

Embalse de Buen Paso: seguimiento y patología de la geomembrana de PEAD

M. Blanco, A. M. Noval, C. García & A. Martín

Laboratorio Central de Estructuras y Materiales. (CEDEX). Ministerios de Fomento y Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid, España

E. Aguiar & T. Vara

BALTEN, Santa Cruz de Tenerife, España

J. G. Zornberg

The University of Texas at Austin, USA

Blanco, M., Noval, A.M., Garcia, C., Martin, A., Aguiar, E., Vara, T., and Zornberg, J.G. (2013). "Buen Paso Reservoir: Monitoring and Pathology of the HDPE Geomembrane." Proceedings of the 1st Iberic Conference on Geosynthetics, Geosintec Iberia 1, 05-06 November, Seville, Spain, pp. 147-154.

RESUMEN: En este trabajo se presenta el comportamiento de una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) instalada en el embalse de Buen Paso. Se han determinado las características de la geomembrana, inicialmente, y se han extraído muestras de forma periódica a lo largo de los años, tanto en coronación, como en la zona intermedia y en el fondo del embalse. Los análisis correspondientes han permitido seguir el comportamiento a lo largo del tiempo de la lámina. La obra es una reimpermeabilización pues anteriormente el embalse estaba impermeabilizado con una geomembrana de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P. Ante la dificultad de eliminar la lámina vinílica se ha colocado sobre la misma la geomembrana de PEAD. Recientemente, se han observado una serie de grietas en el PEAD como consecuencia de un "stress cracking" acelerado por la migración de plastificantes del PVC-P al PEAD y las elevadas temperaturas de la zona donde está enclavado.

1 INTRODUCCIÓN

Las geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD) son las más utilizadas en el campo de la impermeabilización tanto en obras hidráulicas como en vertederos (Giroud & Touze-Foltz 2003, Touze-Foltz 2009, 2012, Peggs 2012, Zornberg, 2010, Alonso & Moreno 2012). En España se empezaron a utilizar en Castilla-León y en Canarias (Blanco et al. 2012a). El material que hace unos veinte años era el más empleado en obra hidráulica fue el poli(cloruro de vinilo plastificado) PVC-P (Aguiar & Blanco 2005, Leiro et al.). Con el paso de los años, ciertas geomembranas vinílicas han alcanzado su vida útil y ha habido que proceder a una reimpermeabilización. La nueva lámina de impermeabilización en unos casos volvió a ser PVC-P, en otros PEAD y en menos ocasiones caucho terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM). La reimpermeabilización del embalse de Buen Paso se llevó a cabo con PEAD.

Después de haber determinado inicialmente las características de la geomembrana, se han extraído muestras de forma periódica a lo largo de los años, tanto en coronación, como en la zona intermedia y en el fondo del embalse. Los análisis correspondientes han permitido seguir el estado en que se encuentra la lámina (Blanco 2005, Blanco et al. 2008, 2012b). Este artículo presenta información sobre la aparición de una serie de grietas detectadas en la zona de coronación como consecuencia de un "stress

cracking" acelerado en el citado embalse de Buen Paso. Se presentan los resultados de los ensayos llevados a cabo y se intenta identificar las causas que han originado el "stress cracking".

2 EL EMBALSE

El embalse de Buen Paso se encuentra ubicado en Icod de los Vinos, en el norte de la isla de Tenerife y sus características principales se citan en la Tabla 1

Tabla 1. Características del embalse de Buen Paso

Ubicación	Icod de los Vinos
Capacidad, m ³	150,788
Altura, m	17.00
Cota de coronación, m	299.00
Perímetro de coronación, m	488.32
Caudales de desagüe, m ³ /s	
- Desagüe de fondo	0.245
- Tomas	0.036
- Aliviadero	0.080
Geomembrana	PEAD
Espesor geomembrana, mm	2.00
Material utilizado, m ²	19,631
Año de instalación	1995

El embalse fue construido en el año 1989 y se impermeabilizó con una geomembrana de PVC-P reforzada con un tejido de hilos sintéticos. Los resultados de las pruebas realizadas sobre dicha

geomembrana originalmente cumplían los requerimientos exigidos en aquella época para este tipo de materiales. Una vez instalada se llevó a cabo un seguimiento periódico de cuyos resultados se dedujo, a los seis años de su colocación, que habría que proceder a una reimpermeabilización del embalse por el mal estado en que se encontraba. Por ello, en el año 1995 se efectuó la reimpermeabilización.

A la hora de elaborar el proyecto se analizaron los pros y los contras de la eliminación de la lámina anterior o dejarla y colocar la nueva encima. Teniendo en cuenta que el embalse estaba situado en una isla, lejos de la metrópoli, la eliminación del material vinílico era difícil y encarecía notablemente la obra, por lo que se optó en dejar la vieja lámina y sobre ésta colocar la nueva lámina de PEAD.

3 COMPORTAMIENTO DE LA GEOMEMBRANA DE PEAD

Inicialmente se determinaron las características de la barrera geosintética polimérica antes de su instalación con objeto de comprobar su validez y, además, para tener los datos originales con el fin de realizar su control periódico, por lo que se han ido extrayendo muestras en diferentes zonas del embalse y se han repetido las pruebas, con objeto de comprobar la evolución de esas características a lo largo del tiempo. La metodología experimental empleada fue la desarrollada por la norma europea UNE-EN 13 361. Las pruebas de resistencia al punzonamiento se llevaron a cabo según tecnología desarrollada por parte del equipo del CEDEX y que hoy forma parte del acervo normativo español de AENOR. (Blanco et al. 1996, UNE 104 317).

Aunque los ensayos de resistencia a la tracción y alargamiento en rotura se han llevado a cabo tanto en sentido longitudinal como transversal, en el contexto y la brevedad de este trabajo, los resultados expuestos harán referencia, en todos los casos, al sentido longitudinal. Asimismo, las pruebas relacionadas con el impacto dinámico se efectuaron por ambas caras de las probetas, aunque aquí los datos serán los relativos a la perforación por la cara externa, es decir, tal como está colocada la geomembrana en el embalse.

Todas las pruebas realizadas originalmente han superado los requerimientos mínimos exigidos a este tipo de geomembrana de acuerdo al Manual de balsas (2010) redactado por el CEDEX a petición del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

3.1 Doblado a bajas temperaturas

Las probetas del material proveniente del embalse considerado se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas; para ello se doblaron sobre sí mismas un ángulo de 180°, después de permanecer 5

horas en una cámara frigorífica a una temperatura de -75°C. Posteriormente se observó si aparecían síntomas de agrietamientos, roturas u otras imperfecciones superficiales.

Todas las muestras ensayadas han superado la prueba, a excepción de la extraída en coronación al cabo de los 16 años de instalada la geomembrana.

3.2 Características de tracción

Los valores de la resistencia a la tracción y alargamiento en la rotura para las muestras de coronación y zona intermedia se presentan en las Figuras 1 y 2, respectivamente. Se puede constatar que la zona norte (con superficie expuesta a la dirección sur) es la de mayor influencia de las radiaciones solares, mientras que las muestras de la zona sur (con superficie expuesta al norte), prácticamente no sufren alteración hasta el momento. Las Figuras 3 y 4 muestran, respectivamente, el esfuerzo en el punto de fluencia y el alargamiento en dicho punto para materiales tomados en la coronación zona norte; se observa un ligero incremento en la carga y sin variaciones apreciables en el alargamiento.

La Tabla 2 muestra las características mecánicas y de perforación a los 16 años de instalada la geomembrana en distintos puntos del embalse, en función de la orientación y de la zona de extracción: coronación, intermitencias y sumergidas. De nuevo se pone de manifiesto que el talud norte es el más afectado por las radiaciones UV (Aguiar et al. 2002, 2003).

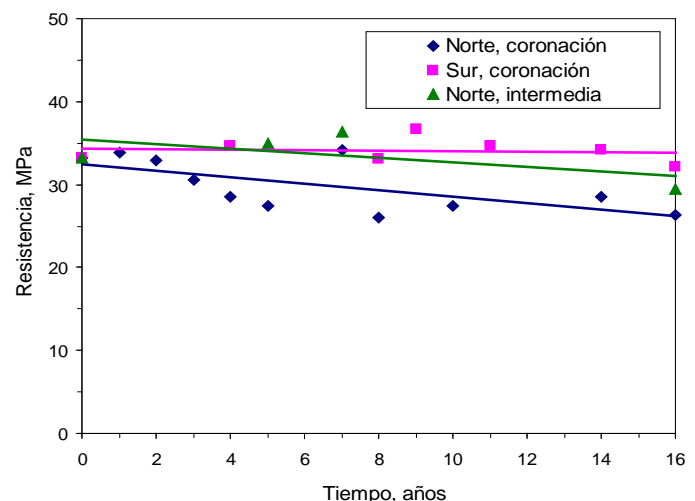


Figura 1. Resistencia a la tracción en función del tiempo para muestras de coronación y área intermedia.

3.3 Resistencia al desgarro

En la Figura 5 se muestra la evolución de la resistencia al desgarro de la geomembrana en material procedente del talud norte coronación a los dieciséis años a partir de su puesta en obra. No se observa una variación apreciable durante este periodo.

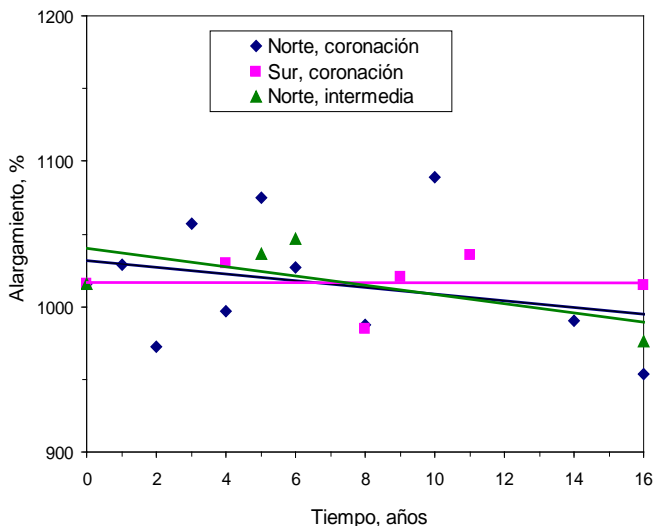


Figura 2. Alargamiento en la rotura en función del tiempo para muestras de coronación y área intermedia.

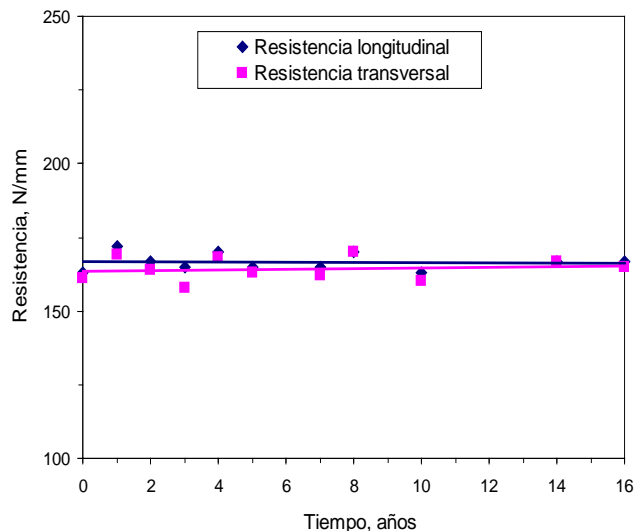


Figura 5. Resistencia al desgarro en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

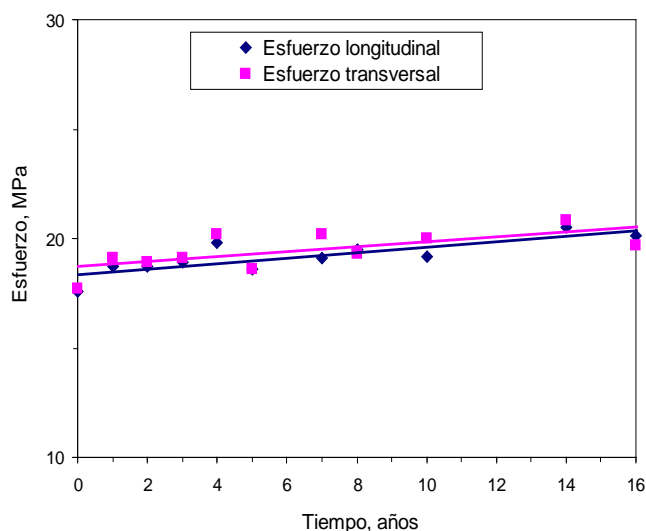


Figura 3. Esfuerzo en el punto de fluencia en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

3.4 Resistencia al impacto dinámico y estático

Las pruebas de resistencia mecánica a la percusión han mostrado resultados adecuados para la totalidad de las muestras, pues tras lanzar el percutor de 0.5 kg con extremo en forma de semiesfera de 12.7 mm de diámetro, desde una altura de 500 mm, la lámina no sufre perforación en la zona de impacto, como se pone de manifiesto al realizar una posterior prueba de estanquidad.

En las Figuras 6 y 7 se representa la variación de la resistencia al punzonamiento y el recorrido del punzón antes de perforar, respectivamente, para las muestras de geomembranas procedentes de la zona norte del embalse. A nivel general, tanto la resistencia a la perforación como el recorrido del percutor antes de perforar se incrementan, ligeramente, con el paso del tiempo. Es de destacar el incremento del mencionado recorrido, pues es una tendencia contraria a la observada en la mayoría de los materiales que constituyen las geomembranas sintéticas (Blanco 2012).

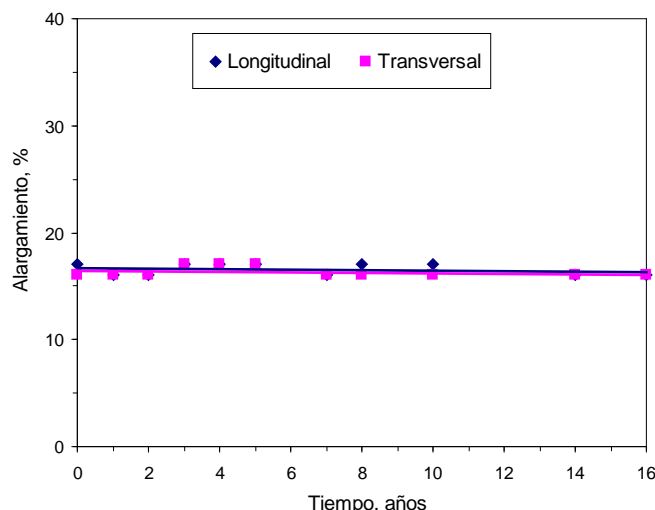


Figura 4. Alargamiento en el punto de fluencia en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

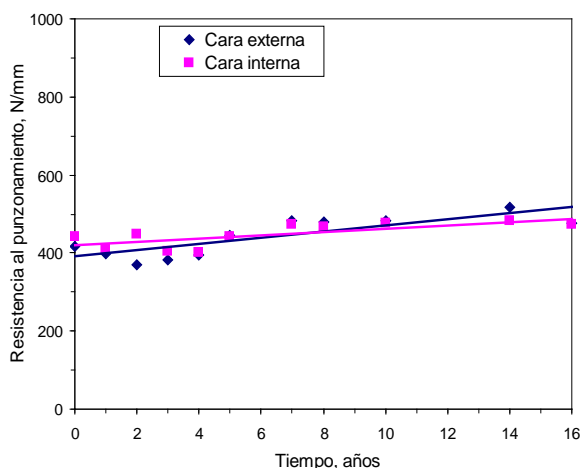


Figura 6. Resistencia al punzonamiento en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

Tabla 2. Características de la geomembrana de PEAD a los dieciséis años de instalada en el embalse de Buen Paso

Característica	Norte, coronación	Sur, coronación	Norte, intermedia	Norte, fondo	Sur, fondo
Resistencia a la tracción, MPa	26.4	34.2	29.5	35.5	35.5
Alargamiento en rotura, %	954	1015	976	1060	1079
Esfuerzo en el punto de fluencia, MPa	20.1	20.1	17.8	16.7	19.0
Alargamiento en el punto de fluencia, %	16	15	16	15	16
Resistencia al punzonamiento, N/mm	478	502	462	478	491
Recorrido del punzón antes de perforar, mm	12	11	12	11	11

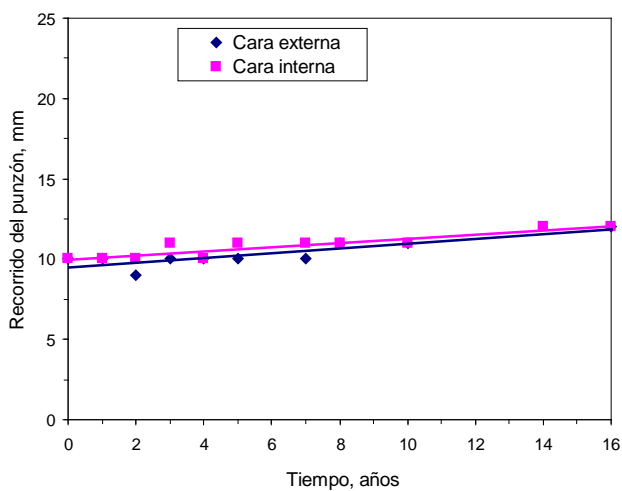


Figura 7. Recorrido del punzón antes de perforar en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

3.5 Negro de carbono

El contenido en negro de carbono ha sido 2.5 % y su dispersión es adecuada como se puede apreciar en la Figura 8.



Figura 8. Fotografía de la dispersión del negro de carbono.

3.6 Resistencia de las soldaduras

La resistencia de la soldadura determinada por el procedimiento de tracción, ha conducido a resultados adecuados, ya que las muestras rompen en el borde o en las proximidades de la soldadura, pero fuera de la unión propiamente dicha; los valores alcanzados, tanto de las uniones hechas por la vía térmica como en las de aportación, se presentan en la Figura 9. Al realizar la prueba por el procedimiento de pelado los valores alcanzados son muy elevados, sobrepasando en todos los casos los 1390N/50mm.

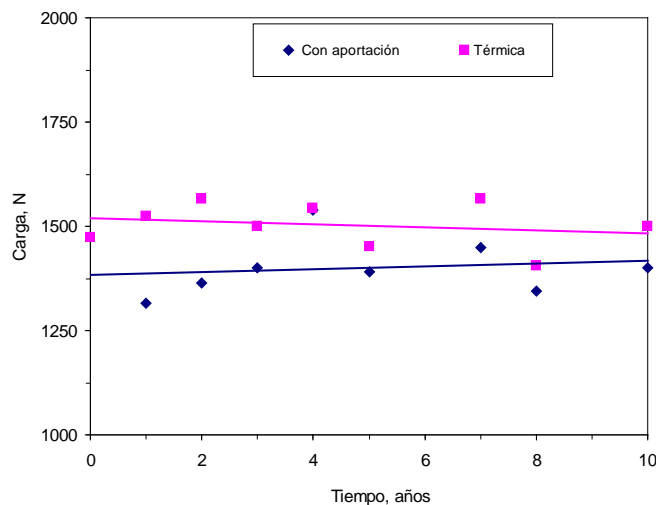


Figura 9. Resistencia de la soldadura por tracción en función del tiempo, en muestra de coronación, zona norte.

3.7 Análisis microscópico

La evaluación microscópica de la geomembrana de polietileno de alta densidad se ha efectuado en las condiciones experimentales indicadas en la bibliografía (Soriano et al. 2006, 2012, Blanco et al. 2002). Las microfotografías de la observación por microscopia óptica de reflexión (MOR) se han tomado a 40 y 60 aumentos con objeto de ver sus tex-

turas y morfología. La Figura 10 representa la cara externa a 40 aumentos de muestras de coronación, norte y sur, zona intermedia y áreas sumergidas. No se observan grandes efectos sobre el estado del material. Asimismo, se ha comprobado el estado de las citadas geomembranas a los dieciseis años de instaladas, por microscopia electrónica de barrido o “scanner” a 90 y 900 aumentos. La Figura 11 muestra el aspecto de los muestras en su cara externa a 90 aumentos, observándose el cuarteamiento en las zonas de coronación e intermedias. Las probetas ensayadas procedentes del norte coronación a 900 aumentos presentan microgrietas notables (Figura 12).

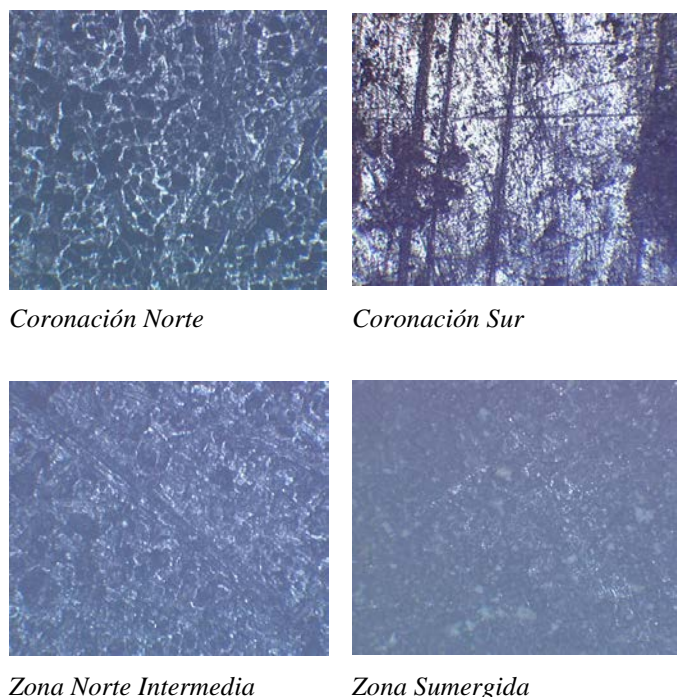


Figura 10. Microfotografías (x 40) de la cara externa de muestras de geomembrana de PEAD a los dieciseis años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

4 PATOLOGÍA DE LA GEOMEMBRANA

En este mismo año, en una de las visitas al embalse, se ha detectado una serie de agrietamientos en el área de coronación, concretamente en la zona de mayor tensión de la lámina (Figura 13). Al tomar muestras de la geomembrana se observó lo siguiente:

- La lámina de PEAD estaba en contacto con la antigua de PVC-P.
- Los plastificantes de la geomembrana vinílica habían migrado a la geomembrana poliolefínica, con el consiguiente deterioro de la misma.
- La temperatura de la zona de contacto entre láminas era muy elevada, quizás debido, por

un lado a un proceso químico exotérmico producido entre los ftalatos y el PEAD y, por otro, al aire caliente interlaminar que tiene tendencia a subir a la zona alta de coronación.

- En algunos casos, donde había una pequeña piedra en el soporte, se producía un cuarteamiento mayor. (Figura 14).

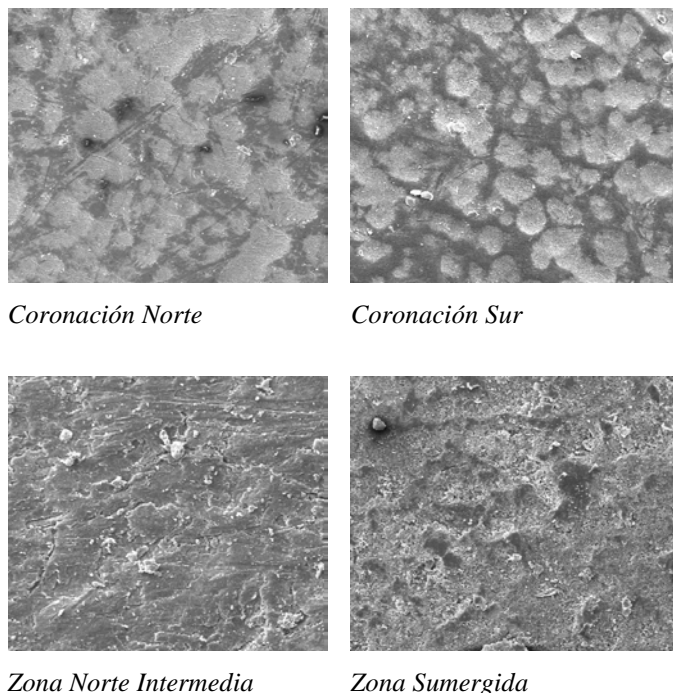


Figura 11. Microfotografías (x 90) de la cara externa de muestras de geomembrana de PEAD a los dieciseis años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.

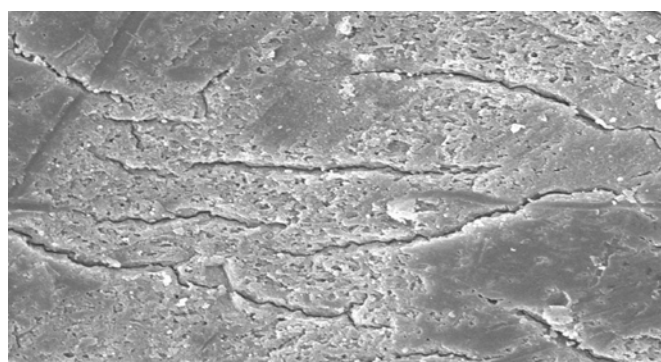


Figura 12. Microfotografía (x 900) de la cara externa de la muestra de geomembrana de PEAD extraída en la coronación del talud norte, a los dieciseis años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.



Figura 13. Agrietamiento en la geomembrana de PEAD.



Figura 14. Cuarteamiento de la geomembrana en la zona en contacto con una piedra del soporte.

La migración de plastificantes además de al aire y a un líquido, puede tener lugar a un sólido (Stark et al. 2005) este hecho lo demuestran los resultados alcanzados cuando se coloca un babero de protección en coronación para evitar la degradación del PVC-P y soldar en esa área cuando se lleve a cabo una reimpermeabilización. A este equipo de trabajo le sucedió en el embalse de San Antonio, en el norte de Canarias cuando se comprobó que la membrana cubierta por el babero de PVC-P tenía un mayor contenido en plastificantes que inicialmente. (Papakonstantinou & Papaspyrides 1994, Blanco et al. 2005, 2006).

Por otro lado, hace unos años, cuando en la normativa española se llevaba a cabo la migración de plastificantes se ensayaba primero sobre carbón activo y luego sobre poliestireno expandido o polietileno, por ser materiales de gran tendencia a captar plastificantes. Esto confirma que los plastificantes migraran del PVC-P al PEAD en el embalse de Buen Paso.

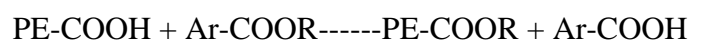
La migración de plastificantes está favorecida por las altas temperaturas lo que, en Canarias, están aseguradas durante todo el año.

El “stress cracking” de una geomembrana de polietileno de alta densidad (Hsuan 2000) se ve favorecido por las altas temperaturas, la presencia de plastificantes y la sollicitaciones de la misma. Las tensiones en esa zona del talud son altas y el caso de la zona del guijarro acelera este proceso.

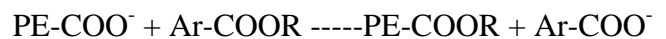
La determinación del agrietamiento por esfuerzos medioambientales o “stress cracking” condujo a unos valores del tiempo hasta la rotura en medio ambiente activo de 31.46 h en sentido longitudinal y 32.40 h en sentido transversal, lo que indica el mal estado de la geomembrana.

Por otra parte, una geomembrana de PEAD además de la resina lleva una serie de aditivos entre los que destacan los absorbentes de luz UV y los antioxidantes. Estos últimos tienden a desaparecer con el tiempo (Peggs 1996, Verdú et al. 2007, Rowe & Rimal 2008); su misión es evitar o reducir los radicales libres que se forman en contacto con la luz solar o la temperatura y que darían lugar a unas reacciones homolíticas o radicáticas que destruirían el material rápidamente. En ese proceso de degradación a medida que se van consumiendo estos antioxidantes se van formando en la cadena macromolecular una serie de productos como son hidroperóxidos, compuestos hidroxílicos (alcoholes), aldehídos y cetonas y, finalmente, el último grado de oxidación de la cadena orgánica, es decir la formación de ácidos carboxílicos y carboxilatos (Pons 2012).

Con el tiempo que lleva instalada la geomembrana y en el clima donde está ubicado el embalse es de suponer la formación de estos últimos productos de oxidación. Si se tiene en cuenta que los ftalatos son ésteres podrían reaccionar con los ácidos carboxílicos o sus sales, mediante reacciones de esterificación o transesterificación:



o bien:



Todo ello explicaría los agrietamientos formados en la geomembrana de PEAD.

5 CONCLUSIONES

- Las pruebas realizadas originalmente sobre la geomembrana de PEAD han superado los requisitos exigidos a una lámina para ser utilizada en la impermeabilización de embalses.
- Al cabo de los 16 años de control periódico de la geomembrana, solo se ha observado la rotura de algunas probetas procedentes de la coronación en el ensayo de doblado a bajas temperaturas. Por lo que atañe a las caracte-

rísticas mecánicas es destacar que el peor comportamiento corresponde al talud norte, de mayor incidencia de las radiaciones UV y el mejor, a las muestras extraídas del fondo del embalse.

- La microcopia óptica de reflexión no detecta deterioros importantes en la geomembrana; sin embargo, en la microscopia electrónica de barrido se observa un cuarteamiento superficial, con incluso agrietamiento en las muestras de coronación.
- Las pruebas de “stress cracking” han conducido a valores extremadamente bajos en los tiempos transcurridos hasta la rotura en medio ambiente activo.
- El agrietamiento observado en la geomembrana en su área de coronación, aparte de verse favorecido por las altas temperaturas ambientales y la tensión de la zona fue también favorecido por la migración de plastificantes del PVC-P al PEAD que conducen a una serie de procesos químicos exotérmicos que originaron este tipo de patología.

6 AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su reconocimiento al Dr. Ian D. Peggs de I-CORP INTERNATIONAL, Inc. de Ocean Ridge, Florida (USA) por los comentarios a la patología estudiada. Asimismo, se hace extensivo este reconocimiento a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Medio Ambiental de la Universidad Politécnica de Valencia y, en especial, al Dr. Batiste Torregrosa, por animarnos a escribir este artículo. Además, se quiere dar las gracias a D. Carlos Risco de Siverune 104, por la colaboración recibida en la realización de este trabajo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar E. y Blanco, M. 1995. Experience in Connection with the Performance of Plasticized poly(vinyl chloride) Sheet in Tenerife Basin Sealing. *Proc. Symposium on Research and Development in the Field of Dams*: 361-375. Crans-Montana (Suiza), septiembre.
- Aguiar, E., Blanco, M., Romero, A., Sacristán, A., Soriano, J. y Vara, T. 2002. Efectos de la orientación en la degradación del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana sintética en la impermeabilización del embalse de la Cruz Santa. *Aislamiento e impermeabilización*: 24, 14-21.
- Aguiar, E., Blanco, M., Soriano, J. y Vara, T. 2003. Influencia de la orientación en la degradación del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana sintética en la impermeabilización del embalse de La Tabona. *Ing. Civil*: **130**, 95-103.
- Alonso, J. & Moreno, J., 2012. Landfill for declassified hazardous waste at Son Reus (Majorca): Design and construction, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.:* Vol. 5: 37-40 (electronic proceedings) Vol. 2: 1269-1272 (printed volumes). Valencia, septiembre.
- Blanco, M. 2005. Evolución de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses españoles. *Proc. I Seminário Português sobre geosintéticos*, 147-159. Oporto (Portugal), noviembre
- Blanco, M. 2012. Spanish experience in the use of synthetic geomembranes for hydraulic works. Keynote Lecture, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.:* 7-23 (electronic proceedings), Vol. 1, XXI-XXXIX (printed volumes). Valencia, septiembre.
- Blanco, M., Castillo, F., García, F., Mateo, B., Solera, R., García, C., Cea, J. C. de y García-Wolfrum, S. 2012b. Monitoring of synthetic geomembranes used for waterproofing in hydraulic works, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.:* , Vol. 2: 64-69 (electronic proceedings) Vol. 1: 274-279 (printed volumes). Valencia, septiembre.
- Blanco, M., Castillo, F. Soriano, J., García, F. Mateo, B., Aguiar, E., Norriella, R. y García Cerezo, P. 2012a. Evolution of HDPE polymeric geosynthetic geomembranes installed in reservoirs, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.:* Vol. 1: 44-51 (electronic proceedings) Vol. 1: 39-46 (printed volumes). Valencia, septiembre.
- Blanco, M., Cuevas, A., Castillo, F. y Aguiar, E. 1996. Puesta a punto de una nueva metodología experimental para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas. *Ing. Civil*: **103**, 65-69.
- Blanco, M., García, F., Cea, J.C. de y Sánchez, F. J. 2008. Impermeabilización de balsas con geomembranas sintéticas: control y seguimiento. *Aislamiento e impermeabilización* **26**, 38-46.
- 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.
- Giroud, J. P. & Touze-Foltz, N. 2003. Geomembranes for Landfills. *Geosynthetics International*. Vol. 10, Nº 4: 124-133.
- Gobierno de España. Ministerios de Fomento y de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010. Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas. CEDEX. Madrid.
- Hsuan, Y. G. 2000. Date base of filed incidents used to establish HDPE geomembrana stress crack resistance specification. *Geotextiles and Geomembranes*. Vol. 20, 63-76.
- Leiro, A., Blanco, M. y Zaragoza, G. 2002. Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs. *Geosynthetics 7th ICG, Delmas, Gourc & Girard (Eds.) Editorial Balkema*, 979-982. Rotterdam (Holanda)
- Papakonstantinou, V. y Papaspyrides, C. D. 1994. Plasticizer migration from plasticized into unplasticized poly (vinyl chloride). *Journal of Vinyl Technology*:16, nº 4, 192-196.
- Peggs, I. D., 1996. Defect Identification, Leak Location, and Leak Monitoring in Geomembrane Liners. *Proceedings of Geosynthetics: Applications, Design and Construction (Eurogeo1)*, Balkema: 611-618. Rotterdam.
- Peggs, I. D., 2012. HDPE geomembrane destructive seam testing , cyclic stress cracking and action leakage rates: a view from the other side of de pond, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.:* Vol. 5: 232-236 (electronic proceedings) Vol. 2: 1462-1466 (printed volumes). Valencia, septiembre.
- Pons C. 2012. Durabilité des géomembranes en polyéthylène haute densité utilisées dans les installations de stockage de

- déchets non dangereux. Tesis *Doctoral*. Université Paris-Est. Paris
- Rowe, R. K. y Rimal, S. 2008. Depletion of antioxidants from an HDPE geomembrane in a composite liner. *J. of Geotech. Geoenviron. Eng.*: **134**(1), 68-78.
- 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.
- Soriano, J., Blanco, M., García, M. A., Leiro, A., Mateo, B., Burgos, J., Aguiar, E. y Rubín de Célix, M. 2012. Optical and scanning electron microscopy as advanced analysis methods to determine the condition of synthetic geomembranes, in Blanco et al. (Eds.) *Eurogeo5*, Ed. R. B. Servicios Editoriales, S. L.: Vol. 2, 266-273 (electronic proceedings) Vol. 1: 475-482 (printed volumes). Valencia, septiembre
- Stark, T. D.; Choi, H. y Diebel, P. W. 2005. Influence of plasticizer molecular weight on plasticizer retention in PVC geomembranes. *Geosynthetics International* **12**, N° 2, 99-110.
- riales, S. L.: 29-47 (electronic proceedings) Vol. 1: XLVII-LXVII (printed volumes). Valencia, septiembre.
- UNE-EN 13 361:2005 Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de embalses y presas.
- UNE 104 307:2011. Materiales sintéticos. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas.
- Verdú, J., Colin, X., Fayolle, B. y Audouin, L. 2007. Methodology of lifetime prediction in polymer aging. *Journal of Testing & Evaluation (ASTM)*, Vol. 35, 289-296.
- Zornberg, J. G. 2010. Utilización de geosintéticos en vertederos. *Conferencia sobre geosintéticos. IGS y CEDEX*, Madrid.

- Touze-Foltz, N. 2009. Outstanding issues regarding the Use of Geosynthetics in Landfills. *Proc. III Seminário Português sobre geossintéticos*. Coimbra.
- Touze-Foltz, N. 2012. Performance of geosynthetics for environmental protection in Landfills. *Keynote Lecture, in Blanco et al. (Eds.) Eurogeo5*, Ed. R. B. Servicios Edito-