

Las microscopías óptica de reflexión y electrónica de barrido como métodos avanzados de análisis para conocer el estado de las geomembranas sintéticas

JESÚS SORIANO CARRILLO (*), MANUEL BLANCO FERNÁNDEZ (**), MIGUEL ÁNGEL GARCÍA CALLEJA (***),
ÁNGEL LEIRO LÓPEZ (****), BEATRIZ MATEO SANZ (****),
ESCOLÁSTICO AGUIAR GONZÁLEZ (*****) y MOISÉS RUBIN DE CÉLIX (*****)

RESUMEN Las técnicas microscópicas se vienen empleando, ampliamente, desde hace años en el estudio de los materiales inorgánicos; sin embargo su utilización en el campo de los materiales orgánicos, y concretamente en lo relativo a las geomembranas sintéticas, es más bien escasa. En este trabajo se aplica esta tecnología innovadora a las diferentes barreras geosintéticas poliméricas donde este equipo investigador tiene experiencia. Se hace referencia a poli(cloruro de vinilo) plastificado, polietilenos, cauchos como el terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico y butilo, poliolefinas, copolímero de etileno-acetato de vinilo, polietileno clorosulfonado y polipropileno. Se comprueba la influencia de la zona de extracción así como el tiempo que ha transcurrido desde su aplicación.

OPTICAL AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPY AS ADVANCED ANALYSIS METHODS TO DETERMINE THE CONDITION OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES

ABSTRACT *Microscopic techniques have been widely used for years in the study of inorganic materials, however their use in organic materials and specifically, in synthetic geomembranes, is very limited. In this study, this innovative technology has been used with the different geosynthetic polymeric barriers with which this research team is experienced: plasticized polyvinyl chloride, polyethylenes, rubbers such as ethylenepropylene-diene monomer terpolymer and butyl, polyolefins, ethylene-vinyl acetate copolymer, chlorosulfonated polyethylene and polypropylene. The influence of the extraction area and the time since their application is tested.*

Palabras clave: Microscopía, Geomembranas, Impermeabilización, Análisis.

Keywords: Microscopy, Geomembranes, Waterproofing, Analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización y evaluación periódica de las barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) se realiza mediante una serie de pruebas físico-químicas que permiten determinar, con bastante aproximación, su “estado del arte” (Aguiar & Blanco

1995, Blanco 2009, Blanco & Castillo 1991). De esas pruebas, quizás sean las características de tracción las que presentan una mayor importancia, sin olvidar la resistencia al impacto, tanto estático como dinámico. En el caso particular de las geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, es necesario

(*) Coordinador programa Técnico Científico. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. E-mail: Jesus.Soriano@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

(***) Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. E-mail: Miguel.A.García@cedex.es

(****) 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 Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid. Asistente Secretararía de IGS España. E-mail: Beatriz.Mateo@cedex.es

(******) Balsas de Tenerife (BALTEN), Santa Cruz de Tenerife, España. E-mail: e.aguiar@blaten.es.

(******) Jefe del Área de Presas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, España.

llevar a cabo la prueba de doblado a bajas temperaturas, pues es un ensayo muy indicativo del estado del material.

Los procedimientos tradicionales de evaluación de las geomembranas dan una idea bastante certera de su estado en un determinado momento (Leiro *et al.* 2002, Cea & Blanco 2005, Crespo 2011), pero cuando se trata de un proceso de investigación y las condiciones científicas y económicas lo permiten se puede recurrir a otros métodos más avanzados (Rodríguez de Sancho *et al.* 1991, Paroli *et al.* 1992). Entre otros, cabe destacar la microscopía óptica de reflexión y la microscopía electrónica de barrido. Ambas técnicas son muy conocidas en el campo de la Obra Hidráulica para materiales inorgánicos (Soriano *et al.* 2007, Velasco *et al.* 2008) y desconocidas, casi por completo, en el sector orgánico. No obstante, el CEDEX lleva más de 25 años aplicando estas técnicas al campo de las geomembranas sintéticas (Ortega *et al.* 1985; Blanco *et al.* 2002; Soriano *et al.* 2006, 2010).

Las técnicas empleadas, tanto la microscopía óptica de reflexión (MOR) como la microscopía electrónica de barrido (MEB), permiten observar la textura y morfología de la geomembrana y buscar alteraciones en la superficie de la lámina no visibles de otro modo.

Gracias a las microfotografías que se toman de las muestras con los microscopios, a distintos aumentos, se puede apreciar “a simple vista” la porosidad de la lámina, grietas, microfisuras o incluso marcas de otros materiales que hayan estado en contacto con la lámina en cuestión, como es el caso de la cara interna de algunas muestras por el contacto con el terreno o el geosintético que se coloca bajo la geomembrana en la balsa.

En este trabajo se aplican estas tecnologías innovadoras a las diferentes barreras geosintéticas poliméricas donde este equipo investigador tiene experiencia. Se hace referencia a poli(cloruro de vinilo) plastificado, polietilenos, cauchos como el terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico y butilo, poliolefinas, copolímero de etileno-acetato de vinilo, polietileno clorosulfonado y polipropileno.

Se comprueba la influencia de la zona de ubicación de la extracción, de la orientación de las muestras y del tiempo que ha transcurrido desde su aplicación.

2. TÉCNICAS Y APARATOS

2.1. MICROSCOPIA ÓPTICA DE REFLEXIÓN (MOR)

Esta prueba se realizó para evaluar la degradación superficial de las láminas en comparación con una muestra del material inicial.

El estudio de las muestras se llevó a cabo mediante un microscopio Leica modelo DMRX, equipado con un sistema automático de fotografía. Las microfotografías se han tomado a aumentos de (x 40) y (x 60) con objeto de ver la textura y morfología de la geomembrana.

2.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (MEB)

Esta técnica tiene el mismo objetivo que la anterior, es decir, buscar alteraciones en la superficie de la lámina no visibles a simple vista. Como la tecnología MOR, suministra información sobre aspectos morfológicos y texturales del material.

El análisis se ha realizado mediante el empleo de un microscopio electrónico de barrido ZEISS, modelo DSM 942, que lleva incorporado un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X, LINK, modelo Pentafet. También, y para los mismos fines, se ha utilizado otro microscopio de la misma casa comercial pero un modelo más actual, concretamente, el EVO 50 equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X OXFORD Instruments, modelo INCA Pentafet X3. Las microfotografías se han tomado a (x 90) y (x 900) aumentos.

Las muestras poliméricas, por no ser conductoras, han sido metalizadas mediante un recubrimiento conductor de 100 a 200 micras de espesor, obtenido por la evaporación a vacío de una placa de oro-paladio (“sputtering”). Dicha metalización se ha efectuado de manera automática con una metalizadora Emitech, modelo K550.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1. CAUCHOS

Las Figuras 1 y 2 presentan, respectivamente, por microscopía óptica de reflexión y microscopía electrónica de barrido,

FIGURA 1. Microfotografías de geomembranas originales de cauchos IIR y EPDM tomadas por microscopía óptica de reflexión a 60 aumentos.

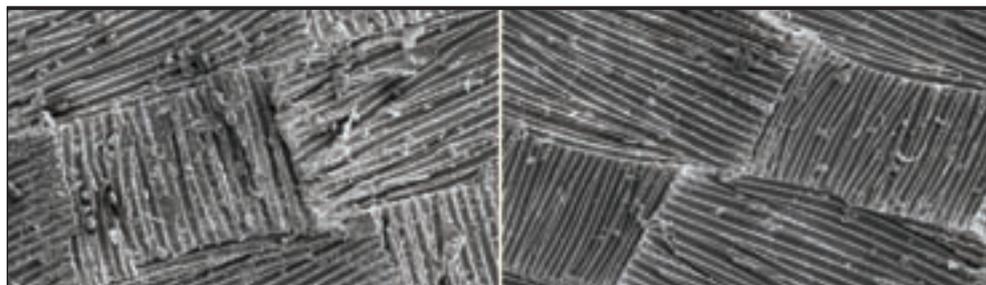
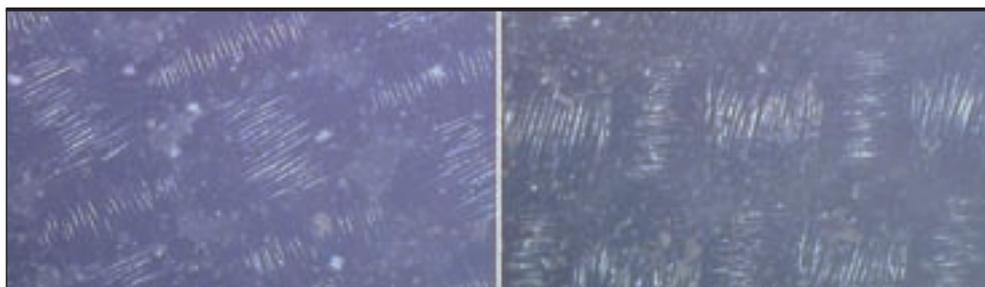


FIGURA 2. Microfotografías de geomembranas originales de cauchos IIR y EPDM tomadas por microscopía electrónica de barrido a 90 aumentos.

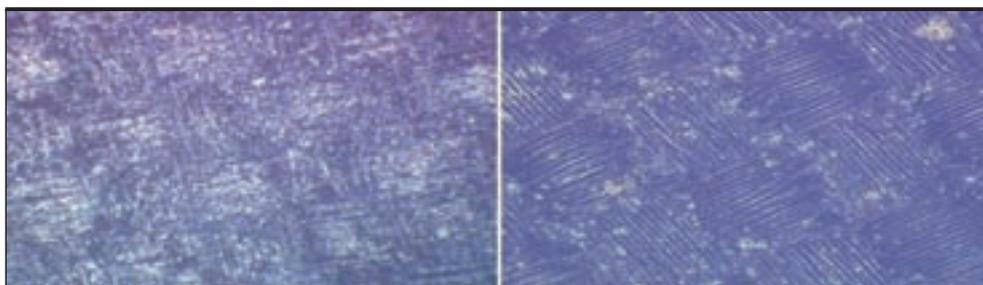


FIGURA 3. Microfotografías obtenidas por MOR (x 60) de las caras externa e interna de una geomembrana de EPDM a los once años de su instalación.

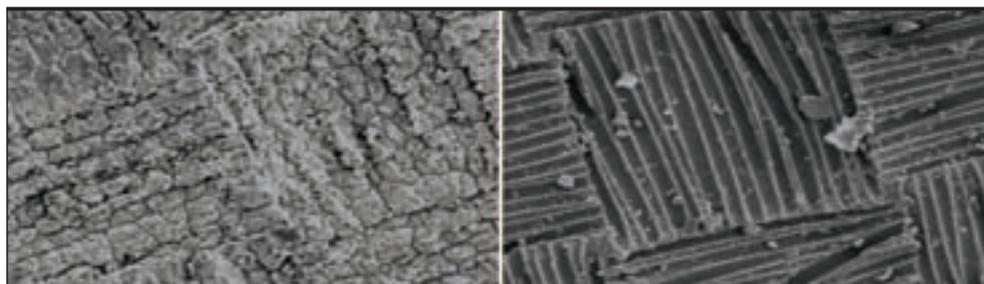


FIGURA 4. Microfotografías obtenidas por MEB (x 90) de las caras externa e interna de una geomembrana de EPDM a los once años de su instalación.

muestras originales de caucho butilo (IIR) y caucho terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM). Ambas técnicas permiten observar un material que podría hacer pensar en geomembranas reforzadas con un tejido de hilos sintéticos; en cambio, aunque desde ya hace bastantes años se está realizando un seguimiento a geomembranas de elastómeros reforzadas, no es este el caso, pues se trata de barreras geosintéticas homogéneas. Esa especie de trama y urdimbre que se detecta, tanto en el IIR como en el EPDM, es debida a las huellas que deja el textil utilizado en el proceso de vulcanización de estos cauchos. No todos los elastómeros, que este equipo somete a estudio, presentan esta peculiaridad ya que utilizan otros procedimientos de vulcanización y, por ello, la superficie no muestra ese entramado.

Las Figuras 3 y 4 muestran, respectivamente, por microscopía MOR y MEB, el aspecto de la superficie de una geomembrana de EPDM, en sus caras externa e interna, de una balsa ubicada en la región de Murcia a los once años de su instalación. Todavía se pueden observar las huellas del proceso de reticulación del elastómero. No obstante, se puede destacar como la cara externa sufre un grado de deterioro importante como consecuencia de su exposición a la intemperie; la cara en contacto con el soporte se encuentra en muy buen estado de conservación.

La Figura 5 representa fotos de la observación por microscopía óptica de una geomembrana de caucho butilo colocada

en el Azud de Matavacas hace 33 años (Cea de *et al.* 2002) Se puede deducir de las mismas como la cara externa presenta un mayor envejecimiento que la interna; en cualquier caso su estado de conservación es notable. No se ha podido llevar a cabo su análisis por “scanner” debido a que se produce una exudación de negro de carbono a la superficie de la geomembrana como consecuencia del tiempo que lleva instalada, hecho que dificultaba la prueba por grave deterioro del microscopio electrónico.

La Figura 6 muestra por MOR el aspecto de las caras externa e interna de una geomembrana de EPDM procedente del fondo de una balsa ubicada en el norte de la isla de Tenerife. La microscopía electrónica (Figura 7) muestra el aspecto de la cara externa a (x 90) y (x 900) de la citada barrera geosintética donde aparecen microporos y microfisuras aisladas. Ambos tipos de microscopía indican el buen estado de la geomembrana que no se ve afectada, apreciablemente, por el agua del embalse. La microscopía electrónica detecta, además, la presencia de diatomeas procedentes del agua que cubre el fondo de la citada balsa.

3.2. POLIOLEFINAS

La experiencia que tiene este equipo de investigación en cuanto a este tipo de materiales, que se podrían considerar como los más novedosos en el campo de las geomembranas

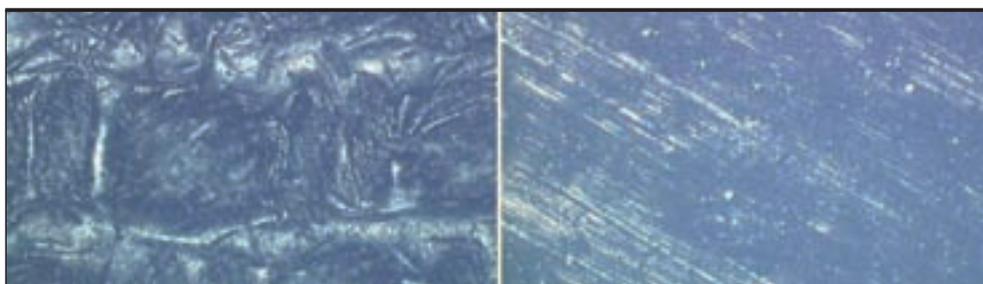


FIGURA 5. Microfotografías obtenidas por MOR (x 60) de las caras externa e interna de una geomembrana de IIR a los treinta y tres años de su exposición a la intemperie.

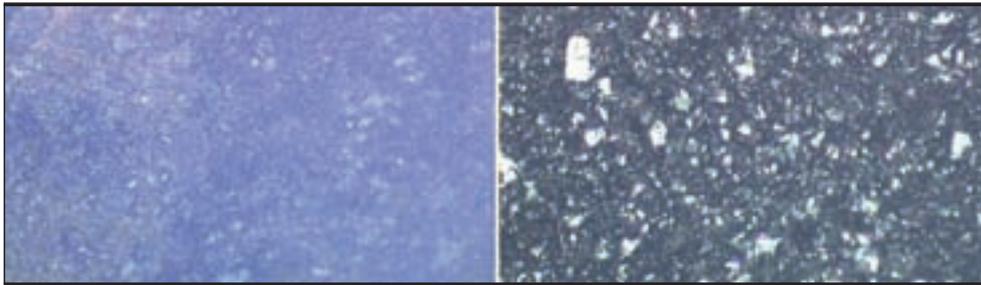


FIGURA 6. Aspecto de las caras externa e interna de una muestra de geomembrana extraída del fondo de una balsa impermeabilizada con EPDM (MOR, x 60).

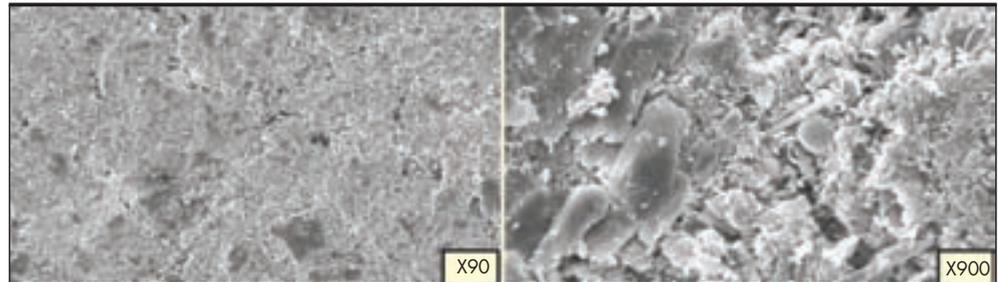


FIGURA 7. Aspecto de la cara externa de una muestra de geomembrana extraída del fondo de una balsa impermeabilizada con EPDM (MEB).

sintéticas utilizadas en la impermeabilización de Obras Hidráulicas, abarca dos clases de productos unos de carácter termoestable (POE) y otros termoplásticos (TPO). Las geomembranas que se están empleando con cierta profusión son las termoplásticas y de ello dan cuenta balsas como Los Partidos en el municipio de El Tanque (Tenerife) y presas como Puente Porto en el término de Galerne (Zamora) (Blanco *et al.* 2010a). A efectos de este trabajo se va a hacer referencia a una geomembrana termoplástica colocada en el campo experimental de El Saltadero por llevar más tiempo instalada; asimismo, la geomembrana de poliolefina elastomérica procede del mismo campo experimental (Aguar *et al.* 2010).

La poliolefina elastomérica se colocó hace doce años, mientras que la de tipo termoplástico es mucho más reciente, solo cinco años de exposición a la intemperie. La Figura 8 refleja la cara externa de las dos poliolefinas a 60 aumentos observadas por microscopía óptica de reflexión; la primera a los doce años de instalada y la segunda a los cinco. La microscopía electrónica de barrido a 900 aumentos por la misma cara da lugar a las microfotografías que aparecen representadas en la Figura 9.

Es de destacar el mejor estado de conservación de la geomembrana de poliolefina elastomérica a pesar de llevar doce años instalada. La poliolefina termoplástica que solo lleva cinco años presenta un mayor grado de deterioro que se detecta por ambos tipos de microscopía.

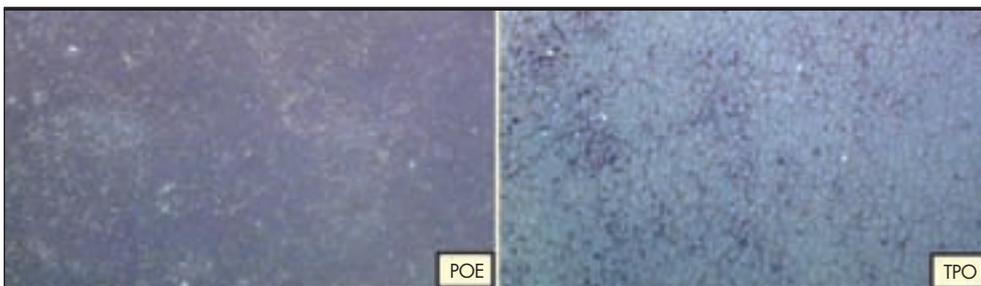


FIGURA 8. Aspecto de la cara externa de poliolefinas observadas a 60 aumentos empleando la técnica MOR.

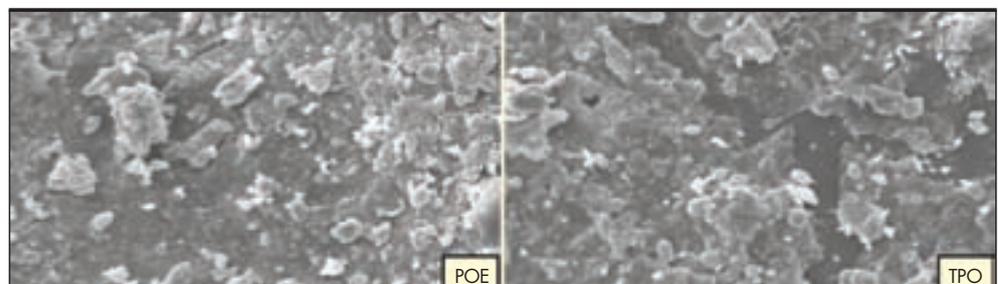


FIGURA 9. Microfotografías de las geomembranas de poliolefinas tomadas por microscopía electrónica de barrido (MEB) a 900 aumentos.

3.3. POLIETILENOS

En España se están empleando como barreras geosintéticas poliméricas distintos tipos de polietilenos a los que vamos a denominar a efectos de este trabajo de alta (PEAD), media (PEMD), baja (PEBD) y muy baja densidad (PEMBD).

El polietileno de baja densidad (PEBD) se utiliza siempre enterrado, previa preparación adecuada del soporte; era muy común su uso por parte de pequeños agricultores para balsas de riego, tanto en el sudeste de la Península Ibérica como en las Islas Canarias. En los últimos años se han construido balsas de gran capacidad, superiores al hm^3 , como es el caso de Plá Mateos en Alicante. Realmente, hoy no se consideraría una geomembrana sino un "film" ya que el espesor suele rondar los 0.3 mm. No obstante, hay experiencia con este material en balsas que superan los 30 años de buen funcionamiento. El polietileno de muy baja densidad (PEMBD) por su buena resistencia al impacto estático o punzonamiento se

está utilizando en depósitos donde el terreno no está bien compactado y materiales inorgánicos podrían perforar la lámina, un ejemplo sería la balsa de El Cerrillo del Libro en la zona almeriense de El Ejido. De los otros dos polietilenos considerados el de mayor utilización en nuestro país es el de alta densidad (PEAD) que podría decirse que es la geomembrana más empleada en la actualidad (Blanco *et al.* 2010b).

Las Figuras 10 y 11 representan a los cuatro polietilenos de distintas densidades observados por microscopía óptica y electrónica, respectivamente. El análisis microscópico se realizó en muestras tomadas a los ocho años de instaladas las geomembranas. Cabe señalar que desde el punto de vista microscópico, el de mejor comportamiento corresponde al de baja densidad (PEBD) lo cual parece lógico, pues no está expuesto a las radiaciones ultravioletas procedentes del sol. La mayor degradación se observa en las geomembranas de polietilenos de media (PEMD) y de muy baja densidad (PEMBD).

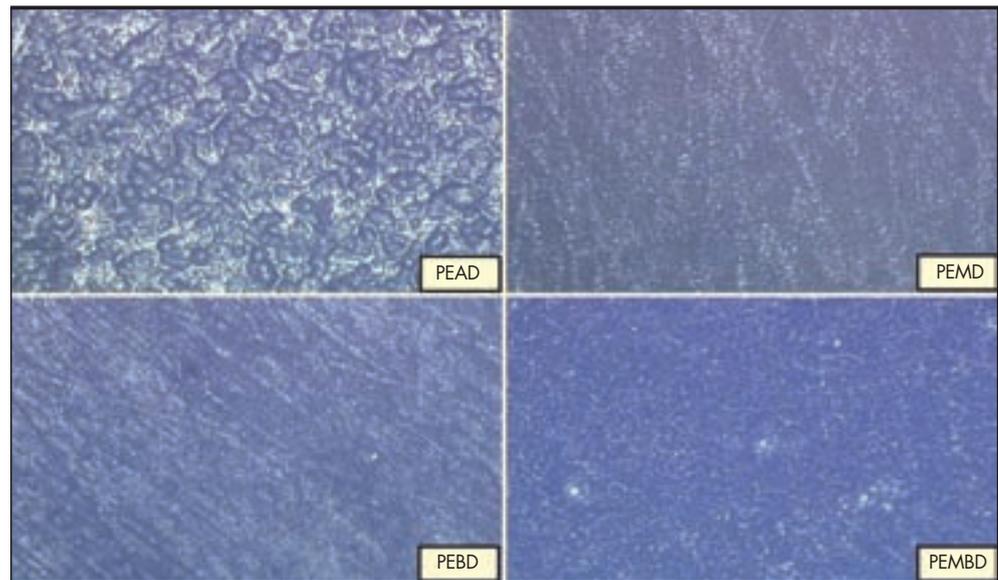


FIGURA 10. Microfotografías de muestras de geomembranas de polietileno de distintas densidades, en su cara externa, a los ocho años de instaladas en balsas (MOR, x 60).

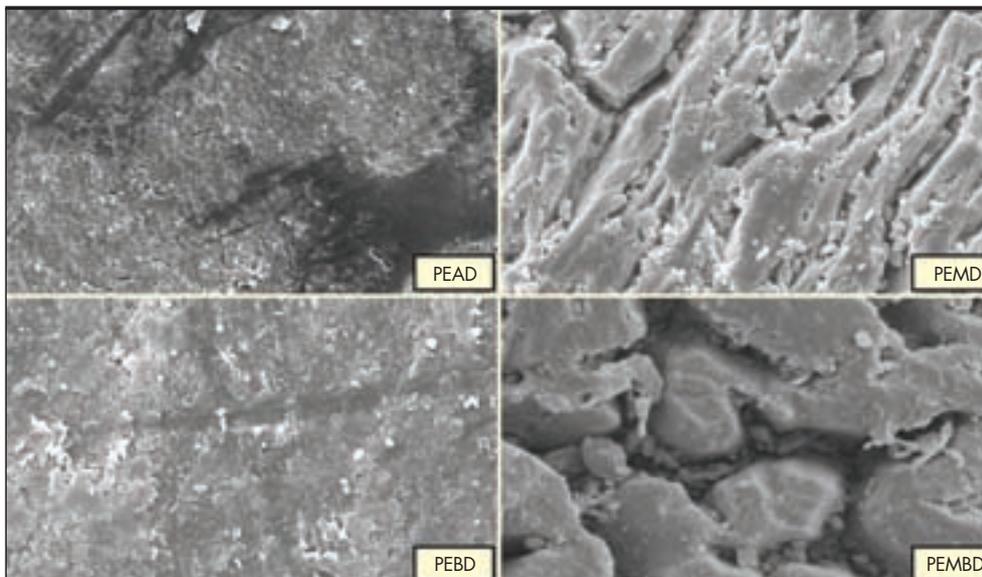


FIGURA 11. Microfotografías de muestras de geomembranas de polietileno de distintas densidades, en su cara externa, a los ocho años de instaladas en balsas (MEB, x 900).

FIGURA 12. Microfotografías de una muestra original de geomembranas de PEAD colocada en la balsa de Peguera, observada por MOR, (x 60) y MEB (x 90).

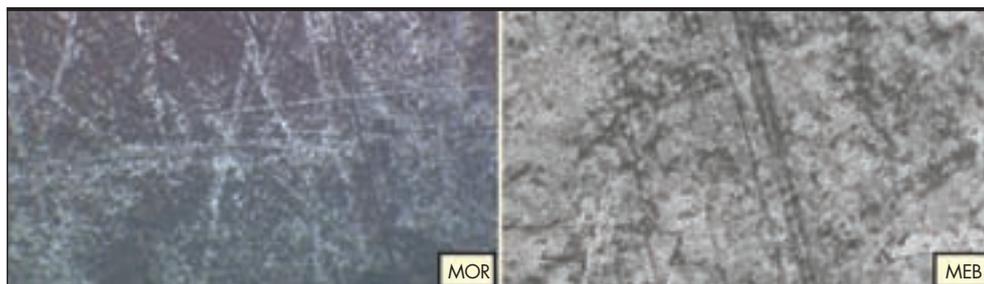
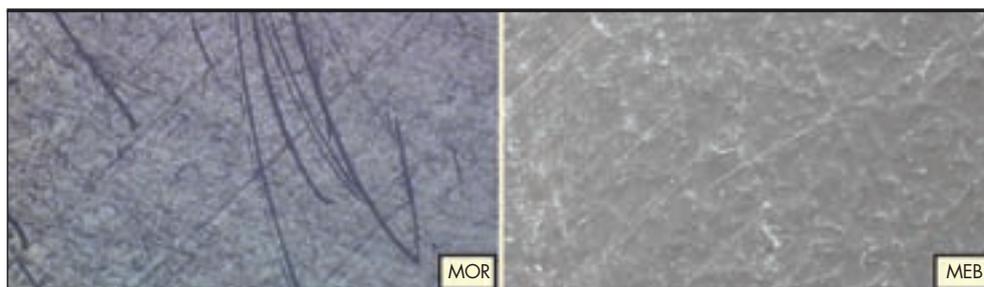
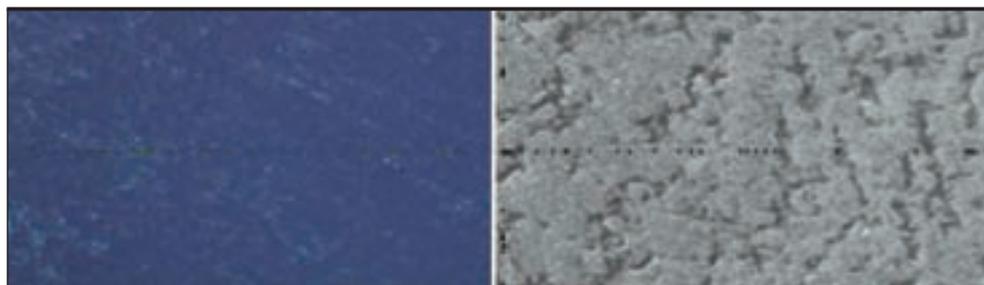


FIGURA 13. Microfotografías de la cara externa de la geomembrana de PEAD a los 18 años de su instalación, observada por MOR (x 60) y MEB (x 90).

FIGURA 14. Aspecto de la cara externa de la geomembrana de PEAD a los 18 años de su instalación, observada por MOR, (x 60) y MEB (x 90).



Como se ha mencionado en este mismo epígrafe, las geomembranas a base de polietileno de alta densidad son las de uso más común en la impermeabilización tanto de balsas como de vertederos (Giroud & Touze-Foltz 2003, Mateos 2010, Zornberg 2010). Originalmente, las técnicas microscópicas generan fotografías de la superficie del material que se pueden considerar homogéneas y uniformes. En el caso de este tipo de geomembrana, es muy frecuente encontrar en su superficie estrías debidas a la manipulación del material, que suelen aparecer, también, durante los controles periódicos y, en ocasiones, en mayor proporción ya que además de las relativas a la manipulación se observan las de contacto con el soporte en su cara interna. La Figura 12 presenta el aspecto original de la geomembrana de PEAD instalada en la balsa de Peguera, en el municipio de Calviá (Mallorca) observada por las microscopías MOR (x 60) y MEB (x 90), donde se aprecian las estrías anteriormente citadas.

La Figura 13 muestra el aspecto de la cara externa de la geomembrana de PEAD tanto por MOR (x 40) como MEB (x 90) a los quince años de instalada en la balsa de El Palmar (Buenavista del Norte-Tenerife) donde se puede apreciar el envejecimiento sufrido y aún detectar las estrías sobre su superficie. La Figura 14 presenta la cara externa de una geomembrana de PEAD a los 18 años de su instalación donde se aprecia un grado mayor de deterioro. Las observaciones se han realizado por MOR (x 60) y MEB (x 90).

3.4. POLI(CLORURO DE VINILO) PLASTIFICADO

El poli(cloruro de vinilo) plastificado ha sido el material al que este equipo aplicó por primera vez estas tecnologías, que permitieron seguir su evolución y estado de conservación a lo largo de su vida útil (Ortega *et al.* 1984, Blanco *et al.* 2010c).

La Figura 15 recoge las observaciones microscópicas llevadas a cabo sobre la geomembrana original de PVC-P homogénea empleada en la impermeabilización de la solera de la balsa de Puertas de Murcia, en Orihuela-Alicante (Zapata *et al.* 2010). En la parte superior se encuentran las microfotografías correspondientes a la técnica MOR a 40 y 60 aumentos. En la parte inferior se presentan las observaciones realizadas por MEB a 90 y 900 aumentos. Todas ellas indican un material en muy buen estado, con una textura homogénea y uniforme.

Las microfotografías presentadas en la Figura 16 muestran la cara externa, del talud norte y sur, de la geomembrana de PVC-P reforzada con hilos sintéticos utilizada en el sistema de impermeabilización de la balsa de San Mauro, en el municipio palmero de Puntagorda, a los quince años de su puesta en obra. La microscopía óptica se realizó a 60 aumentos mientras que la electrónica se llevó a cabo a 90. Aunque las dos muestras presentan un notable grado de deterioro, la procedente del talud norte, es decir, la orientada hacia el sur, presenta una degradación más acusada, lo que es indicativo de la importancia de la orientación en la degradación de una geomembrana.

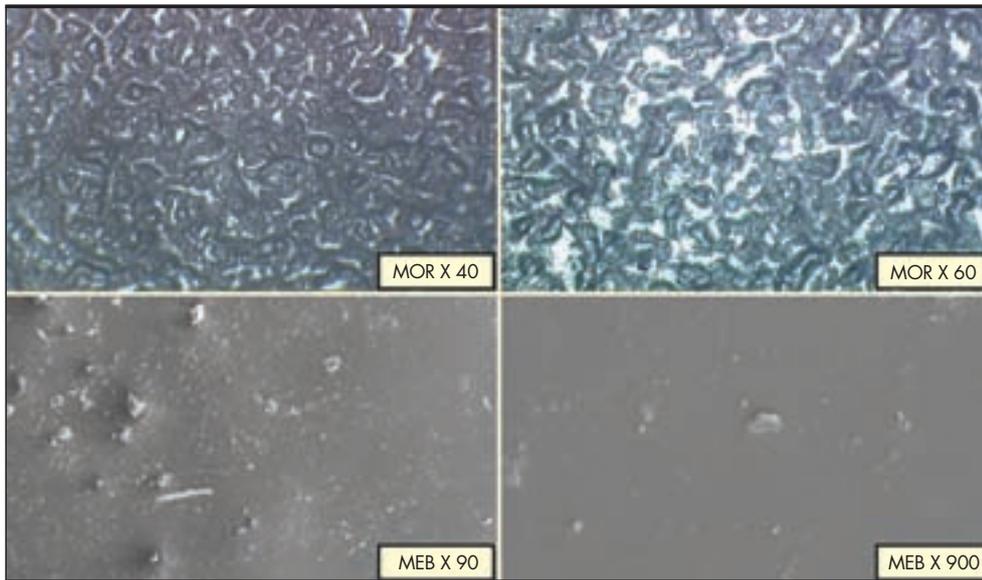


FIGURA 15. Microfotografías de la muestra original de la geomembrana de PVC-P homogénea utilizada en la impermeabilización del fondo de la balsa de Puertas de Murcia.

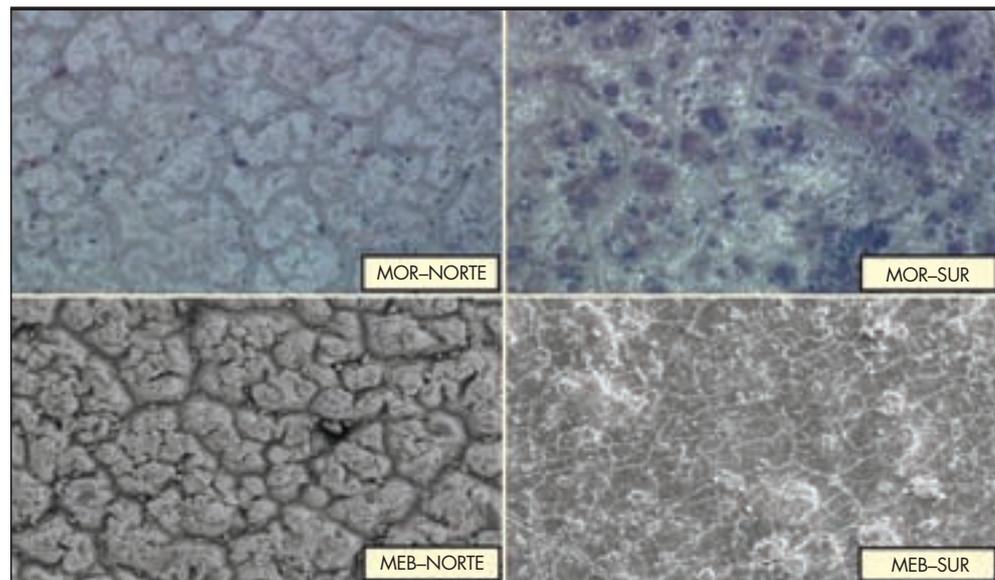


FIGURA 16. Microfotografías de la cara externa de los taludes norte y sur, en coronación, a los 15 años de instalada la geomembrana de PVC-P reforzada con hilos sintéticos utilizada en la impermeabilización de la balsa de San Mauro.

3.5. OTROS MATERIALES

En este apartado se hace referencia a otros materiales cuya utilización no es tan frecuente, concretamente a geomembranas sintéticas a base de copolímero de etileno-acetato de vinilo (EVA/C), polietileno clorosulfonado (CSM) y polipropileno (PP). En la Figura 17 se presentan las microfotografías relativas a los tres materiales por microscopía óptica de reflexión a 60 aumentos (parte izquierda) y por microscopía electrónica a 900 aumentos (parte derecha). La tecnología MOR indica una degradación superficial en las tres geomembranas, siendo la de más importancia la correspondiente al polipropileno. El “scanner” detecta, en todos los casos, superficies con cuarteamientos y notable microfisuración. La observación se ha llevado a cabo a los quince años de exposición al clima subtropical del sur de la isla de Tenerife.

La Figura 18 muestra el aspecto original por microscopía electrónica de barrido de la lámina de polipropileno que

forma parte de la impermeabilización de la balsa de La Contraviesa (Figura 19), en La Alpujarra granadina, donde el embalse se encuentra a una cota superior a los 1560 m. En la Figura 20 se presenta el aspecto de la lámina de PP por microscopía óptica a los doce años de instalada la geomembrana; se comprueba ya la existencia de un cuarteamiento incipiente. La Figura 21 presenta microfotografías de la geomembrana de PP tomadas mediante microscopio electrónico por su cara externa a 90 y 900 aumentos a los doce años de su puesta en obra.

4. CONCLUSIONES

Las técnicas microscópicas son de gran ayuda a la hora de dictaminar el estado de una geomembrana sintética en un determinado momento. Las voces críticas sobre estos métodos hablan de equipos económicamente caros, ahora bien, la mi-

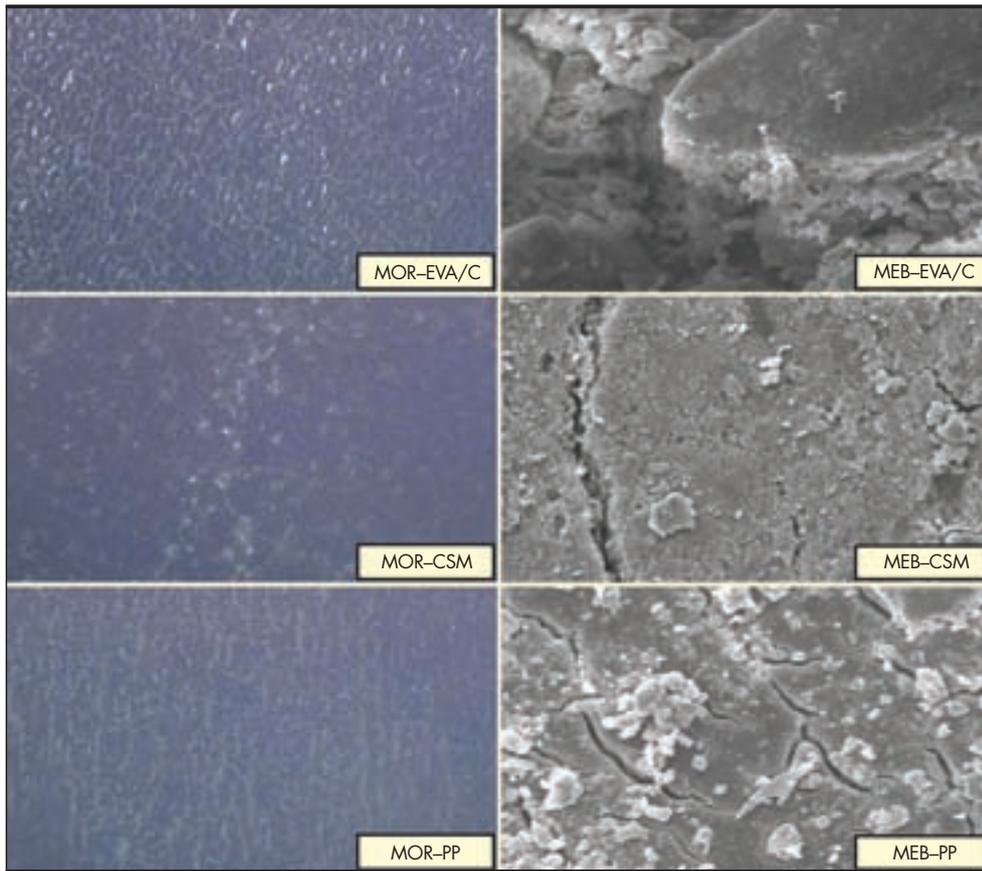


FIGURA 17. Microfotografías de la cara externa de las geomembranas de EVA/C, CSM y PP a los 15 años de instaladas.

croscopía electrónica de barrido sí lo es, pero no así la microscopía óptica que está al alcance de cualquier presupuesto, incluso en épocas de crisis. Del estudio realizado se podría comentar lo siguiente:

1. Las microfotografías analizadas de las geomembranas de distinta naturaleza indican que la exposición a las radiaciones UV procedentes del sol afectan de una manera notable a este tipo de materiales orgánicos. Esta influencia

empieza a notarse desde los primeros años de su instalación y se incrementa a medida que pasa el tiempo. Este fenómeno lo pone de manifiesto la gran diferencia de comportamiento entre la cara externa y la interna en contacto con el soporte, así como en probetas extraídas del fondo y las tomadas en la coronación de la balsa.

2. El efecto de las citadas radiaciones ultravioletas es mucho más importante en las geomembranas de tipo

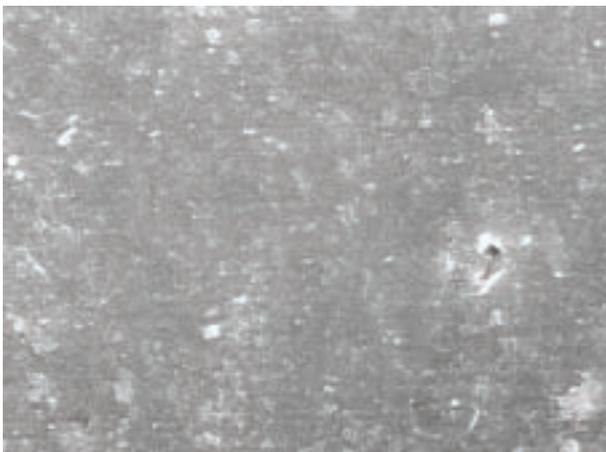


FIGURA 18. Superficie original de la geomembrana de polipropileno de la balsa de La Contraviesa, observada por microscopía electrónica de barrido.



FIGURA 19. Balsa de La Contraviesa impermeabilizada con una geomembrana de polipropileno.



FIGURA 20. Aspecto de la cara externa de la geomembrana de PP extraída de la balsa de La Contraviesa a los doce años de su instalación (MOR x 60).

termoplástico que en las de carácter termoestable, como los cauchos.

- Las técnicas aplicadas ponen de manifiesto la importancia de la orientación de la toma de muestras; puesto que al estar nuestro país ubicado en el hemisferio norte las probetas extraídas de la coronación de los taludes norte, esto es, orientadas hacia el ecuador, o lo que es lo mismo hacia el sur, son las que sufren un mayor deterioro y en menos tiempo.
- Por último, cabría comentar que los resultados alcanzados mediante la microscopía óptica de reflexión y la microscopía electrónica de barrido deben ser analizados con mucho cuidado, pues se pueden detectar microfisuras, microgrietas u otros efectos patológicos que no sean debidos a procesos de degradación y la etiología de los mismos habría que buscarla en el transporte del material, la toma de muestras o la preparación de las probetas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, E. & Blanco, M. 1995. Experience in Connection with the Performance of Plasticized poly(vinyl chloride) Sheeting in Tenerife Basin Sealing. *Proc. Symposium on Research and Development in the Field of Dams*: 361-375. Crans-Montana (Suiza).

Aguiar, E., Blanco, M., Vara, T., Soriano, J. y Armendáriz, V. 2010. Una década de experiencia en el comportamiento de una geomembrana de poliolefina elastomérica. *Proc. 3er Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3er Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*: 721-730. Barcelona.

Blanco, M. 2009. Experiencia española en el empleo de geomembranas en la impermeabilización de balsas. *III Seminario Portugués sobre geosintéticos*. Coimbra, noviembre.

Blanco, M., Aguiar, E., Cea, C. de, Castillo, F. y Soriano, J. 2010b. El polietileno en la impermeabilización de balsas. *Ing. Civil*: 159, 57-64.

Blanco, M. y Castillo, F. 1991. Control periódico de los materiales orgánicos utilizados en la impermeabilización de balsas de agua. *An. J. Eng. Estruct.*: 5, 115-125 Portoalegre (Brasil), noviembre.

Blanco, M., Castillo, F., García, F. y Soriano, J. 2010a. Las geomembranas sintéticas en la rehabilitación y mantenimiento de paramentos de presas. *Dam Maintenance and Rehabilitation II*. In Romeo et al. (eds.) Taylor & Francis Group: 335-341. London.

Blanco, M., Rico, G., Pargada, L., Aguiar, E., Castillo, F. y Crespo, M. A. 2010c. Influencia del tipo de plastificante en la durabilidad de las geomembranas de PVC-P. *Proc. 3er Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3er Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*, 347-357: Barcelona.

Blanco, M., Soriano, J., Aguiar, E. y Zaragoza, G. 2002. Análisis microscópico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses. *Ing. Civil*: 127, 51-59.

Cea, J.C. de, Asanza, E. y Blanco, M. 2002. Algunas ideas relativas a la protección e impermeabilización de paramentos de presas de hormigón. *Dam Maintenance & Rehabilitation*. In Llanos and col. (eds.). Editorial Balkema: 777-782 Rotterdam.

Cea, J. C. de y Blanco, M. 2005. Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de obras hidráulicas. *Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización*. Madrid, junio.

Crespo, M. A. 2011. Comportamiento de barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) a base de poli(cloruro de vinilo) plastificado de distinta formulación, instaladas en embalses. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de Madrid.

Giroud, J. P. & Touze-Foltz, N. 2003. Geomembranes for Landfills. *Geosynthetics International*: Vol. 10, Nº 4: 124-133.

Leiro, A., Blanco, M. y Zaragoza, G. 2002. Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs. *Geosynthetics 7th ICG*. In Delmas, Gourc & Girard (eds.). Editorial Balkema: 979-982 Rotterdam.

Mateos, S. 2010. Estabilización y restauración de vertederos en la región de Murcia. Sellado y construcción de un nuevo relleno sanitario en Santo Tomé y Príncipe. *Proc. 3er Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3er Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*: 173-180. Barcelona.

Ortega, J. J., Blanco, M. y Cuevas, A. 1984. Acción de las radiaciones U.V. sobre el poli(cloruro de vinilo) flexible. *Materiales de Construcción*: 34 (196), 43-48.

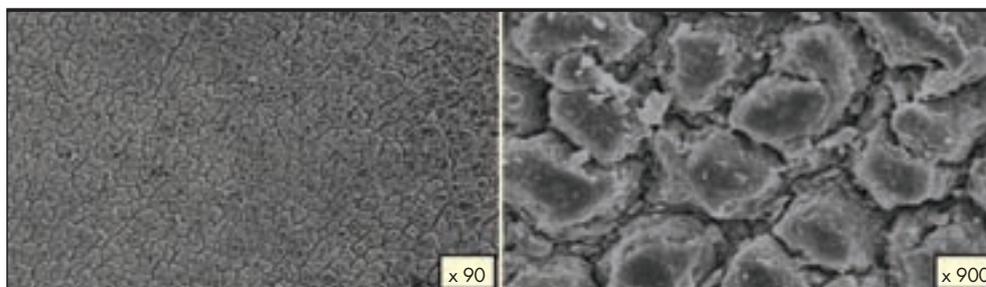


FIGURA 21. Microfotografías de la cara externa de la geomembrana de PP de la balsa de La Contraviesa a los doce años de su instalación por MEB a (x 90) y (x 900).

Ortega, J. J., Blanco, M., Cuevas, A. y Barba, C. 1985. Efecto de las radiaciones UV sobre el poli(cloruro de vinilo) plastificado. *Rev. Plast. Modernos*: 49 (346), 461-464.

Paroli, R. M., Rodríguez de Sancho, I., Blanco, M. y Dutt, O. 1992. Characterization of bitumens using high performance gel permeation chromatography and thermal analysis for improving performance of bitumen/polymer blends for waterproofing. *Proc. VIII Congreso Internacional. Asociación Internacional de la Impermeabilización*: 418-430. Madrid.

Rodríguez de Sancho, I., Blanco, M., Montero, L., Hernández, D. y Pargada, L. 1991. Nuevos métodos analíticos avanzados para investigación y desarrollo de materiales en Ingeniería Civil. *An. J. Eng. Estruct.* 5, 137-148. Portoalegre (Brasil), noviembre.

Soriano, J., Alaejos, P., Bermúdez, M. A., García Calleja, M. A. y Lanza, V. 2007. Estudio del hormigón de una presa afectada por una reacción álcali-árido. *Ing. Civil*: 146, 49-54.

Soriano, J., Blanco, M., Aguiar, E. y Burgos, J. 2010. La microscopía como método de análisis en el estudio de geomembranas sintéticas de PVC-P. *Proc. 3^{er} Congreso Nacional de*

Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3^{er} Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas: 411-422. Barcelona.

Soriano, J., Blanco, M., Aguiar, E. y Cea, J. C. de. 2006. Las técnicas de microscopía óptica de reflexión y electrónica de barrido en el conocimiento del estado de las geomembranas sintéticas. *Ing. Civil*: 143, 17-22.

Velasco, A., García Calleja, M. A. y Soriano, J. 2008. Aplicación de técnicas microscópicas en el estudio de la reactividad potencial de los áridos. *VIII Jornadas Españolas de Presas*. Córdoba, noviembre.

Zapata, F. A., Pérez, M. y Soriano, B. 2010. Impermeabilización con geomembrana de un embalse mixto (hormigón-materiales sueltos) en Orihuela (Alicante). *Proc. 3^{er} Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3^{er} Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*: 235-249. Barcelona.

Zornberg, J. G. 2010. Utilización de geosintéticos en vertederos. *Conferencia sobre utilización de geosintéticos en vertederos*. IGS y CEDEX, Madrid.