

Ensayos para la caracterización de las bentonitas utilizadas en la fabricación de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C)

ÁNGEL LEIRO (*), BEATRIZ MATEO (*), HELENA GARCÍA (*) y SILVIA LLORENTE (**)

RESUMEN Las bentonitas son arcillas compuestas esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas. Se utilizan en la fabricación de las Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C), que son materiales geosintéticos de baja permeabilidad, formando parte del sistema de impermeabilización.

En el presente artículo se muestra una serie de ensayos para evaluar la calidad de las bentonitas para dicha utilización. Se han establecido también las correlaciones entre los mismos, con el fin de identificar los ensayos más idóneos para su caracterización.

TESTS FOR THE CHARACTERIZATION OF BENTONITES USED IN THE MANUFACTURE OF CLAY GEOSYNTHETIC BARRIERS (GBR-C)

ABSTRACT Bentonites are clays essentially composed of the smectite minerals. They are used in the manufacture of Clay Geosynthetic Barriers (GBR-C), which are low-permeability geosynthetic materials, forming part of the lining technologies and construction waterproofing systems.

This article shows a series of testing to evaluate the quality of the bentonites for such use. Correlation between different testing has also been established in order to identify the most suitable ones for their characterization.

Palabras clave: Ensayos de bentonitas, Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C).

Keywords: Bentonites tests, Clay Geosynthetic Barriers (GBR-C), Geosynthetic Clay Liners (GCL).

1. INTRODUCCIÓN

Las barreras geosintéticas (GBR) son materiales geosintéticos de baja permeabilidad, utilizados fundamentalmente en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil, con el objeto de reducir o prevenir el paso de fluidos a través de ellos. Se utilizan en impermeabilización. Dentro de este grupo se pueden diferenciar tres tipos. Los tres consisten en una estructura ensamblada en fábrica, de materiales geosintéticos, en forma de lámina, que actúa como barrera. Se diferencian en el material que realiza la función de barrera:

- **Barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C).** La función de la barrera se realiza fundamentalmente por una arcilla. Su uso ha experimentado un incremento exponencial, tanto en obra civil como en edificación.
- **Barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P).** La función de barrera se realiza fundamentalmente por po-

límeros. Se las conoce tradicionalmente como geomembranas, y se utilizan ampliamente en España.

- **Barreras geosintéticas bituminosas (GBR-B).** La función de barrera se realiza fundamentalmente mediante productos bituminosos.

En la Figura 1 se presenta la ubicación de las barreras geosintéticas dentro de la clasificación de los geosintéticos de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 10318:2006.

2. BARRERAS GEOSINTÉTICAS ARCILLOSAS (GBR-C)

Existen muchas aplicaciones de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C) en el mundo de la ingeniería civil y la edificación. Es un material de uso extendido formando parte del sistema de impermeabilización. Las aplicaciones recogidas en las normas armonizadas europeas son las relativas a:

- Construcción de Embalses y Presas (UNE-EN 13361 y modificaciones).
- Construcción de Canales (UNE-EN 13362).
- Construcción de Túneles y obras Subterráneas (UNE-EN 13491).

(*) Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

(**) CETCO Iberia. S.L.U.

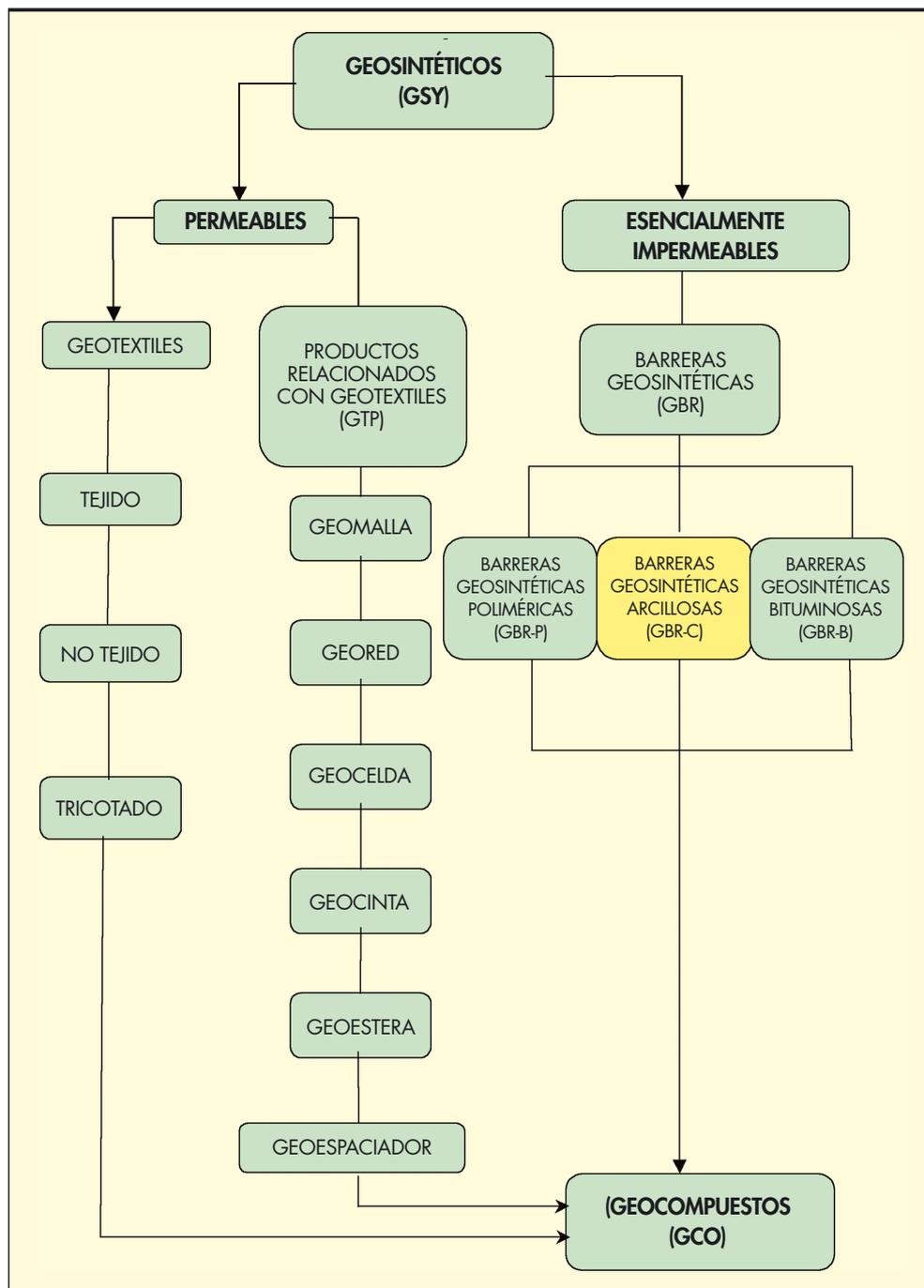


FIGURA 1.

- Construcción de Vertederos para residuos líquidos y sólidos (UNE-EN 13492 y UNE-EN 13493, respectivamente).
- Uso en Infraestructuras de Transporte (UNE-EN 15382).

En todos los casos la utilización de las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C) cumple la función de impermeabilización formando parte del sistema impermeabilizante, bien como impermeabilización principal o como impermeabilización secundaria, siendo la aplicación más importante la utilización para la construcción de embalses y presas, y en vertederos, tanto para líquidos como para sólidos. También se utilizan en túneles y falsos túneles.

En edificación las Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C) están contempladas en el CTE, Código Técnico de la Edificación, como “sub-base”, siendo sus aplicaciones más habituales en este campo la impermeabilización de soleras, muros y muros pantalla.

Las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C) se componen de bentonita de sodio granular encapsulada entre dos geotextiles por agujado de los mismos. Además pueden tener unida a una de sus caras una lámina de polietileno, siendo así un producto doblemente impermeable, haciendo que su uso sea más seguro.

La bentonita es una arcilla compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, que son filosilicatos

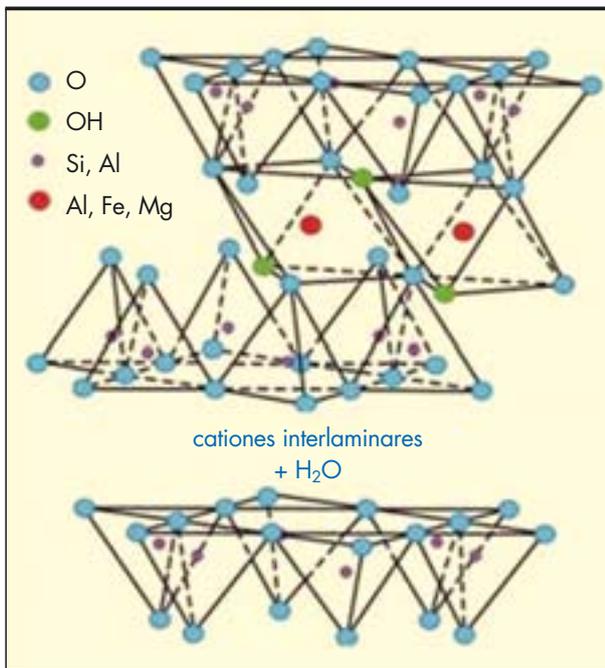


FIGURA 2. Estructura de las esmectitas.

con estructura 2:1, y presentan una gran diversidad de composición.

Una esmectita es un mineral con estructura estratificada, formada por capas de óxido de silicio tetraédrico y óxido de aluminio octaédrico (Figura 2). Estas láminas se encuentran separadas por cationes débilmente hidratados (fundamentalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+), que compensan las cargas negativas resultantes de las sustituciones isomórficas de cationes por otros con valencias diferentes. La presencia de la superficie interlaminares así como de una débil carga en la misma, son características esenciales de este grupo de minerales. Como consecuencia, son capaces de incluir en ella no sólo cationes hidratados, sino también agua u otros líquidos polares, dando lugar a una mayor separación de las capas (aumento de su espaciado reticular) y, por tanto, hinchamiento.

Los criterios de clasificación de las bentonitas utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades físico-químicas. Así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

- Bentonitas altamente hinchables o sódicas.
- Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias.
- Bentonitas poco hinchables o cálcicas.

Las bentonitas más utilizadas en las barreras geosintéticas arcillosas son las sódicas, por tener mayor capacidad de hinchamiento.

La bentonita sódica está compuesta por minerales del grupo de las esmectitas con un elevado contenido en montmorillonita sódica. Su baja permeabilidad se basa en su elevada capacidad de absorción de agua en el espacio interlaminares, lo que hace que se hinche y forme una barrera al paso del agua.

Gracias a las características físicas de la bentonita (partículas laminares de pequeño tamaño, inferior a 2 micras, y su capacidad de expansión), puede emplearse con gran ventaja como material impermeabilizante. Las laminillas microscópicas de la bentonita sódica, al dispersarse en contacto con el

agua, forman un laberinto intrincado de canales sinuosos y de pequeño calibre que dificulta enormemente el paso del agua.

Si además impedimos de alguna forma la expansión libre de la bentonita, el agua de su interior estará a presión. Esta presión es la que deberá superar el agua para atravesar el GBR-C, dando lugar a una barrera impermeable.

Debido a su capacidad de expansión, es un material autosellante, capaz de taponar pequeños agujeros que puedan aparecer. Por lo tanto, puede rellenar pequeñas grietas, oquedades o fisuras que se puedan producir en las estructuras que esté protegiendo. Se puede utilizar bajo cualquier situación climatológica y no le afectan las variaciones de temperatura.

La bentonita es un mineral inerte formado en la naturaleza hace millones de años y por lo tanto su durabilidad está asegurada ya que no envejece. Es un material natural no tóxico, inocuo con el medio ambiente.

Las propiedades fisicoquímicas de la bentonita derivan principalmente de su tamaño de partícula (inferior a 2 μm), su morfología laminares (filosilicatos), las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminares. Las de mayor interés son la superficie específica, la capacidad de intercambio iónico y la hidratación e hinchamiento.

Las bentonitas poseen una elevada superficie específica (150-800 m^2/g), que resulta muy importante para ciertos usos industriales.

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad fundamentalmente de las esmectitas. Son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas en las que se encuentran. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede absorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral, que pueden ser generadas fundamentalmente por sustituciones isomórficas dentro de la estructura.

La existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminares de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes. A esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales de arcillas.

En el caso de las bentonitas la capacidad de intercambio catiónico varía entre 70 y 130 meq/100g (80-200 montmorillonita).

La hidratación y deshidratación de la superficie interlaminares son también propiedades únicas de las esmectitas, cuya importancia es crucial en los diferentes usos de la bentonita. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminares y a la carga de la lámina. La absorción de agua en el espacio interlaminares tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. Cuando el catión interlaminares es el Na^+ , las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento y, si por el contrario, son el Ca^{2+} o Mg^{2+} los cationes de cambio, su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida. Por lo tanto, las bentonitas sódicas son altamente hinchables, mientras que las cálcicas son poco hinchables.

La mayor parte de la bentonita cálcica procede del golfo de México, y la bentonita sódica procede de Wyoming, dando nombre a este tipo de bentonita, como bentonita tipo Wyoming.

3. EXPERIMENTAL

En el presente artículo se muestra el estudio de seis arcillas bentoníticas, así como de tres mezclas obtenidas con diferentes porcentajes de algunas de ellas, buscando la optimización de su comportamiento.

Los ensayos realizados han sido:

- Caracterización mineralógica mediante Difracción de Rayos X.

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

Con los resultados de dichos ensayos se ha realizado una evaluación del comportamiento de las bentonitas para su utilización formando parte de las barreras geosintéticas arcillosas y se ha establecido un orden de las mismas según su calidad.

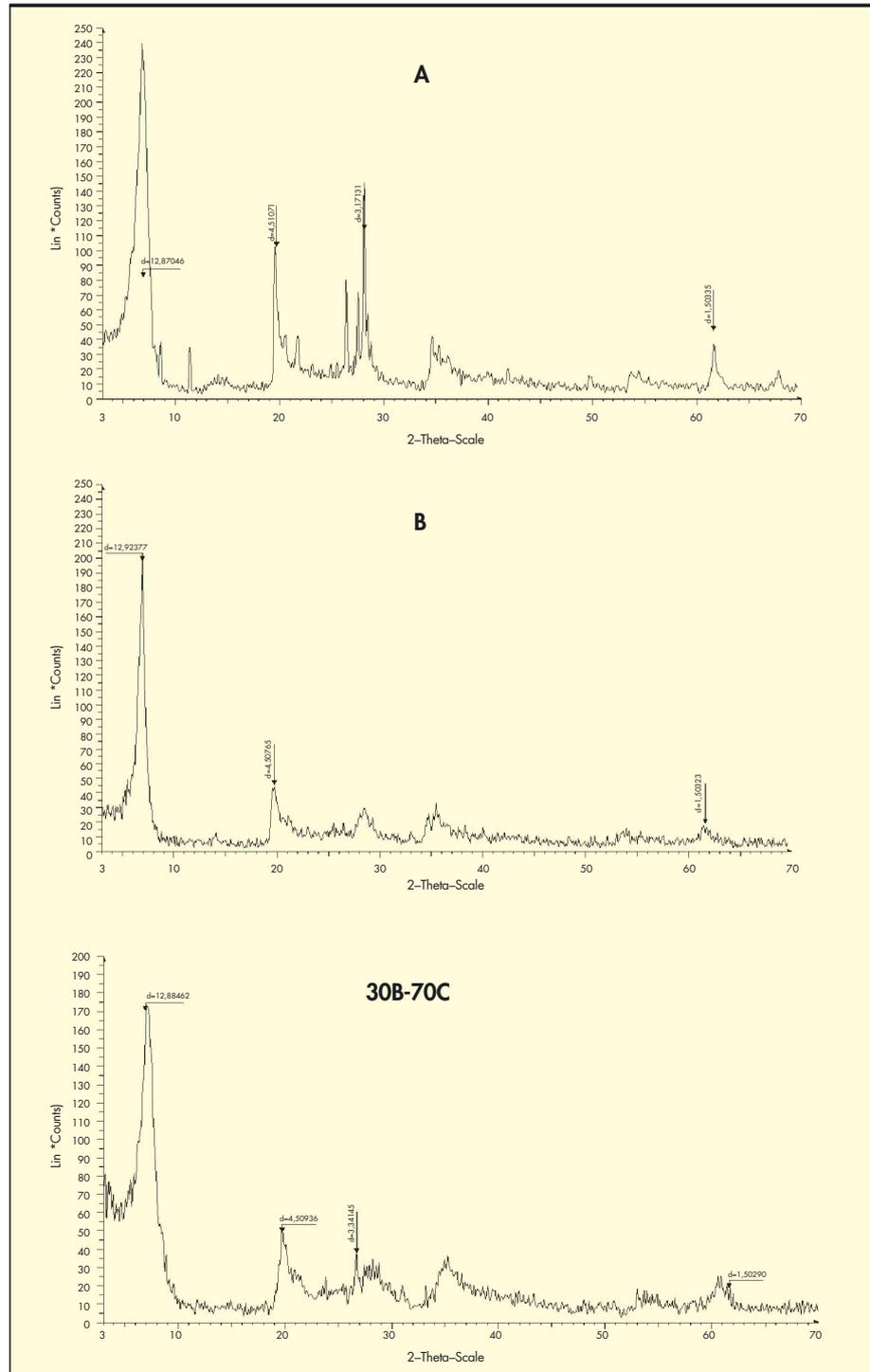


FIGURA 3. Difractogramas correspondientes a las muestras A, B y 30B-70C.

También se ha realizado un estudio mediante Difracción de Rayos X para evaluar el contenido de montmorillonita de cada una de las arcillas y sus mezclas.

Además, se han identificado los ensayos más significativos para valorar su comportamiento. Para ello, se han realizado una serie de correlaciones entre los resultados de los ensayos obtenidos mediante las diferentes técnicas aplicadas: Pérdida por Filtrado, Capacidad de Hinchamiento y Absorción de Agua.

3.1. MUESTRAS ENSAYADAS

Se han caracterizado seis bentonitas de diferentes procedencias y tres mezclas de éstas, nueve muestras en total identificadas como:

- **Bentonitas: A, B, C, D, E y F.**
- **Mezclas:**
 - **30B-70C:** Mezcla formada con un 30% de la bentonita B y un 70% de la bentonita C.

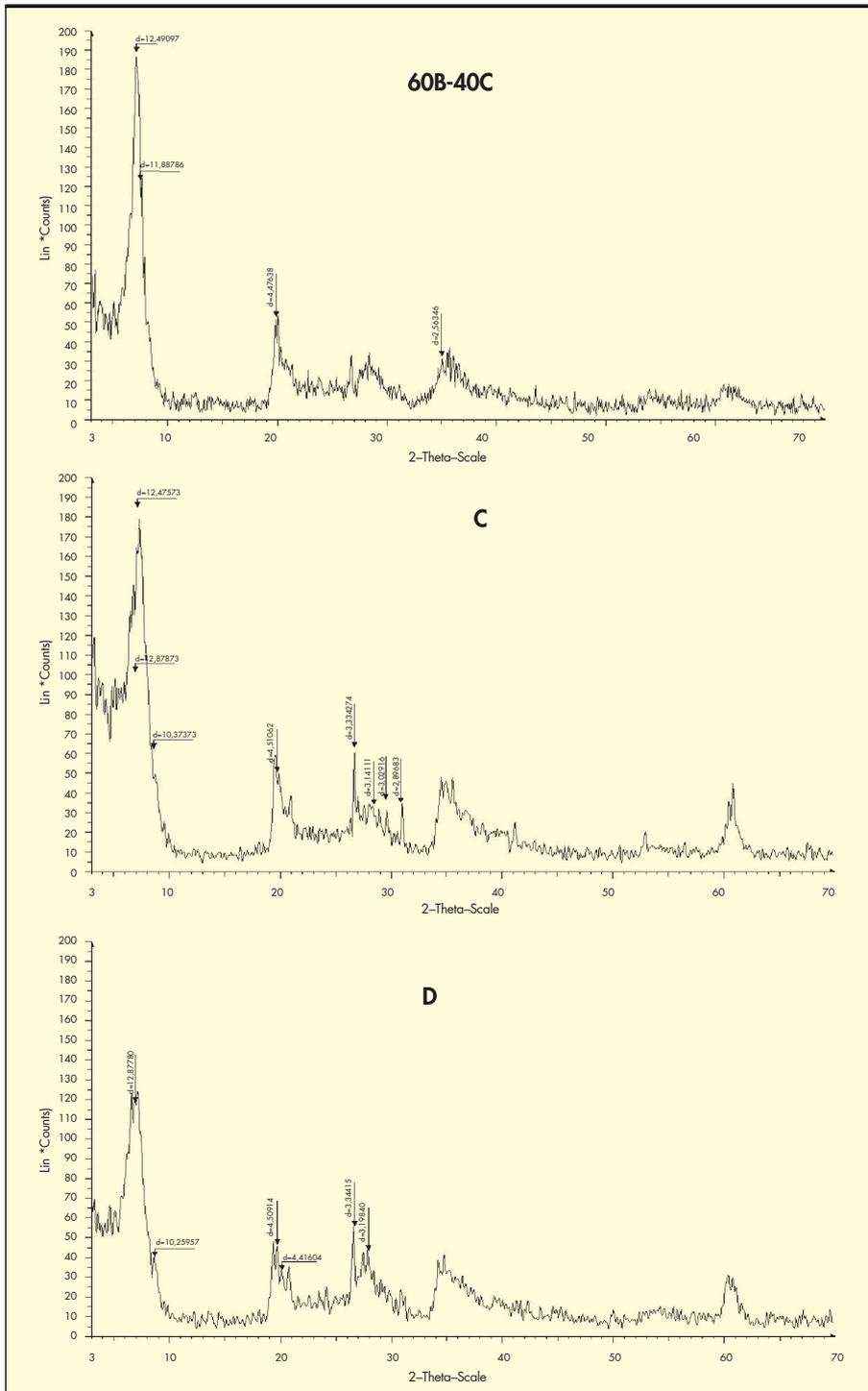


FIGURA 4. Difractogramas correspondientes a las muestras 60B-40C, C y D.

- **60B-40C:** Mezcla formada con un 60% de la bentonita B y un 40% de la bentonita C.
- **50B-50F:** Mezcla formada con un 50% de la bentonita B y un 50% de la bentonita F.

3.2. ENSAYOS REALIZADOS

3.2.1. Caracterización mineralógica mediante Difracción de Rayos X

Para el estudio de la composición mineralógica de las muestras, se utilizó la técnica de Difracción de Rayos X. Se realizó el análisis de las muestras en polvo, para lo cual se molieron en un molino de bolas hasta obtener un tamaño de partícula inferior a 0,074 mm. Los difractogramas obtenidos se encuentran en las Figuras 3, 4 y 5, identificándose filosilicatos en todas las muestras.

Para comprobar la presencia de esmectitas, que son los filosilicatos que confieren a las bentonitas su capacidad de

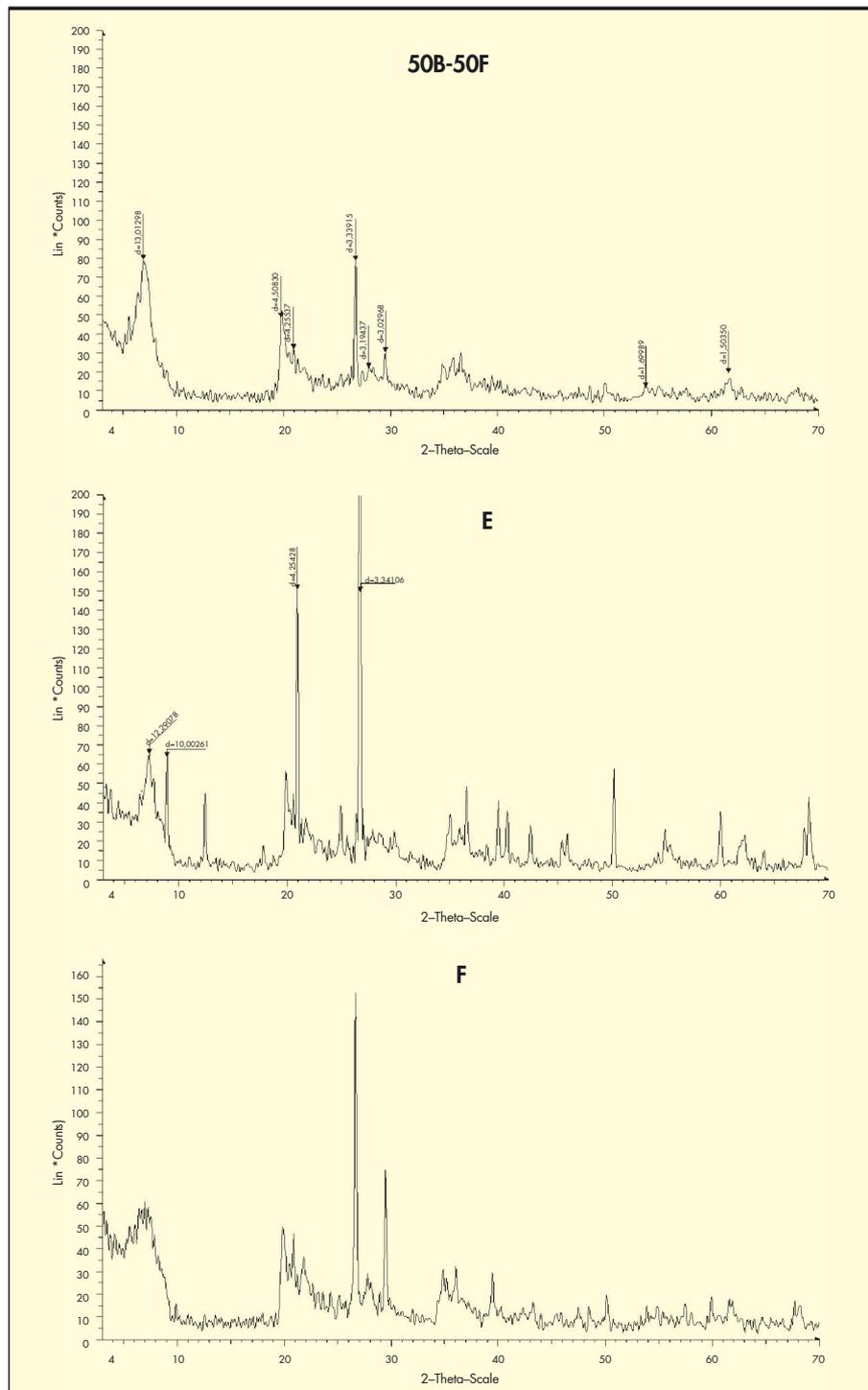


FIGURA 5. Difractogramas correspondientes a las muestras 50B-50F, E y F.

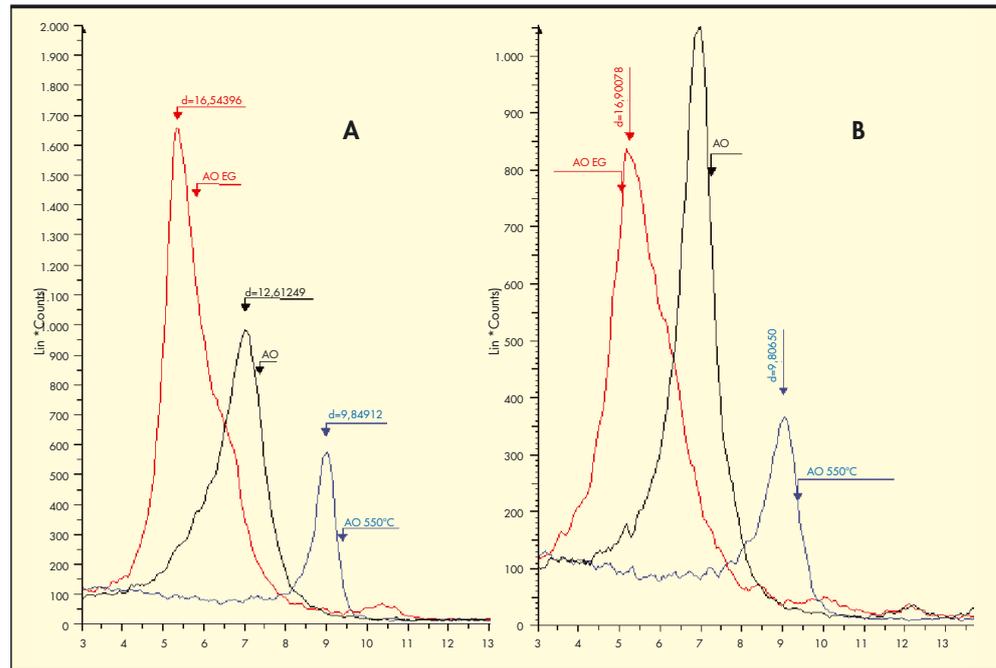


FIGURA 6. Difractogramas de los agregados orientados de las muestras A y B.

hinchamiento, se realizaron tres tipos de agregados orientados:

- Agregado orientado sin tratamiento (A.O.)
- Agregado orientado en atmósfera saturada con etilenglicol (E.G.), con el fin de detectar la existencia de minerales de la arcilla capaces de incorporar sustancias en su espaciado interlamilar, provocando con ello su hinchamiento. Este hinchamiento es visible por el aumento del espaciado interlamilar que queda reflejado en el difractograma.
- Agregado orientado tratado térmicamente a 550°C (A.O.+ 550°C), para detectar la presencia de minerales que contienen agua en la estructura y, por tanto, son susceptibles de colapsar al perderla a altas temperaturas. Este colapso de la estructura se refleja en un descenso del espaciado interlamilar.

Del estudio de los agregados orientados realizados se dedujo que las muestras contenían esmectitas, ya que se pro-

duce el colapso del pico correspondiente al agregado sin tratamiento, debido a la pérdida de agua al someter el mencionado agregado a una calcinación a 550°C y el hinchamiento y consiguiente desplazamiento del pico del agregado sin tratar cuando se solvata con etilenglicol. La Figura 6 corresponde a los difractogramas de los agregados orientados de las muestras A y B, donde se observa la mayor proporción de esmectitas.

En la Tabla 1 se encuentran los componentes identificados en las muestras.

3.2.2. Absorción de agua (método del plato poroso)

La absorción de agua se ha determinado de acuerdo con el procedimiento interno TP-1004 basado en norma ASTM E 946-92.

El procedimiento de ensayo consiste en depositar la bentonita en un papel de filtro que se coloca encima de una placa porosa (Figura 7) y tras 18 horas se pesa hidratada

MUESTRA	COMPUESTOS MAYORITARIOS IDENTIFICADOS
A	Filosilicatos (montmorillonita), albita, illita
B	Filosilicatos (montmorillonita)
C	Filosilicatos (montmorillonita), cuarzo, calcita
D	Filosilicatos (montmorillonita), sepiolita, illita, cuarzo
E	Filosilicatos, cuarzo, calcita
F	Filosilicatos, cuarzo, calcita
30B – 70C	Filosilicatos (montmorillonita), cuarzo
60B – 40C	Filosilicatos (montmorillonita), cuarzo
50B – 50F	Filosilicatos (montmorillonita), cuarzo, illita, calcita

TABLA 1. Composición mineralógica de las bentonitas.



FIGURA 7.



FIGURA 8.



FIGURA 9.

(Figura 8). Hay que registrar la temperatura inicial y la final. Después de cada prueba el agua debe ser cambiada y la placa porosa y el recipiente limpiados.

La arcilla debe estar seca y molida de tal forma que el 100% pase por el tamiz de 150µm (100 mesh) y que como mínimo el 80% pase por un tamiz de 75 µm (200 mesh).

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.

$$\% \text{Absorción agua} = \frac{Ww - Wd}{Wd} \times 100 - K(Ta - Tr)$$

Donde:

Ww: peso neto de la bentonita hidratada, g.

Wd: peso neto de la bentonita seca, g.

Ta: promedio de la temperatura inicial y final del agua, °C.

Tr: temperatura = 20°C.

K: coeficiente de temperatura, 3.30%/°C.

Como se ve en la Figura 9 se pueden colocar varias muestras sobre la placa al mismo tiempo.

En la Figura 10 se muestran gráficamente los valores obtenidos.

3.2.3. Coeficiente de hinchamiento

El coeficiente de hinchamiento se ha determinado 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 2 g de arcilla con una espátula muy lentamente (no más de 0.1 g cada 10 minutos) en una probeta de 100 ml, de aproximadamente 180 mm de altura, con subdivisiones de 1 ml y tapón de cristal opalino (Figura 11), con 90 ml de agua para que hinche. La arcilla debe estar seca hasta peso constante a 105 ± 5°C, y molida de tal manera que el 100% pase por el tamiz de 150 µm (100

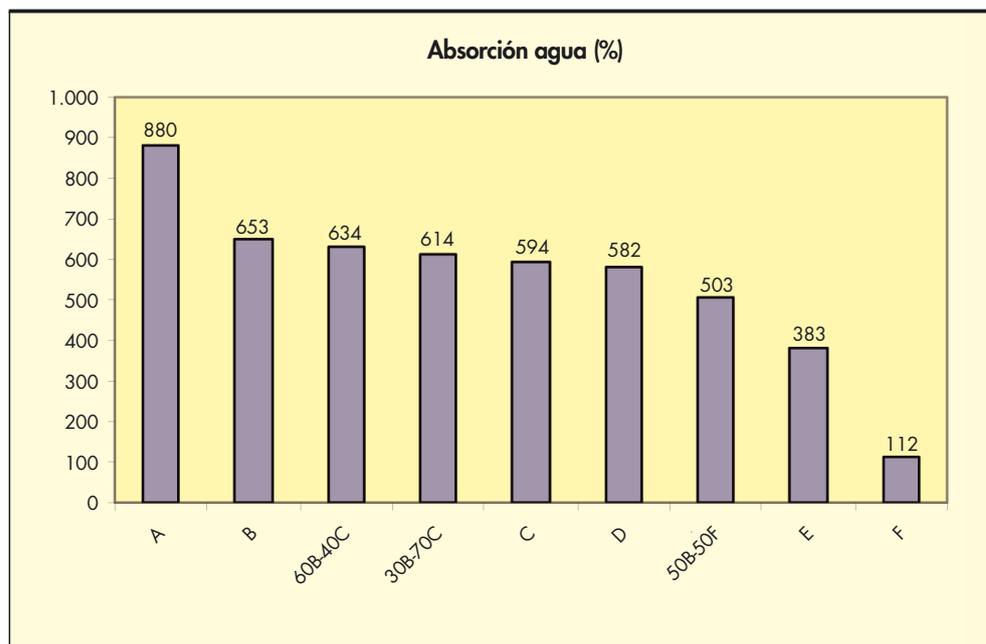


FIGURA 10. Valores de absorción de agua de las bentonitas.



FIGURA 11.

mesh) y un mínimo el 65% pase por un tamiz de 75µm (200 mesh). Tras añadir 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 12).

En la Figura 13 se muestran gráficamente los valores obtenidos.

3.2.4. Pérdida por filtrado

La pérdida de fluido por filtrado se ha determinado de acuerdo a la norma ASTM D 5891-02, que evalúa la utilidad de la arcilla para la reducción de la permeabilidad en las barreras geosintéticas arcillosas (GBR-C). Este método de ensayo está adaptado de las especificaciones de lodos de perforación para bentonitas del Instituto Americano del Petróleo.

La arcilla granular se debe moler de tal manera que el 100% pase por el tamiz de 150 µm (100 mesh) y como mínimo el 65% pase por un tamiz de 75 µm (200 mesh).



FIGURA 12.

Este método de ensayo permite la evaluación de la pérdida de fluidos 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 (Figura 14), se cierra el vaso y se deja en re-

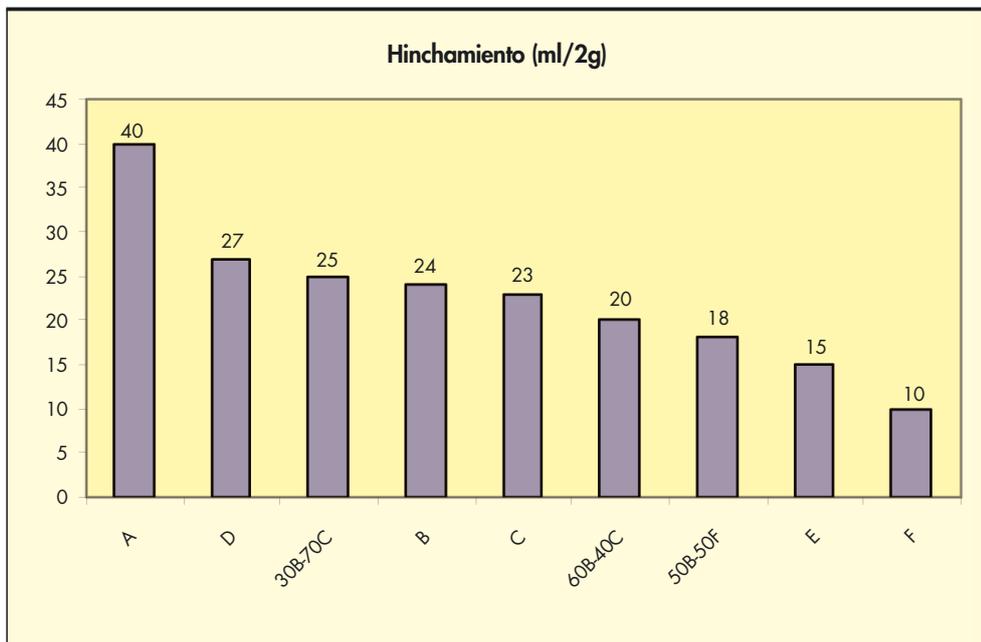


FIGURA 13. Valores del coeficiente de hinchamiento.

poso al menos 16 horas. Una vez mezclada la arcilla se vierte en un recipiente (Figura 15) en cuya base se ha dispuesto un papel de filtro (diámetro 90 mm, muy denso, libre de cenizas) y se somete el recipiente con la arcilla a una presión de 100 psi (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, que se expresa en mililitros, se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Pérdida por filtrado} = \text{Volumen filtrado (22.5 minutos)} \times 2$$

La Figura 16 muestra el aspecto general del equipo.

En la Figura 17 se muestran gráficamente los valores obtenidos.

3.2.5. Permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se realizó de acuerdo con la norma ASTM D 5887 (Standard Test Method for Measurement of Index Flux Through Saturated Geosynthetic Clay



FIGURA 15.



FIGURA 14.



FIGURA 16.

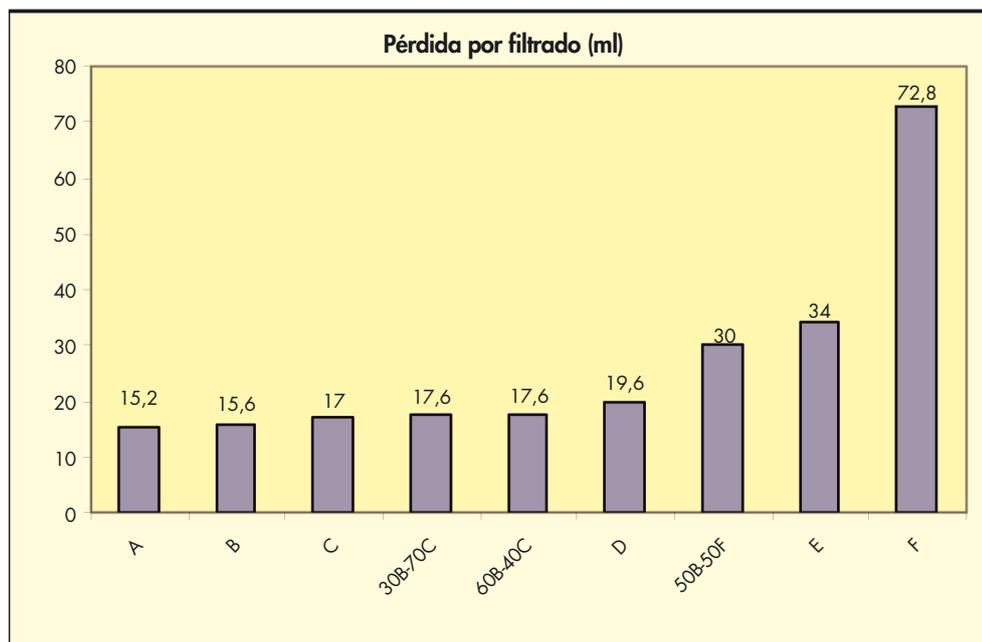


FIGURA 17. Valores de la pérdida por filtrado.



FIGURA 18. Equipo para la determinación de la permeabilidad.

Liner Specimen Using a Flexible Wall Permeameter). El ensayo se llevó a cabo con agua destilada de-aireada en un equipo de celdas triaxiales provisto de pared de membrana flexible y con presión constante. La muestra se sometió a una presión de 550 kPa y a un flujo de agua a su través, aplicando un gradiente de presión entre la entrada y la salida de 530 kPa y 515 kPa, respectivamente. La monitorización de la variación de volumen en la entrada y la salida permite calcular el flujo de agua (q) en el estado de equilibrio según la siguiente fórmula:

$$q = \frac{V}{A \times t}$$

Donde:

- q: Flujo ($m^3/m^2/s$).
- V: Caudal medio de entrada y salida, m^3 .
- A: Área transversal de diámetro nominal de la pieza final porosa, $0,00785 m^2$.
- t: Intervalo de tiempo, s.

Para la determinación de la permeabilidad, según el Anexo X2 de la norma, se mide el espesor final de la muestra y se aplica la siguiente fórmula, que proviene de la Ley de Darcy.

$$k = \frac{Q \times T}{A \times t \times h}$$

Donde:

- k: Conductividad hidráulica, m/s.
- Q: Caudal medio de entrada y salida, m^3 .
- T: Espesor de la muestra, m.
- A: Área transversal del componente arcilloso.
- t: Intervalo de tiempo, s.
- h: Diferencia en la carga hidráulica a través de la muestra de agua, m.

En la Figura 18, se presenta equipo para la determinación de la permeabilidad con el que se realizaron los ensayos.

En la Figura 19 se presentan los resultados obtenidos para el ensayo de permeabilidad, para todas las bentonitas excepto las muestras D y E, que no fueron ensayadas.

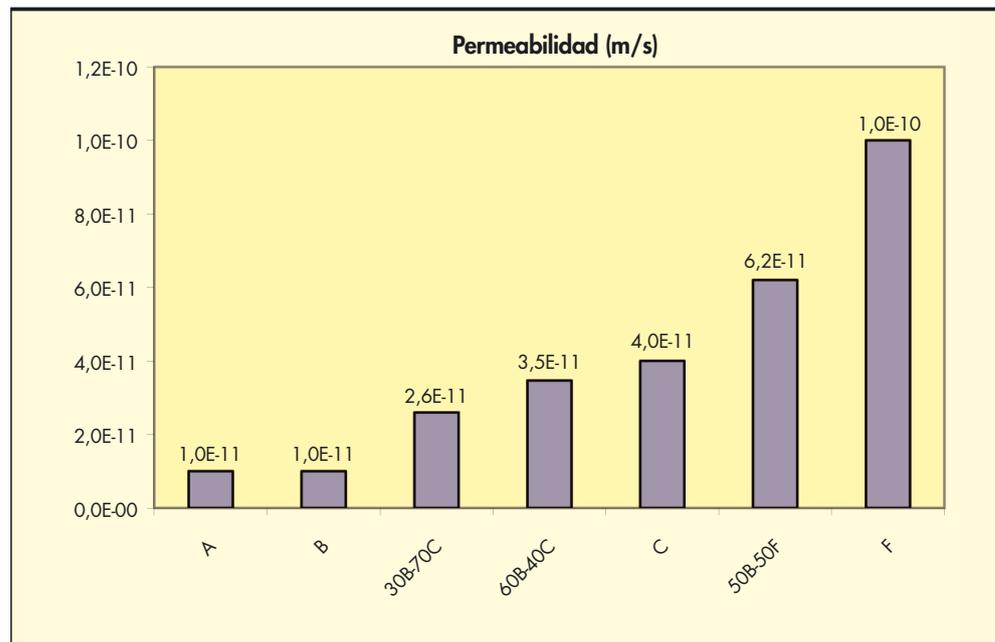


FIGURA 19. Valores del ensayo de la permeabilidad.

4. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS BENTONITAS

4.1. EVALUACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA, HINCHAMIENTO Y PÉRDIDA POR FILTRADO

Con el fin de evaluar el comportamiento de las bentonitas, inicialmente se ordenaron en función de los valores medios obtenidos en cada uno de los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado (Figuras 10, 13 y 17 respectivamente). Con estos valores se realizó una puntuación de las bentonitas para cada una de las características, así como una puntuación total, que queda reflejada en la Tabla 2 y en la Figura 20.

Según estos resultados, la calidad global de las bentonitas con respecto a los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado, se ordenaría de la siguiente forma: A, B, 30B-70C, 60B-40C, C, D, 50B-50F, E y F.

4.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Se ha comparado el orden obtenido en la valoración global de las bentonitas con el orden obtenido en función de valores de permeabilidad (Figura 19).

Como se observa en la Figura 19, el orden obtenido de los resultados del ensayo de permeabilidad coincide con la valoración global obtenida con los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado (teniendo en cuenta que a las bentonitas D y E no se les ha hecho ensayo de permeabilidad): A, B, 30B-70C, 60B-40C, C, 50B-50F y F.

4.3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Para estudiar la correlación entre la proporción de la montmorillonita (filosilicatos) y la calidad de las bentonitas, se ha llevado a cabo un estudio comparativo de la zona del difractograma donde aparecen los picos correspondientes a los filosilicatos, como muestran las Figuras 21, 22 y 23 en donde los picos señalados con líneas rojas corresponden a la montmorillonita.

En las figuras puede observarse como la intensidad y definición del pico principal de la montmorillonita ($d=12,88$) varía de una muestras a otras. Así, podemos hacer las siguientes diferenciaciones:

En las muestras A y B (Figura 21), el pico está muy definido y tiene una gran intensidad, lo que indica que la mont-

Valoración	Bentonita	Pérdida filtrado	Hinchamiento	Absorción agua	Total puntos
1	A	9	9	9	27
2	B	8	6	8	22
3	30B-70C	6	7	6	19
4	60B-40C	6	4	7	17
4	C	7	5	5	17
4	D	5	8	4	17
5	50B-50F	4	3	3	10
6	E	3	2	2	7
7	F	2	1	1	4

TABLA 2. Puntuación de las bentonitas.

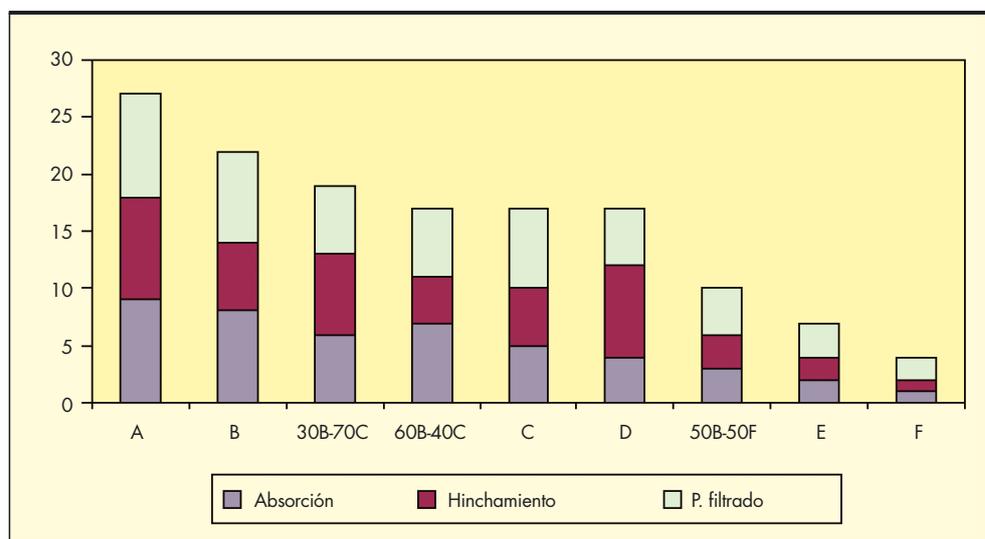


FIGURA 20. Gráfico correspondiente a la puntuación total de las bentonitas.

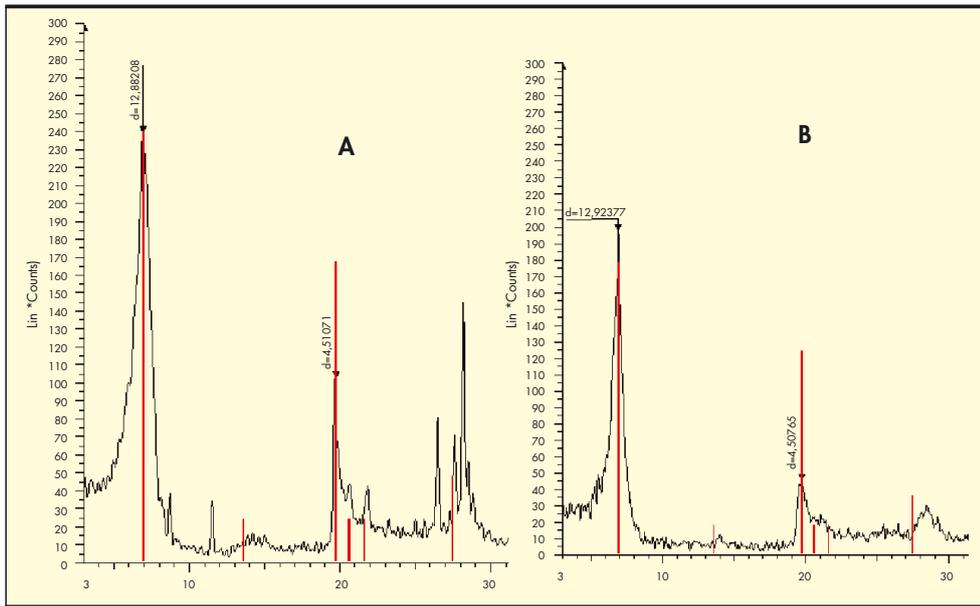


FIGURA 21. Muestras A y B.

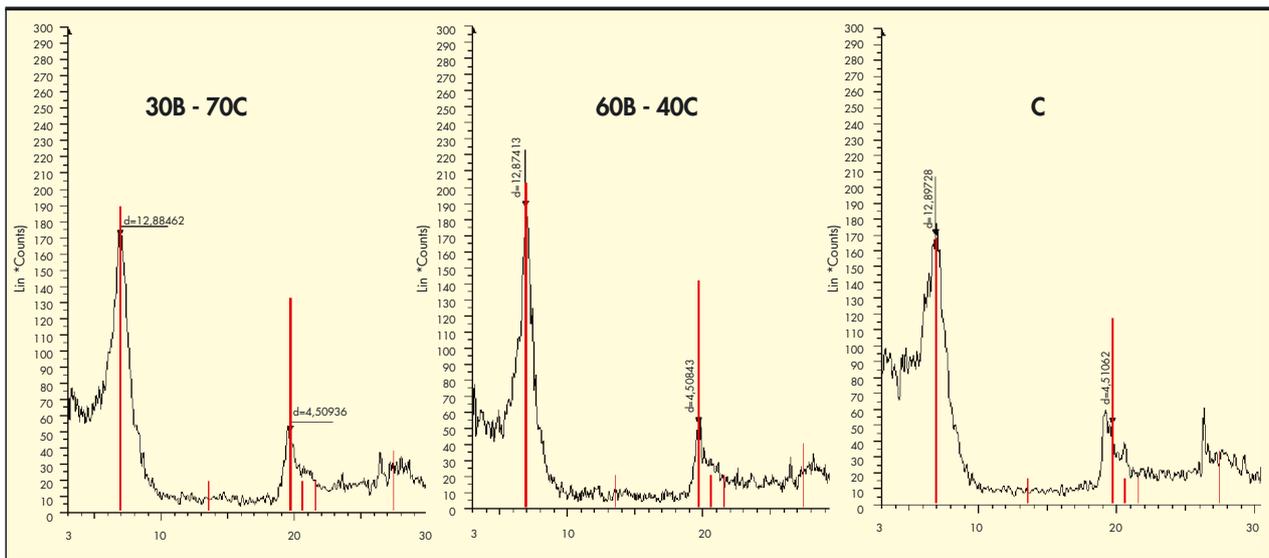


FIGURA 22. Muestras 30B-70C, 60B-40C y C.

morillonita es el filosilicato mayoritario, con lo cual es de esperar una gran capacidad de intercambio iónico e hinchamiento en estas bentonitas. Esta circunstancia las hace muy adecuadas para su empleo en la fabricación de las GBR-C.

En las muestras 30B-70C, 60B-40C y C (Figura 22), se observa progresivamente la aparición de otros picos junto al de la montmorillonita, que indican la presencia de otros filosilicatos. Además en la muestra C, la intensidad del pico disminuye ligeramente, por lo que en esta muestra la presencia de montmorillonita es menor. Es de esperar, por tanto, una capacidad de intercambio iónico e hinchamiento más limitado en estas bentonitas.

En las muestras D, 50B-50F, E y F (Figura 23), se observa, progresivamente en el orden citado, una disminución de la intensidad del pico así como un ensanchamiento del mismo. Esto

indica la presencia de otros filosilicatos distintos a la montmorillonita, y por tanto una disminución progresiva de la proporción de ésta. Hay que destacar también que en las muestras 50B-50F, E y F se detecta también calcita, principalmente en la muestra F. Estas circunstancias hacen que sea de esperar que la capacidad de intercambio e hinchamiento de estas bentonitas sea escasa.

La Figura 24 corresponde a los difractogramas de las bentonitas colocados según la intensidad del pico de los filosilicatos (montmorillonita), en orden decreciente.

De esta manera, el orden obtenido ha sido: A, B, 30B-70C, 60B-40C, C, D, 50B-50F, E y F.

Se observa que este orden coincide con el obtenido en la valoración global de las bentonitas (Tabla 2), lo que pone de manifiesto la correlación existente entre la proporción de montmorillonita y el comportamiento de la muestra.

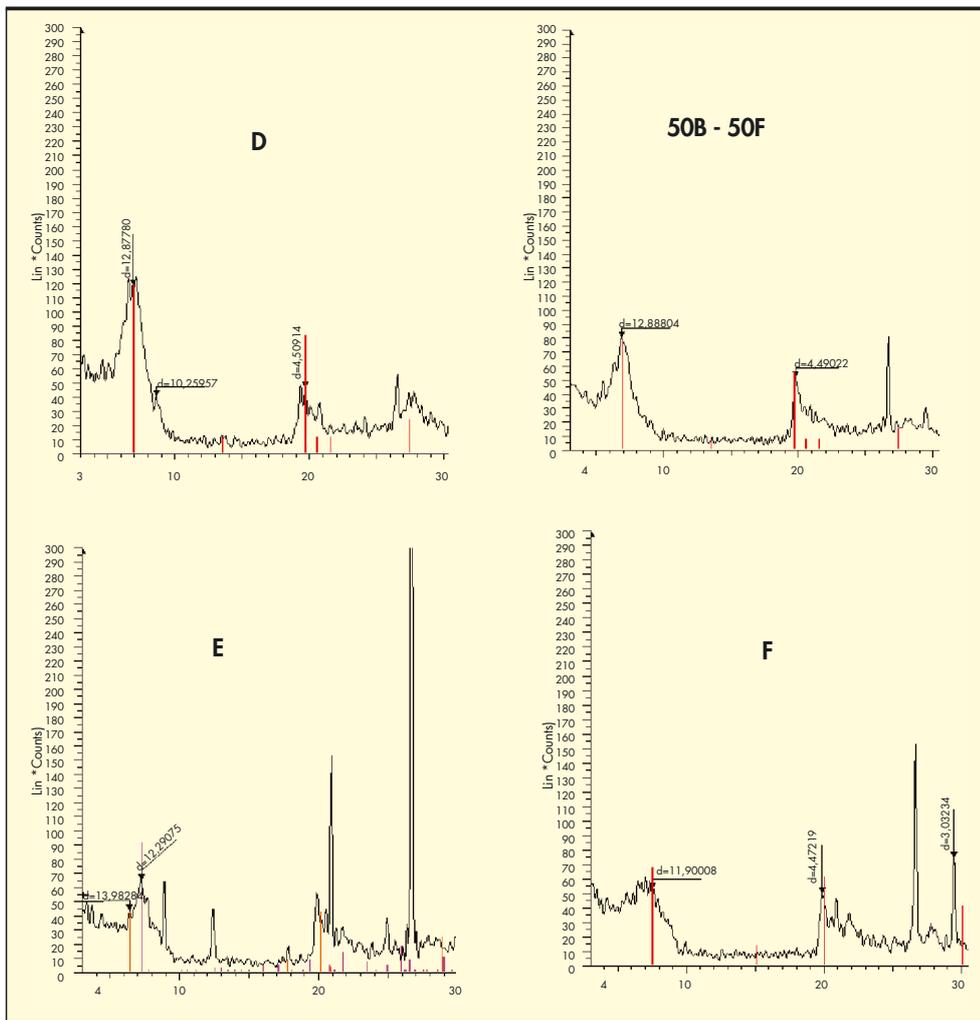


FIGURA 23. Muestras D, 50B-50F, E y F.

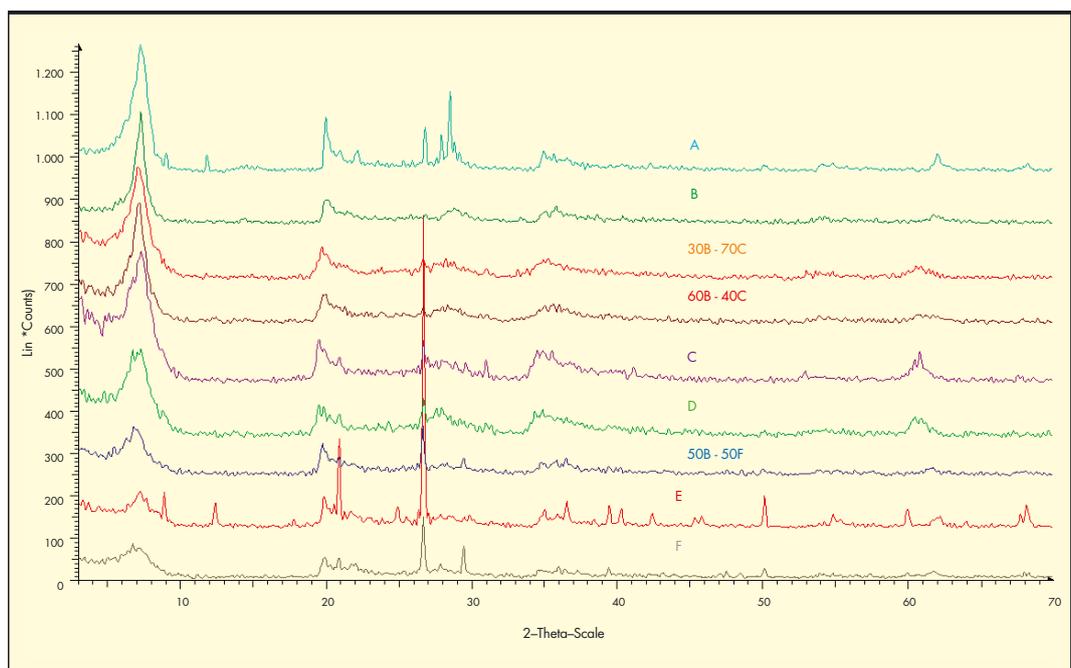


FIGURA 24. Difractogramas de las bentonitas según la intensidad del pico de los filossilicatos (montmorillonita).

5. IDENTIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS MÁS REPRESENTATIVOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS BENTONITAS

Con el fin de optimizar el procedimiento para la caracterización de las bentonitas, se ha estudiado la correlación existente entre todos los resultados de los ensayos realizados.

5.1. CORRELACIÓN ENTRE ABSORCIÓN DE AGUA E HINCHAMIENTO

En primer lugar se estudió la correlación entre la absorción de agua y el hinchamiento. En la Figura 25 se presenta la recta de regresión resultante de la que se obtiene un coeficiente de correlación de 0,85 lo que indica una aceptable correlación entre los ensayos.

En la Figura 26 se muestra cómo el resultado del coeficiente de correlación mejora a 0,96 suprimiendo los resultados de las muestras F y 60B-40C, obteniéndose una correlación significativa.

5.2. CORRELACIÓN ENTRE HINCHAMIENTO Y PÉRDIDA POR FILTRADO

En segundo lugar se estudió la correlación entre el hinchamiento y la pérdida por filtrado. La Figura 27 presenta la recta de regresión resultante de la que se obtiene un coeficiente de correlación de $-0,70$ lo que indica una menor correlación entre estos ensayos.

En la Figura 28 se muestra como el resultado del coeficiente de correlación mejora a $-0,88$ suprimiendo el resultado de la muestra A. El comportamiento distinto de esta arcilla se puede justificar debido a que se trata de una bentonita sódica altamente hinchable, de las conocidas como tipo Wyoming.

5.3. CORRELACIÓN ENTRE ABSORCIÓN DE AGUA Y PÉRDIDA POR FILTRADO

En cuanto a la correlación entre absorción de agua y pérdida por filtrado, en la Figura 29 se presenta la recta de regresión resultante de la que se obtiene un coeficiente de correlación de $-0,95$ lo que indica una muy buena correlación entre los dos ensayos.

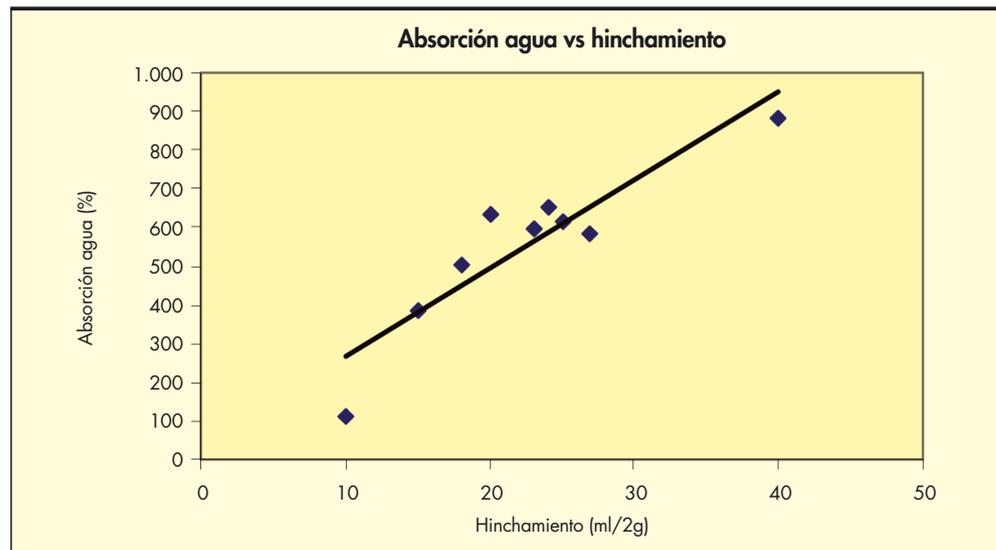


FIGURA 25. Absorción agua vs hinchamiento.

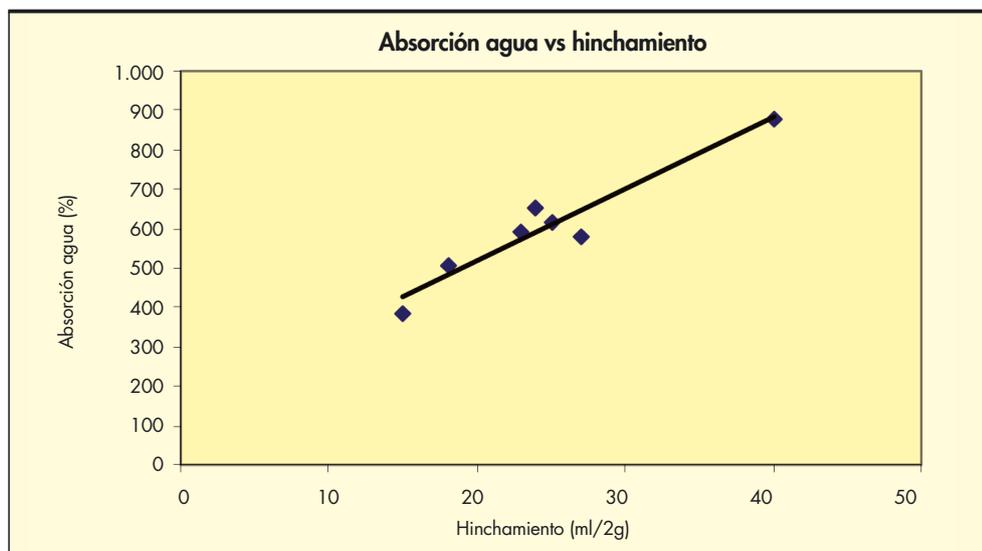


FIGURA 26. Absorción agua vs hinchamiento.

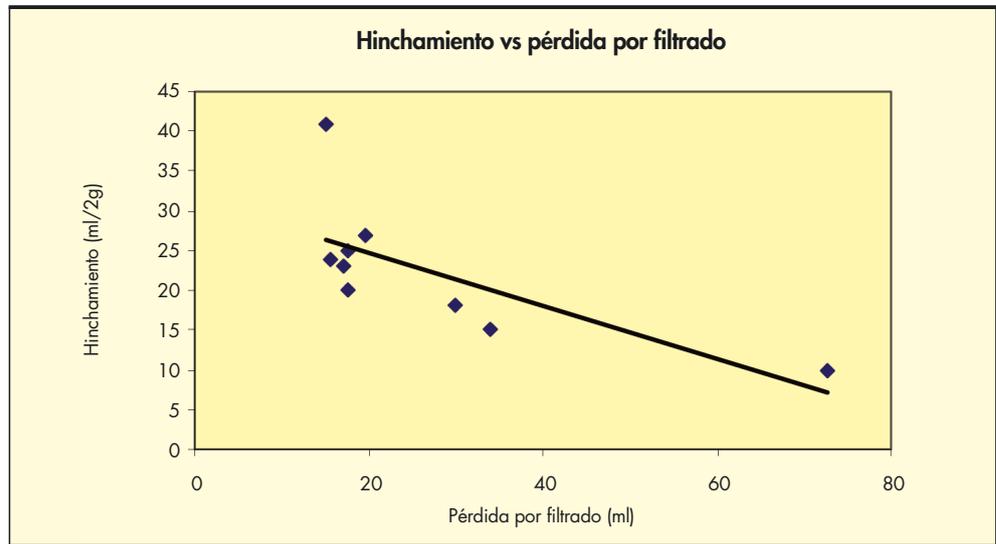


FIGURA 27. Hinchamiento vs pérdida por filtrado.

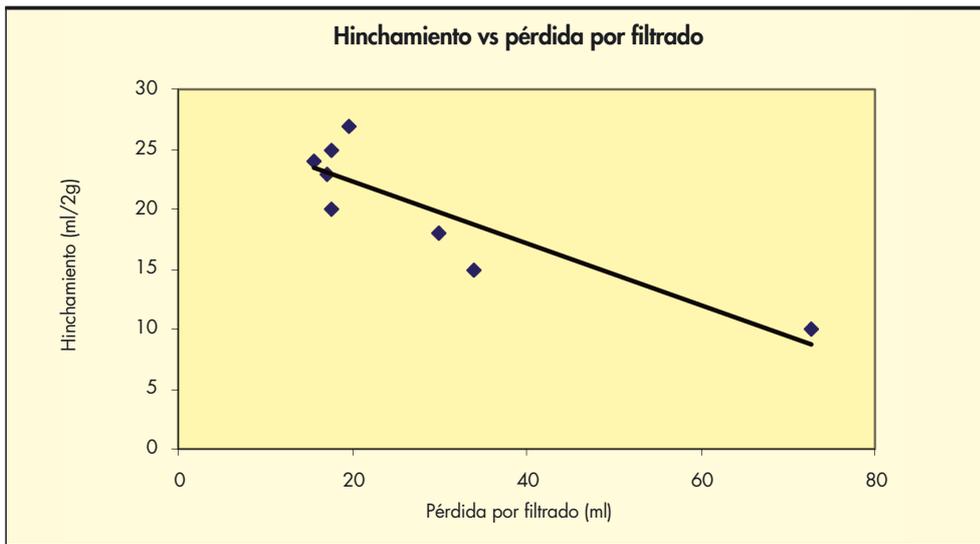


FIGURA 28. Hinchamiento vs pérdida por filtrado.

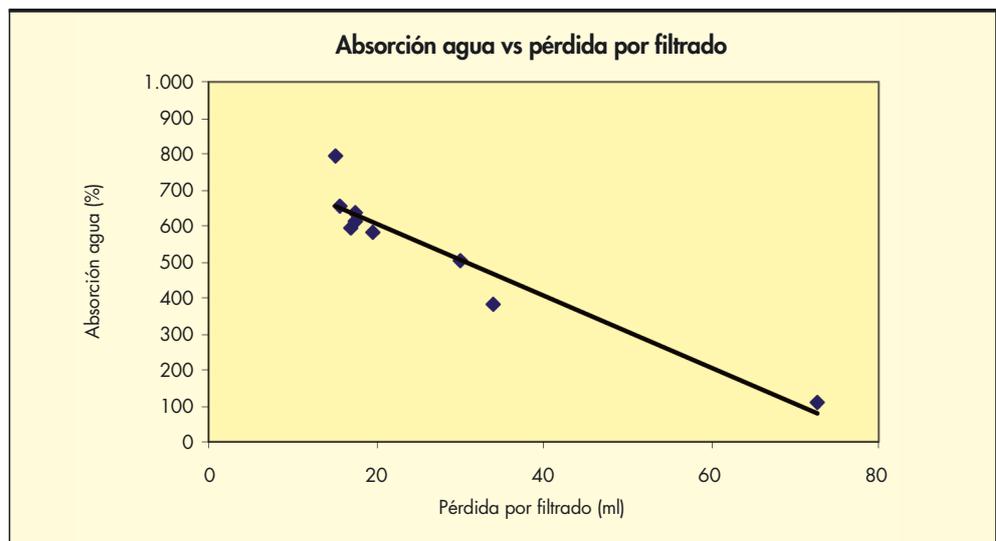


FIGURA 29. Absorción de agua vs pérdida por filtrado.

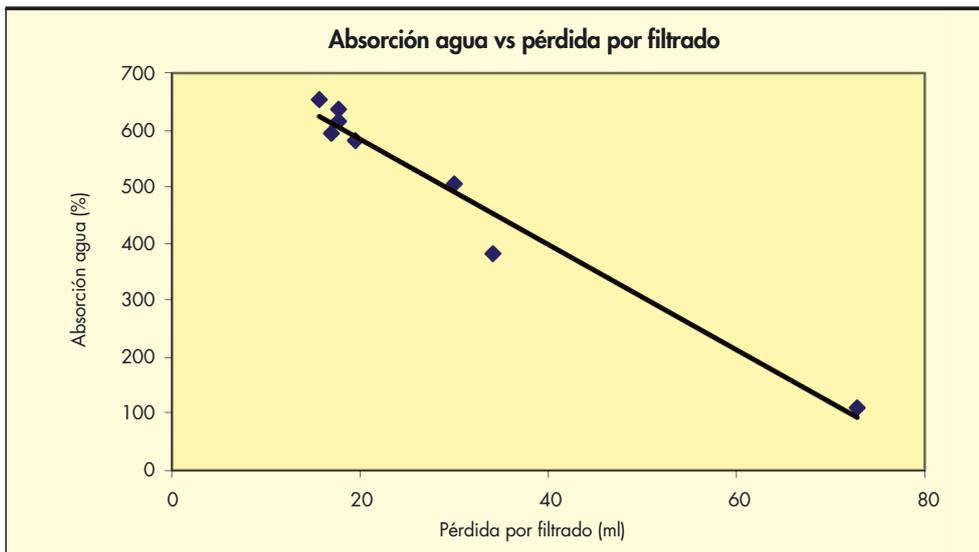


FIGURA 30. Absorción de agua vs pérdida por filtrado.

La Figura 30 muestra como el resultado del coeficiente de correlación mejora a $-0,98$ suprimiendo el resultado de la muestra A, lo que se puede justificar, como en el caso de la correlación entre hinchamiento y pérdida por filtrado, por un distinto comportamiento debido a que A es una bentonita sódica de gran calidad, altamente hinchable, lo cual hace que su comportamiento se desvíe sobre el de las demás bentonitas.

De estas tres correlaciones se deduce que, para optimizar estos ensayos, lo más conveniente es realizar la absorción de agua, por su buena correlación tanto con hinchamiento ($0,96$) como con pérdida por filtrado ($-0,98$).

En todo caso y como segunda opción, se puede realizar el ensayo de pérdida por filtrado, el cual requiere de poca manipulación y se obtiene una buena información sobre el comportamiento de las bentonitas.

6. CONCLUSIONES

- Mediante los ensayos realizados se ha podido establecer el orden de las bentonitas en función de su calidad como materia prima para la fabricación de Barreras Geosintéticas Arcillosas (GBR-C).
- A partir de los resultados de los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado, las bentonitas se ordenan de la siguiente forma: A, B, 30B-70C, 60B-40C, C, D, 50B-50F, E y F. Este orden nos indica la calidad de las bentonitas.
- El orden obtenido en función de los resultados del ensayo de permeabilidad coincide con el establecido mediante los resultados de los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado.
- El estudio de las muestras mediante Difracción de Rayos X indica que todas las bentonitas contienen filosilicatos. Se identifica la presencia de montmorillonita en todas, excepto en las muestras E y F. Los difractogramas obtenidos de las muestras en polvo se han ordenado según la intensidad del pico correspondiente a la montmorillonita, que es proporcional al contenido de ésta. El orden obtenido coincide con el establecido mediante los resultados de los ensayos de absorción de agua, hinchamiento y pérdida por filtrado. Asimismo, el orden se mantiene con respecto al obtenido con los valores de permeabilidad.

- De los valores de las correlaciones obtenidas en los ensayos de absorción de agua vs hinchamiento, hinchamiento vs pérdida por filtrado y absorción de agua vs pérdida por filtrado, se puede concluir que, para optimizar los ensayos de caracterización de las bentonitas, lo más conveniente es realizar la absorción de agua, por su buena correlación tanto con hinchamiento ($0,96$) como con pérdida por filtrado ($-0,98$). En todo caso y como segunda opción, se puede realizar el ensayo de pérdida por filtrado, el cual requiere de poca manipulación obteniéndose, además, una buena información sobre el comportamiento de las bentonitas, ya que presenta muy buena correlación con el ensayo de absorción de agua, y una aceptable correlación con el ensayo de hinchamiento y el de permeabilidad.

7. AGRADECIMIENTOS

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

8. BIBLIOGRAFÍA

- Leiro, A. Geosintéticos. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Rutas, n° 132, 2009.
- Estudio sobre Barreras Geosintéticas bentoníticas. Informe técnico para CETCO IBERIA SLU. 2010.
- Higueras, P y Oyarzun, R. Curso de mineralogía y geoquímica ambiental.
- UNE-EN ISO 10318. Geosintéticos. Términos y definiciones.
- ASTM D5887-08. Standard test method for measurement of index flux through saturated geosynthetic clay liner specimens using a flexible wall permeameter.
- 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 (withdrawn 1997).