

# Evolución de la barrera geosintética polimérica de polietileno de alta densidad (PEAD) instalada en la balsa de Plá de Sant Jordi<sup>1</sup>

MANUEL BLANCO (\*), ENRIQUE SANTARRUFINA (\*\*), FRANCISCA CASTILLO (\*\*\*),  
JESÚS SORIANO (\*\*\*\*) y FLORENCIO GARCÍA (\*\*\*\*\*)

**RESUMEN** En el año 1989 el antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación construyó en el municipio de Palma de Mallorca la balsa de Plá de Sant Jordi que se impermeabilizó con una barrera geosintética polimérica a base de polietileno de alta densidad (PEAD). El Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX viene realizando el seguimiento de dicha geomembrana extrayendo muestras, periódicamente, en distintas zonas de la balsa para comprobar su estado de conservación. Se presentan los resultados relativos a sus propiedades más importantes desde el punto de vista de su evolución en el tiempo que hacen referencia a resistencia a la tracción, esfuerzo en el punto de fluencia, alargamiento en rotura y en el punto de fluencia, resistencia al desgarro, resistencia al punzonamiento estático, doblado a bajas temperaturas, dureza Shore-D, resistencia mecánica a la percusión, resistencia de la soldadura tanto por tracción como por pelado, contenido y dispersión de negro de humo, microscopía óptica de reflexión y microscopía electrónica de barrido.

## EVOLUTION OF THE POLYMER GEOSYNTHETIC BARRIER OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) INSTALLED ON THE RESERVOIR OF PLÁ DE SANT JORDI

**ABSTRACT** In 1989 the old Ministry of Agriculture, Fishing and Food built the reservoir of Plá de Sant Jordi, where it used a polymer geosynthetic barrier based on high density polyethylene (HDPE) in the municipality of Palma de Mallorca. The Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX ongoing monitoring of the geomembrane extracting samples, periodically, in different parts of the reservoir to check their state of conservation.

Relating to their most important properties results are presented from the point of view of its evolution in the time referring to tensile strength, effort at the point of yield point, elongation at break and at the yield point, tear resistance, dynamic impact, low temperatures folding, puncture resistance, Shore-D hardness, joint strength (shear and peeling test), content and dispersion of carbon black and, reflection optical microscopy and scanning electron microscopy.

**Palabras clave:** Geomembrana, Impermeabilización, Polietileno.

**Keywords:** Geomembrane, Waterproofing, Polyethylene.

### 1. INTRODUCCIÓN

El polietileno de alta densidad se está empleando, con profusión, en España desde hace dos décadas y, en la actualidad, es

la geomembrana sintética más utilizada. Las balsas más antiguas se ubicarían, quizás, en la Comunidad de Castilla-León; no obstante, Balsas de Tenerife (BALTEN) construiría, en el año 1991, las dos primeras estructuras con este material en el

(1) Parte de este artículo constituyó una comunicación al III Simposio Nacional sobre Proyecto, Construcción e Impermeabilización de Balsas celebrado en el ámbito del III Congreso Nacional de Impermeabilización (Barcelona, 2010).

(\*) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Email: mblanco@cedex.es

(\*\*) Ingeniero Agrónomo. Coordinador de Obras y Proyectos en las Islas Baleares. Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Email: esantarr@mapya.es

(\*\*\*) Doctora en Ciencias Químicas. Jefe de Servicio del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Email: Francisca.Castillo@cedex.es

(\*\*\*\*) Doctor en Ciencias Geológicas. Coordinador Técnico Científico. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Email: Jesús.Soriano@cedex.es

(\*\*\*\*\*) Ingeniero Técnico en Topografía. Jefe Sección Técnica. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Email: fgarcia@cedex.es



**FIGURA 1.** Geomembrana de PEAD en la balsa de Plá de Sant Jordi.

sur de la isla concretamente, las de San Isidro y Valle de San Lorenzo. Posteriormente, Baleares, Andalucía, Comunidad Valenciana, Región de Murcia, Levante, País Vasco, La Rioja, Galicia y Castilla La Mancha seguirían el ejemplo.

En este caso, nos centraremos, en la balsa de Plá de Sant Jordi, cuya impermeabilización con polietileno de alta densidad (PEAD) es de las pioneras en nuestro país (Figuras 1 y 2). Su construcción se debe a la iniciativa del antiguo Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; el

agua que almacena es depurada y su utilización es para regadío.

La evaluación periódica de la geomembrana que forma parte del sistema impermeabilizante de esta balsa lo está realizando el CEDEX como consecuencia del convenio establecido con la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Este trabajo, junto con los realizados con BALTEN, constituye un hito en el conocimiento del comportamiento a la intemperie de geomembranas de PEAD (1-6).



**FIGURA 2.** Entrada de aguas.



**FIGURA 3.** Toma de agua flotante.

En este artículo, se presenta el comportamiento en el tiempo de la geomembrana de PEAD instalada en la balsa de Plá de Sant Jordi (Palma de Mallorca). La metodología experimental empleada se encuentra ampliamente detallada en la bibliografía científica (7-10). Las pruebas realizadas durante el mencionado control periódico fueron las siguientes:

- Espesores.
- Características de tracción.
- Resistencia al desgarro.
- Dureza Shore-D.
- Doblado a bajas temperaturas.
- Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico).
- Resistencia a la perforación (Impacto estático).
- Contenido en negro de humo.
- Dispersión del negro de humo.
- Resistencia de la soldadura por tracción.
- Resistencia de la soldadura por pelado.
- Microscopia óptica.
- Microscopia electrónica de barrido.

## 2. LA Balsa

Las Islas Baleares constituyen una de las zonas españolas donde la construcción de balsas es un fenómeno importante. La isla de Menorca cuenta con las balsas de Es Mercadal, Ciudadela Sur y, en proyecto, Es Castell. Ibiza tiene la balsa de Sa Rota, inicialmente impermeabilizada con poli(cloruro de vinilo) plastificado y reimpermeabilizada con polietileno de alta densidad. En la isla de Formentera existe un proyecto avanzado de construcción de otra balsa. En Mallorca hay una serie de balsas como Capdepera, Inca, Peguera, en construcción Artá y en proyecto Lluchmajor. Todas las bal-

sas mencionadas tienen como base de la impermeabilización al polietileno de alta densidad, como lo tiene la de Plá de Sant Jordi en el ayuntamiento de Palma de Mallorca que se construyó en el año 1989 (Figuras 3 y 4) y cuyas características son las siguientes:

|   |               |
|---|---------------|
| • Capacidad, m <sup>3</sup>                     | 360.000       |
| • Altura, m                                     | 7,5           |
| • Pendiente de los taludes                      | 2/1           |
| • Perímetro de coronación, m                    | 1.100         |
| • Cota, m                                       | 22            |
| • Naturaleza de la geomembrana                  | PEAD          |
| • Espesor, mm                                   | 1,50          |
| • Cantidad de material empleado, m <sup>2</sup> | 106.000       |
| • Geotextil utilizado                           | Polipropileno |



**FIGURA 4.** Balsa de Plá de Sant Jordi, zona este.

### 3. EXPERIMENTAL

Las muestras de geomembrana extraídas a lo largo de los doscientos treinta y cuatro meses que lleva instalada, han conducido a resultados correctos al efectuar la prueba de doblado a bajas temperaturas (-75°C), ya que no se han detectado roturas, agrietamientos u otros síntomas de deterioro en la zona de la flexión.

El ensayo de resistencia mecánica a la percusión ha sido superado por las muestras ensayadas, 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 barrera geosintética polimérica no sufre perforación en la zona de impacto, como se pone de manifiesto al realizar una posterior prueba de estanquidad.

En la Figura 5 se presenta la evolución de la resistencia a la tracción, mientras que en la Figura 6 se muestra el esfuerzo en el punto de fluencia. Las Figuras 7 y 8, reflejan, respectivamente, el alargamiento en la rotura y en el punto de fluencia

al cabo de los 234 meses de instalada la geomembrana sintética polimérica.

Las Figuras 9 y 10 muestran la variación de la resistencia al desgarro y de la dureza Shore-D, respectivamente, a lo largo del tiempo.

Las Figuras 11 y 12 presentan el comportamiento de la resistencia a la perforación o punzonamiento estático; en la primera de ellas aparecen los valores de carga y, en la segunda se presenta el recorrido del percutor antes de perforar

En todos los casos, las propiedades evaluadas no experimentan variaciones demasiado importantes a lo largo del tiempo transcurrido.

Al llevar a cabo la resistencia de la soldadura por tracción, las probetas han roto en el borde o en las proximidades de la unión, pero fuera de la soldadura propiamente dicha. Los valores alcanzados son bastante elevados como se comprueba en la Tabla 1. Asimismo, la resistencia al pelado presenta unos valores bastante altos como se puede observar en

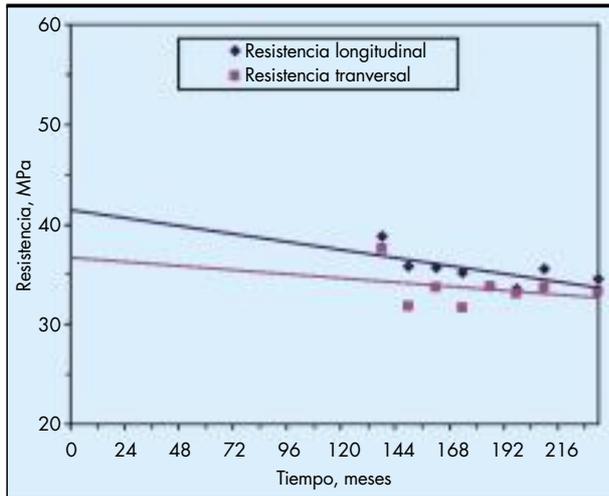


FIGURA 5. Evolución de la resistencia a la tracción, en función del tiempo.

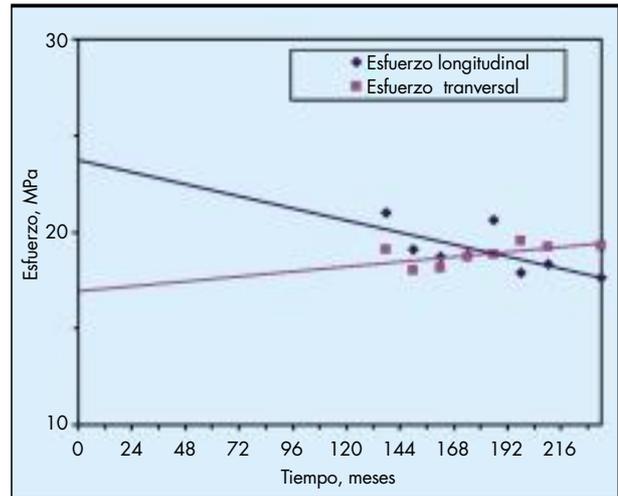


FIGURA 6. Evolución del esfuerzo en el punto de fluencia, en función del tiempo.

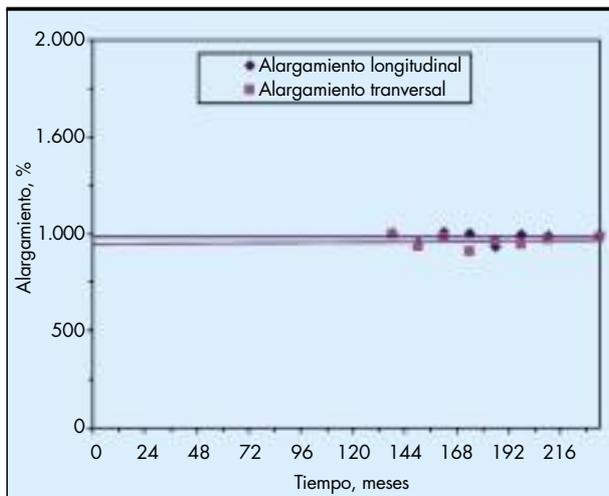


FIGURA 7. Evolución del alargamiento en rotura, en función del tiempo.

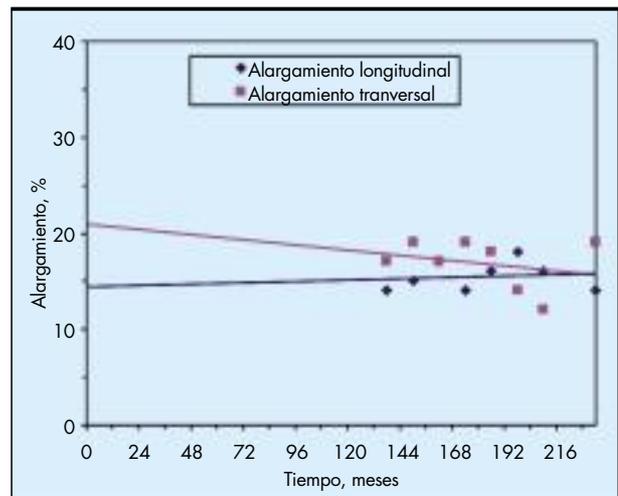


FIGURA 8. Evolución del alargamiento en el punto de fluencia, en función del tiempo.

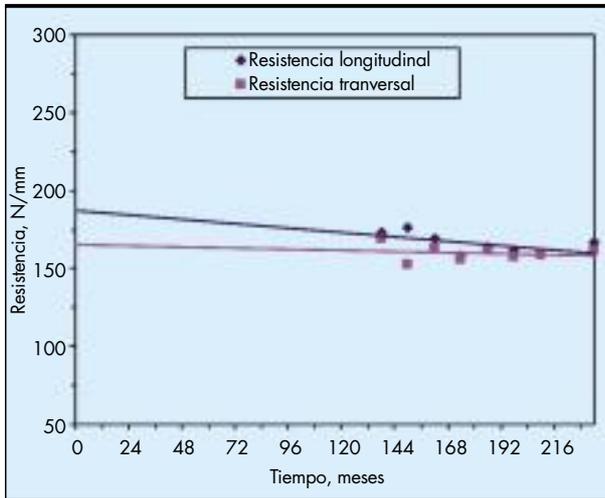


FIGURA 9. Evolución de la resistencia al desgarro, en función del tiempo.

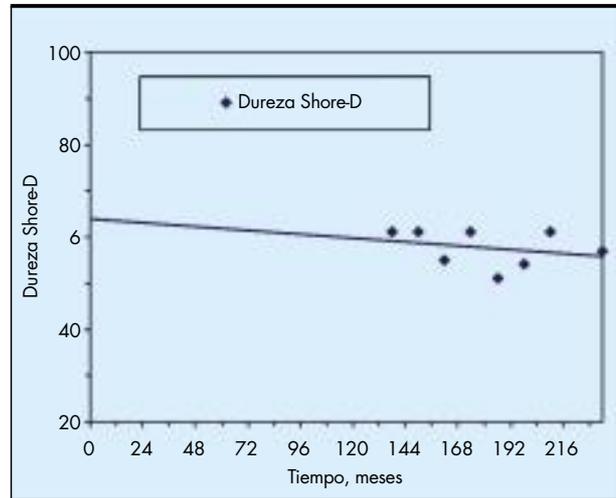


FIGURA 10. Variación de la dureza Shore-D, en función del tiempo.

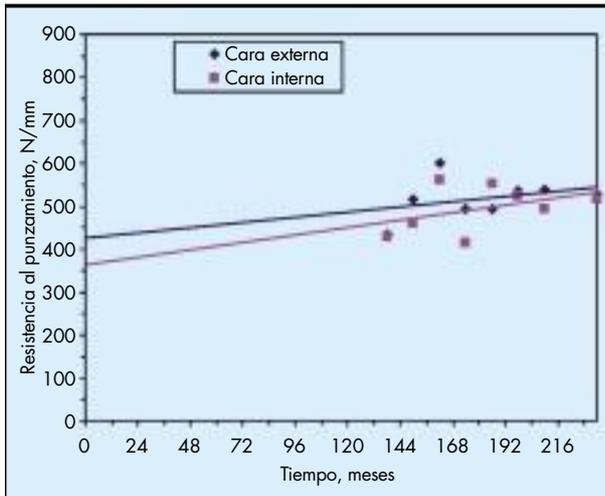


FIGURA 11. Evolución de la resistencia al punzamiento, en función del tiempo.

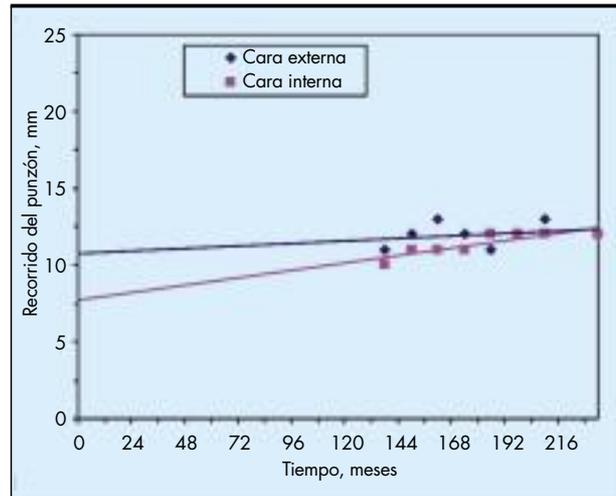


FIGURA 12. Evolución del recorrido del punzón antes de la perforación, en función del tiempo.

TABLA 1. Evolución de la resistencia de la soldadura por tracción.

| Meses transcurridos desde la instalación | Carga en soldadura, N   |           | Variación de carga, %   |           |
|--|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|
|  | En el punto de fluencia | En rotura | En el punto de fluencia | En rotura |
| 138                                      | 1.429                   | 1.233     | —                       | —         |
| 150                                      | 1.427                   | 1.070     | 0,1                     | 13,2      |
| 162                                      | 1.405                   | 1.140     | 1,7                     | 7,5       |
| 234                                      | 1.544                   | 1.125     | -8,0                    | 8,8       |

| Meses transcurridos desde la instalación | Resistencia al pelado, N/50 mm | Variación de la resistencia al pelado, % |
|--|--------------------------------|--|
| 138                                      | 1.154                          | —  |
| 150                                      | 1.225                          | -6,2                                     |
| 234                                      | 1.242                          | -7,6                                     |

TABLA 2. Evolución de la resistencia de la soldadura por pelado.

la Tabla 2. En ambos casos los datos se refieren a extracciones efectuadas en la zona norte de coronación.

Las geomembranas de elastómeros, por su carácter termoestable o temoendurecible, no experimentan grandes cambios en sus propiedades en función de la orientación de los taludes. En cambio, en ciertos termoplásticos, y en especial en el poli(cloruro de vinilo) plastificado este fenómeno influye de forma considerable en su degradación. Sin embargo, en el

| Característica                                     | Orientación del talud |       |       |       |
|--|-----------------------|-------|-------|-------|
|  | Norte                 | Sur   | Este  | Oeste |
| Dureza Shore-D                                     | 57                    | 61    | 54    | 51    |
| Doblado a -75°C                                    | Bien                  | Bien  | Bien  | Bien  |
| Resistencia al impacto                             | Bien                  | Bien  | Bien  | Bien  |
| Resistencia a la tracción, MPa                     |                       |       |       |       |
| Longitudinal                                       | 33,3                  | 35,6  | 33,5  | 33,8  |
| Transversal  | 34,6                  | 33,7  | 33,1  | 33,8  |
| Esfuerzo en el punto de fluencia, MPa              |                       |       |       |       |
| Longitudinal                                       | 19,3                  | 18,3  | 19,5  | 20,6  |
| Transversal  | 17,6                  | 19,2  | 17,9  | 18,8  |
| Alargamiento en rotura, %                          |                       |       |       |       |
| Longitudinal                                       | 994                   | 988   | 968   | 995   |
| Transversal  | 985                   | 974   | 935   | 949   |
| Alargamiento en el punto de fluencia, %            |                       |       |       |       |
| Longitudinal                                       | 19                    | 16    | 18    | 18    |
| Transversal  | 14                    | 12    | 14    | 16    |
| Resistencia al desgarro, N/mm                      |                       |       |       |       |
| Longitudinal                                       | 167                   | 159   | 161   | 164   |
| Transversal  | 161                   | 159   | 157   | 162   |
| Resistencia al punzonamiento, N/mm                 |                       |       |       |       |
| Cara externa                                       | 528                   | 538   | 536   | 554   |
| Cara interna                                       | 516                   | 494   | 526   | 494   |
| Recorrido del percutor antes de la perforación, mm |                       |       |       |       |
| Cara externa                                       | 12                    | 13    | 12    | 11    |
| Cara interna                                       | 12                    | 12    | 12    | 12    |
| Resistencia de la soldadura, N/50 mm               |                       |       |       |       |
| Por tracción                                       | 1.125                 | 1.130 | 1.110 | 1.050 |
| A pelado   | 1.242                 | 1.200 | —     | 1.115 |

TABLA 3. Características de la geomembrana en función de la orientación al cabo de los dieciocho años de su instalación.

caso del polietileno de alta densidad la variación de características no es importante como se puede comprobar en la Tabla 3, con datos obtenidos al cabo de los dieciocho años de la instalación de la barrera geosintética.

La estabilidad frente a las condiciones atmosféricas que se comentan están confirmadas, asimismo, por las pruebas microscópicas (11). Así, en la Figura 13 se puede comprobar el buen estado de la geomembrana al cabo de los dieciocho años de insta-

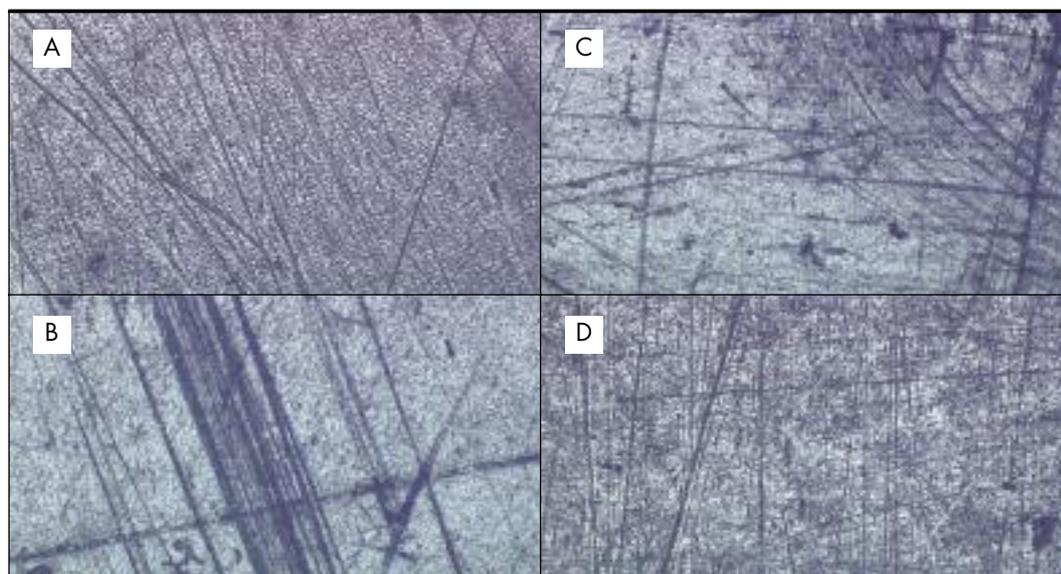
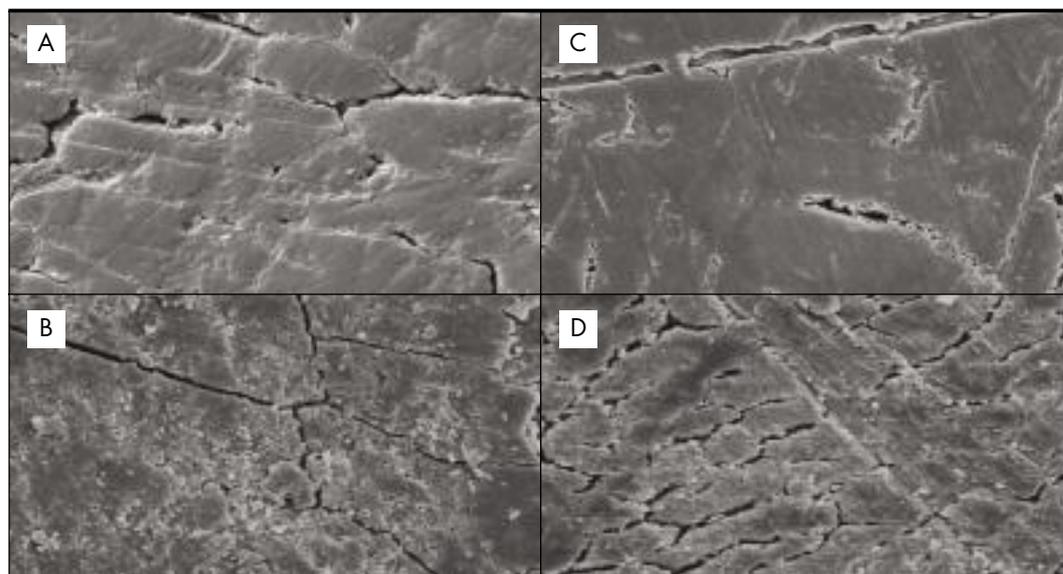


FIGURA 13. Microfotografías (x60) de la cara interna de las geomembranas de PEAD a los dieciocho años de su instalación por microscopía óptica de reflexión. A. Norte B. Sur C. Este D. Oeste.

**FIGURA 14.**  
Microfotografías (x900) de la cara externa de las geomembranas de PEAD a los dieciocho años de su instalación por microscopía electrónica de barrido  
A. Norte  
B. Sur  
C. Este  
D. Oeste.



lada; la observación se ha llevado a cabo por microscopía óptica de reflexión y ha sido tomada a 60 aumentos por la cara interna; no existen diferencias apreciables según la orientación del talud. Se ha observado una superficie homogénea y uniforme con estrías de contacto con el soporte. La Figura 14 presenta las mismas muestras sometidas a microscopía electrónica de barrido o "scanner" a 900 aumentos; en esta ocasión por su cara externa. Se detectan microgrietas como consecuencia del paso del tiempo y del envejecimiento producido por las radiaciones solares.

En la determinación del contenido en negro de humo se ha obtenido un valor de 2,5%, que es correcto para este tipo de material. Asimismo, se determinó el grado medio de dispersión de negro de humo al que se le asignó el valor 1 y su campo de visión es mejor que el de la microfotografía A, utilizada como referencia en la norma. En la Figura 15 se puede apreciar dicho grado de dispersión.



**FIGURA 15.** Dispersión del negro de humo.

#### 4. CONCLUSIONES

1. La resistencia a la tracción, el esfuerzo en el punto de fluencia, alargamiento en rotura y alargamiento en fluencia al cabo de los dieciocho años de instalada la geomembrana, superan los requerimientos que se exigirían a la lámina originalmente. Las variaciones de las características mecánicas han sido muy pequeñas.
2. Las muestras de geomembrana extraídas a lo largo de los doscientos treinta y cuatro meses que lleva instalada, han conducido a resultados correctos al efectuar la prueba de doblado a bajas temperaturas ( $-75^{\circ}\text{C}$ ), ya que no se han detectado roturas, agrietamientos u otros síntomas de deterioro en la zona de la flexión.
3. El ensayo de resistencia mecánica a la percusión ha sido superado por las muestras ensayadas, 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 barrera geosintética polimérica no sufre perforación en la zona de impacto, como se pone de manifiesto al realizar una posterior prueba de estanquidad.
4. La dureza Shore-D no experimenta variaciones notables a lo largo del tiempo que se encuentra instalada la geomembrana.
5. La resistencia al punzonamiento y el recorrido del percutor antes de la perforación conducen a valores que sobrepasan los límites requeridos a una barrera geosintética polimérica a base de polietileno de alta densidad.
6. La fotografía obtenida en el ensayo para determinar la dispersión del negro de humo indica que esa dispersión es correcta, pues se le asignó un valor 1 en la escala 1-7, donde cuanto más bajo sea ese guarismo, mejor es la dispersión del aditivo.
7. La microscopía óptica de reflexión muestra un buen comportamiento a lo largo de los años que lleva instalada la geomembrana; la cara interna presenta una superficie homogénea y uniforme donde se detectan estrías producidas por el contacto con el soporte. La microscopía electrónica de barrido muestra una cara externa con abundancia de microgrietas como consecuencia de la degradación producida por el paso del tiempo.
8. Al llevar a cabo la resistencia de la soldadura por tracción, las probetas han roto en el borde o en las proximidades de la unión, pero fuera de la soldadura propiamente dicha.

Los valores alcanzados, tanto cuando se lleva a cabo el ensayo por el procedimiento de tracción como cuando se realiza por el método de pelado, son bastante elevados.

9. A pesar de las microgrietas detectadas por la microscopia electrónica de barrido, la geomembrana de polietileno de alta densidad colocada en la balsa mallorquina de Plá de Sant Jordi se encuentra en muy buen estado de conservación, tanto es así, que al cabo de casi veinte años de instalada, las principales características de la misma, superarían los requerimientos exigibles a una lamina nueva.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CEA, J. C. de; CASTILLO, F. y SORIANO, J. – *Estado de las geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad (PEAD) a los siete años de su instalación en balsas*. Ing. Civil 151, 49-60 (2008).
2. BLANCO, M. y AGUIAR, E. – *Geomembranas sintéticas a base de polietileno de alta densidad utilizadas en la impermeabilización de embalses. Seguimiento de obras en las islas Canarias*. Ing. Civil 109, 49-59 (1998).
3. BLANCO, M.; CUEVAS, A. y ZARAGOZA, G.- *Características de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses en el sur y sureste de la Península Ibérica*. Ing. Civil 111, 85-95 (1998).
4. BLANCO, M.; GARCÍA, F.; SORIANO, J.; AGUIAR, E. y VARA, T. – *Comportamiento de geomembranas sintéticas a base de PVC-P, PEAD y EPDM utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil 138, 39-45 (2005).
5. BLANCO, M.; ZARAGOZA, G.; AGUIAR, E.; SORIANO, J.; GONZÁLEZ J. M. y GARCÍA, F. *Materiales sintéticos para impermeabilización de presas y embalses*. Proc. II Congreso Nacional de Historia de las Presas. Burgos, octubre (2005).
6. BLANCO, M.- *La impermeabilización de balsas y de embalses mediante geosintéticos*. An. II Simposio Nacional Geosintéticos 837-866 (2002).
7. BLANCO, M.; ZARAGOZA, G. y AGUIAR, E.- *Características de las geomembranas sintéticas de uso común en España, utilizadas en la impermeabilización de embalses considerados grandes presas por la legislación vigente*. Proc. V Jorn. Esp. Presas. Vol. I, 465-474 (1999).
8. BLANCO, M. - *Evolución de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses españoles*. Proc. I Seminário Português sobre geosintéticos. Oporto (Portugal), noviembre (2005).
9. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. *Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas* (2010).
10. BLANCO, M.; CEA, J. C. de; GARCÍA, F.; SÁNCHEZ, F. J.; CASTILLO, F. y CRESPO, M. A. – *La impermeabilización con barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) en el manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*. Ing. Civil, 158, 43-50 (2010).
11. BLANCO, M.; SORIANO, J.; AGUIAR, E.; y ZARAGOZA, G. - *Análisis microscópico de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil 127, 51-59 (2002).