

Seis años de experiencia en el empleo de geomembranas de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) en la impermeabilización de balsas

MANUEL BLANCO (*), ESCOLÁSTICO AGUIAR (**), JUAN CARLOS DE CEA (***), JESÚS SORIANO (*), FRANCISCA CASTILLO (*), FLORENCIO GARCÍA (*) y M^º DE LOS ÁNGELES CRESPO (*)

RESUMEN En este artículo se pasa revista al comportamiento de geomembranas sintéticas de tipo elastómero basadas en cauchos de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM). Se exponen los resultados alcanzados por una serie de geomembranas instaladas en obra al cabo de los seis años de su colocación. Las muestras proceden de las balsas de Bigastro, Bullas, La Casa de las Chumberas, El Boquerón, El Golfo, Los Dos Pinos y Los Pozos (La Torrecilla); 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 y hacen referencia a resistencia a la tracción, alargamiento en rotura, esfuerzo para un alargamiento del 300%, resistencia al punzonamiento estático, doblado a bajas temperaturas, resistencia mecánica a la percusión, resistencia de la soldadura tanto por tracción como por pelado, microscopía óptica de reflexión y microscopía electrónica de barrido.

SIX YEARS OF EXPERIENCE IN CONNECTION WITH THE PERFORMANCE OF ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE TERPOLYMER RUBBER (EPDM) GEOMEMBRANES USED IN WATERPROOFING RESERVOIRS

ABSTRACT *This paper provides to show the performance of synthetic geomembranes based on ethylene-propylene-diene terpolymer rubber (EPDM). Results after six years once applied are presented. The samples of geomembranes came from eight Spanish reservoirs: Bigastro, Bullas, La Casa de las Chumberas, El Boquerón, El Golfo, Los Dos Pinos, Los Pozos (La Torrecilla) and El Saltadero (experimental field).*

Characteristics of ethylene-propylene-diene terpolymer rubber were evaluated: tensile properties, impact resistance, static perforation, low temperature folding, joint strength (shear and peeling test), optic microscopy and electron microscopy "scanner".

Palabras clave: Impermeabilización, Geomembranas, EPDM.

1. INTRODUCCIÓN

Los elastómeros han sido los primeros materiales macromoleculares utilizados en la formulación de geomembranas sintéticas. El caso más antiguo que se conoce de empleo de una lámina sintética en obra hidráulica la data la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD) en el año 1959, en el embalse de Kualapuu, en Hawái; dicha lámina estaba constituida por caucho butilo (IIR) (1). A nivel nacional, también fueron los materiales elastoméricos los que se utilizaron inicialmente, ya que por los años sesenta se impermeabiliza la presa de Aiguamoix (Lérida) y el azud de Matavacas (Huelva) (2-3). En España, la impermeabilización se fraguó en el terreno de los embalses para fines

agrícolas y el uso de materiales sintéticos se conoce desde hace varias décadas. Posiblemente, la región levantina fue la pionera en este tipo de experiencias, siendo el CEDEX quien comprobó la validez de bastantes materiales termoestables procedentes, fundamentalmente, de la zona de Ibi (Alicante) donde se empleaba con profusión el caucho butilo. Con el tiempo este elastómero ha ido dejando paso a otras láminas poliméricas, como es el caso del etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) que en ciertas propiedades, como la resistencia al ozono, mejoraban las prestaciones. (4).

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. Los embalses 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 (5-10).

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

(**) Balsas de Tenerife (BALTEN).

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

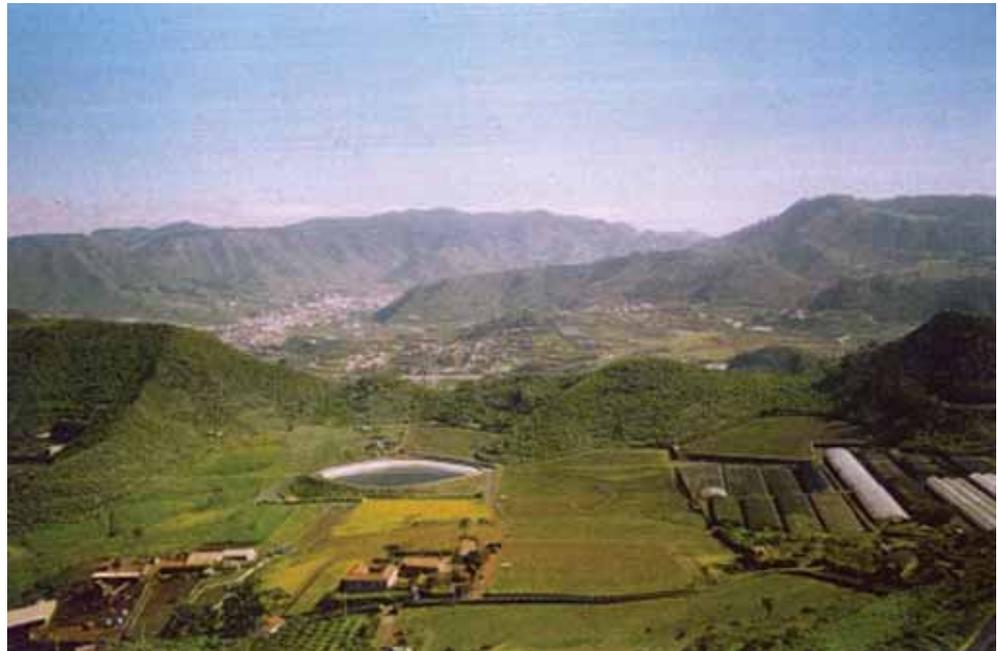


FIGURA 1. Balsa de El Boquerón impermeabilizada con EPDM.

En este trabajo nos referiremos únicamente a una serie de geomembranas de EPDM colocadas en embalses con los resultados obtenidos al cabo de los seis años de su instalación. La figura 1 presenta la balsa de El Boquerón impermeabilizada con EPDM.

2. CAUCHO TERPOLÍMERO DE ETILENO-PROPILENO-MONÓMERO DIÉNICO

Los elastómeros se definen como aquellos materiales poliméricos cuya elasticidad es similar a la del caucho natural y están constituidos por macromoléculas lineales unidas transversalmente por puentes de enlace (vulcanización). La mayoría de los elastómeros tienen un comportamiento termoestable, entendiéndose por este término aquellas materias poliméricas que por la acción del calor o catalizadores apropiados se endurecen de forma irreversible. Descomponen al fundir y están formados por moléculas reticuladas. Los más utilizados en este campo son el caucho butilo, caucho de cloropreno (CR) y EPDM a los que habría que añadir,

hoy en día, las denominadas poliolefinas elastoméricas (POE).

En la actualidad el caucho terpolimero de etileno-propileno-monómero diénico es la geomembrana termoestable más empleada tanto a nivel nacional como internacional. El EPDM es un elastómero sintetizado a partir de etileno, propileno y una pequeña proporción de un dieno. Sus propiedades son semejantes a las del caucho butilo con la particularidad de que presenta una mayor resistencia al envejecimiento y al ozono. Si antiguamente se usaba como dieno el monómero 1,3-butadieno, el empleo de otro tipo de dienos, en algunos casos de tipo terpénico, ha mejorado notablemente las prestaciones del material y lo convierten en un producto con una durabilidad muy considerable.

Aunque son muchos las balsas impermeabilizadas con EPDM 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 2 se muestran cuatro de estas balsas.

BALSA	Nomenclatura	Ubicación	Provincia	Espesor, mm
Bigastro	BI	Bigastro	Alicante	1,20
Bullas	BU	Bullas	Murcia	1,24
La Casa de las Chumberas	CA	Lorca	Murcia	1,18
El Boquerón	EB	La Laguna	Tenerife	1,51
El Golfo	EG	Frontera	El Hierro (TF)	1,60
El Saltadero	ES	Granadilla	Tenerife	1,16
Los Dos Pinos	DP	Los Llanos de Aridane	La Palma (TF)	1,48
Los Pozos	LP	Lorca	Murcia	1,21

TABLA 1. Balsas evaluadas.



FIGURA 2. Balsas impermeabilizadas con caucho terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico: A) Bullas (Murcia). B) Bigastro (Alicante). C) El Saltadero (Tenerife). D) Los Pozos (Murcia).

En primer lugar, se comprobaron las características de la geomembrana inicial y que sirvieron de base para la evaluación posterior. 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 (11-12). Las pruebas a realizar durante el mencionado control periódico son las siguientes:

- Espesores.
- Características de tracción.
- 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.
- Microscopia óptica.
- Microscopia 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 y 4.

BALSA	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido del punzón, mm	
	Cara			
	Externa	Interna	Externa	Interna
BI	238	239	33	33
BU	182	182	48	48
CA	209	203	39	38
EB	266	322	30	40
EG	269	280	38	34
ES	248	246	41	42
DP	200	203	38	38
LP	206	207	41	40

TABLA 2. Resistencia al punzonamiento de las láminas originales.

BALSA	Resistencia a la tracción, MPa	Alargamiento en rotura, %	Esfuerzo para un alargamiento del 300 %, MPa
BI	10,9	425	9,2
BU	9,7	647	5,4
CA	9,8	465	7,4
EB	12,6	527	9,1
EG	10,0	553	6,3
ES	11,0	492	7,7
DP	9,6	489	6,8
LP	9,8	546	9,0

TABLA 3. Características de tracción iniciales.

BALSA	Resistencia de la soldadura, N/50 mm	
	Por tracción	A pelado
BI	343	51
BU	482	–
CA	525	–
EB	–	68
EG	475	64
ES (Obra)	536	–
ES (Taller)	537	–
DP	602	24
LP	269	36

TABLA 4. Resistencia de las soldaduras iniciales.

3.2. CARACTERÍSTICAS A LOS SEIS AÑOS DE LA INSTALACIÓN

3.2.1. Resistencia al impacto dinámico y estático

En general, en cuanto al impacto dinámico, todas las muestras extraídas al cabo de los seis años de su instalación superan, la prueba de resistencia mecánica a la percusión, ya que al lanzar el percutor normalizado desde una altura de 400 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. No obstante, en alguna muestra el ensayo fallaba inicialmente; los cauchos mejoran esta característica con el tiempo, hecho que se atribuye a procesos de vulcanización del material de naturaleza termoestable.

La prueba es interesante teniendo en cuenta los problemas que pueden presentarse durante la puesta en obra y a lo largo de su vida útil, fruto desgraciadamente del vandalismo.

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. Una mala compactación, un lavado de taludes, una rotura y contracción del geotextil protector u otras causas hacen aflorar una serie de materiales pétreos que causarían rotura en la geomembrana. La tabla 5 presenta

BALSA	Resistencia al punzonamiento, N/mm		Recorrido del punzón, mm	
	Cara			
	Externa	Interna	Externa	Interna
BI	286	286	29	29
BU	263	274	38	39
CA	293	283	33	32
EB	349	333	35	32
EG	270	275	30	31
ES	317	306	36	37
DP	258	248	32	31
LP	300	292	33	32

TABLA 5. Resistencia al punzonamiento a los 6 años de la instalación.



FIGURA 3. Geomembranas sintéticas termoestables en la impermeabilización de las balsas: A) Los Dos Pinos (Los Llanos de Aridane) y B) La Casa de las Chumberas (Lorca).

BALSA	Resistencia a la tracción, MPa	Alargamiento en rotura, %	Esfuerzo para un alargamiento del 300 %, MPa
BI	9,6	272	—
BU	9,3	402	7,9
CA	9,9	321	9,4
EB	12,5	336	11,9
EG	10,3	358	9,1
ES	10,6	339	9,9
DP	9,9	326	9,5
LP	10,9	345	9,0

TABLA 6. Características de tracción a los 6 años de la instalación.

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

3.2.2. Doblado a bajas temperaturas

Las probetas de las geomembranas se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas, para ello se doblan las probetas sobre si mismas un ángulo de 180°, después de permanecer 5 h en una cámara frigorífica a una temperatura de -55°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.

Las fotografías de la figura 3 presentan dos balsas en cuyo sistema impermeabilizante se empleó este tipo de material macromolecular.

3.2.3. Características de tracción

En la tabla 6 se presentan los datos de la resistencia a la tracción y el esfuerzo para una elongación del 300%, expresados en MPa, así como el alargamiento en rotura, en %. En la figura 4 se presenta la evolución de las características de tracción en función del tiempo para la geomembrana procedente de la balsa de El Boquerón a los 13 años de su instalación.

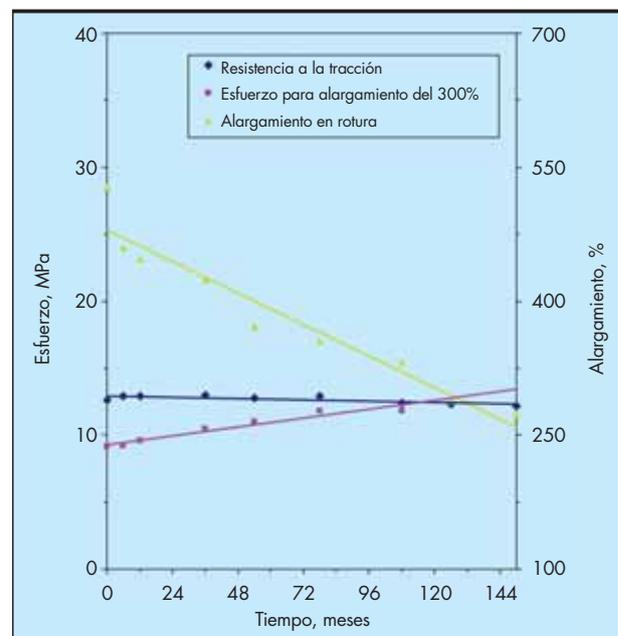


FIGURA 4. Evolución de las características de tracción del caucho de EPDM procedente de la balsa de El Boquerón.

BALSA	Resistencia de la soldadura, N/50 mm	
	Por tracción	A pelado
BI	433	–
BU	453	–
CA	441	–
EB	–	63
EG	502	60
ES (Obra)	425	–
ES (Taller)	447	–
DP	690	38
LP	453	38

TABLA 7. Resistencia de las soldaduras a los 6 años de la instalación.

3.2.4. 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 conducido a resultados correctos, rompiendo las muestras en la zona de soldadura pero fuera de la unión entre paños.

Si bien esta prueba es adecuada para conocer el estado de la unión entre paños, se podría considerar de aspecto cualitativo, por lo que se ha procedido a realizar el ensayo por el procedimiento de pelado que, a diferencia del anterior, se podría calificar de cuantitativo y permite la evaluación y comparación entre las uniones de las distintas muestras. En la tabla 7 se muestran los resultados alcanzados.

3.2.5. 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



FIGURA 5. Microfotografía de EPDM (x60), cara externa, del campo experimental de El Saltadero a los 6 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

tomado a aumentos de (40x) y (60x) con objeto de ver sus texturas y morfología (13).

Las figuras 5 y 6 corresponden a las membranas procedentes de las balsas de El Saltadero y Bigastro, respectivamente, por su cara externa a 60 aumentos al cabo de los 72 meses de su instalación. En el primero de los casos se aprecian las huellas del tejido empleado en el proceso de vulcanización del elastómero.

3.2.6. 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”.

Para este estudio se ha procedido al secado de las muestras durante un periodo de cuarenta y ocho horas. A partir del mismo, se adhieren a un portamuestras metálico con una solución coloidal de grafito en isopropanol al 20% hasta que se genera una capa continua semiconductor entre la muestra, el grafito y el portamuestras. Una vez concluido este proceso, se recubrió el material con una capa de oro-paladio, por el sistema de Sputtering, consistente en hacer vacío a la muestra y someterla a una atmósfera de estos dos elementos; a continuación se controló el espesor de la misma para que fuera homogéneo hasta un máximo de 30 micrómetros.

Las figuras 7 y 8 presentan el aspecto de las láminas de EPDM (x90) de las balsas de El Saltadero y Bigastro al cabo de los seis años de su colocación por su cara interna. Al igual que sucedía con lo observado por microscopia óptica de reflexión, la técnica de “scanner” presenta una especie de tramaurdimbre, aunque la geomembrana no es reforzada; este fenómeno como ya se mencionó es debido a las huellas que quedan del proceso de vulcanización de este caucho.

La figura 9 muestra la balsa herreña de El Golfo impermeabilizada con este tipo de geomembrana.

4. CONCLUSIONES

1. Los resultados alcanzados en las geomembranas de EPDM antes de su colocación en el vaso de las balsas ha conducido a datos que cumplían los requerimientos exigidos a estos materiales, a excepción del esfuerzo para un alargamiento del 300% de la lámina de Bullas. Asimismo, en algunas láminas la resistencia mecánica a la percusión no superaba la prueba.

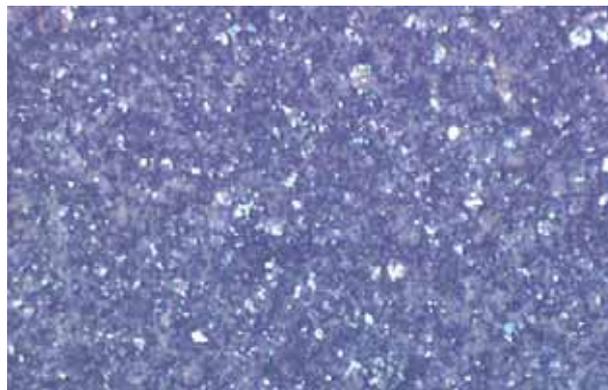


FIGURA 6. Microfotografía de EPDM (x60), cara externa, de la balsa de Bigastro a los 6 años de su instalación por microscopia óptica de reflexión.

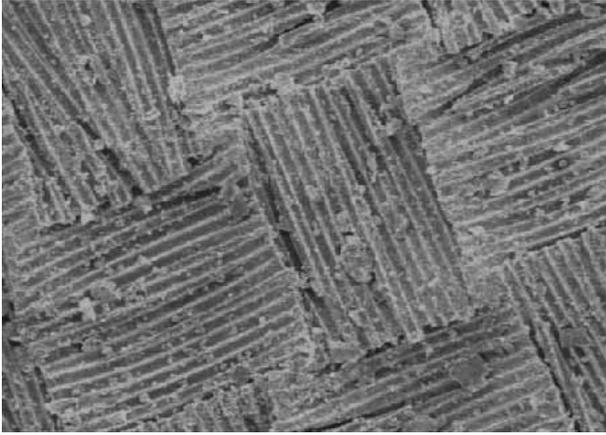


FIGURA 7. Microfotografía de EPDM (x90), cara interna, del campo experimental de El Saltadero a los 6 años de su instalación por microscopía electrónica de barrido.

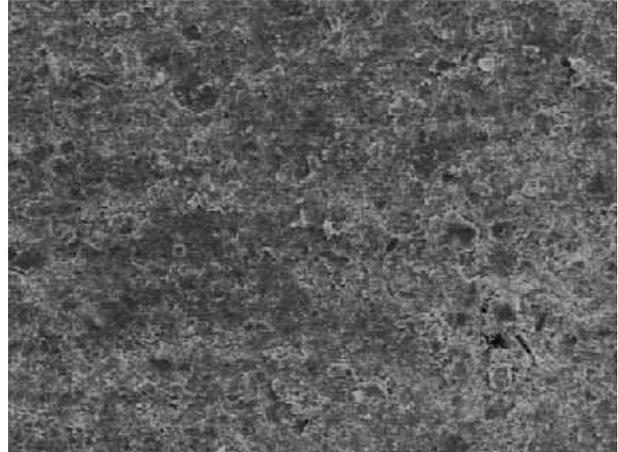


FIGURA 8. - Microfotografía de EPDM (x90), cara interna, de la balsa de Bigastro a los 6 años de su instalación por microscopía electrónica de barrido.

2. Las muestras de geomembranas extraídas a lo largo de los seis años que llevan instaladas, han conducido a resultados correctos al efectuar la prueba de doblado a bajas temperaturas (-55°C), ya que no se han detectado roturas, agrietamientos u otros síntomas de deterioro en la zona de la flexión.
3. En cuanto a las características de tracción conviene señalar que la resistencia a la tracción casi no varía con el tiempo; el esfuerzo para un alargamiento del 300% se incrementa ligeramente, a la vez que el alargamiento en rotura disminuye de forma notable.
- 4.- El impacto dinámico ha mejorado con el paso del tiempo, quizás debido a procesos de vulcanización. El impacto estático o resistencia al punzonamiento presenta unos resultados excelentes como se pone de manifiesto en los valores elevados del recorrido del punzón antes de la perforación.
5. La resistencia de la soldadura tanto por el método de tracción como por el procedimiento de pelado ha alcanzado valores propios de estos materiales termoestables. Si bien los datos cuantitativos de la resistencia al pelado son bajos, no es menos cierto que no se ha observado ningún problema en las uniones entre láminas en las balsas evaluadas. No se han detectado grandes variaciones entre las uniones realizadas en fábrica con las efectuadas en la obra, lo que sería indicativo de una correcta aplicación.
6. Tanto la microscopía óptica de reflexión como la electrónica de barrido muestran un buen comportamiento en el tiempo, notándose únicamente ciertos microporos y microfisuras. Estas últimas, en ciertas ocasiones pueden ser debidas a la manipulación durante el proceso de extracción o del propio traslado de las mismas.



FIGURA 9. Geomembrana de EPDM que forma parte del sistema impermeabilizante del vaso de la balsa de El Golfo.

7. Es de destacar la diferencia observada microscópicamente entre las muestras de El Saltadero y Bigastro, debidas a la distinta forma de abordar el proceso de vulcanización. La aparición de una especie de trama-urdimbre, caso de El Saltadero, puede llevar a error y hacer pensar que se trata de una lámina armada, en cambio se debe a las huellas que quedan del tejido empleado en la mencionada vulcanización. Estas geomembranas elastoméricas también se pueden utilizar reforzadas como es el caso de la entrada de aguas de la balsa de El Boquerón, cuyos resultados hasta el momento son correctos.
8. Por último, cabe señalar que el EPDM como material termoestable es bastante resistente a la acción de las radiaciones solares, no obstante como todo material orgánico sufre sus consecuencias y por ello, aunque lentamente, soporta un proceso de envejecimiento.

5. BIBLIOGRAFÍA

- International Commission on Large Dams. *Watertight Geomembranes for Dams. State of the Art*, Bulletin ICOLD N^o 78 Paris. (1991).
- CEA, J.C. de; ASANZA, E. y BLANCO, M. *Algunas ideas relativas a la protección e impermeabilización de paramentos de presas de hormigón*, in Llanos and col. (Eds.), *Dam Maintenance & Rehabilitation*, Editorial Balkema pp. 777-782. Rotterdam (Holanda). (2002).
- CEA, J.C. de; ASANZA, E. y BLANCO, M. *Face Protection: Geomembranes Lining vs. Paint Coating*. Proc. 21st International Congress on Large Dams Montreal (Canada). (2003).
- BLANCO, M.; GUERRA, E.; ROMERO, A.; SORIANO, J. y ZARAGOZA, G. *Evolución de geomembranas sintéticas a base de PVC-P, HDPE y EPDM en la impermeabilización de embalses*. Rev. Plast. Modernos **90** (590), 154-162 (2.005).
- AGUIAR, E. and BLANCO, M. *Experience in Connection with the Performance of Plasticized poly(vinyl chloride) Sheeting in Tenerife Basin Sealing*. Proc. Symposium on Research and Development in the Field of Dams, 361-375. Crans-Montana (Suiza), Septiembre. (1995).
- AGUIAR, E.; BLANCO, M.; LEIRO, A.; SOLERA, R. y SORIANO, J. *Comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como impermeabilizantes en embalses en la Comunidad Autónoma de Canarias*. XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Punta del Este (Uruguay). (2000).
- BLANCO, M. y AGUIAR, E. *Comportamiento de láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, utilizadas en la impermeabilización de balsas en el Norte de Tenerife*. Ing. Civil **88**, 5-20.(1993).
- BLANCO, M. y AGUIAR, E. *Aspectos más relevantes del comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas impermeabilizantes de embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias*. Ing. Civil **117**, 25-35. (2000).
- BLANCO, M. y CASTILLO, F. *Control periódico de los materiales orgánicos utilizados en la impermeabilización de balsas de agua*. - An. Jornadas Sulamericanas de Engenharia Estrutural, **5**, 115-125. Portoalegre (Brasil) (1991).
- LEIRO, A.; BLANCO, M. and 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).
- BLANCO, M.; AGUIAR, E.; CEA, J. C. de; SORIANO, J.; CASTILLO, F.; GARCÍA, F. y CRESPO, M.A.- *Comportamiento de geomembranas de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) empleadas 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. 289-298. Palma de Mallorca. (2008).
- 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).
- 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).