregado orientado en atmósfera saturada con etilenglicol (E.G.). Este tratamiento se realiza para detectar la presencia de minerales de la arcilla que son capaces de incorporar sustancias en su espaciado interlaminar, dando lugar al hinchamiento de la bentonita. Este proceso se pone de manifiesto por el desplazamiento en el difractograma del pico característico de los filosilicatos.
- Agregado orientado tratado térmicamente a 550°C (A.O.+ 550°C), para detectar la presencia de minerales que contienen agua en su estructura y por lo tanto son susceptibles de colapsar cuando se calientan a alta temperatura. Este proceso se pone de manifiesto por una disminución del espaciado interlaminar.

Del estudio de los agregados orientados se dedujo que las cuatro muestras de bentonitas contenían esmectitas ya que se produjeron los siguientes procesos:

- Desplazamiento del pico cuando los agregados orientados se solvataron con etilenglicol, debido al hinchamiento de las muestras.
- Colapso del pico cuando los agregados orientados fueron tratados térmicamente a 550°C , como consecuencia de la pérdida de agua.

Como ejemplo, en la Figura 2 se presentan los difractogramas de los agregados orientados de las bentonitas A y B.

2.2. ABSORCIÓN DE AGUA (MÉTODO DEL PLATO POROSO)

La absorción de agua se determinó de acuerdo al procedimiento basado en la norma ASTM E 946-92. El ensayo consiste en depositar la bentonita en un papel de filtro que se coloca sobre una placa porosa (Figura 3).

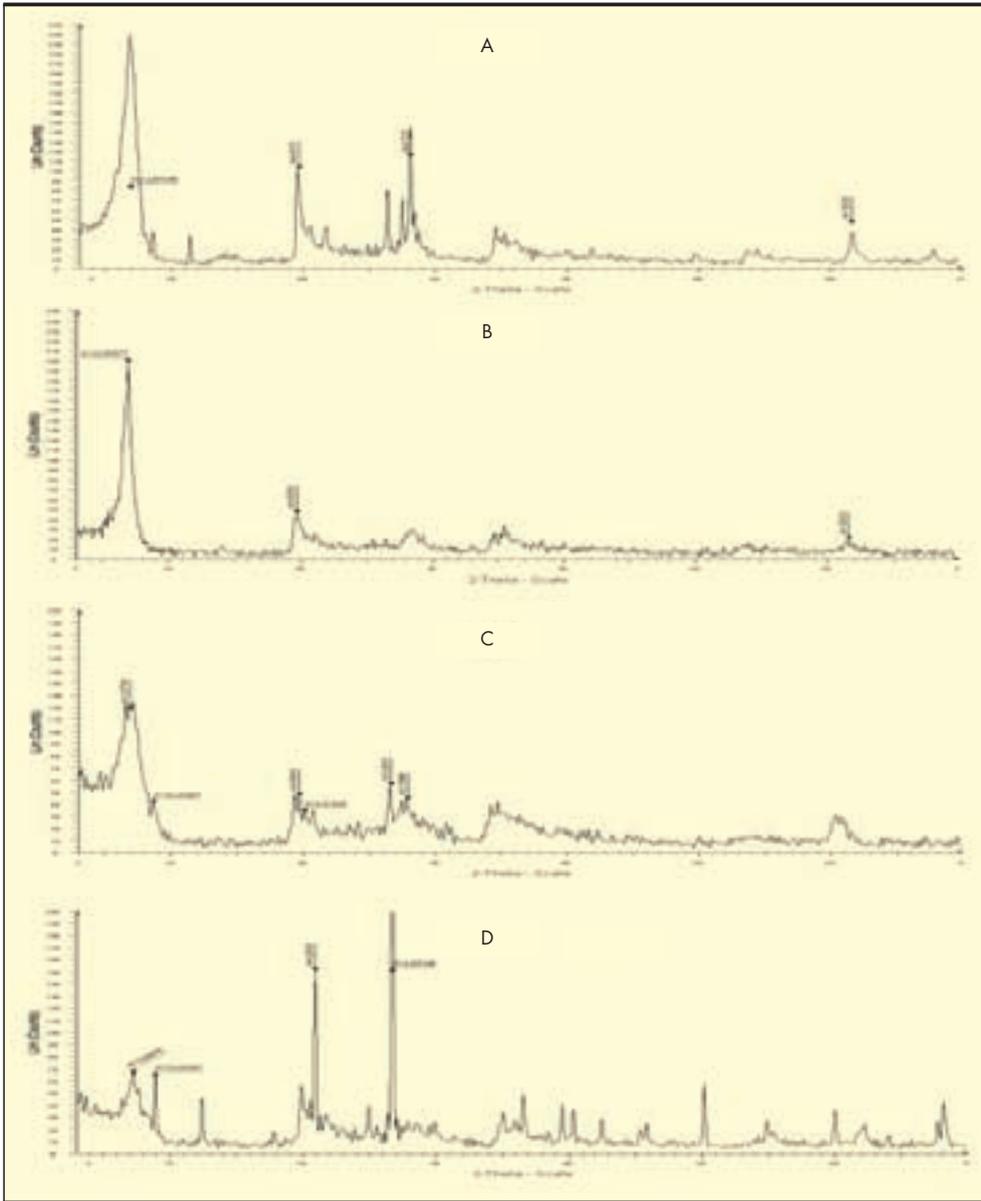


FIGURA 1. Difractogramas de las bentonitas estudiadas.

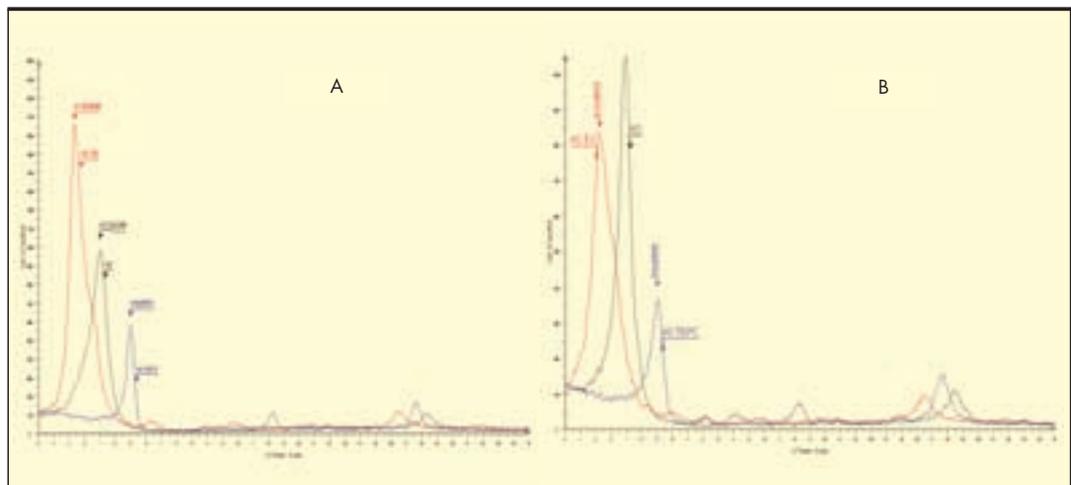


FIGURA 2. Difractogramas de los agregados orientados de las bentonitas A y B.

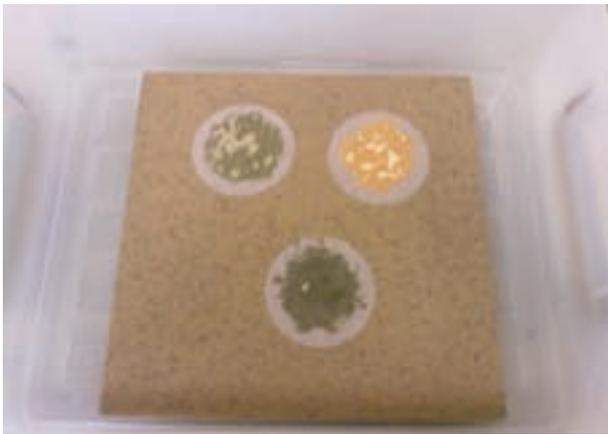


FIGURA 3. Determinación de la absorción de agua de las bentonitas mediante el método del plato poroso.

La bentonita debe estar seca y molida de tal forma que el 100% pase por el tamiz de 150 μm y que como mínimo el 80% pase por un tamiz de 75 μm . Deben registrarse la temperatura inicial y final del ensayo.

La absorción de agua se determina por diferencia de peso entre la bentonita hidratada y seca, teniendo en cuenta la corrección por la temperatura. Se expresa en tanto por ciento de absorción de agua.

2.3. COEFICIENTE DE HINCHAMIENTO

El coeficiente de hinchamiento se determinó de acuerdo a la norma ASTM D 5890-06. Este método de ensayo permite la evaluación de las propiedades de hinchamiento de una arcilla en agua para la estimación de su permeabilidad o reducción de la conductividad hidráulica en barreras geosintéticas (GBR-C).

El procedimiento consiste en adicionar muy lentamente 2 g de arcilla en una probeta con 90 ml de agua, para que hinche. La arcilla debe estar seca hasta peso constante a $105 \pm 5^\circ\text{C}$, y molida de tal manera que el 100% pase por el tamiz de 150 μm y un mínimo el 65% pase por un tamiz de 75 μm . Tras añadir

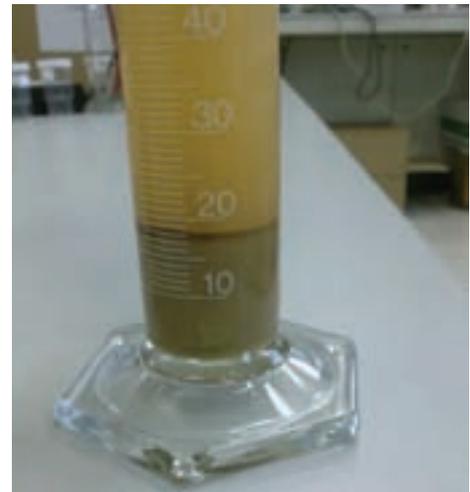


FIGURA 4. Determinación del coeficiente de hinchamiento.

los 2 g de arcilla se completa con agua hasta 100 ml, procurando dispersar cualquier partícula adherida a las paredes de la probeta. Después de un periodo de hidratación mínimo de 16 horas se mide el volumen en la probeta, expresando el resultado en ml (Figura 4).

2.4. PÉRDIDA POR FILTRADO

La pérdida de fluido por filtrado se determinó de acuerdo a la norma ASTM D 5891-02, que evalúa la utilidad de la bentonita para la reducción de la permeabilidad en las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C).

La bentonita se debe moler de tal manera que el 100% pase por el tamiz de 150 μm y como mínimo el 65% pase por un tamiz de 75 μm .

Este método de ensayo permite la evaluación de la pérdida de fluido de una mezcla de mineral arcilloso al 6% en agua. El ensayo consiste en adicionar lentamente 22.5 g de la bentonita molida en un vaso con 350 ml de agua. Tras 25 minutos de agitación con un agitador automático capaz de girar a 11000 ± 300 rpm, se cierra el vaso y se deja en reposo al menos 16 horas.



FIGURA 5. Equipo para la determinación de la pérdida de fluido por filtrado de las bentonitas.

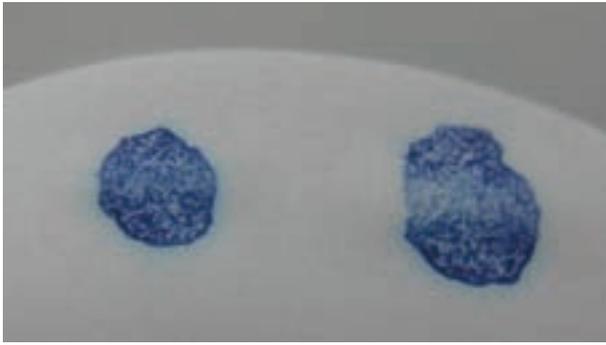


FIGURA 6. Halo turquesa alrededor de gotas de solución del ensayo del azul de metileno.

Una vez mezclada la arcilla se vierte en un recipiente en cuya base se ha dispuesto un papel de filtro (diámetro 90 mm, muy denso) y se somete el recipiente con la arcilla a una presión de 100psi (kPa). El filtrado de los primeros 7,5 minutos se descarta y se recoge en una probeta el filtrado de los 22,5 minutos siguientes. La pérdida por filtrado se expresa en mililitros. La Figura 5 muestra el aspecto general del equipo.

2.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La capacidad de intercambio catiónico se determinó mediante el método de azul de metileno, de acuerdo al procedimiento interno denominado AMCOL 1.12/TP-1016. Este método está basado en la habilidad del azul de metileno para sustituir los cationes intercambiables presentes en la bentonita.

La bentonita debe tener las láminas de su estructura completamente dispersas para que los iones intercambiables Ca^{2+} y Mg^{2+} sean sustituidos por Na^+ . Tanto para el intercambio de Ca^{2+} y Mg^{2+} por Na^+ como para la dispersión, se utiliza piro-sulfato tetrasódico. Estos procesos se logran además mediante ebullición, seguido de un tratamiento ultrasónico mientras la solución se enfría. Entonces se añade a la muestra azul de metileno y después, utilizando una varilla de vidrio o una pipeta, se coloca una gota de la solución en un papel de filtro. Si no aparece un halo alrededor de la gota, se añade más azul de metileno hasta que aparece un halo bien definido de color turquesa alrededor de la periferia de la gota en el papel de filtro (Figura 6).

2.6. RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados de los ensayos de absorción de agua, coeficiente de hinchamiento, pérdida por filtrado y capacidad de intercambio catiónico para las cuatro bentonitas estudiadas.

De acuerdo con estos resultados, se puede considerar que las bentonitas A y B son de buena calidad y por tanto inicialmente adecuadas para su utilización en GBR-C mientras que las bentonitas C y D podrían considerarse de peor calidad.

2.7. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Para determinar la correlación entre la proporción de montmorillonita y la calidad de las bentonitas se realizó un estudio comparativo de la zona del difractograma correspondiente a los filosilicatos (Figura 7), donde los picos principales de la montmorillonita se encuentran señalados en rojo.

Se observa como la intensidad y definición del pico principal de la montmorillonita ($d=12,88$) varía de unas muestras a otras. Así, pueden hacerse las siguientes diferenciaciones:

- En las muestras A y B el pico está muy definido y tiene una gran intensidad, lo que indica que la montmorillonita se encuentra en gran proporción con lo que habría que esperar una alta capacidad de intercambio catiónico y un gran hinchamiento en estas bentonitas. Esta circunstancia las hace muy adecuadas para su empleo en la fabricación de las GBR-C.
- En las muestras C y D se observa progresivamente en el orden citado, una disminución de la intensidad del pico. Esto indica una disminución progresiva de la proporción de montmorillonita, lo que hace que sea de esperar que la capacidad de intercambio y el hinchamiento de estas bentonitas sean escasos y por tanto no sean adecuadas para su empleo en la fabricación de las GBR-C.

3. DETERMINACIÓN DE LOS ENSAYOS MÁS REPRESENTATIVOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS BENTONITAS

Con el fin de optimizar el procedimiento de caracterización de las bentonitas se han estudiado las correlaciones existentes entre los resultados de los ensayos realizados. Estas correlaciones se muestran en las Figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13.

Estas figuras ponen de manifiesto que en general existe una buena correlación entre todas las propiedades estudiadas, si bien las mejores correlaciones se obtienen entre la absorción de agua y el coeficiente de hinchamiento ($r = 0,9905$) y por otra parte, entre la pérdida por filtrado y la capacidad de intercambio catiónico ($r = 0,9203$). De esta manera, para optimizar el procedimiento para la caracterización de las bentonitas utilizando dos ensayos sencillos, podrían determinarse el coeficiente de hinchamiento y la capacidad de intercambio catiónico.

Propiedad	Bentonita			
	A	B	C	D
Absorción de agua, %	880	653	582	383
Coeficiente de hinchamiento, ml/2g	40	30	27	15
Pérdida por filtrado, ml	15.2	15.6	19.6	34.0
Capacidad de intercambio catiónico, meq/100g	95.0	97.0	70.0	54.9

TABLA 1. Propiedades de las bentonitas estudiadas.

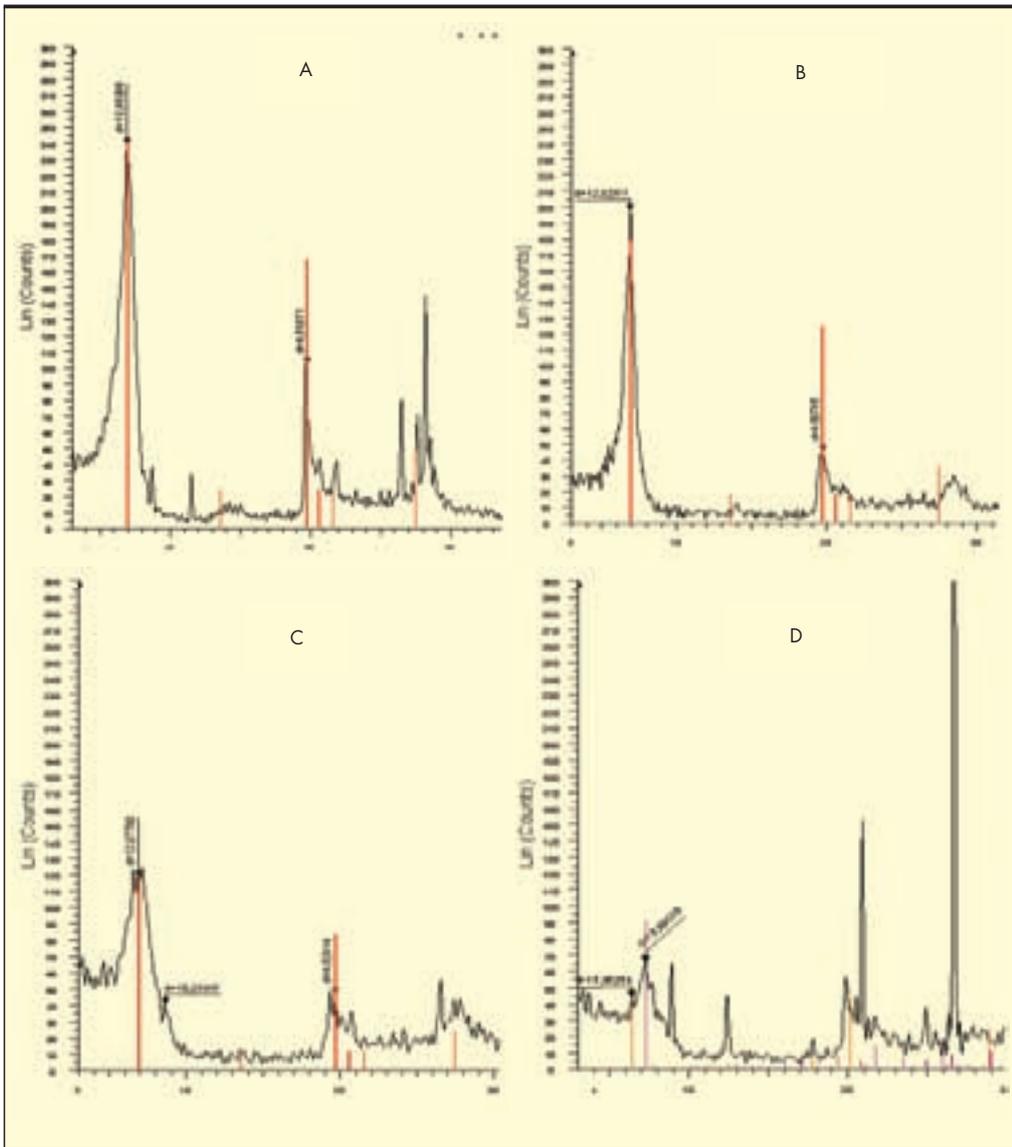


FIGURA 7. Comparación de los picos de la montmorillonita de las bentonitas estudiadas.

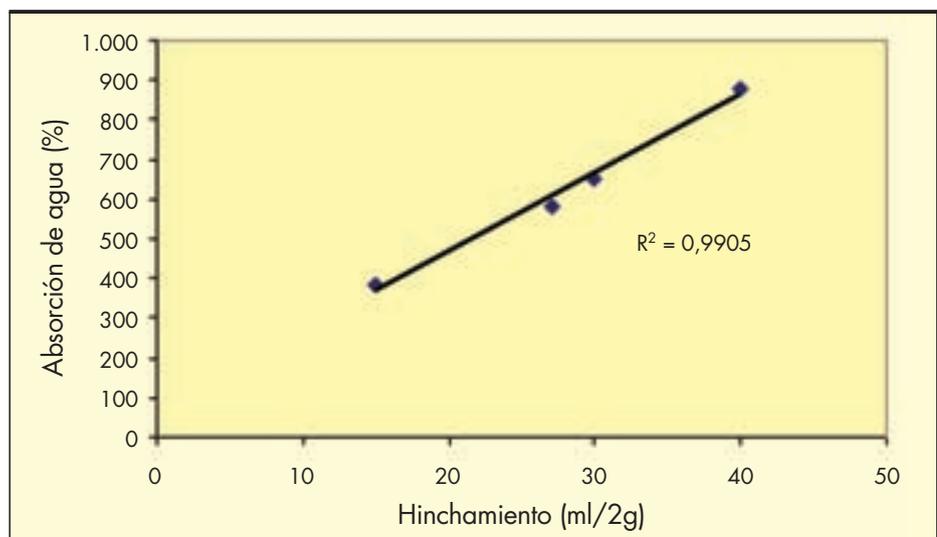


FIGURA 8. Correlación entre la absorción de agua y el coeficiente de hinchamiento.

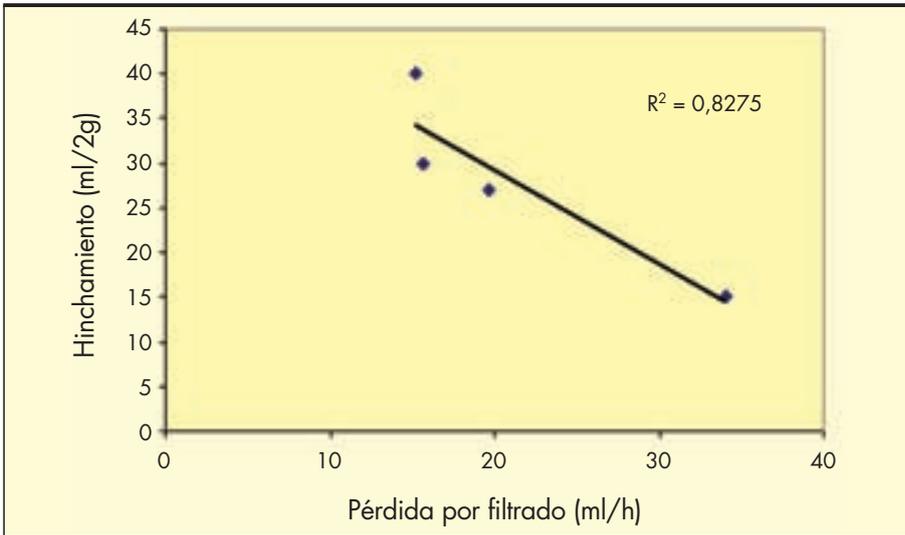


FIGURA 9. Correlación entre el coeficiente de hinchamiento y la pérdida por filtrado.

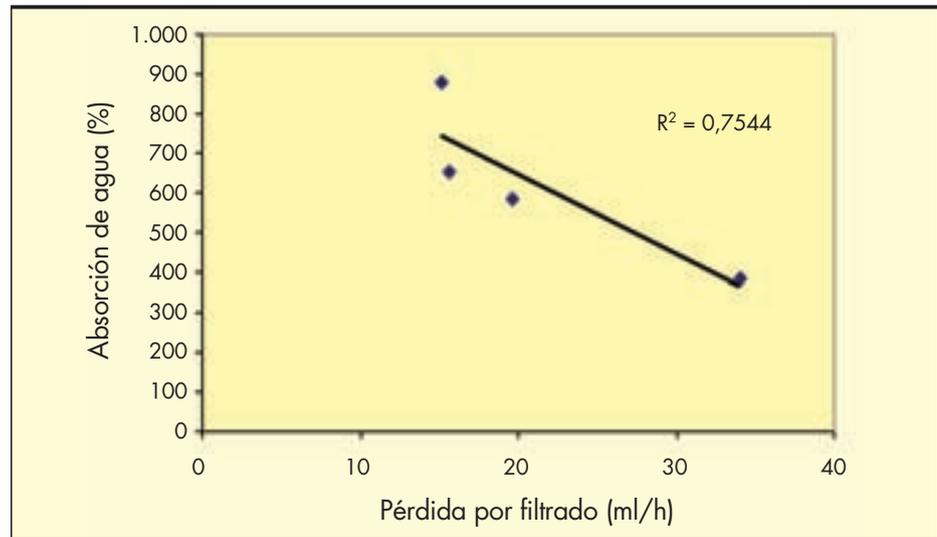


FIGURA 10. Correlación entre la absorción de agua y la pérdida por filtrado.

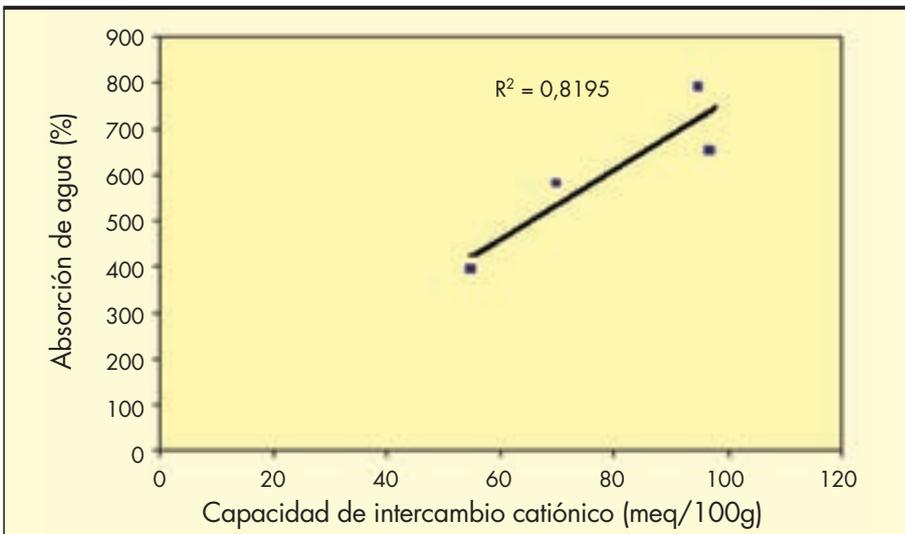


FIGURA 11. Correlación entre la absorción de agua y la capacidad de intercambio catiónico.

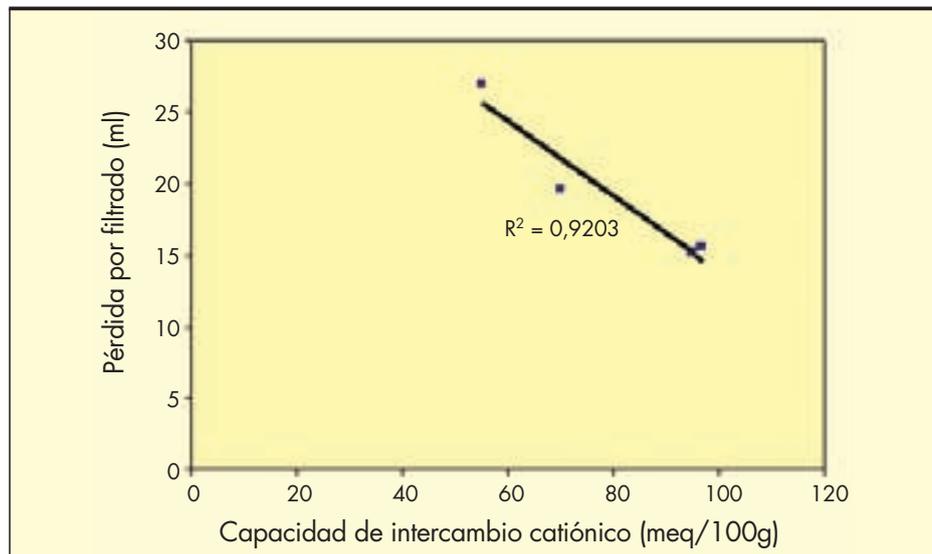


FIGURA 12. Correlación entre la pérdida por filtrado y la capacidad de intercambio catiónico.

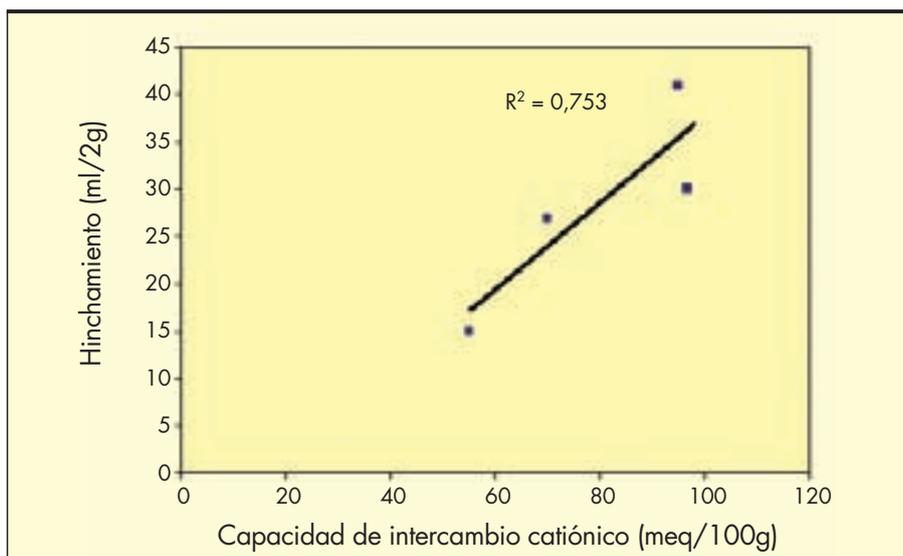


FIGURA 13. Correlación entre el coeficiente de hinchamiento y la capacidad de intercambio catiónico.

4. ENSAYO DE COMPATIBILIDAD

Para estudiar el comportamiento de una bentonita con alta capacidad de intercambio catiónico en presencia de agua con un alto contenido de sales y por tanto alta conductividad, se llevó a cabo un ensayo de compatibilidad utilizando la bentonita B, que es la que presentó una mayor capacidad de intercambio catiónico de las cuatro estudiadas.

Para este propósito, se estudiaron tres productos que contienen esta bentonita, procedentes de dos fabricantes:

- Fabricante 1
 - *Producto 1*: es una GBR-C que de acuerdo con las indicaciones del fabricante sería adecuada para utilizar en cualquier ambiente.
- Fabricante 2
 - *Producto 2*: es una GBR-C recomendada por el fabricante para utilizar en presencia de un agua de baja salinidad y por tanto baja conductividad.

- *Producto 3*: es el producto 2 modificado para ser utilizado en presencia de agua contaminada o de alta conductividad.

Para ver el comportamiento de la bentonita es muy importante conocer, no solo el hinchamiento, sino también su capacidad de retención de agua, que viene dado por la pérdida por filtrado. Los ensayos en los tres productos fueron realizados tanto con agua ultrapura de laboratorio como con el agua contaminada procedente de una obra real. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

De acuerdo con estos resultados, sería recomendable la utilización de un producto específico en presencia de aguas salinas o contaminadas.

5. CONCLUSIONES

- A partir de los resultados de los ensayos realizados, se ha llevado a cabo una clasificación de las bentonitas estudiadas dependiendo de su calidad para su utilización

Propiedad		Producto		
		1	2	3
Coeficiente de hinchamiento, ml/2g	Agua ultrapura	28	34	34
	Agua de obra	13	17	26
Pérdida por filtrado, ml	Agua ultrapura	15	15	14
	Agua de obra	52	60	23

TABLA 2. Comportamiento de la bentonita de GBR-C.

en barreras geosintéticas arcillosas. Las bentonitas A y B tuvieron muy buenos resultados de todas las propiedades estudiadas lo que las hace muy adecuadas para utilizar en las GBR-C. Las bentonitas C y D por el contrario obtuvieron malos resultados y se espera por tanto que no tengan un buen comportamiento, lo que las hace inadecuadas para ser utilizadas en las GBR-C.

- El estudio de las bentonitas mediante difracción de rayos X pone de manifiesto que las muestras contienen montmorillonita. Un estudio más detallado de los picos de este mineral indica que mientras la proporción de montmorillonita en las muestras A y B es alto y por tanto tienen buena calidad para ser utilizadas en las GBR-C, la proporción de este mineral en las bentonitas C y D es muy baja, principalmente en D, por lo tanto no serían adecuadas para utilizar en GBR-C. Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos en los ensayos de las propiedades de las bentonitas.
- De los resultados de las correlaciones se puede concluir que para optimizar el proceso de caracterización de las bentonitas, se podrían realizar los ensayos de coeficiente de hinchamiento y capacidad de intercambio catiónico, ya que son los más simples y existe una correlación muy buena entre el hinchamiento y la absorción de agua ($r = 0,9905$), y entre la capacidad de intercambio catiónico y la pérdida por filtrado ($r = 0,9203$).
- Cuando una GBR-C va a estar en contacto con agua contaminada o salina y por tanto con una conductividad alta, es recomendable realizar un ensayo de compatibilidad para determinar el comportamiento de la bentonita con el agua de obra. Si no están garantizadas

unas adecuadas propiedades hidráulicas pueden utilizarse bentonitas tratadas con polímeros para mantener el hinchamiento de la bentonita y así realizar un sellado efectivo frente a contaminantes y evitar el intercambio iónico.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo quieren dar las gracias a Francisco García y Juan Carlos Vega por su participación en la realización de los ensayos de las bentonitas.

7. REFERENCIAS

- Leiro, A. 2009. Geosintéticos. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Rutas: 132.
- Leiro, A., Mateo, B., García, H. and Llorente, S. 2011. Ensayos para la caracterización de las bentonitas utilizadas en la fabricación de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C). *Ingeniería Civil*: 161, 111-127.
- Informe técnico CEDEX. 2010. Estudio sobre barreras geosintéticas bentoníticas.
- ASTM D5890-06. Standard test method for swell index of clay mineral component of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM D5891-02. Standard test method for fluid loss of clay component of Geosynthetic Clay Liners.
- ASTM E946-92. Withdrawn Standard: ASTM E946-92. Test method for water absorption of bentonite by the porous plate method.
- AMCOL 1.12/TP-1016. 2002. Methylene blue determination.

IX Máster en Túneles y Obras Subterráneas

enero-octubre

2014

www.master-aetos.com

Abierto el plazo
de inscripción

Desarrollo de módulos independientes:

- ▶ NATM – Proyecto y Construcción
- ▶ Métodos mecanizados – Tuneladoras
- ▶ Túneles a cielo abierto
- ▶ Tratamientos del terreno
- ▶ Aplicación de métodos numéricos a túneles

Con la colaboración de

Organizado por

ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TRAVAUX
EN SOUTERRAIN
AITES



ITA
INTERNATIONAL
TUNELLING
ASSOCIATION



COLEGIO DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES
Y PUERTOS



AETOS
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA
DE TÚNELES Y OBRAS
SUBTERRÁNEAS



Fundación Agustín
de Betancourt