

Impermeabilización de la balsa de la Laguna de Barlovento con geomembrana de PVC-P: evolución a lo largo del tiempo

MANUEL BLANCO FERNÁNDEZ (*), ÁNGEL LEIRO LÓPEZ (**), JESÚS SORIANO CARRILLO (***)
M^º ÁNGELES CRESPO MUCIENTES (****), JORGE ZORNBERG (*****),
ESCOLÁSTICO AGUIAR GONZÁLEZ(*****), GLORIA RICO ARNAIZ (******) y LINA PARGADA IGLESIAS (******)

RESUMEN La balsa de La Laguna de Barlovento constituyó en el momento de su construcción una obra hidráulica de las más importantes de Europa, por su capacidad y ubicación. Los ingenieros responsables decidieron proceder a una impermeabilización con una geomembrana sintética de poli(cloruro de vinilo) plastificado.

Este trabajo muestra las características iniciales de la lámina vinílica, así como su evolución desde su construcción hasta el año 2010. Se presentan los resultados referentes a espesores, contenido y naturaleza de los plastificantes, características de tracción, doblado a bajas temperaturas, resistencia al impacto dinámico, resistencia a la perforación, resistencia de las soldaduras tanto las realizadas en obra como en fábrica así como la aplicación de técnicas de microscopía óptica de reflexión y electrónica de barrido.

En la determinación de estas características se ha hecho uso de técnicas analíticas avanzadas como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), cromatografía de gases (CG) y espectrometría de masas (EM).

LONG-TERM PERFORMANCE OF THE "LAGUNA DE BARLOVENTO" RESERVOIR WATER-PROOFING USING A PVC-P GEOMEMBRANE

ABSTRACT *The "Laguna de Barlovento" reservoir was one of the most important European hydraulic projects at the time of its construction because of its high capacity and challenging location. At the time, the designers decided to waterproof this reservoir with a geomembrane of plasticized polyvinyl chloride (PVC-P).*

This paper documents the initial characteristics of the geomembrane and its performance since its installation until 2010. The material characterization includes a comprehensive testing program, the results of which are presented. They include quantification of the geomembrane thickness, amount and nature of plasticizers, tensile properties, foldability under low temperatures, dynamic impact resistance, puncture resistance, welding strength (both in the manufacturing facility and in the field), as well as the use of techniques involving optical and scanning electron microscopy. In addition, advanced analytical techniques, such as Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Gas Chromatography (GC) and Mass Spectrometry (MS), were used in order to identify the plasticizers used in the geomembrane formulation. Foldability tests were found to provide early indication of degradation. Results from reflection optical and electron scanning microscopy showed that, after 19 nineteen years of installation, the geomembrane remains in good conditions, particularly on the non-exposed side.

Palabras clave: Impermeabilización, Geomembrana, PVC-P, Embalse.

Keywords: Waterproofing, Geomembrane, PVC-P, Reservoir.

(*) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. Vicepresidente de IGS España. E-mail: Manuel.Blanco@cedex.es

(**) Licenciado en Ciencias Químicas. Coordinador Técnico Científico del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. Presidente de IGS España. E-mail: Angel.Leiro@cedex.es

(***) Doctor en Ciencias Geológicas. Coordinador programa Técnico Científico. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. E-mail: Jesus.Soriano@cedex.es

(****) Doctora en Ciencias Químicas. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX), Madrid, España. E-mail: macrespomucientes@gmail.com

(******) Universidad de Texas, Austin, USA. Presidente IGS. E-mail: zornberg@mail.utexas.edu

(******) Ingeniero de Caminos. Gerente de la empresa EPEL BALTEN, Santa Cruz de Tenerife, España. E-mail: e.aguiar@balten.es

(******) Doctora en Ciencias Químicas. Profesora titular de la Universidad Complutense de Madrid, España. E-mail: glori012@ucm.es

(******) Doctora en Ciencias Químicas. Catedrática de la Universidad. Complutense Departamento de Química Orgánica, Madrid, España. E-mail: pargada@ucm.es

1. INTRODUCCIÓN

Las láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) en impermeabilización comienzan a emplearse en España en Edificación en la década de los setenta, en la mayoría de los casos con más pena que gloria, pues su contacto con láminas de tipo bituminoso producía el deterioro rápido del material macromolecular. A finales de la mencionada década el extinto organismo oficial español de normalización, IRANOR, crea un grupo de trabajo dentro del Comité 53 de Plásticos y Cauchos que elabora una norma para las láminas de PVC-P homogéneas a emplear en cubiertas de edificios. Posteriormente, se redactarían otras normas del mismo material pero ya reforzadas bien con fibra de vidrio bien con hilos sintéticos y se ampliaría el campo a su uso en Ingeniería Civil.

La existencia de una normativa con unas características que determinar, una metodología experimental y unos requerimientos, hicieron que las geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado fueran sustituyendo, poco a poco, a las de caucho butilo que eran las de mayor utilización, por esa época, en el campo de la obra hidráulica. El respaldo normativo a las geomembranas de PVC-P se vio favorecido por ser un material que no se veía afectado por el ataque del ozono, verdadero problema de los usuarios del elastómero antes mencionado, que pasados unos años aún seguían solicitando a los laboratorios la prueba de resistencia al ozono para la geomembrana de PVC-P.

El Plan Hidrológico implantado por la Comunidad Autónoma de Canarias en la década de los ochenta llevó consigo, inicialmente, la construcción de nueve balsas todas ellas impermeabilizadas con barreras geosintéticas poliméricas a base de poli(cloruro de vinilo) plastificado procedentes de distintas casas comerciales (Amigó & Aguiar 1994, Aguiar & Blanco 1995, Blanco & Aguiar 1993, 2000, Blanco *et al.* 1995, 1996a). La implantación de esta geomembrana en la Península empezó en el Levante para ir consolidándose en todo el territorio (Blanco *et al.* 1998, 2009a).

El Consejo Insular de Aguas de La Palma, isla, asimismo, ubicada en el Archipiélago Canario, ha llevado a cabo un amplio plan de construcción de balsas, varias de ellas impermeabilizadas con PVC-P: San Mauro, Montaña del Arco, Adeyáhamen, Bediesta, Las Lomadas, Manuel Remón, El Vicario y La Laguna de Barlovento.

Este artículo muestra la evolución en el tiempo de la geomembrana sintética polimérica (GBR-P) de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) instalada en una de las balsas citadas anteriormente, concretamente la correspondiente a la balsa de La Laguna de Barlovento (Figura 1).

Este trabajo muestra las características iniciales de la lámina vinílica, así como su evolución desde su construcción hasta el año 2010. Se presentan los resultados referentes a espesores, contenido y naturaleza de los plastificantes, características de tracción, doblado a bajas temperaturas, resistencia al impacto dinámico, resistencia a la perforación, resistencia de las soldaduras tanto las realizadas en obra como en fábrica así como la aplicación de técnicas de microscopía óptica de reflexión y electrónica de barrido.

En la determinación de estas características se ha hecho uso de técnicas analíticas avanzadas como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), cromatografía de gases (CG) y espectrometría de masas (EM).

2. EL POLI(CLORURO DE VINILO)

Aunque este equipo de trabajo ha tratado todo tipo de materiales macromoleculares utilizados como geomembranas sintéticas (Aguiar *et al.* 2008, Blanco *et al.* 2005a, Leiro *et al.* 2002), donde más ha centrado sus investigaciones ha sido en el poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, por ser el más utilizado, en nuestro país, durante dos décadas en el campo de las Obras Hidráulicas (Blanco *et al.* 2006).

El poli(cloruro de vinilo) es una macromolécula con una gran tendencia a sufrir una deshidrocloración para transfor-



FIGURA 1. Balsa de la Laguna de Barlovento impermeabilizada con una geomembrana de PVC-P.

marse en una estructura de dieno conjugado, altamente estable, lo que lo diferencia de otro tipo de polímero utilizado como geomembrana como es el polietileno clorado (CPE), pues éste en una posible deshidrocloración daría lugar a una estructura de dieno aislado, altamente inestable. Son muchos factores los que influyen en la inestabilidad del PVC (Castillo & Blanco 1991).

Originalmente, el poli(cloruro de vinilo) es un material rígido y como tal se emplea en diversas áreas de la industria desde la automovilística hasta la edificación. En este estado físico no podría ser utilizado en el campo de la Impermeabilización; para ello necesita convertirse en flexible, esto es, plastificarlo.

La plastificación del PVC puede ser interna o externa (Wilson 1995). En la interna, el plastificante se une al polímero mediante enlaces muy fuertes y llega a formar parte de su cadena macromolecular. En cambio, en la plastificación externa el aditivo se absorbe o adsorbe en los poros del polímero; es la más común y económica. En general, los plastificantes están constituidos por ésteres líquidos de elevado peso molecular que aumentan el alargamiento del material y reducen su resistencia a la tracción y su punto de transición vítrea.

El problema de la plastificación externa es la tendencia a migrar del plastificante que puede hacerlo al aire, a un líquido o a un sólido de contacto. El mecanismo de la migración al aire se debe a un proceso de difusión del interior de la geomembrana a su superficie y desde ésta, la evaporación posterior (Sears & Darby 1982). La extracción por un líquido, por ejemplo el agua, precisa que este fluido se ponga en contacto o se difunda por los poros de la macromolécula, disuelva al plastificante y lo arrastre posteriormente al exterior (Nass *et al.* 1986). También la pérdida de plastificante puede deberse al contacto con un material absorbente con la geomembrana si existe compatibilidad entre ambos. Se ha podido constatar que en casos de reimpermeabilizaciones o contacto entre varias láminas de PVC existe una migración entre ellas. (Papakonstantinou & Papaspyrides 1994, Blanco *et al.* 2005b).

La pérdida de plastificantes va a ser función del éster utilizado como aditivo y concretamente de su peso molecular, linealidad y polaridad; teniendo en cuenta que la casi totalidad son polares, podemos reducir el fenómeno a los otros dos factores. Un éster de mayor peso molecular reduce la compatibilidad y eficiencia en los procesos de plastificación, sin embargo migrará peor, pues su difusión en los poros de la macromolécula será inferior por impedimentos estéricos; por tanto habrá que llegar a una solución de compromiso y se recomienda un peso molecular igual o superior a 400. Una mayor ramificación conlleva un incremento en la presión de vapor y favorece la migración al aire, pero disminuye la mencionada migración a líquidos y sólidos (Stark *et al.* 2005).

3. LA Balsa

Entre los años 1971 y 1975 se construyó la balsa cuya impermeabilización fue exclusivamente una capa de arcilla compactada. A pesar de los análisis previos realizados en laboratorio sobre las arcillas, pronto se detectaron fugas pues las mencionadas arcillas eran de carácter volcánico con intercalaciones de coladas basálticas. Todo ello condujo a una solución que pasaba por la impermeabilización con una barrera geosintética polimérica (Fayoux 2004).

La balsa de la Laguna de Barlovento se encuentra ubicada en el nordeste de la isla de La Palma, en el lugar conocido con el nombre de Las Cabezadas, en el término municí-



FIGURA 2. Aspecto de la geomembrana de PVC-P.

pal de Barlovento. Sus características se presentan en la Tabla 1, donde se incluye capacidad, pendiente de taludes y cota y perímetro de coronación, así como su ubicación, naturaleza y espesor de la geomembrana, cantidad de material utilizado y año de puesta en obra. El fondo de la balsa se impermeabilizó con una geomembrana, asimismo, de PVC-P, pero en este caso homogénea, es decir, sin refuerzo, empleándose 80.000 m² de lámina. En el contexto de este trabajo no se hará referencia a la misma, ya que se dispone de menos datos por estar el fondo de la balsa todo el tiempo cubierto de agua; se dispone únicamente de las características iniciales y en algún caso que hubo que vaciarla para llevar a cabo alguna reparación.

4. EXPERIMENTAL

Inicialmente se determinaron las características de la barrera geosintética polimérica antes de su instalación con objeto de comprobar su validez y, además, para tener los datos origina-

Ubicación	Las Cabezadas (Barlovento)
Capacidad, hm ³	3,1
Altura, m	22
Cota de coronación, m	739
Perímetro de coronación, m	1.593
Pendiente de los taludes	2,75:1
Naturaleza de la geomembrana	PVC-P
Espesor de la geomembrana, mm	1,50
Material utilizado, m ²	170.000
Año de instalación	1991

TABLA 1. Características de la balsa de la Laguna de Barlovento.

les para realizar su control periódico, por lo que se han ido extrayendo muestras en diferentes zonas de la balsa y se han repetido las pruebas, con el fin de comprobar la evolución de esas características a lo largo del tiempo. La metodología experimental empleada fue la desarrollada por la norma europea UNE-EN 13 361. Las pruebas de resistencia al punzonamiento se llevaron a cabo según tecnología desarrollada por parte este equipo y que hoy forma parte del acervo normativo español de AENOR. (Blanco *et al.* 1996b, UNE 104 307).

Aunque los ensayos de resistencia a la tracción y alargamiento en rotura se han llevado a cabo tanto en sentido longitudinal como transversal, en el contexto y la brevedad de este trabajo, los resultados expuestos harán referencia, en todos los casos, al sentido longitudinal. Asimismo, las pruebas relacionadas con el impacto dinámico se efectuaron por ambas caras de las probetas, aunque aquí los datos serán los relativos a la perforación por la cara externa, es decir, tal como está colocada la geomembrana en el embalse. Igualmente, mientras no se indique lo contrario los resultados expuestos se refieren a muestras tomadas en el talud norte, área de coronación, por ser esta zona donde las radiaciones ultravioletas tienen una mayor incidencia.

Todas las pruebas realizadas originalmente han superado los requerimientos mínimos exigidos a este tipo de geomembrana según la normativa de la época y que estarían de acuerdo con lo indicado en el actual Manual de balsas (2010) redactado por el CEDEX a petición del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

4.1. DOBLADO A BAJAS TEMPERATURAS

Las probetas del material proveniente de la balsa considerada se sometieron a una prueba de flexión a bajas temperaturas; para ello se doblaron sobre si mismas un ángulo de 180°, después de permanecer 5 horas en una cámara frigorífica a una temperatura de -20°C. Posteriormente se observó si aparecían síntomas de agrietamientos, roturas u otras imperfecciones superficiales.

Las muestras procedentes del talud sur, en el área de coronación, al cabo de los diecinueve años no sufrieron ningún tipo de deterioro, mientras que las extraídas en las zonas norte, este y oeste no pasaban la prueba, pues rompían la mitad de las sometidas a ensayo ya a los diecisiete años de su instalación; lo cual indica la importancia que tienen las radiaciones UV, procedentes del sol, en este tipo de termoplásticos (Aguir *et al.* 2002, 2003, Blanco *et al.* 2003).

4.2. RESISTENCIA AL IMPACTO DINÁMICO

Desde el punto de vista de la resistencia mecánica a la percusión cabe considerar que las muestras de la lámina sometidas a estudio superaron la prueba, tanto originalmente como en las extracciones realizadas durante los diecinueve años de instaladas, independientemente del lugar de la toma de muestras en la balsa. La prueba de resistencia mecánica a la percusión, se realizó lanzando 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 geomembrana no sufrió perforación en la zona de impacto, como se puso de manifiesto al realizar una posterior prueba de estanquidad.

4.3. CARACTERÍSTICAS DE TRACCIÓN

Los valores de la resistencia a la tracción y del alargamiento en el punto de carga máxima se reflejan en las Figuras 3 y 4, respectivamente. Tanto el alargamiento como la resistencia a la tracción no han experimentado cambios notables a lo largo de los diecinueve años de su exposición

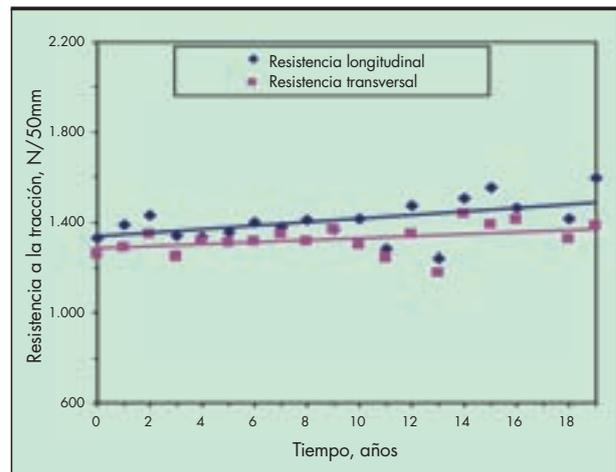


FIGURA 3. Evolución de la resistencia a la tracción, en función del tiempo.

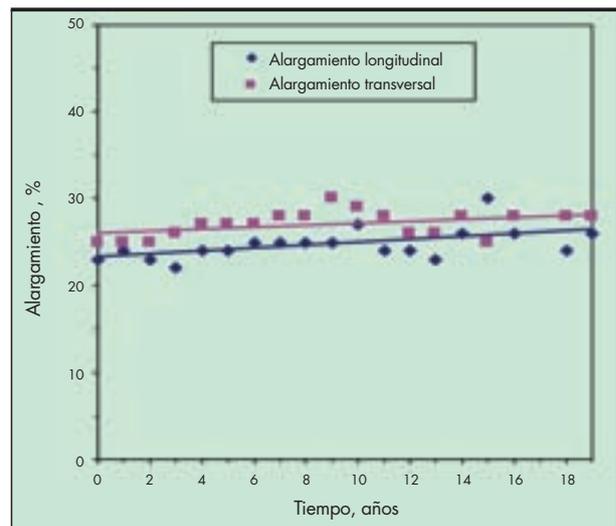


FIGURA 4. Evolución del alargamiento en el punto de carga máxima, en función del tiempo.

a la intemperie, únicamente la carga de tracción sufre un mínimo incremento. El hecho se debe a que la resina todavía no se ha degradado lo suficiente como para dejar al descubierto el poliéster de la armadura que es el responsable tanto de la carga como del alargamiento en esta geomembrana reforzada.

4.4. RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO ESTÁTICO

El comportamiento al impacto estático puede apreciarse en los valores que se presentan en las Figuras 5 y 6 donde aparecen la variación de la resistencia al punzonamiento y el recorrido del punzón antes de perforar, respectivamente. La resistencia al punzonamiento se incrementa con el paso del tiempo, a la vez que disminuye el recorrido del percutor antes de perforar. Este valor es relativamente bajo como consecuencia del textil de la armadura.

4.5. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS

La unión entre paños no solo se ha realizado en el propio terreno, sino que debido a las dimensiones de la obra, una

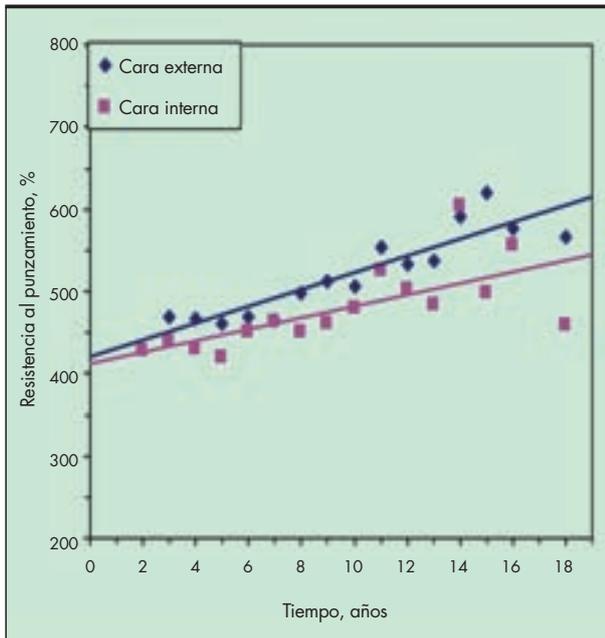


FIGURA 5. Evolución de la resistencia al punzamiento, en función del tiempo.

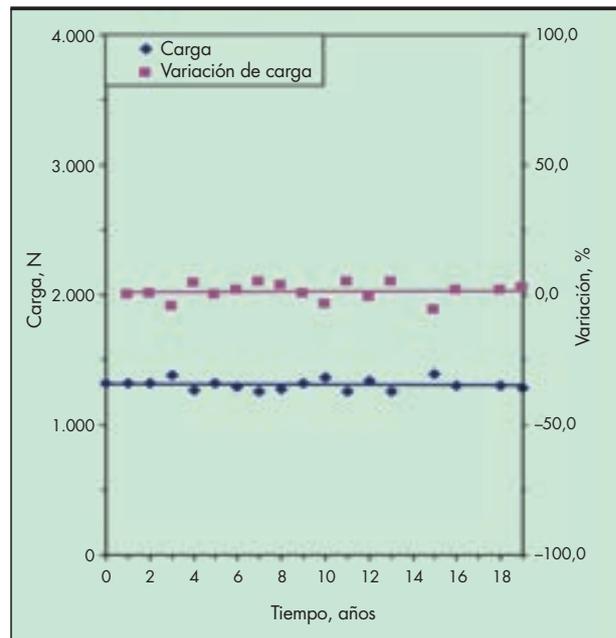


FIGURA 7. Evolución de la resistencia de la soldadura por tracción, en función del tiempo, en juntas hechas en obra.

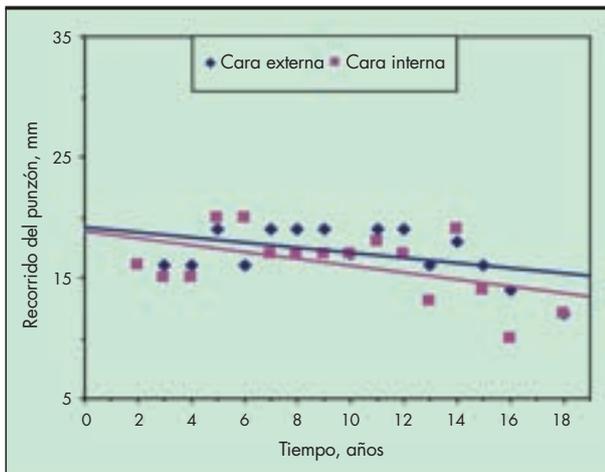


FIGURA 6. Evolución del recorrido del punzón antes de perforar, en función del tiempo.

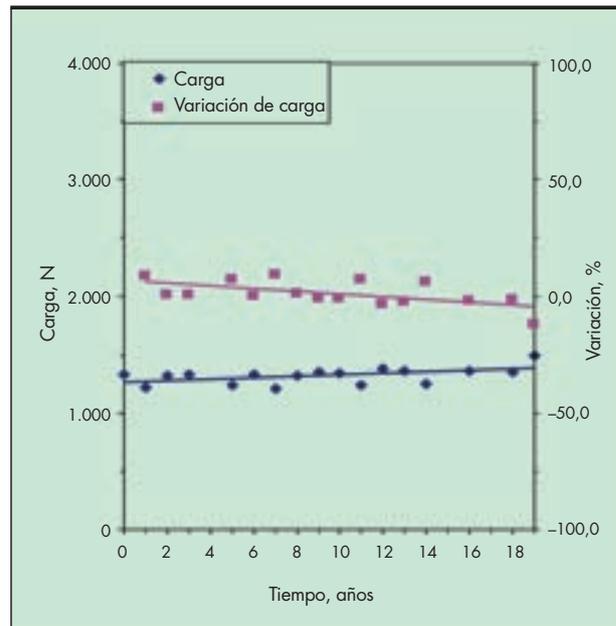


FIGURA 8. Evolución de la resistencia de la soldadura por tracción, en función del tiempo, en juntas hechas en fábrica.

serie de paños venían soldados de la fábrica. La resistencia de la soldadura determinada por el procedimiento de tracción, ha conducido a resultados correctos, ya que las muestras rompen en el borde o en las proximidades de la soldadura, pero fuera de la unión propiamente dicha; los valores alcanzados se presentan en las Figuras 7 y 8 que corresponden a la evolución de las uniones hechas en obra y en fábrica, respectivamente. Es de destacar la semejanza en el comportamiento de las uniones hechas en fábrica y en obra, lo que es indicativo de la buena puesta en obra de la geomembrana. En la Figura 9 se presentan los valores obtenidos cuando la prueba se lleva a cabo por el procedimiento de pelado; los datos obtenidos en esta prueba cuantitativa son bastante elevados, lo que confirma la buena realización de las juntas.

4.6. MICROSCOPIA ÓPTICA Y ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La evaluación microscópica de la geomembrana se ha efectuado en las condiciones experimentales indicadas en la bibliografía (Soriano *et al.* 2006, 2010). Las microfotografías de la observación por microscopía óptica de reflexión (MOR) se han tomado a aumentos de (x 40) y (x 60) con objeto de ver sus texturas y morfología. La Figura 10 representa las caras externa e interna a 60 aumentos a los diecinueve años de colocada en obra. Asimismo, se ha comprobado el estado de la

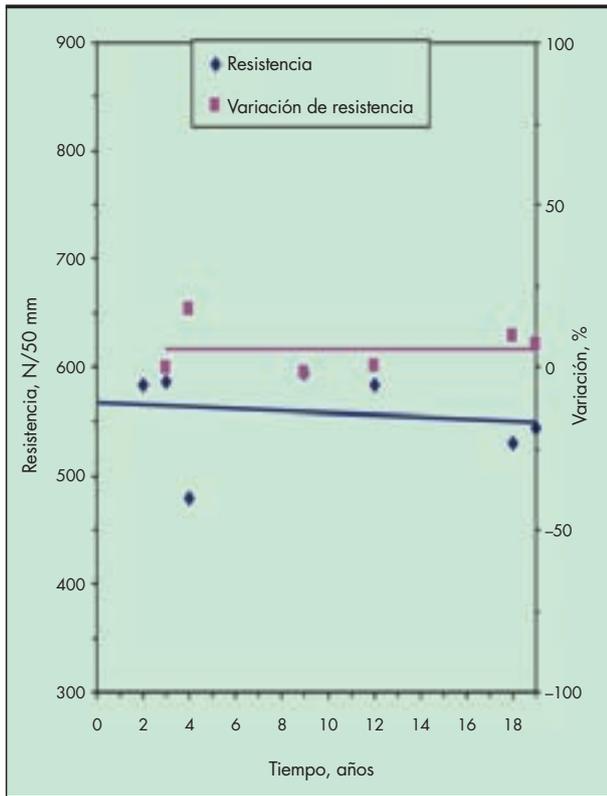


FIGURA 9. Evolución de la resistencia de la soldadura por pelado, en función del tiempo, en juntas hechas en obra.

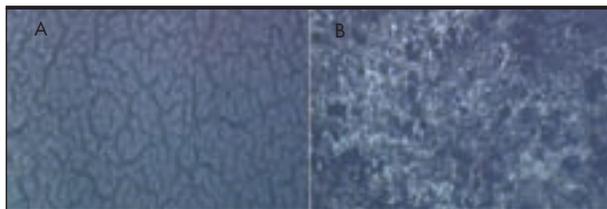


FIGURA 10. Microfotografías (x 60) de la geomembrana, por ambas caras, a los diecinueve años de su instalación por microscopía óptica de reflexión. A. Cara externa. B. Cara interna.

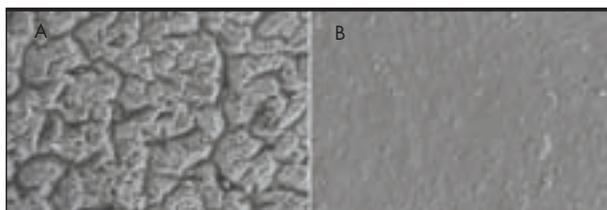


FIGURA 11. Microfotografías (x 90) de la geomembrana, por ambas caras, a los diecinueve años de su instalación por microscopía electrónica de barrido. A. Cara externa. B. Cara interna.

citada geomembrana a los diecinueve años de instalada, por microscopía electrónica de barrido o “scanner” a (x 90) y (x 900) aumentos. La Figura 11 muestra el aspecto del material por ambas caras a 90 aumentos.

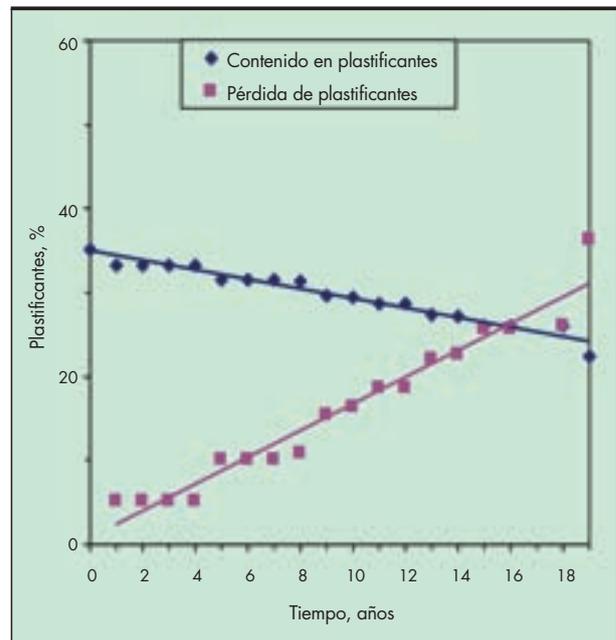


FIGURA 12. Evolución del contenido y la pérdida de plastificantes, en función del tiempo.

La microscopía óptica de reflexión muestra una cara externa con un notable cuarteamiento superficial mientras que la interna se encuentra en buen estado de conservación. La microscopía electrónica de barrido confirma lo observado por la óptica.

4.7 PLASTIFICANTES

La determinación del contenido en plastificantes en la lámina original condujo a un valor del 35,1%. En la Figura 12 se puede comprobar su disminución y su pérdida con relación al valor original a lo largo de diecinueve años.

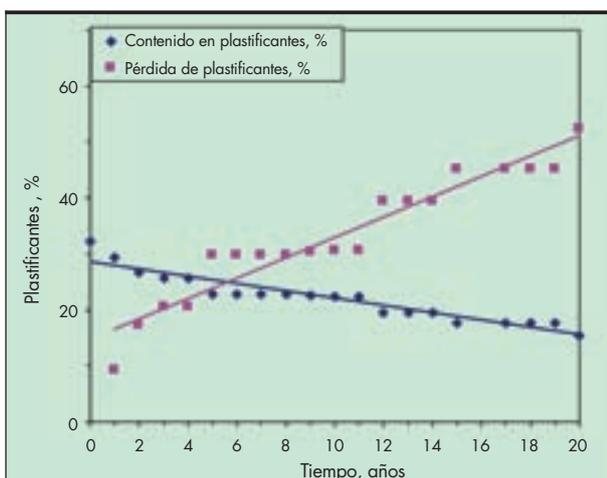
4.7.1. Influencia de la zona de extracción de muestra

La Tabla 2 presenta los datos obtenidos a los 15 años de la aplicación de la lámina, donde se puede comprobar la influencia de la orientación y la situación dentro de la balsa en la pérdida de aditivo. Se puede observar que la mayor pérdida es en coronación, luego en zonas intermedias y, por último, en la zona cubierta por el agua. Asimismo, la zona menos afectada por las radiaciones solares es la sur. Es de destacar que la zona este, se impermeabilizó un año más tarde con una nueva remesa de lámina que, teóricamente, debía ser exactamente de la misma formulación pero los resultados alcanzados por las muestras extraídas de la misma demuestran que no era así y su comportamiento difiere del resto.

Al ajustar los datos de pérdida de plastificantes a una recta como la que aparece en la Figura 12, tendríamos una ecuación del tipo:

$$y = ax + b$$

donde b es la ordenada en el origen, es decir, el contenido en plastificante inicial y a la pendiente o tangente de la recta; de forma que si a fuera 0, la ecuación sería $y=b$, por tanto no habría pérdida de aditivo, por ello, cuanto más próximo a 0 sea el valor de a menor será la disminución de plastificantes y nos permitirá comparar entre distintas muestras ya sean de una misma balsa o de otras. A título



	Coronación	Intermedia	Sumergida
Norte	26,1	27,2	28,1
Sur	27,4	27,6	27,9
Este*	24,9	26,6	27,7
Oeste	26,0	26,5	27,5

* Datos a los 14 años

Tabla 2. Contenido en plastificantes en función de la orientación y de la zona de extracción de muestras.

de ejemplo, la Tabla 3 muestra los datos de las muestras a los quince años de colocada la lámina. En todos los casos en Barlovento se puede comprobar como el comportamiento es mejor a medida que las muestras se extraen en las proximidades del fondo.

En la Tabla 3 las letras N y S se refieren, respectivamente, a la zona de extracción norte y sur, mientras que los números 1, 2 y 3 señalan el área de toma de muestras en coronación, parte intermedia y próxima al agua, respectivamente.

Referencia	Cuadrado del coeficiente de regresión	Tendencia	
		A	b
N1	0,9711	-0,0449	34,595
N2	1,0000	-0,0439	35,100
N3	0,8128	-0,0314	35,204
S1	0,9658	-0,0421	34,491
S2	1,0000	-0,0417	35,100
S3	0,9269	-0,0351	35,168

Tabla 3. Valores de la pendiente relativos a la pérdida de plastificantes en muestras de geomembrana a los quince años de su instalación.

Según los datos de la pendiente el mejor comportamiento corresponde a las zonas sumergidas y las más deterioradas a las áreas de exposición continua a la intemperie. La zona en mejor estado de conservación es la sur.

4.7.2. Identificación

El plastificante que forma parte de la formulación de la lámina se ha determinado por extracción con éter etílico siguiendo los procedimientos citados en la bibliografía científica (Crespo 2011).

Una vez aislado el plastificante se sometió, en primer lugar, a un análisis por infrarrojo con transformada de Fourier en un aparato Nicolet 310 FT-IR, donde aparecen perfectamente diferenciadas las bandas correspondientes a ftalatos de alquilo (Blanco *et al.* 2008, 2009b, 2010).

La identificación del aditivo se llevó a cabo utilizando la técnica de Cromatografía de Gases combinada con la Espectrometría de Masas (CG-MS). Para ello, se usó un cromatógrafo GC Agilent 6890N con una columna capilar de fenilmetilpolisiloxano DB%-MS (30 m x 0.25 x 0.25) acoplada a un sistema de detector de masas cuadrupolo Agilent 5793 MSD en modo de impacto electrónico. La primera de las técnicas permite conocer y separar el número de productos que constituyen "el plastificante" y la segunda, la identificación de las fracciones elucidadas.

La cromatografía de gases generó un cromatograma con único pico. Dicho producto al ser sometido a la espectrometría de masas generó un espectro del que se pueden extraer los siguientes datos: MS, m/e(intensidad relativa): 446(M⁺), 307(C₁₈O₄H₂₇⁺,25), 167(C₈H₇O₄⁺,19), 149(C₈H₅O₃⁺,100), 85(C₈H₁₃⁺,25), 57(C₄H₉⁺,29). Las fragmentaciones indican que se trata del ftalato de diisodécilo.

El ftalato de diisodécilo presenta un peso molecular de 446, es decir muy superior a 400 que es el mínimo recomendado para conseguir una geomembrana de gran durabilidad como señala el norteamericano Instituto de Geomembranas de PVC. Por otro lado, este aditivo al tener como sustituyentes de los protones del ácido ftálico radicales alquílicos ramificados tiene poca tendencia a migrar al agua y lo hace con mayor facilidad al aire; sin embargo, al ser el mencionado radical de diez átomos de carbono su longitud dificulta este proceso. Este hecho pone de manifiesto el buen comportamiento de esta geomembrana a lo largo del tiempo.

5. CONCLUSIONES

Las muestras procedentes del talud sur al cabo de los diecinueve años no sufren agrietamientos en el lugar de la flexión, mientras que los materiales extraídos en las otras zonas del embalse empiezan a fallar a los diecisiete años de instalados. Esta prueba es, en el caso del PVC-P, de gran interés pues cuando empieza a agrietarse tras un doblado la geomembrana ha entrado en un proceso degradativo importante y se recomienda un seguimiento apropiado y continuado de la misma, pues no pasarán muchos años sin tener que proceder a una reimpermeabilización.

Las características de tracción no mostraron cambios notables en el tiempo que lleva colocada en obra la barrera geosintética; ello se debe a que el tejido utilizado como armadura es el responsable tanto de la resistencia a la tracción como del alargamiento en la carga máxima y durante este periodo todavía la resina que protege al citado tejido se encuentra en buen estado de conservación.

La resistencia mecánica a la percusión es correcta a lo largo de los años debido al citado refuerzo de poliéster de la lámina. La resistencia a la perforación se incrementa con el

tiempo y el recorrido del percutor disminuye, como consecuencia del mencionado textil.

La resistencia de las soldaduras, tanto las hechas en la propia obra como las que venían efectuadas desde la fábrica, determinada por el método de tracción conduce a resultados adecuados pues la rotura se produce en las proximidades de la unión pero fuera de la soldadura propiamente dicha. Se puede observar que no existen diferencias notables entre los dos tipos de uniones entre paños, lo que indica la buena puesta en obra de las láminas. Si la prueba por tracción se puede considerar cualitativa, el procedimiento de pelado es un ensayo cuantitativo que, en este caso, proporciona unos valores bastante elevados para una barrera geosintética polimérica a base de PVC-P. Todo ello, viene a confirmar la excelente aplicación del material.

La microscopía óptica de reflexión al igual que la microscopía electrónica de barrido muestra, al cabo de los diecinueve años de su colocación, una cara externa con un notable cuarteamiento mientras que la interna presenta una superficie en buen estado de conservación.

Se ha identificado el plastificante que forma parte de la composición de la geomembrana que resultó ser ftalato de diisododecilo, cuyo peso molecular es 446, muy superior al requerido para conferirle una gran durabilidad. No obstante, al ser un éster con radicales alquílicos ramificados presenta tendencia a su migración al aire, que en este caso está atenuada por la longitud de la cadena hidrocarbonada.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar E. y Blanco, M. 1995. 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.
- Aguiar, E., Blanco, M., Romero, A., Sacristán, A., Soriano, J. y Vara, T. 2002. Efectos de la orientación en la degradación del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana sintética en la impermeabilización del embalse de la Cruz Santa. *Aislamiento e impermeabilización*: 24, 14-21.
- Aguiar, E., Blanco, M., Soriano, J. y Vara, T. 2003. Influencia de la orientación en la degradación del poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizado como geomembrana sintética en la impermeabilización del embalse de La Tabona. *Ing. Civil*: 130, 95-103.
- Aguiar, E., Blanco, M., Vara, T., Armendáriz, V. y Soriano, J. 2008. 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*: 477-488. Palma de Mallorca.
- Amigó, E. y Aguiar, E. 1994. Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas. *Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias*.
- Blanco, M. y Aguiar, E. 1993. 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.
- Blanco, M.; y Aguiar, E. 2000. Aspectos más relevantes del comportamiento en obra de los materiales sintéticos utilizados como geomembranas impermeabilizantes en embalses ubicados en la Comunidad Autónoma de Canarias. *Ing. Civil*: 117, 25-35.
- Blanco, M., Aguiar E., Castillo, F., Martín, A., García, F., Vara, T. y Solera, R. 2005b. 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.
- Blanco, M., Castillo, F. y Aguiar, E. 2006. Comportamiento de los plastificantes utilizados como aditivos del poli(cloruro de vinilo) plastificado usado como geomembrana en obras hidráulicas. *Rev. Plást. Modernos*: 92 (603), 246-250.
- Blanco, M., Cea, J. C. de, Castillo, F., Soriano, J. y García, F. 2009a. Comportamiento de geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado empleadas en la impermeabilización de balsas en la Península Ibérica. *Aislamiento e impermeabilización*: 50, 10-23.
- Blanco, M., Cuevas, A., Castillo, F. y Aguiar, E. 1995. Evolución de geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizadas en la impermeabilización de embalses en la isla de Tenerife. *Proc. III Congreso de Patología de la Construcción*: 48 La Habana, octubre.
- Blanco, M., Cuevas, A., Castillo, F. y Aguiar, E. 1996a. Comportamiento de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses en las Islas Canarias. *Proc. V Jornadas Españolas de Presas*: Vol. I, 497-511 Torremolinos (España), junio.
- Blanco, M., Cuevas, A., Castillo, F. y Aguiar, E. 1996b. Puesta a punto de una nueva metodología experimental para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas. *Ing. Civil*: 103, 65-69.
- Blanco, M., Cuevas, A. y Zaragoza, G. 1998. Características de geomembranas sintéticas empleadas en la impermeabilización de embalses en el sur y sureste de la Península Ibérica. *Ing. Civil*: 111, 85-95.
- Blanco, M., Guerra, E., Romero, A., Soriano, J. y Zaragoza, G. 2005a. Evolución de geomembranas sintéticas a base de PVC-P, HDPE y EPDM en la impermeabilización de embalses. *Rev. Plást. Modernos*: 90 (590), 154-162.
- Blanco, M., Leiro, A., Soriano, J., Aguiar, E., Armendáriz, V. y Vara, T. 2003. Influencia de la orientación en el deterioro de la geomembrana sintética utilizada como pantalla de impermeabilización en el embalse de la Cruz Santa. *Proc. VII Congreso de Patología de la Construcción*. Mérida (México), septiembre.
- Blanco, M., Rico, G., Pargada, L., Aguiar, E. y Castillo, F. 2009b. Determinación de los ftalatos utilizados como aditivos en la geomembrana de la balsa de La Florida mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas. *Ing. Civil*: 154, 87-95.
- Blanco, M., Rico, G., Pargada, L., Aguiar, E., Castillo, F. y Crespo, M. A. 2010. Influencia del tipo de plastificante en la durabilidad de las geomembranas de PVC-P. *Proc. 3º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3º Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*: 347-357. Barcelona, octubre.
- Blanco, M., Rico, G., Pargada, L., Castillo, F. y Aguiar, E. 2008. Estudio de plastificantes utilizados en geomembranas de PVC-P empleadas en impermeabilización de obras hidráulicas. *Rev. Plást. Modernos*: 96 (629), 386-391.
- Castillo, F. y Blanco, M. 1991. Síntesis, caracterización y fotodegradación en atmósfera inerte de diferentes tipos de policloro-

- ruro de vinilo. *Pub. CEDEX*. Monografía M-20. Ed. Neografis. Madrid.
- Crespo, M. A. 2011. Comportamiento de barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) a base de poli(cloruro de vinilo) plastificado de distinta formulación, instaladas en embalses. *Tesis Doctoral*. Universidad Complutense de Madrid.
- Fayoux, D. 2004. La impermeabilización del embalse de la Laguna de Barlovento. *Proc. Jornadas sobre impermeabilización con materiales sintéticos*. La Palma (España), abril.
- Leiro, A., Blanco, M. y Zaragoza, G. 2002 Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs. G In Delmas, Gourc & Girard (eds.) *Geosynthetics 7th ICG*, Editorial Balkema: 979-982. Rotterdam.
- Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino 2010. Manual de diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas. Madrid.
- Nass, L. I. y Heiberger, C. A. 1986. *Encyclopedia of PVC: Vol. 1 Resin, Manufacture and Properties*. Marcel Dekker, 702, New York.
- Papakonstantinou, V. y Papaspyrides, C. D. 1994. Plasticizer migration from plasticized into unplasticized poly (vinyl chloride). *Journal of Vinyl Technology*:16, n° 4, 192-196.
- PVC Geomembrane Institute (PGI). 2004. PVC Geomembrane Material Specification 1104. University of Illinois, Urbana, IL.
- Sears, J. K. y Darby, J. R. 1982. The Technology of Plasticizers. *John Wiley & Sons*, 1166 New York.
- Soriano, J., Blanco, M., Aguiar, E. y Burgos, J. 2010. La microscopia como método de análisis en el estudio de geomembranas sintéticas de PVC-P. *Proc. 3er Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3er Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*: 411-422. Barcelona.
- Soriano J., Blanco, M., Aguiar, E. y Cea, J. C. de 2006. Las técnicas de microscopia óptica de reflexión y electrónica de barrido en el conocimiento del estado de las geomembranas sintéticas. *Ing. Civil*: 143. 17-22.
- Stark, T. D., Choi, H. y Diebel, P. W. 2005. Influence of plasticizer molecular weight on plasticizer retention in PVC geomembranes. *Geosynthetics International*: n° 2.
- UNE-EN 13 361:2005 Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de embalses y presas.
- UNE 104 307:2011. Materiales sintéticos. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas.
- Wilson, A. S. 1995. Plasticizers: Principles and Practice. *Institute of Materials*. London

www.sotrafa.com

GEOMEMBRANA PEAD

ALVATECH 5002®

HDPE GEOMEMBRANE · GÉOMEMBRANE PEHD



sotrafa, s. a.

Paraje Cartabona, 12
Apartado de correos 73
04710 Sta. Mª del Aguila
EL EJIDO - ALMERIA (SPAIN)
Tfno. 34 950 405600
Fax 34 950 580233
e-mail: construccion@sotrafa.com
[http:// www.sotrafa.com](http://www.sotrafa.com)

Aplicaciones
Applications
Applications



Embalses
Lagoons/Reservoirs
Réserves d'eau



Depósitos
Water tanks
Bassins divers Fosses à lisier



Campos de golf
Golf courses
Terrains de golf



Vertederos
Landfills
Décharges



Canales
Canals
Canaux



Autovías
Motorways
Autoroutes



Túneles
Tunnels
Tunnels



Depuradoras
Water purifying plants
Stations d'épuration

El mejor producto
para la impermeabilización
de hoy y del futuro
Cuidamos el medio ambiente

Meeting today's waterproof requirements
Taking care of the environment

L'étanchéité fiable et durable, la solution à long terme
Une technologie au service de l'environnement



www.sotrafa.com

www.sotrafa.com

www.sotrafa.com