

Comportamiento de geomembranas sintéticas instaladas en el campo experimental de El Saltadero

MANUEL BLANCO (*), ESCOLÁSTICO AGUIAR (**), TATIANA VARA (**), FLORENCIO GARCÍA (*),
JESÚS SORIANO (*) y FRANCISCA CASTILLO (*)

RESUMEN El Saltadero es un embalse cubierto ubicado en un lugar de fuerte insolación en la zona sur de la isla de Tenerife, donde se ha construido un talud artificial dirigido hacia el sur en el que se instalaron una serie de láminas susceptibles de ser utilizadas como geomembranas en la impermeabilización de obras hidráulicas.

En este campo experimental de investigación se han colocado perfectamente ancladas láminas de nuevos materiales y de otros tradicionales, pero cuyas casas comerciales no estaban lo suficientemente implantadas en nuestro país. En todos los casos se han soldado varios paños con la finalidad de poner de manifiesto no solo el estado de la geomembrana sino también el de la soldadura. A parte de realizar las pruebas iniciales para conocer sus características técnicas, periódicamente se han tomado muestras para llevar a cabo los ensayos de seguimiento en el tiempo y ver su evolución así como su comportamiento en obra.

La naturaleza de los materiales instalados es variada y cabe destacar el PVC-P; PE, CSM, EVA/C, EPDM, PP y poliolefinas. Con los materiales extraídos se llevan a cabo pruebas de características de tracción y alargamiento en rotura, esfuerzo y alargamiento en el punto de fluencia (en PE), contenido en plastificantes (en PVC-P), doblado a bajas temperaturas, resistencia al impacto dinámico, resistencia a la perforación (impacto estático), resistencia al desgarrar (en PE) y resistencia de la soldadura tanto por cizalla como por pelado. Asimismo, se examinaron por microscopía óptica de reflexión y electrónica de barrido ("scanner"). Se presentan los resultados más significativos con los distintos materiales de este campo experimental que se puede considerar pionero para geomembranas a utilizar en la impermeabilización en obras hidráulicas.

PERFORMANCE OF SYNTHETIC GEOMEMBRANES INSTALLED IN THE EXPERIMENTAL FIELD OF EL SALTADERO

ABSTRACT El Saltadero is a covered reservoir located in a place of strong insolation in the South of the Island of Tenerife, where an artificial slope has been constructed directed to the south in which some sheets were applied to be used like geomembranes in hydraulic work waterproofing.

In this experimental field of research they have been placed perfectly anchored sheets of new materials and other traditional ones, but whose manufacturers were not sufficiently implanted in our country. In all the cases sheets were solded with the aim of showing not only the performance of the geomembranes but their one the joint.

Initial tests have been made. Besides samples have been taken to determinate their technical properties and to see their evolution as well as behaviour one time installed. Considerated materials were PVC-P, HDPE, CSM, EVA/C, EPDM, PP and polyolefines. Important characteristics were evaluated: tensile properties, tear resistance (in HDPE), yield point (in HDPE), impact resistance, static perforation, low temperature folding, joint strength, joint peel resistance, plasticizer content (in PVC-P), carbon black: content and dispersion (in HDPE), optic microscopy and electron microscopy "scanner".

The most significant results with the different materials from this experimental field are presented and they can be considered pioneer for geomembranes to use in hydraulic work waterproofing.

Palabras clave: Geomembranas, Imperbealización, Embalses, Campo experimental.

Keywords: Geomenbranes, Waterproofing, Reservoirs, Experimental field.

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier producto que vaya a utilizarse con cualquier fin en la vida ordinaria debe ser previamente analizado y decla-

rado apto para su posterior puesta en servicio. Una vez comprobada su validez y antes de ser aplicado en los distintos campos de empleo deben de ser analizadas sus características para conocer su idoneidad. Si nos centramos en el ámbito de la Construcción, en general, y de la Impermeabilización, en particular, los materiales tradicionales deben cumplir unas exigencias que las normativas vigentes y los proyectos de obra requieren (1). Materiales de nueva im-

(*) Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX).

(**) Balsas de Tenerife (BALTEN).

plantación suelen ir acompañados de Documentos de Idoneidad Técnica que avalan una experiencia en obra y que permiten una cierta seguridad en su empleo (2); cuando esa experiencia se va consolidando los mencionados DIT o DITES (europeos) pueden dar lugar a normas.

El control inicial de los materiales es una práctica, hoy día, bastante generalizada, aunque no tanto como sería deseable, sobre todo en obras de menor entidad, donde el ahorro de unos euros parece ser un factor importante, que a la larga puede ser costoso, pues en muchas ocasiones lo barato se transforma en caro. Los Organismos Oficiales más implicados en el tema de la impermeabilización en nuestro país como son los dependientes del Ministerio de Ambiente, y Medio Rural y Marino, Comunidades Autónomas y entidades como Balsas de Tenerife (BALTEN) han sido los más preocupados por conocer esas características originales y hacer cumplir los requerimientos que la normativa y los proyectos exigían en cada momento (3-4).

Además de los ensayos habituales a realizar según la norma vigente, este equipo de trabajo en colaboración con distintos estamentos oficiales ha dirigido la puesta a punto de una serie de pruebas para el mejor conocimiento de los materiales orgánicos macromoleculares cuyas referencias científicas o no existían o eran escasas en la literatura científica (5-10) y, que en algunos casos permitieron elaborar una metodología experimental que hoy forma parte del elenco normativo nacional y que hace referencia a quien la ha desarrollado (11-12).

El comportamiento a lo largo del tiempo de nuevos productos o nuevas formulaciones de materiales orgánicos se ha tratado de dilucidar a nivel de laboratorio mediante ensayos de envejecimiento artificial acelerado (13); más las pocas horas de estancia en las cámaras y las condiciones de las pruebas no permiten, por más que se ha intentado, extrapolar los resultados alcanzados a la realidad y no tiene mucho sentido relacionar horas de ensayo con años de vida útil del material. Por ello, la mayoría de las empresas de gran importancia a nivel internacional disponen de unos campos de pruebas en zonas de climatologías adversas como son los campos

para comportamiento de revestimientos líquidos en Florida (USA).

El CEDEX y BALTÉN, disponen de un campo experimental para la investigación de geomembranas sintéticas en una zona construida en el recinto del embalse cubierto de El Saltadero (Fig. 1) (14-15), donde se está probando una gran gama de materiales, en algunos casos productos de nueva implantación y cuyo comportamiento a la intemperie es desconocido. Los probetarios para la ubicación de los materiales a investigar se situaron sobre un talud compactado y un soporte de hormigón poroso, perfectamente anclados y dirigidos hacia el sur que es la parte de máxima degradación de estos productos macromoleculares en el hemisferio norte (Fig. 2) (16).

La importancia de contar con un campo experimental para geomembranas sintéticas ha suscitado el interés internacional, no solo para los técnicos de las Obras Hidráulicas sino también para los arquitectos, que en el campo de la edificación hacen uso de esas mismas láminas, tanto es así que ya en el año 1.994 y en el II Congreso Internacional de Tecnología de Techos celebrado en Buenos Aires (República Argentina) se hace referencia y se muestra un especial interés por los resultados obtenidos en el campo español. Eventos tanto nacionales como internacionales ven desfilar datos de productos nuevos en aquel momento y que en la actualidad se están aplicando en presas y embalses, como es el caso de poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio o las mal denominadas en la jerga de los geosintéticos "poliolefinas" (17-19).

El campo experimental de El Saltadero ha permitido obtener unos datos experimentales que en bastantes materiales eran desconocidos y que están sirviendo de base para establecer unas exigencias mínimas en la elaboración por parte del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino del Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas (20). Asimismo, la International Commission on Large Dams cita esta investigación novedosa en su nuevo "draft" que se está editando en París (21).



FIGURA 1. Embalse cubierto de El Saltadero, con el campo experimental al fondo.



FIGURA 2. Aspecto parcial del campo experimental de El Saltadero.

2. MATERIALES

A nivel europeo la norma de productos hace referencia a los materiales a utilizar (22) y son, en la actualidad, objeto de estudio por la investigación internacional (23-24). En el citado campo experimental se han instalado diferentes materiales pero, en este caso nos circunscribiremos a los que llevan más tiempo sometidos a control:

- Poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P)
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- Polietileno de media densidad (PEMD)
- Polipropileno (PP)
- Copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA/C)
- Polietileno clorosulfonado (CSM)
- Etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) y
- Poliolfinas elastómericas (POE)

En primer lugar, se comprobaron las características de la geomembrana inicial y que servirán de base para la evaluación posterior. A continuación, y después de su instalación se realizó un control periódico del material. Las pruebas a realizar durante el mencionado control periódico dependen de la naturaleza del material utilizado. Las más comunes, en obras hidráulicas, son las siguientes:

- Espesores
- Características de tracción

- Doblado a bajas temperaturas
- Resistencia mecánica a la percusión (Impacto dinámico)
- Resistencia a la perforación (Impacto estático)
- Contenido en plastificantes (PVC-P)
- Resistencia al desgarro (PEAD)
- Negro de carbono y su dispersión (PEAD)
- Resistencia de la soldadura por tracción
- Resistencia de la soldadura por pelado
- Microscopia óptica
- Microscopia electrónica de barrido

3. RESULTADOS

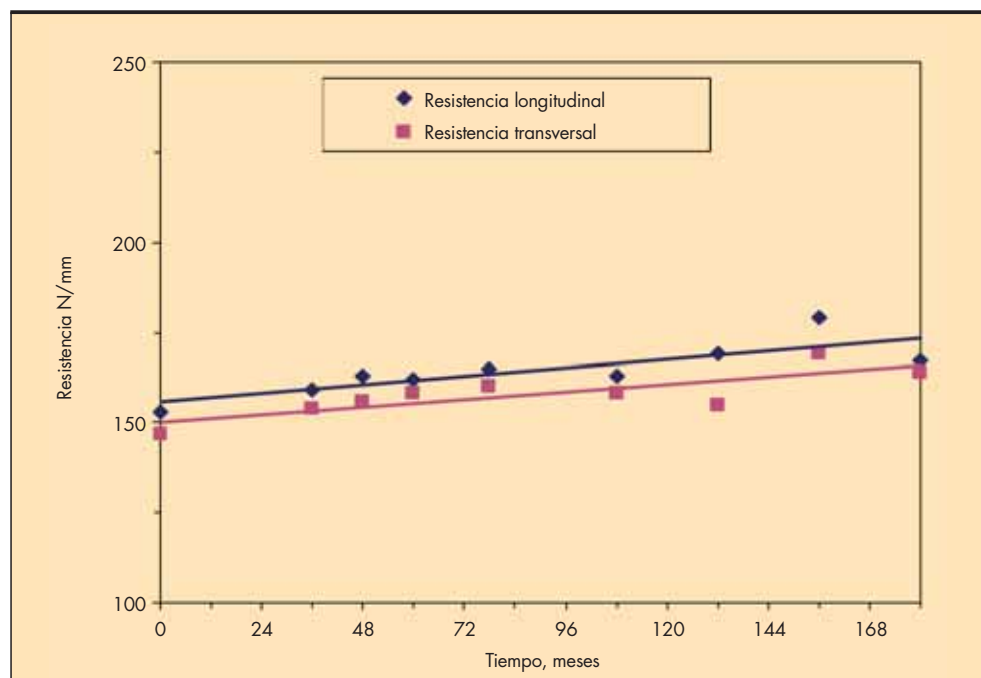
3.1. PLASTIFICANTES

El poli(cloruro de vinilo) es un material rígido que, como tal, se emplea en el campo de la construcción; sin embargo, para ser utilizado como lámina impermeabilizante se precisa que sea flexible, lo que se puede conseguir de varias formas siendo la más común el empleo de unos aditivos, denominados plastificantes (25-26). Su determinación se realizó siguiendo la metodología experimental indicada en la normativa española (27). Los datos del PVC-P, en este caso reforzado con una inserción de fibra de vidrio son los que figuran en la tabla 1.

Plastificantes	Tiempo de instalación, meses									
%	0	12	24	36	48	54	72	96	120	144
Contenido	34,8	34,6	34,6	33,7	33,7	32,2	30,5	30,5	30,5	28,0
Pérdida	-	0,6	0,6	3,2	3,2	7,5	12,4	12,4	12,4	19,5

TABLA 1. Variación del contenido en plastificantes en un PVC-P.

FIGURA 3. Evolución de la resistencia al desgarro del polietileno de alta densidad procedente del campo experimental ubicado en el embalse de El Saltadero durante quince años.



3.2. RESISTENCIA AL DESGARRO

En la figura 3 se presenta la evolución de la resistencia al desgarro del polietileno de alta densidad al cabo de los 15 años de su puesta en obra. La observación de los datos experimentales indica que no hay gran variación en el tiempo, detectándose, generalmente, una cierta tendencia a un ligero incremento con relación a los valores iniciales.

3.3. RESISTENCIA AL IMPACTO DINÁMICO Y ESTÁTICO

Por regla general, a medida que los materiales van envejeciendo la posibilidad de rotura es mayor; en el caso particular del PVC-P una pérdida notable de plastificante con la consiguiente rigidez del material propicia la perforación por impacto dinámico. Todos los materiales ensayados han superado la prueba hasta el momento.

Desde el punto de vista estático la prueba de perforación proporciona datos interesantes acerca del comportamiento del material sometido a la presión del agua y en contacto con el soporte. La tabla 2 presenta los valores de carga de perforación, resistencia a la perforación y recorrido del pistón antes del punzonamiento para las muestras de los materiales impermeabilizantes considerados según metodología experimental que se ha puesto a punto para este tipo de materiales y aplicación (11). En dicha prueba la forma de rotura es distinta para cada material y presenta unos valores del recorrido de perforación característicos. La forma de rotura podría permitir identificar el tipo de material utilizado y el recorrido, el estado del material en el momento del ensayo. La mencionada prueba se realizó por ambas caras de la geomembrana.

Material	Años de Instalación	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido, mm	
		Cara externa	Cara interna	Cara externa	Cara interna
CSM	11	481	510	10	11
EPDM	8	334	309	30	33
EVA/C	13	323	358	44	49
PEAD	13	666	592	12	12
PEMD	8	595	605	20	20
POE	9	305	270	41	36
PP	12	586	566	38	34
PVC-P	10	690	634	22	23

TABLA 2. Resistencia al punzamiento estático.

Material	Temperatura de ensayo, °C
CSM	-40
EPDM	-55
EVA/C	-20
PEAD	-75
PEMD	-75
POE	-20
PP	-20
PVC-P	-20

TABLA 3. Temperatura de flexión según la naturaleza de la geomembrana sintética.

3.4. DOBLADO A BAJAS TEMPERATURAS

Las probetas de todos los materiales provenientes del campo experimental se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas, para ello se doblan las probetas sobre si mis-

mas un ángulo de 180°, después de permanecer 5 h en una cámara frigorífica a una temperatura determinada. Posteriormente se observa si aparecen síntomas de agrietamiento, roturas u otras imperfecciones superficiales.

La temperatura de doblado depende de la propia constitución del material que forma la geomembrana y es una prueba para determinar la calidad del material y no porque tenga que soportar esa temperatura una vez aplicado. Por otro lado, constituye un hecho relevante el conocer el comportamiento en el tiempo de esta propiedad y cuando tiene lugar el fallo, se puede pensar que el material ha empezado su proceso de degradación que en algunos casos puede ser bastante rápido. Las temperaturas a las que se efectuó el doblado son las que figuran en la tabla 3.

3.5. CARACTERÍSTICAS DE TRACCIÓN

En la tabla 4 se presentan datos de la evolución de la resistencia a la tracción, expresada en MPa, en función del tiempo para geomembranas homogéneas o con refuerzo de inserción de fibra de vidrio. Asimismo en la tabla 5 se muestra el correspondiente alargamiento en la rotura, en %. Los valores del citado alargamiento tienen una tendencia a la disminución con el tiempo de aplicación. La tabla 6 refleja

Material	Tiempo de instalación, meses										
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	120	144
PVC-P	14,1	14,1	14,4	14,7	15,7	14,6	15,0		17,1	15,4	16,6
PEAD	34,0	31,1	36,7	33,3	34,9	34,5		31,3		30,5	29,0
PEMD	24,6		22,8		23,1		20,7		21,9	21,0	
EVA/C	22,5	22,3	22,0	20,2	19,4	18,7		19,2		18,4	19,9
EPDM	11,0		10,6		11,2		10,6		10,2		
POE	19,5	17,6			18,5		16,5	18,8	18,1	21,0	

TABLA 4. Evolución de la resistencia a la tracción (MPa) en función del tiempo en geomembranas de distinta naturaleza.

TABLA 5. Evolución del alargamiento en rotura (%) en función del tiempo en geomembranas de distinta naturaleza.

Material	Tiempo de instalación, meses										
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	120	144
PVC-P	248	212	227	209	209	203	207		183	172	186
PEAD	880	856	781	763	772	776		698		657	714
PEMD	747		688		738		708		718	667	
EVA/C	888	768	771	774	733	722		737		745	796
EPDM	492		484		442		339		284		
POE	814	716			788		764	762	717	759	

Material	Característica	Tiempo de instalación, meses								
		0	12	36	60	84	108	120	132	156
CSM	Resistencia a la tracción (N/50 mm)	1500	1603	1525	1495	1537	1510	—	1583	1530
	Alargamiento en carga máxima (%)	29	26	27	34	30	30	—	31	27
PP	Resistencia a la tracción (N/50 mm)	1810	1540	1578	1157	1410	1340	1420	1425	1387
	Alargamiento en carga máxima (%)	28	31	31	29	32	32	31	34	35

TABLA 6. Evolución de las características de tracción en función del tiempo en geomembranas reforzadas con tejidos de hilos sintéticos.

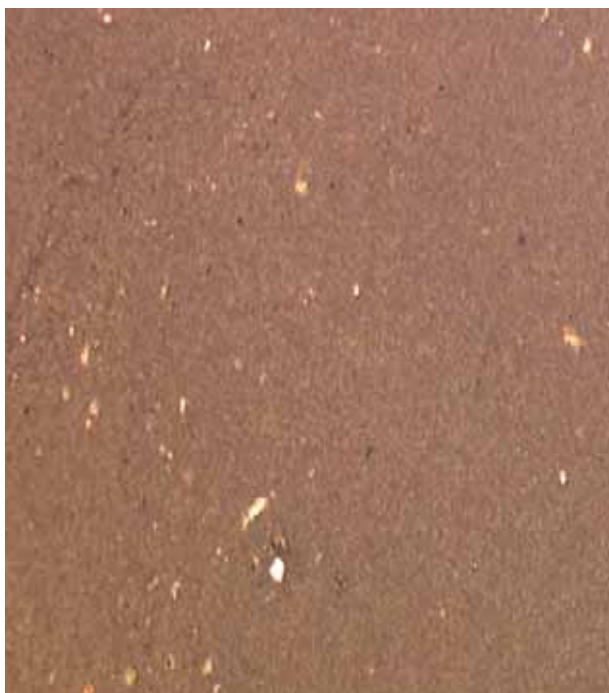


FIGURA 4. Dispersión del negro de humo de la muestra de PEAD.

las características mecánicas de geomembranas reforzadas con tejidos de hilos sintéticos; en este caso las resinas base de los geosintéticos son polietileno clorosulfonado (CSM) y polipropileno (PP). Los datos que se exponen hacen referencia al sentido longitudinal.

3.6. RESISTENCIA DE LA SOLDADURA

En la mayoría de los casos, la resistencia de la soldadura por tracción llevada a cabo en los materiales sintéticos ha condu-

cido a resultados correctos (28), rompiendo las muestras en la zona de soldadura pero fuera de la unión entre láminas.

Si bien esta prueba es adecuada para conocer el estado de la unión entre paños, se podría considerar de aspecto cualitativo, ya que no permite comparar entre distintas tomas de muestras, ni tampoco entre materiales de distinta naturaleza. Todo ello, ha llevado a realizar el ensayo por el procedimiento de pelado (29) que, a diferencia del anterior, se podría calificar de cuantitativo y permite la evaluación y comparación entre las uniones de las distintas geomembranas sintéticas. Para poder establecer una comparación entre las geomembranas más utilizadas en este campo, a continuación citamos los valores alcanzados con muestras extraídas del sistemas de impermeabilización al cabo de los 48 meses de su instalación.

Material de la geomembrana	Resistencia al pelado, N/50 mm
CSM	250
EPDM	60
PEAD	1300
PP	450
PVC-P	400

3.7. NEGRO DE HUMO

El contenido en negro de humo ha sido correcto y ha superado los requerimientos de la actual normativa. La figura 4 muestra la dispersión del negro de humo en la geomembrana del campo experimental.

3.8. MICROSCOPIA ÓPTICA DE REFLEXIÓN

En la evaluación de las geomembranas utilizadas como pantallas impermeables en los embalses se ha hecho uso de un microscopio Zeiss, utilizando luz natural y se introdujo un filtro especial para atenuar los efectos del brillo propio de las geomembranas sintéticas. Las microfotografías se han tomado a aumentos de (40x) y (60x) con objeto de ver sus texturas y morfología (7-8).

Las figuras 5 y 6 corresponden a la membrana de poli(cloruro de vinilo) plastificado con inserción de fibra de vidrio a 40 aumentos por sus caras externa e interna, respectivamente, al cabo de los 12 años de su instalación.

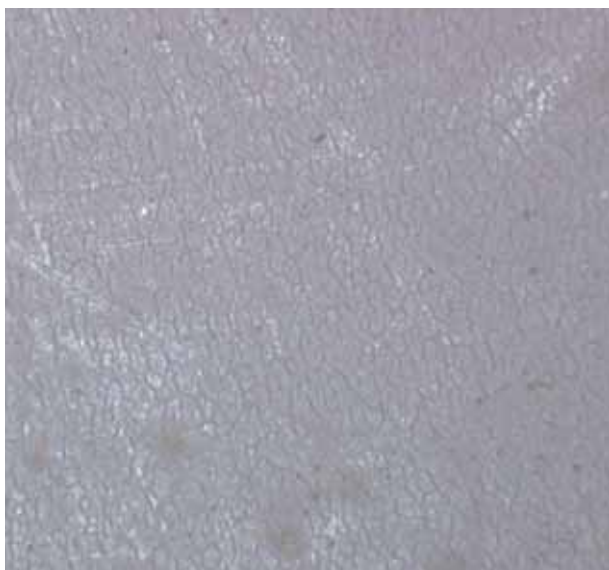


FIGURA 5. Microfotografía de PVC-P (x40) en su cara externa a los 12 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

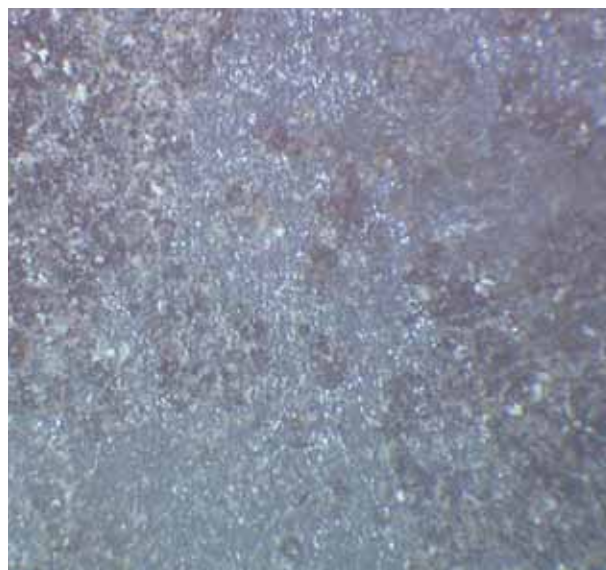


FIGURA 6. Microfotografía de PVC-P (x40) en su cara interna a los 12 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

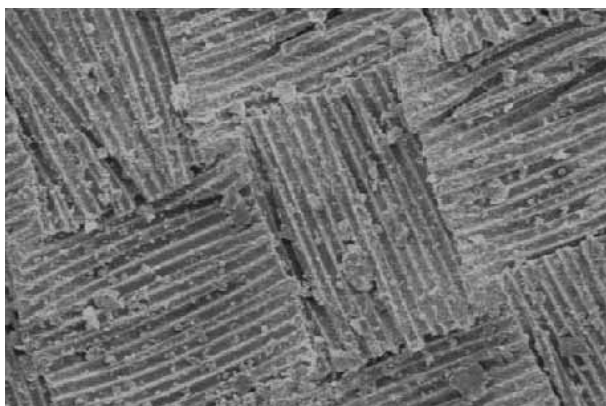


FIGURA 7. Microfotografía de EPDM (x90) a los 6 años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.

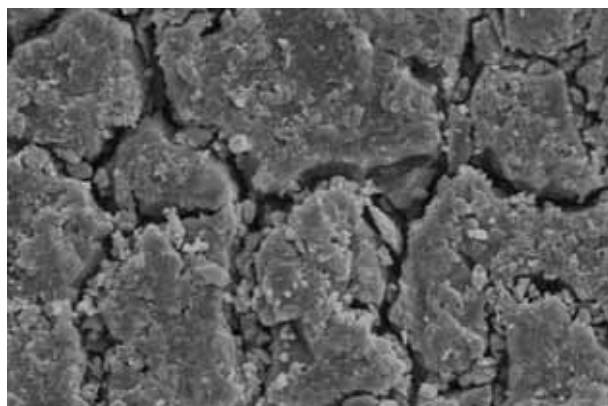


FIGURA 8. Microfotografía de PP (x900) a los 13 años de su instalación por microscopia electrónica de barrido.

3.9. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La microscopia electrónica de barrido (SEM) o “scanner” se ha realizado mediante un microscopio electrónico de barrido Zeiss, modelo DSM-492, equipado con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X, “Link Isis Tetralink”.

La figura 7 se presenta el aspecto de la lámina de EPDM (x90) al cabo de los seis años de su colocación. La técnica de “scanner” mostraba una especie de trama-urdimbre, aunque la geomembrana no es reforzada; este fenómeno es debido a las huellas que quedan en el proceso de vulcanización de este caucho. En la microfotografía de la figura 8 se puede comprobar el aspecto del polipropileno (x90) al cabo de los trece años de su colocación en el campo experimental.

4. CONCLUSIONES

1. El poli(cloruro de vinilo) plastificado reforzado con una inserción de fibra de vidrio al cabo de los 12 años de su instalación ha perdido poca cantidad de plastificantes. El doblado a bajas temperaturas y la resistencia al impacto dinámico han sido correctos cumpliendo los requerimientos exigidos a una geomembrana original. El recorrido del punzón es excelente lo que implica un notable resultado desde el punto de vista de la resistencia al impacto estático. Únicamente se denota una disminución apreciable de la elongación.
2. En el polietileno ensayado los valores alcanzados son muy buenos y, como en el epígrafe anterior, se observa una pérdida de alargamiento en la rotura. Su resistencia al desgarro se ha incrementado ligeramente al cabo de los quince años de observación.
3. El copolímero de etileno-acetato de vinilo, aparte de un buen comportamiento general, su característica más destacable es la resistencia al punzonamiento que supera al del resto de los materiales sometidos a ensayo.
4. El polietileno clorosulfonado es, quizás, uno de las mejores geomembranas sintéticas investigadas; si tenemos que poner algún impedimento, tendríamos que recurrir desde el punto de vista económico a su elevado coste y, técnicamente, su relativo bajo impacto estático.
5. El polipropileno se ha considerado desde hace unos años como el material del futuro; visto hoy día ya exis-

ten otros productos que le han usurpado el título; no obstante, la totalidad de sus propiedades pueden considerarse con una calificación de notable.

6. La poliolefina elastomérica es en la actualidad, probablemente, uno de los materiales que se encuentran entre los futuribles en este campo; los datos alcanzados son notablemente buenos.
7. La última geomembrana considerada es el etileno-propileno-monómero diénico con resultados muy buenos, fundamentalmente su impacto estático. Su impacto dinámico es bajo inicialmente pero con el tiempo y debido a procesos de vulcanización mejora a lo largo del tiempo.
8. El campo experimental de El Saltadero se puede considerar pionero en la investigación de geomembranas sintéticas para la impermeabilización de obras hidráulicas. La extracción de muestras periódicamente y su posterior análisis ha contribuido a la elaboración de normativa, introducción de nuevos materiales, conocimiento de la calidad de nuevos productos de las diferentes casas comerciales y elaboración de informes técnicos de elevado valor científico. Los datos alcanzados por diversas geomembranas procedentes de este campo experimental han servido de base para la elaboración del “Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas” por parte del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, así como del Boletín de la International Commission on Large Dams, “Geomembrane Sealing Systems for Dams. Design Principles and Return of Experience”.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. SANS, I.- *Estado actual de la normativa técnica UNE sobre impermeabilización con materiales impermeabilizantes: edificación y obra civil*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 779-788. Palma de Mallorca. (2008).
2. BLÁZQUEZ, A. y RIVERA, J.- *Exigencias de marcado CE a materiales y sistemas de impermeabilización cubiertos con DITES*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e

- impermeabilización de balsas, pp. 17-30. Palma de Mallorca. (2008).
3. CASTILLO, F.; BLANCO, M. y SOLERA, R.- *Estudio de diferentes láminas de poli(cloruro de vinilo) con vistas a su aplicación en obras hidráulicas*. Proc. V Jorn. Esp. Presas. Vol. I, 662-676 (1996).
 4. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; y ZARAGOZA, G - *Características iniciales de geomembranas sintéticas de diferente naturaleza utilizadas en la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil, 120, 77-88 (2000).
 5. PAROLI, R.M.; DUTT, O.; RODRIGUEZ DE SANCHO, I. y BLANCO, M.- *Characterization of Bitumens Using High Performance Gel Permeation. Chromatography and Thermal Analysis for Improving Performance of Bitumen /Polymer Blends for Waterproofing*. Proc. Int. Roofing. 418-430 (1992)
 6. RODRIGUEZ DE SANCHO, I; BLANCO, M.; MONTERO, L.; HERNANDEZ, D. y PARGADA, L.- *"Nuevos métodos analíticos avanzados para investigación y desarrollo de materiales en Ingeniería Civil"*. An. J. Eng. Estruct. 5, 137-148 (1991).
 7. 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).
 8. SORIANO, J.; BLANCO, M.; BURGOS, J.; AGUIAR, E.; ZARAGOZA, G. y GARCÍA, M. A.- *Las microscopias 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).
 9. BLANCO, M.; RICO, G.; PARGADA, L; CASTILLO, F. y AGUIAR, E.- *Estudio de plastificantes utilizados en geomembranas de PVC-P empleadas en impermeabilización de obras hidráulicas*.- Rev. Plast. Modernos (en prensa).
 10. BLANCO, M.; CASTILLO, F.; PARGADA, L. y RICO, G.- *Importancia del tipo de plastificante en la durabilidad de las geomembranas impermeabilizantes de PVC-P*.- Proc. X Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y XII Congreso de Control de Calidad en la Construcción. Valparaíso (Chile) (2009).
 11. 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).
 12. UNE 104 307.- *Materiales sintéticos. Métodos de ensayo. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas en obra civil*.
 13. BLANCO, M.; CASTILLO, F.; RODRIGUEZ DE SANCHO, I.; SORIANO, J. y BALDONEDO, J. L.- *"Estudio de la degradación de poli(cloruro de vinilo)"*. Proc. Coll'88. Vol. II, 391-410 (1988).
 14. RENZ, O.- *Balsas cubiertas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
 15. AGUIAR, E. y BLANCO, M.- *El Saltadero, un caso atípico en la obra hidráulica: un embalse cubierto*. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este (Uruguay). (2000).
 16. BLANCO, M.; CEA, J.C. de y GARCÍA, F.- *Algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de impermeabilizar una balsa con geomembranas sintéticas*.- I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).
 17. LEIRO, A.; BLANCO, M. y ZARAGOZA, G.- *Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of Spanish reservoirs*. Geosynthetics 7th ICG, Delmas, Gourc & Girard (Eds.) Editorial Balkema, pp. 979-982 Rotterdam (Holanda). (2002).
 18. 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, pp. 255-267 Burgos. (2005).
 19. AGUIAR, E.; BLANCO, M.; VARA, T.; ARMENDÁRIZ, V. y SORIANO, J.- *Evolución de las geomembranas sintéticas instaladas en el campo experimental de El Saltadero con vistas a su empleo en la impermeabilización de Obras Hidráulicas*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. pp. 477-488 Palma de Mallorca. (2008).
 20. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. *Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*. (En elaboración).
 21. International Commission on Large Dams. *Geomembrane Sealing Systems for Dams. Design Principles and Return of Experience*, Bulletin ICOLD Paris. (En prensa).
 22. CEA, J. C. de y BLANCO, M.- *Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de obras hidráulicas*. Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización, 363-374. Madrid (2005).
 23. SCUERO, A. y VASCHETTI, G.- *Waterproofing of Dams with Synthetic Geomembranes*. Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización, 339-350. Madrid (2005).
 24. KOERNER, R. M. - *Designing with Geomembranes*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 292, 4th edition. (1999).
 25. NAVARRO, A.; BLANCO, M. y RICO, G. *Materiales Ópticos Orgánicos*. AAEUO. Madrid. (1989).
 26. BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CASTILLO, F.; MARTÍN, A.; GARCÍA, F.; VARA, T. y SOLERA, R. *Los plastificantes como aditivos del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana en obras hidráulicas*. I Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla (2005).
 27. UNE 104 306.- *Materiales sintéticos. Determinación del contenido en plastificantes en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, utilizadas en impermeabilización*.
 28. UNE 53 419.- *Plásticos. Determinación de la resistencia de la unión entre láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizadas en impermeabilización*.
 29. UNE 104 304.- *Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas en impermeabilización*.