

Estado de las geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad (PEAD) a los siete años de su instalación en balsas

MANUEL BLANCO (*), ESCOLÁSTICO AGUIAR (**), JUAN CARLOS DE CEA (***),
FRANCISCA CASTILLO (*) y JESÚS SORIANO (*)

RESUMEN En este trabajo se contempla el comportamiento de geomembranas sintéticas a base de polietileno de alta densidad (PEAD). Se exponen los resultados obtenidos por una serie de geomembranas instaladas en obra al cabo de los siete años de su colocación. Las muestras proceden de las balsas de Betiés-II, Buen Paso, Cabezo de los Leones, El Palmar, El Reclot, La Mericana, La Rambla de Carcáuz, La Rueda, Los Cabezos, Pilar de la Horadada, San Isidro, San Lorenzo y San Xulián de Vigo; así como del campo experimental que dispone BALTEN y el CEDEX en el embalse de El Saltadero, al sur de la isla de Tenerife.

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, alargamiento en rotura, esfuerzo y alargamiento en el punto de fluencia, resistencia al desgarro, resistencia al punzonamiento estático, doblado a bajas temperaturas, 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.

PERFORMANCE OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES BASED ON HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) ALONG SEVEN YEARS AFTER ITS APPLICATION IN RESERVOIRS

ABSTRACT *This paper provides to show the performance of synthetic geomembranes based on high density polyethylene (HDPE). Results along seven years are presented. The samples of geomembranes came from several Spanish reservoirs: Beties-II, Buen Paso, Cabezo de los Leones, El Palmar, El Reclot, La Mericana, La Rambla de Carcáuz, La Rueda, Los Cabezos, Pilar de la Horadada, San Isidro, San Lorenzo, San Xulián de Vigo and El Saltadero (experimental field). Important characteristics of high density polyethylene were evaluated in function of time once applied in reservoirs and they were the following ones: tensile properties, tear resistance, impact resistance, static perforation, low temperature folding, joint strength, joint peel resistance, carbon black: content and dispersion, optic microscopy and electron microscopy "scanner".*

Palabras clave: Impermeabilización, Geomembranas, Polietileno.

1. INTRODUCCIÓN

El polietileno es una poliolefina que se emplea en el campo de la impermeabilización en formas diferentes. Se puede decir que el polietileno de baja densidad ha sido la primera lámina sintética que se utilizó en España, incluso antes que el caucho butilo; si bien el polietileno de baja densidad se emplea enterrado o protegido y con espesores muy bajos por lo que más que de lámina debería hablarse de "film" o película. El polietileno de baja densidad se suele emplear por los pequeños propietarios en balsas de poca capacidad con el fin de abaratar costos y su uso sigue siendo bastante generalizado en el Levante peninsular. No obstante, hay ejemplos de embalses que entran en la categoría de grandes presas donde, más recientemente, se ha utilizado este tipo de material como en Plá Mateos, en el muni-

cipio de Alicante y cuya evolución está realizando el CEDEX (1). Un recorrido por la geografía de las balsas españolas permite encontrar casos con ejemplos de utilización de esta poliolefina con una duración superior a los treinta años, tal es la balsa de El Fraile en el sur de la isla de Tenerife.

Tras el empleo de lo que podríamos considerar como primera geomembrana sintética que era el termoestable caucho butilo (IIR) se empezó a utilizar como lámina impermeable al poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) que en esta época tenía cierta vigencia en el campo de la impermeabilización en la Edificación. A la implantación de este material, ya de carácter termoplástico contribuyó el Plan Hidráulico de la Comunidad Autónoma de Canarias que durante la década de los ochenta llevó a cabo un ambicioso programa público de construcción de embalses de riego. (2). Posteriormente, el polietileno de alta densidad no tarda en entrar en el mercado como fuerte competidor del mencionado material vinílico, siendo quizás la zona de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, donde tiene lugar una mayor utilización del mismo; pronto su uso se hará extensivo a todo el territorio nacional.

* Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).

**Balsas de Tenerife (BALTEN).

***Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente.

A nivel internacional la primera presa impermeabilizada con PEAD la data la Comisión Internacional de Grandes Presas en Insalu (Nigeria) en 1986. Los primeros embalses impermeabilizados con este material se realizaron en Estados Unidos en el año 1987, se trata de San Justo y Stillwater (3).

El CEDEX está realizando un amplio trabajo de investigación para la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, BALTEN y el Cabildo Insular de La Palma. Las balsas cuyo seguimiento se está llevando a cabo sobrepasan el centenar. Estas investigaciones con extracciones periódicas han permitido un mejor conocimiento del comportamiento a la intemperie de geomembranas de distinta naturaleza (4-9).

En este trabajo nos referiremos únicamente a una serie de geomembranas de PEAD colocadas en embalses con los resultados obtenidos al cabo de los siete años de su instalación y parte del mismo fue presentado en el 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas celebrado en Palma de Mallorca (10).

2. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD

El polietileno es la poliolefina más sencilla. Su macromolécula es lineal, por tanto al no contener en su cadena carbonos terciarios, su oxidación es bastante difícil. No obstante, en ocasiones esa cadena puede tener algún carbono terciario, procedente de procesos secundarios de polimerización (homopolímero) o por el material llevar incorporado otro monómero, casos del n-hexeno, n-octeno o n-buteno (copolímero) (11-13). Esto explica, que casi siempre se incorpore al proceso de fabricación una pequeña cantidad de antioxidantes (14-15), entre otros aditivos, para evitar la degradación ya sea durante el periodo de fabricación, ya sea una vez instalada la geomembrana en obra.

Como poliolefina presenta en sus cadenas, exclusivamente, enlaces “tipo σ ”, es decir uniones muy fuertes entre los átomos que las constituyen, por lo que la durabilidad de las mismas es elevada. Esa gran resistencia desde el

punto de vista químico, como consecuencia de su estructura de parafina, se debe a que no puede formar parte de reacciones heterolíticas y solamente, en casos extremos, podría reaccionar homolíticamente, vía radicales libres.

Aunque todas las referencias hablan de “alta densidad”, el término no es del todo correcto, pues la mayoría de las láminas que se están utilizando o son copolímeros o bien polietilenos de densidades inferiores que con la incorporación del negro de humo alcanzan la densidad requerida. Una mayor densidad favorece ciertas propiedades como las mecánicas; menores densidades presentan una aplicación más sencilla.

El producto no deja de ser un material orgánico y, como toda sustancia orgánica, tiende a envejecer y, por tanto, a desaparecer. Por este motivo, se le añaden una serie de aditivos para lograr una larga vida útil. De todos ellos, los más importantes son los absorbentes de luz UV y entre estos, cabe destacar el negro de humo que se incorpora a la resina en una proporción comprendida entre el 2 y el 3%. Cantidades inferiores serían insuficientes para evitar la degradación por las radiaciones solares. Proporciones mayores conllevarían una cierta pérdida de propiedades, sobre todo mecánicas, ya que estaríamos sustituyendo sustancias muy nobles como son las resinas por productos poco nobles como las cargas. La utilización como absorbente de luz UV del negro de humo o negro de carbono se debe a sus costes, relativamente bajos. Si es importante el contenido en negro de humo correcto, lo es más aún su adecuada dispersión. El aditivo debe estar repartido de una forma homogénea a lo largo de la lámina, pues de lo contrario las características pueden variar notablemente de unos puntos a otros y producirse fallos mecánicos y ataques por radiaciones solares; los primeros en los lugares donde haya altas concentraciones de negro de carbono, los segundos donde haya escasez del mismo.

Aunque son muchas las balsas impermeabilizadas con PEAD y cuya evolución está llevado a cabo el CEDEX nos centraremos, únicamente, en las muestras extraídas en las que figuran en la tabla 1, donde además se indica su ubicación y espesor. En la figura 1 se presenta la balsa cacereña de La Mericana.



FIGURA 1. Balsa de La Mericana, en Jarandilla de la Vera (Cáceres).

Balsa	Nomenclatura	Ubicación	Provincia	Espesor, mm
Befíes-II	BE	Novelda	Alicante	2,63
Buen Paso	BP	Icod de los Vinos	Tenerife	2,10
Cabezo de los Leones	CL	Lorca	Murcia	1,60
El Palmar	EP	Buenavista del Norte	Tenerife	2,05
El Reclot	ER	La Romana	Alicante	2,09
El Saltadero	ES	Granadilla	Tenerife	1,96
La Mericana	ME	Jarandilla de la Vera	Cáceres	2,22
La Rambla de Carcáuz	RC	La Mojonera	Almería	1,61
La Rueda	LR	Úbeda-Baeza	Jaén	1,52
Los Cabezos	CB	Villena	Alicante	2,11
Pilar de la Horadada	PH	Pilar de la Horadada	Alicante	1,56
San Isidro	SI	Granadilla	Tenerife	1,54
San Lorenzo	SL	Arona	Tenerife	2,15
San Xulián de Vigo	SX	Paderne	A Coruña	1,08

TABLA 1. Balsas evaluadas.

En primer lugar, se comprobaron las características de la geomembrana inicial y que sirvieron de base para el posterior seguimiento. A continuación, y después de su instalación se realizó un control periódico del material. La metodología experimental empleada se encuentra ampliamente detallada en la bibliografía científica (16). Las pruebas a realizar durante el mencionado control periódico son las siguientes:

- Espesores.
- Características de tracción.
- Resistencia al desgarro.
- Doblado a bajas temperaturas.
- Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico).
- Resistencia a la perforación (Impacto estático).
- Resistencia de la soldadura por tracción.
- Resistencia de la soldadura por pelado.
- Contenido y dispersión del negro de humo.
- Microscopía óptica.
- Microscopía electrónica de barrido.

3. EXPERIMENTAL

3.1. CARACTERÍSTICAS INICIALES

Al determinar las propiedades iniciales de las geomembranas consideradas se han alcanzado los valores que figuran en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6. En la figura 2 se muestran una serie de balsas impermeabilizadas con polietileno de alta densidad en varias zonas de la España peninsular.

3.2. CARACTERÍSTICAS A LOS SIETE AÑOS DE LA INSTALACIÓN

3.2.1. Resistencia al desgarro

En la tabla 7 se presenta la evolución de la resistencia al desgarro de las geomembranas de PEAD al cabo de los 84 meses de su puesta en obra.

3.2.2. Resistencia al impacto dinámico y estático

Todas las muestras sometidas a ensayo y extraídas al cabo de los siete años de su instalación superan la prueba de resistencia mecánica a la percusión, ya que al lanzar el percutor normalizado desde una altura de 500 mm no se aprecia perforación en la zona de contacto, como se comprobó al llevar a cabo un ensayo de estanquidad una vez efectuada dicha percusión.

Balsa	Resistencia al desgarro, N/mm	
	Longitudinal	Transversal
BE	162	160
BP	163	161
CB	162	154
CL	158	157
EP	151	143
ER	156	155
ES	153	147
ME	152	148
RC	150	144
LR	162	155
PH	153	144
SI	172	165
SL	156	130
SX	159	145

TABLA 2. Resistencia al desgarro de las láminas originales de PEAD.

Balsa	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido del punzón, mm	
	Cara			
	Externa	Interna	Externa	Interna
BE	548	549	12	13
BP	417	443	10	10
CB	540	510	11	12
CL	521	563	13	13
EP	437	437	11	11
ER	462	475	12	12
ES	434	338	11	8
ME	545	541	13	13
RC	596	565	15	14
LR	520	516	11	11
PH	454	473	12	12
SI	269	331	7	8
SL	451	369	6	9
SX	589	485	12	11

TABLA 3. Resistencia al punzonamiento de las láminas originales.

Balsa	Resistencia a la tracción, MPa		Esfuerzo en punto de fluencia, MPa	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
BE	37,6	40,2	19,6	19,8
BP	33,2	35,0	17,6	17,7
CB	36,0	31,0	22,0	23,0
CL	34,0	39,2	18,8	19,4
EP	35,4	32,9	20,7	19,1
ER	35,7	36,7	19,1	19,3
ES	34,0	38,0	21,0	21,0
ME	25,4	24,7	25,4	24,4
RC	37,2	33,3	18,1	17,7
LR	28,8	38,7	20,2	22,5
PH	37,6	40,2	17,9	18,2
SI	38,0	39,0	22,9	21,1
SL	27,0	30,0	21,5	21,5
SX	35,3	29,7	22,3	20,0

TABLA 4. Resistencia a la tracción y esfuerzo en el punto de fluencia iniciales.

Balsa	Alargamiento en rotura, %		Alargamiento en fluencia, %	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
BE	897	934	16	17
BP	971	1016	17	16
CB	923	705	13	14
CL	801	898	17	18
EP	783	869	15	14
ER	860	868	17	17
ES	880	984	16	17
ME	393	222	14	14
RC	897	841	17	16
LR	683	855	17	13
PH	884	937	17	17
SI	1083	1084	15	16
SL	898	980	15	15
SX	735	935	19	14

TABLA 5. Alargamiento en rotura y en el punto de fluencia originales.

Balsa	Resistencia de la soldadura, N/50 mm		
	Por tracción		A pelado
	En fluencia	En rotura	
BE	2350	1825	2015
BP	1776	1474	1546
BP con aportación	1724	1315	1310
CB	1960	1615	1523
CL	880	745	790
EP	2002	1635	1682
EP con aportación	2000	1503	-
ER	1852	1504	1637
ES	1523	1193	-
ME	2113	1467	1362
RC	1300	1067	1170
PH	1243	1157	1203
SI	1657	1283	1087
SL	2225	1598	1590
SX	1082	1082	698

TABLA 6. Resistencia de las soldaduras iniciales.

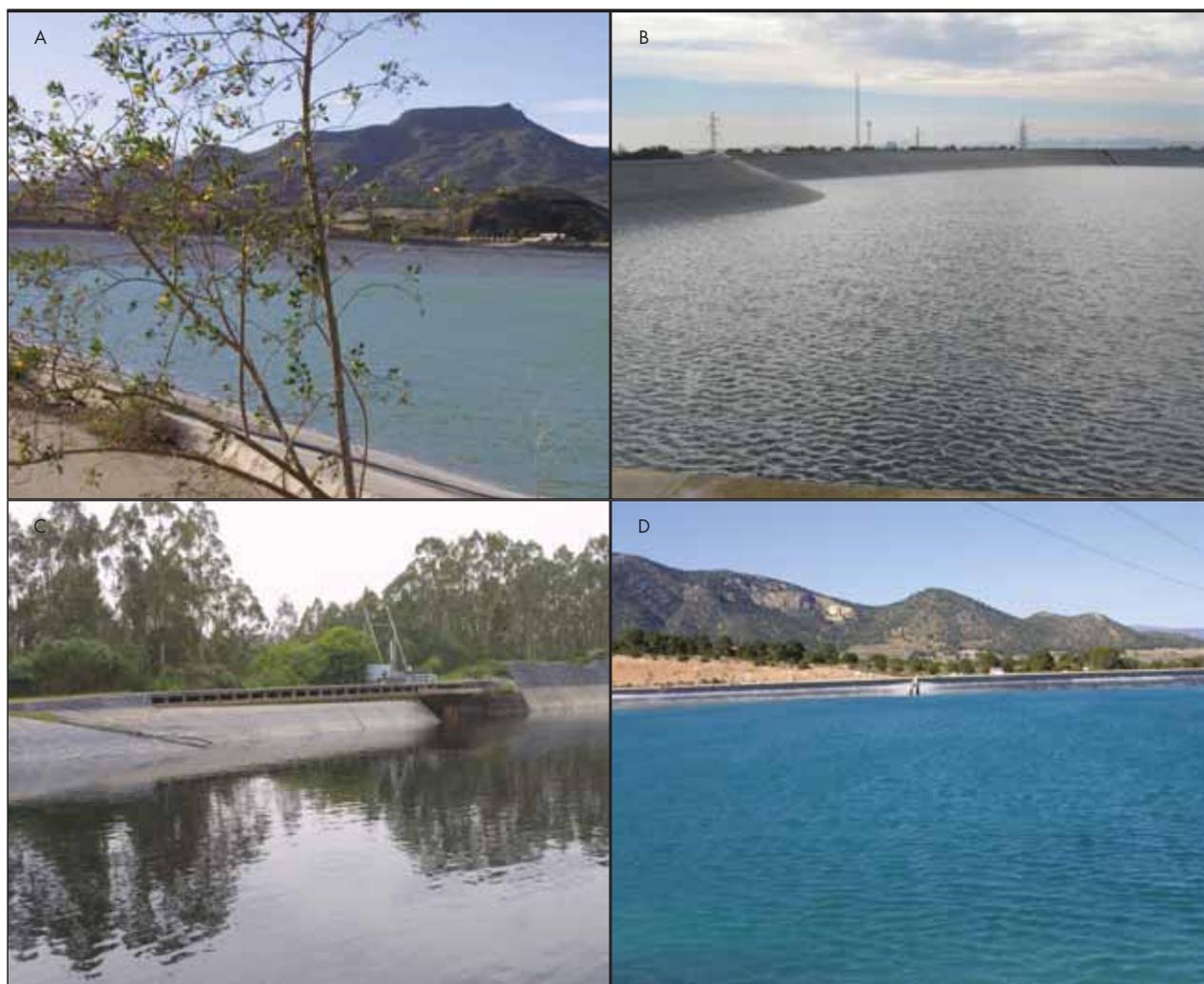


FIGURA 2. a) Cabezo de los Leones (Lorca-Murcia) con Mostaza de Jerusalén (*Nicotiana glauca*) en el botaolas b) Pilar de la Horadada (Alicante), c) San Xulián de Vigo (Paderne, A Coruña): aliviaderos y entrada de agua a la central hidroeléctrica, d) El Reclot (La Romana-Alicante).

La tabla 8 presenta los valores de resistencia a la perforación y recorrido del pistón antes del punzonamiento para las muestras de los materiales impermeabilizantes considerados.

3.2.3. Doblado a bajas temperaturas

Las probetas de las geomembranas se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas, para ello se doblaron las probetas sobre si mismas un ángulo de 180°, después de permanecer 5 h en una cámara frigorífica a una temperatura de -75°C. Luego se comprobó si aparecían síntomas de agrietamiento, roturas u otras imperfecciones superficiales. Tanto inicialmente como en el tiempo de evaluación los materiales superaron las exigencias del ensayo.

En la figura 3 se presentan cuatro balsas tinerfeñas impermeabilizadas con PEAD.

3.2.4. Características de tracción

En la tabla 9 se presentan los datos de la resistencia a la tracción y el esfuerzo en el punto de fluencia, expresados en MPa. La tabla 10 muestra el alargamiento en rotura y en el punto de fluencia (%) a los 7 años de la colocación. En la fi-

gura 4 se refleja la evolución de la resistencia a la tracción en función del tiempo para la geomembrana de polietileno de alta densidad procedente del campo experimental de El Saltadero a los 13 años de su instalación.

3.2.5. Resistencia de la soldadura

En la totalidad de las uniones sometidas a ensayo, la resistencia de la soldadura por tracción llevada a cabo en los materiales sintéticos ha conducido a resultados correctos, rompiendo las muestras en el borde o en las proximidades de la soldadura, pero fuera de la unión entre paños. En la tabla 11 se muestran los resultados alcanzados si la prueba se realiza por el procedimiento de pelado (17). También se dan resultados para soldaduras realizadas vía térmica simple o con material de aportación.

En la figura 5 se muestran cuatro balsas del sudeste peninsular cuya geomembrana impermeabilizante fue polietileno de alta densidad.

3.2.6. Negro de humo

El contenido en negro de humo ha sido correcto ya que, en todos los casos, estaba comprendido entre el 2 y el 3%. La

Balsa	Resistencia al desgarro, N/mm	
	Longitudinal	Transversal
BE	167	161
BP	165	162
CB	162	161
CL	158	146
EP	167	165
ER	184	171
ES	165	160
ME	158	154
RC	151	150
LR	165	153
PH	158	155
SI	163	162
SL	169	166
SX	175	154

TABLA 7. Resistencia al desgarro de las geomembranas a los 7 años de la instalación.

figura 6 muestra la dispersión del negro de humo en la geomembrana de PEAD procedente de la balsa de La Mericana.

3.2.7. Microscopia óptica de reflexión

La evaluación de las geomembranas de PEAD se ha efectuado en las condiciones experimentales indicadas en la bibliografía (18-19); las microfotografías se han tomado a aumentos de (40x) y (60x) con objeto de ver sus texturas y morfología.

Las figuras 7 y 8 corresponden a la membrana procedente de la balsa de Pilar de la Horadada, por sus caras externa e interna, respectivamente, a 60 aumentos al cabo de los 84 meses de su instalación.

3.2.8. Microscopia electrónica de barrido

Las figuras 9 y 10 presentan, respectivamente, el aspecto de la lámina de la balsa de El Reclot por su cara externa (x90) e interna (x900) cuando se observan por microscopia electrónica de barrido (SEM) o "scanner".

Por último en la figura 11 se presenta un aspecto de la balsa de Buen Paso ubicada en Icod de los Vinos (Tenerife).

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados alcanzados en las geomembranas de PEAD antes de su colocación en el vaso de las balsas ha conducido a datos que en la mayoría de los casos cumplían los requerimientos exigibles a este tipo de poliolefina. En el aspecto negativo y a título de ejem-

Balsa	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido del punzón, mm	
	Cara			
	Externa	Interna	Externa	Interna
BE	656	656	14	14
BP	483	472	10	11
CB	663	601	12	14
CL	615	647	15	16
EP	630	649	14	13
ER	459	466	11	11
ES	616	610	10	11
ME	616	556	13	12
RC	679	636	17	16
LR	485	473	11	10
PH	720	733	18	18
SI	427	516	10	11
SL	497	453	11	11
SX	599	485	12	11

TABLA 8. Resistencia al punzonamiento a los 7 años de la instalación.



FIGURA 3. Balsas de Tenerife a) Campo experimental de El Saltadero b) Interior de San Lorenzo, c) San Isidro, d) El Palmar.

plo, es de hacer constar los valores bajos de alargamiento en rotura en el caso de La Mericana debido a la anomalía observada en la curva tensión-deformación, donde la resistencia a la tracción coincide con el esfuerzo en el punto de fluencia. En todos los casos fueron correctas las pruebas de doblado a bajas temperaturas, resistencia al impacto dinámico y contenido en negro de humo.

2. Las muestras de geomembranas extraídas a lo largo de los siete años que llevan instaladas, han conducido a resultados correctos al efectuar la prueba de doblado a bajas temperaturas ($-75\text{ }^{\circ}\text{C}$), ya que no se han detectado roturas, agrietamientos u otros síntomas de deterioro en la zona de la flexión.
3. La resistencia a la tracción y el alargamiento en rotura conducen a valores adecuados salvo en algún caso aislado donde se produce la anomalía comentada en el punto 1 de este epígrafe.
4. El impacto dinámico ha sido correcto en todas las geomembranas a lo largo de su evolución. El impacto estático o resistencia al punzonamiento presenta unos resultados correctos para este tipo de termoplástico.

5. La resistencia de la soldadura tanto por el método de tracción como por el procedimiento de pelado ha alcanzado valores propios de estos geosintéticos. Los resultados numéricos obtenidos son muy elevados tanto en tracción como en pelado. Quizás sea el polietileno la geomembrana que alcanza los valores más altos. Es destacable que los resultados obtenidos por vía térmica sencilla son similares a los obtenidos con material de aportación.
6. La resistencia al desgarro al cabo de los siete años de colocadas las geomembranas en las balsas ha conducido a valores que superan los requerimientos exigibles para la lámina antes de su puesta en obra. Se observa un ligero incremento en el tiempo.
7. Tanto la microscopía óptica de reflexión como la electrónica de barrido muestran un buen comportamiento a lo largo de estos siete años, notándose únicamente ciertas alteraciones superficiales fundamentalmente por la cara en contacto con las radiaciones ultravioleta. Hay que notar la observación de estrías que se detectan en la cara interna debido al contacto de la geomembrana con el soporte.

Balsa	Resistencia a la tracción, MPa		Esfuerzo en punto de fluencia, MPa	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
BE	27,7	38,3	19,9	20,2
BP	34,2	36,6	19,1	20,2
CB	27,6	29,8	27,6	27,1
CL	35,8	38,6	21,5	20,6
EP	31,3	29,1	21,3	21,6
ER	35,5	34,9	19,2	19,2
ES	31,3	35,6	24,0	22,3
ME	27,4	26,5	22,0	21,1
RC	37,8	36,8	17,8	17,6
LR	22,9	28,2	20,8	23,4
PH	35,4	33,7	18,2	18,6
SI	27,6	28,9	20,8	21,9
SL	24,6	23,8	21,3	23,8
SX	38,0	34,4	22,3	23,7

TABLA 9. Resistencia a la tracción y esfuerzo en el punto de fluencia a los 7 años de su instalación.

Balsa	Alargamiento en rotura, %		Alargamiento en fluencia, %	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
BE	624	910	14	14
BP	975	1027	16	16
CB	439	601	13	13
CL	822	837	16	17
EP	746	740	16	15
ER	1073	1082	16	15
ES	698	812	15	15
ME	696	702	15	15
RC	930	893	17	17
LR	572	678	12	11
PH	834	896	16	17
SI	725	759	15	13
SL	728	493	15	13
SX	737	799	14	12

TABLA 10. Alargamiento en rotura y en el punto de fluencia a los 7 años de la instalación.

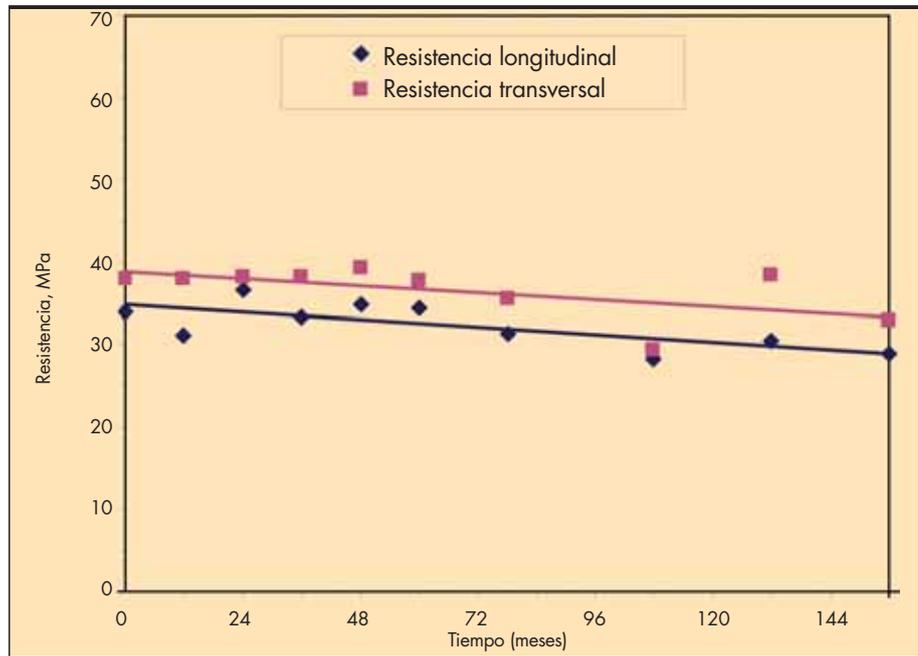


FIGURA 4. Evolución de la resistencia a la tracción de la geomembrana procedente del campo experimental de El Saltadero.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. BLANCO, M.-*Geomembranas: constitución, características, seguimiento y normativa*. Curso sobre Proyecto, ejecución y explotación de balsas de materiales sueltos para riego. Universidad Miguel Hernández. Elche (Alicante) (2004).
2. AMIGÓ, E. y AGUIAR, E. *Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas*. Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias (1994).
3. International Commission on Large Dams. *Watertight*

Balsa	Resistencia de la soldadura, N/50 mm		
	Por tracción		A pelado
	En fluencia	En rotura	
BE	2280	1825	1945
BP	2100	1565	1570
BP con aportación	2100	1450	1370
CB	2193	1615	1235
CL	878	670	913
EP	2030	1460	-
EP con aportación	2140	1600	-
ER	1847	1400	1610
ES	1607	1180	-
ME	2140	1560	1080
RC	1300	1000	1244
PH	1393	1160	1187
SI	1675	1170	1214
SL	2190	1530	1400
SX	917	917	795

TABLA 11. Resistencia de las soldaduras a los 7 años de la instalación.



FIGURA 5. a) La Rambla de Carcáuz (La Mojonera. Almería) b) Los Cabezos (Villena. Alicante), c) La Rueda (Úbeda-Baeza. Jaén), d) Betfies-II (Novelda. Alicante).

Geomembranes for Dams. State of the Art, Bulletin ICOLD N° 78 Paris. (1991).

4. 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).

5. 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).

6. BLANCO, M. - *Evolución de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses españo-*



FIGURA 6. Dispersión del negro de humo.

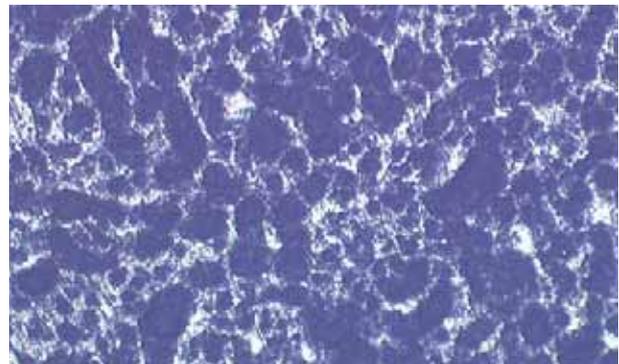


FIGURA 7. Microfotografía (x60) de la geomembrana de Pilar de la Horadada (cara externa) a los 7 años de su instalación por microscopía óptica de reflexión.

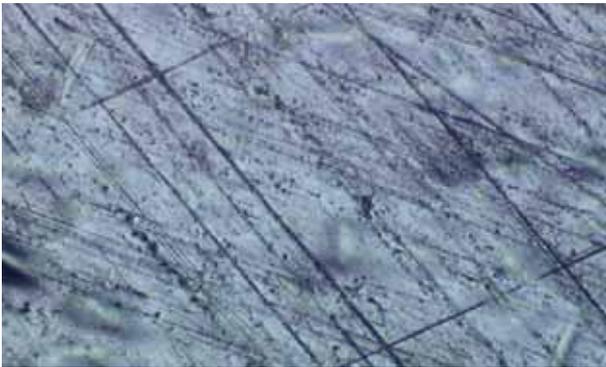


FIGURA 8. Microfotografía (x60) de la geomembrana de Pilar de la Horadada (cara interna) a los 7 años de su instalación por microscopía óptica de reflexión.

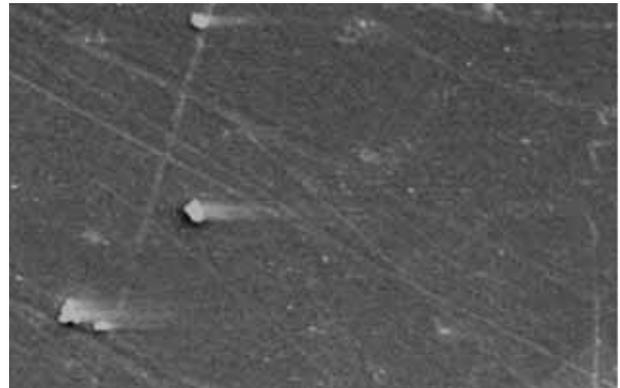


FIGURA 10. Microfotografía (x900), de la geomembrana procedente de la balsa de El Reclot, cara interna, a los 7 años de su instalación.

les Proc. I Seminário Português sobre geossintéticos. Oporto (Portugal), noviembre (2005).

7. LEIRO, A.; BLANCO, M. y ZARAGOZA, G. *Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs*. Geosynthetics 7th ICG, 979-982. Delmas, Gourc & Girard eds. Editorial Balkema pp. 979-982. Rotterdam (Holanda). (2002).
8. BLANCO, M.; ZARAGOZA, G. y AGUIAR, E.- *El seguimiento de geomembranas sintéticas como factor que contribuye a la seguridad y durabilidad de la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil, 129, 53-70 (2003).
9. 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).
10. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CEA, J. C. de; CASTILLO, F.; SORIANO, J. y GARCÍA, F.- *Comportamiento de geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD) utilizadas en la impermeabilización de balsas*. Proc. 2^o Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2^o Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 417-430. Palma de Mallorca. (2008).
11. KOERNER, R. M. - *Designing with Geomembranes*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 292, 4th edition. (1999).
12. HSUAN, Y. G. y KOERNER, R. M. - *Long term durability of HDPE geomembrane: Part I-depletion of antioxidant*. GRI Report 16, 36p. (1995).

13. ROWE, R. K. y SANGAM, H.P.- *Durability of HDPE geomembranes*. Geotextiles and Geomembranes 20, 77-95. (2002).
14. HSUAN, Y. G. y KOERNER, R. M. - *Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 532-541. (1998).
15. KOERNER, R.M.; LORD, A.E. y HSUAN, Y.H.- *Arrhenius modelling to predict geosynthetics degradation*. Geotextiles and Geomembranes 11, 151-183. (1992).
16. BLANCO, M. *Geomembranas*. I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
17. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E.- *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 (1996).
18. 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).
19. SORIANO, J.; BLANCO, M.; BURGOS, J.; AGUIAR, E.; ZARAGOZA, G. y GARCÍA, M. A.- *Las microscopías óptica de reflexión y electrónica de barrido como técnicas avanzadas en el conocimiento del estado de las geomembranas sintéticas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).

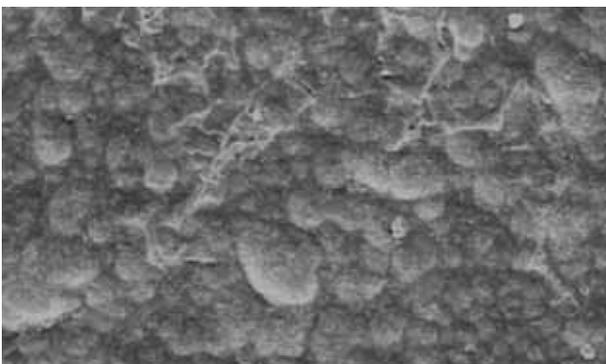


FIGURA 9. Microfotografía (x90), de la geomembrana procedente de la balsa de El Reclot, cara externa, a los 7 años de su instalación.



FIGURA 11. Balsa de Buen Paso, en Icod de los Vinos (Tenerife) con el Teide al fondo.