

Geomembranas sintéticas a base de polietileno de alta densidad utilizadas en la impermeabilización de embalses. Seguimiento de obras en las Islas Canarias⁽¹⁾

MANUEL BLANCO [*]; ESCOLÁSTICO AGUIAR [**]

RESUMEN Este trabajo pretende dar a conocer los resultados experimentales obtenidos en el control y seguimiento de geomembranas sintéticas a base de polietileno de alta densidad, utilizadas en la impermeabilización de cuatro embalses ubicados en las islas de Tenerife y La Palma.

Se presentan resultados de esfuerzo y alargamiento, tanto en rotura como en el punto de fluencia, resistencia al desgarro, doblado a bajas temperaturas, resistencia mecánica a la percusión, resistencias de la soldadura por cizalla y por pelado, resistencia al punzonamiento, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido,...

Asimismo, se muestran datos en función de la zona de extracción del material (fondo o coronación del talud) y orientación (norte y sur), con el fin de comprobar la influencia de las radiaciones solares sobre la geomembrana.

SYNTHETIC GEOMEMBRANES BASED ON HIGH DENSITY POLYETHYLENE USED IN RESERVOIRS WATERPROOFING. PERFORMANCE IN WORKS IN CANARY ISLANDS

ABSTRACT This work provides to show the experimental results about the control and evolution of synthetic geomembranes based on high density polyethylene, used in the waterproofing of four reservoirs of Tenerife and La Palma Islands.

It is presented the results of stress and elongation at break and in the yield point, tear resistance, low temperatures bend, impact resistance, shear and peel resistance of joints, puncture resistance, optical microscopy, scanning electronic microscopy,...

Also, we show the data according to extraction areas of materials (bed or talus) and orientation (north or south), in order to test the influence of solar radiations on the geomembranes.

Palabras clave: Impermeabilización; Polietileno de alta densidad; Geomembranas; Embalses.

1. INTRODUCCIÓN

La impermeabilización de balsas para fines agrícolas con materiales sintéticos se conoce en nuestro país desde hace varias décadas. Quizás la región levantina fue la pionera en este tipo de experiencias. Los materiales utilizados por aquel entonces fueron el polietileno de baja densidad (PEBD) y el caucho butílico (IIR). El primero de ellos en la mayor parte de los casos se empleaba enterrado en el vaso que constituye la balsa y con bajos espesores; con el tiempo

esta poliolefina está siendo sustituida por su homóloga el polietileno de alta densidad (PEAD) utilizado ya como lámina impermeabilizante, y separando el agua del propio terreno. El segundo de los materiales, el elastómero caucho butílico con el tiempo ha ido dejando paso a otras láminas poliméricas que en ciertas propiedades, como la resistencia al ozono, mejoraban las prestaciones. En cualquier caso, los dos materiales macromoleculares empleados cumplieron sus funciones y muchos de ellos han llegado a nuestros días en un estado de conservación aceptable.

Cronológicamente, el sucesor del caucho butílico puede considerarse al polícloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) que esta época tenía cierta vigencia en el campo de la impermeabilización en la Edificación. Timidamente, se va introduciendo primero reforzado con hilos sintéticos y, más tarde, como material homogéneo. Pronto en la zona del suroeste de España el polícloruro de vinilo) plastificado sustituye, sino totalmente, sí en una gran parte a los materiales anteriores en la impermeabilización de obras hidráulicas para riego. Este hecho pionero en la península, se verá fuertemente reforzado por el Plan Hidráulico de la Comunidad Autónoma

(1) Una parte de este trabajo ha sido presentado al IV Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones y VI de Control de Calidad (Con Pat97) celebrado en la ciudad de Porto Alegre, en el Estado de Rio Grande do Sul (Brasil).

[*] Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Área de Materiales. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (CEDEX). Ministerio de Fomento.

[**] Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director Gerente de Balsas de Tenerife (BAITEN). Cabildo Insular de Tenerife.

de Canarias que durante la década de los ochenta lleva a cabo un ambicioso programa público de construcción de embalses de riego que permitió desarrollar una tecnología cuyo método y rigor, no sólo en la fase de proyecto y ejecución de las obras sino también en el posterior seguimiento de las mismas, resulta de gran interés para aquellos que han de utilizar la técnica de aplicación de geomembranas en la impermeabilización de pequeños embalses de materiales sueltos (1, 2, 3, 4, 5).

En una primera fase, en el contexto de las Islas Canarias a que nos referimos, se empleó policloruro de vinilo plastificado para posteriormente hacer uso de otro tipo de geomembranas, tanto termoplásticas como termoestables (6, 7).

El Organismo Balsa de Tenerife (BALTEN) que lleva la explotación de aquellos embalses inició en el año 1989 un caso pionero en el control de este tipo de geosintéticos a través del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), cuyos resultados han contribuido al mejor conocimiento en este campo e incluso han servido de base a la elaboración de una normativa nacional de puesta en obra (8, 9, 10).

El policloruro de vinilo plastificado se puede considerar uno de los materiales más utilizados y, como consecuencia de ello, más estudiado en la actualidad y no solamente a nivel nacional. Trabajos como la rehabilitación de la presa de Illsee, en el suizo cantón de Valais hacen uso de este material (11) así como las presas de Pracana y Chambón en Italia donde la bibliografía científica nos describe el uso de la geomembrana vinílica en estas obras sometidas a una reacción alcali-agregado (12, 13).



FIGURA 1. Embalse de Cuatro Caminos ubicado en Los Llanos de Aridane (Isla de La Palma).

El polietileno de alta densidad aparece como material más reciente en su aplicación y por ello sin datos de comportamiento de geomembrana instalada. Poliolefinas ya en forma monomérica o de co- y terpolímeros son objeto de estudio por buena parte de este sector de la construcción (14, 15). En España, la región donde ha tenido una mayor implantación el polietileno de alta densidad ha sido la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Existe otro factor importante para su implantación. Materiales que ya se pueden considerar tradicionales están siendo objeto de ataques, en gran parte de los casos sin demasiados fundamentos científicos, por los medios de comunicación. Sin lugar a dudas, el polietileno de alta densidad es un producto de fácil reciclado.

El objetivo de este trabajo es dar a conocer los datos de comportamiento de láminas de polietileno de alta densidad instaladas en cuatro embalses ubicados en las islas de Tenerife y La Palma (Figuras 1 a 4).

2. EMBALSES

Los embalses, objeto del presente estudio, son los que se citan en la tabla I, donde además figura su ubicación, capacidad, altura máxima de agua, así como la fecha de colocación de la lámina impermeabilizante y espesor de las geomembranas utilizadas.

El estudio de los materiales empleados se ha iniciado determinando las características de las láminas originales según la normativa vigente (16), e incluso para un mayor conocimiento del material se han estudiado otra serie de propiedades que no están contempladas en dicha normativa,



FIGURA 2. Embalse de San Isidro situado en el municipio de Granadilla (Isla de Tenerife).

EMBALSE	UBICACIÓN	AÑO DE PUESTA EN OBRA	CAPACIDAD m ³	ALTURA m	ESPESOR DE LA LÁMINA INSTALADA, mm
Cuatro Caminos	Los Llanos de Aridane	1991	100.000	17,0	1,54
El Saladero	Granadilla	1992	442.095	20,0	1,54
San Isidro	Granadilla	1991	49.800	10,5	1,54
Valle de San Lorenzo	Arona	1991	250.600	16,0	2,74

TABLA I. Características de los embalses evaluados.



FIGURA 3. Embalse de Valle de San Lorenzo enclavado en Arona, al sur de la isla de Tenerife.



FIGURA 4. Vista de la entrada de agua al embalse de Valle de San Lorenzo procedente de la depuración de las aguas residuales de Santa Cruz de Tenerife.

pero que se estimó necesarias para la evaluación del material instalado, tales como la microscopía óptica y electrónica, índice de fluidez, contenido y dispersión de negro de humo.

La evolución de los materiales instalados en obra implicaba una selección de las características a estudiar, ante la imposibilidad de poder disponer de suficiente material para repetir la totalidad de las propiedades iniciales. Este estudio requiere de una extracción de muestras de los embalses periódicamente, y como es lógico la cantidad de material extraída debe ser escasa, ya que lo contrario iría en detrimento del normal funcionamiento de la impermeabilización.

La toma de las muestras se ha realizado semestralmente en los meses de abril y octubre. En el mes de octubre los embalses se encuentran vacíos, por lo que las muestras se pueden extraer tanto del fondo como del talud, en distintas orientaciones. En cambio, en el mes de abril los embalses se encuentran llenos de agua y, por tanto, las muestras son extraídas exclusivamente de la coronación, que es la zona de la lámina que está expuesta permanentemente a la radiación ultravioleta procedente del sol. Este hecho nos permite controlar la posible degradación del material en distintas partes de los embalses (Figura 5).

Las características estudiadas periódicamente fueron las siguientes: espesor, resistencia mecánica a la percusión, resistencia a la tracción y alargamiento en rotura, resistencia

al desgarro, doblado a bajas temperaturas, resistencia al punzonamiento y resistencia de la soldadura, propiedad esta última que está íntimamente relacionada con la instalación de las láminas. Asimismo, se han realizado las pruebas de contenido y dispersión de negro de humo, índice de fluidez, microscopía óptica y electrónica "scanner".

Con objeto de no señalar los nombres de las empresas fabricantes de las diferentes láminas instaladas, a lo largo del trabajo vamos a dar una nomenclatura especial a los materiales procedentes de los cuatro embalses que será la que tendremos en cuenta a partir de ahora.

3. RESULTADOS

3.2.1. RESISTENCIA AL DESGARRO

Al cabo de los cinco años de la instalación de las geomembranas, la resistencia al desgarro de las muestras extraídas en los cuatro embalses, objeto de este estudio, no han experimentado variaciones importantes con relación a los valores originales, según se observa en la tabla II.

3.2.2. Resistencia a la tracción y alargamiento en rotura

En el PEAD no se detectan cambios demasiado notables en su punto de fluencia, salvo una mayor rigidez al tiempo que una disminución del alargamiento, sin embargo, en rotura

EMBALSE	DIRECCIÓN	RESISTENCIA AL DESGARRO			
		N		N/mm	
		INICIAL	A LOS 5 AÑOS	INICIAL	A LOS 5 AÑOS
A	Longitudinal	427	351	156	169
	Transversal	356	336	130	162
B	Longitudinal	255	243	172	160
	Transversal	239	242	165	159
C	Longitudinal	299	249	153	163
	Transversal	289	239	147	156
D	Longitudinal	255	290	172	181
	Transversal	239	290	165	181

TABLA II. Resistencia al desgarro en muestras de PEAD procedentes de los distintos embalses.



FIGURA 5. Zona de toma de muestras en el embalse de San Isidro.

si se aprecian variaciones de una cierta entidad, de acuerdo a los datos experimentales presentados en las tablas III, IV, V y VI.

Las radiaciones solares parecen ejercer una notable acción degradativa sobre este tipo de material. Al llevar a cabo ensayos en muestras tomadas de las zonas norte y sur de los embalses se ha podido comprobar que las extraídas de la zona norte están mucho más degradadas que las procedentes de la zona sur, máxime cuanto menor sea el espesor de la

geomembrana (tabla VII). Asimismo, las probetas provenientes del fondo de los embalses se encuentran en muy buen estado, hecho que no ocurre en las procedentes de la coronación de los mismos; a título de ejemplo se pueden observar los datos de la tabla VIII, correspondientes a muestras del embalse B.

3.2.3. Resistencia al impacto y doblado a bajas temperaturas

Todas las muestras sometidas a estudio superan la prueba de resistencia mecánica a la percusión, ya que al lanzar el percutor normalizado desde una altura de 500 mm no se aprecia perforación en la zona de contacto, como se comprobó al llevar a cabo un ensayo de estanquidad una vez hecho el ensayo.

Asimismo, las probetas de polietileno de alta densidad provenientes de los distintos embalses y de las diferentes zonas de los mismos superaron lo indicado en la normativa vigente en cuanto a doblado a bajas temperaturas. Al doblar las probetas sobre sí mismas un ángulo de 180° , después de permanecer 5 h en una cámara frigorífica a $-20 \pm 2^\circ \text{C}$, no experimentaron síntomas de agrietamiento ni otras imperfecciones superficiales.

3.2.4. Resistencia de la soldadura

En la tabla IX aparecen los datos de resistencia de la soldadura por tracción relativos a muestras procedentes del embalse B, extraídas de la parte de coronación en la zona norte del mismo. Se pueden observar valores bastante elevados de la carga e inapreciables pérdidas en la misma con

TABLA III. Esfuerzo en el punto de fluencia (MPa).

EMBALSE	DIRECCIÓN	TIEMPO DE INSTALACIÓN, AÑOS				
		1	2	3	4	5
A	Longitudinal	21,3	21,6	22,3	20,9	22,1
	Transversal	21,5	21,2	21,8	22,3	21,9
B	Longitudinal	20,1	21,8	22,8	22,0	22,0
	Transversal	21,2	21,1	22,2	23,6	22,8
C	Longitudinal	20,4	21,4	20,5	21,0	20,9
	Transversal	20,8	21,4	21,1	21,6	21,2
D	Longitudinal	—	—	19,2	22,2	21,0
	Transversal	—	—	20,3	23,2	22,4

EMBALSE	DIRECCIÓN	TIEMPO DE INSTALACIÓN, AÑOS				
		1	2	3	4	5
A	Longitudinal	—	14	13	12	14
	Transversal	—	15	14	12	14
B	Longitudinal	—	13	12	13	13
	Transversal	—	14	14	13	13
C	Longitudinal	16	14	14	13	14
	Transversal	17	14	16	15	14
D	Longitudinal	—	—	13	12	14
	Transversal	—	—	17	15	17

TABLA IV. Alargamiento en el punto de fluencia (%).

EMBALSE	DIRECCIÓN	TIEMPO DE INSTALACIÓN, AÑOS											
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
A	Longitudinal	27,0	27,2	26,6	27,9	29,0	26,6	22,3	30,2	27,9	30,4	29,2	30,0
	Transversal	30,0	29,8	29,2	29,1	30,2	31,0	26,5	33,1	28,7	22,2	29,9	30,9
B	Longitudinal	38,0	32,8	29,6	31,6	27,9	28,0	22,8	28,2	25,4	29,6	24,1	29,9
	Transversal	39,0	32,9	31,4	32,1	29,2	28,3	28,2	29,6	27,0	32,5	30,2	30,2
C	Longitudinal	34,0	—	31,1	—	36,7	—	33,7	—	34,9	—	34,5	—
	Transversal	38,0	—	37,9	—	38,2	—	38,1	—	39,2	—	37,8	—
D	Longitudinal	38,0	—	—	—	—	—	—	32,9	33,7	40,6	—	38,2
	Transversal	39,0	—	—	—	—	—	—	37,4	38,6	40,9	—	39,2

TABLA V. Resistencia a la tracción (MPa).

EMBALSE	DIRECCIÓN	TIEMPO DE INSTALACIÓN, AÑOS											
		0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
A	Longitudinal	898	910	852	812	808	776	613	832	793	825	811	837
	Transversal	980	986	860	840	860	822	805	917	810	637	850	855
B	Longitudinal	1083	861	850	862	711	723	584	698	647	623	612	712
	Transversal	1084	986	890	886	735	723	701	747	666	781	744	740
C	Longitudinal	880	—	856	—	781	—	763	—	772	—	776	—
	Transversal	984	—	868	—	829	—	868	—	843	—	857	—
D	Longitudinal	1083	—	—	—	—	—	827	—	885	1008	—	979
	Transversal	1084	—	—	—	—	—	896	—	964	1016	—	993

TABLA VI. Alargamiento en rotura (%).

CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA DE LAS MUESTRAS					
	B			A		
	ORIGINAL	ZONA NORTE	ZONA SUR	ORIGINAL	ZONA NORTE	ZONA SUR
Resistencia a la tracción MPa						
Longitudinal	38,0	25,4	36,0	27,0	27,9	30,0
Transversal	39,0	27,0	39,1	30,0	28,7	32,6
Alargamiento en rotura, %						
Longitudinal	1083	647	960	898	793	879
Transversal	1084	666	1003	980	810	897
Variaciones, %						
Alargamiento						
Longitudinal	—	40,3	11,4	—	11,1	2,1
Transversal	—	38,6	4,7	—	17,3	8,5
Tracción						
Longitudinal	—	33,2	5,3	—	-3,3	-11,1
Transversal	—	30,8	0,3	—	4,3	-8,7

TABLA VII. Características mecánicas del polietileno de alta densidad de dos embalses a los 48 meses de instalado, en función de la orientación.

relación al valor original. Tampoco se hace patente una variación en esta propiedad entre los valores de fondo y coronación (tabla X).

La tabla XI muestra los datos de resistencia de la soldadura, tanto por cizalla como por pelado en las muestras de polietileno de alta densidad procedentes de los cuatro embalses estudiados y a los cuatro años de instalación de las geomembranas. Como se puede observar no existe una rela-

ción entre los dos ensayos y los valores de resistencia al pelado en estos materiales son bastante altos, lo que confirma el buen estado de las uniones.

También se han realizado pruebas con uniones vía térmica y con material de aportación. La tabla XII presenta los datos experimentales de resistencia de la soldadura en materiales procedentes del fondo del embalse B a los 42 meses de su puesta en obra.

TABLA VIII. Características mecánicas del PEAD del embalse B, a los 4 años de instalado en función de la zona de extracción de muestras.

CARACTERÍSTICAS	ORIGINAL	CORONACIÓN	FONDO
Resistencia a la tracción MPa			
longitudinal	38,0	25,4	
Transversal	39,0	27,0	
longitudinal	39,0		38,1
Transversal	41,0		38,3
Alargamiento en rotura, %			
longitudinal	1083	647	
Transversal	1084	666	
longitudinal	1085		974
Transversal	1086		997
Variaciones, %			
Alargamiento			
longitudinal	—	40,3	10,2
Transversal	—	38,6	8,2
Tracción			
longitudinal	—	33,2	2,3
Transversal	—	30,8	6,6

TIEMPOS DE INSTALACIÓN, meses	CARGA EN SOLDADURA, N		PÉRDIDA DE CARGA, %	
	En el punto de fluencia	En rotura	En el punto de fluencia	En rotura
6	1657	1283	—	—
12	1586	1095	4,3	14,6
18	1705	1253	-2,9	2,3
24	1694	1184	-2,2	7,7
30	1690	1213	-2,0	2,3
36	1620	1160	2,2	9,6
42	1580	1073	4,6	16,4
48	1582	1152	4,5	10,2
54	1545	1150	6,8	10,4
60	1620	1180	2,2	8,0

TABLA IX. Resistencia de la soldadura por tracción en las muestras del embalse B, extraídas de coronación, zona norte, en función del tiempo de instalación del material.

3.2.5. Resistencia al punzonamiento

La tabla XIII presenta los valores de carga de perforación, resistencia a la perforación y recorrido del pistón antes del punzonamiento para las muestras tomadas de coronación, zona norte de todos los embalses impermeabilizados con esta poliolefina. La prueba se realizó según una nueva metodología experimental puesta a punto para este tipo de materiales y aplicación (17).

3.2.6. Índice de fluidez

El índice de fluidez se determinó según norma del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (18) por el procedimiento A, condición E a una temperatura de 190° C y un peso de carga de 2,16 kgf. Los valores obtenidos han sido de 0,20 g/10 min, excepto para el material correspondiente al embalse C cuyo valor fue 0,14 g/10 min.

3.2.7. Dureza Shore-D

La dureza Shore-D (19) originalmente es en todos los casos muy semejante con valores de 59±1, apreciándose al cabo de

los cinco años de instalación de los materiales un incremento de la misma que no sobrepasa en ningún caso las dos unidades.

3.2.8. Contenido y dispersión de negro de humo

El negro de humo es un aditivo que se emplea en la fabricación de las cuatro geomembranas empleadas en la impermeabilización de los embalses estudiados. Su misión es absorber las radiaciones UV procedentes del sol y conferir durabilidad al material macromolecular. Aunque en la actual normativa no contempla la cantidad que debe acompañar a la resina, se estima que debe estar sobre el 2,5%; en mayor proporción perjudicaría las características mecánicas del material pues no deja de ser una carga, sin embargo en proporciones menores no ejercería la función para la que se emplea.

Si es importante la cantidad de negro de humo que contenga la lámina impermeabilizante, es todavía de mayor entidad su dispersión a lo largo de la misma. Una dispersión incorrecta podría causar degradaciones, cambio de propieda-

CARACTERÍSTICAS	EMBALSE DE REFERENCIA			
	B		A	
	Coronación	Fondo	Coronación	Fondo
Carga en soldadura, N	1582	1496	2140	1997
Pérdida de carga, %	4,5	0,8	3,8	7,9

TABLA X. Resistencia de la soldadura por tracción, en las muestras de polietileno de alta densidad, en función de la zona de extracción a los cuatro años de su instalación.



FIGURA 6. Embalse de Valle de San Lorenzo. Zona de unión entre paños en la geomembrana de PEAD situada en la parte norte del área de coronación.

EMBALSE	RESISTENCIA DE LA SOLDADURA	
	Por tracción, N	Por pelado, N/50 mm
A	2140	880
B	1582	822
C	1563	—
D	1764	1098

TABLA XI. Resistencia de la soldadura por tracción y por pelado en muestras de polietileno de alta densidad, a los 4 años de su instalación.

des mecánicas y otros efectos verdaderamente graves para el material.

Inicialmente, todas las láminas presentaban un contenido en negro de humo de $2,5 \pm 2\%$ (20). La dispersión, en cambio, ha sido en general bastante mediocre en los materiales procedentes de los embalses A y B. El caso de mejor dispersión han sido las muestras extraídas del embalse D. La figura 7 muestra la dispersión del negro de humo en la muestra de material del embalse B (21) mientras que la figura 8 presenta la muestra anterior cuando se ha derivado la imagen de la muestra a un **procesador digital de imágenes** y se le ha aplicado la técnica del "falso color" para una mejor visualización del aditivo.

3.2.9. Microscopía óptica de reflexión

Se han llevado a cabo observaciones de todas las muestras procedentes de las distintas partes de los embalses por ambas caras. Para ello 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

EMBALSE	RESISTENCIA DE LA SOLDADURA			
	Vía térmica		Con aportación de material	
	Por tracción, N	Por pelado, N/50 mm	Por tracción, N	Por pelado, N/50 mm
B	1496	1184	1493	1153

TABLA XII. Resistencia de la soldadura, en muestras de PEAD, unidas por vía térmica y aportación de material a los 42 meses de su instalación, extraídas del fondo del embalse.

EMBALSE	CARA	TIEMPO DE INSTALACIÓN, AÑOS		
		Carga de perforación, N	Resistencia a la perforación, N/mm	Recorrido, mm
A	Externa	1116	455	10
	Interna	1020	523	12
B	Externa	634	412	9
	Interna	645	419	9
C	Externa	668	434	11
	Interna	624	405	10
D	Externa	616	382	9
	Interna	543	337	8

TABLA XIII. Resistencia al punzonamiento en muestras de PEAD procedentes de los embalses.



FIGURA 7. Microfotografía de la dispersión de negro de humo con luz natural en una muestra procedente de PEAD del embalse B.

de (40x) y (60x) con objeto de ver las texturas y morfología de las láminas de polietileno de alta densidad.

Las figuras 9 y 10 presentan un aspecto de una muestra extraída del embalse B. La primera de ellas por su cara externa, la segunda por la que estuvo en contacto con el terreno. Se observa una ligera degradación en la primera, mientras que la otra el material está mucho más homogéneo.

Como quiera que en la actualidad existe una verdadera polémica por el empleo de materiales reciclados para la fabricación de este tipo de geomembranas, se ha pensado en observar la constitución de las láminas produciendo un corte transversal de las mismas. Se obtuvieron microfotografías bastante nítidas y que no permitieron detectar este tipo de productos de recuperación. En la figura 11 se puede comprobar el aspecto de la lámina del embalse D.

3.2.10. Microscopía electrónica de barrido

La microscopía electrónica de barrido (SEM) no es una técnica nueva en la alta investigación en los distintos campos

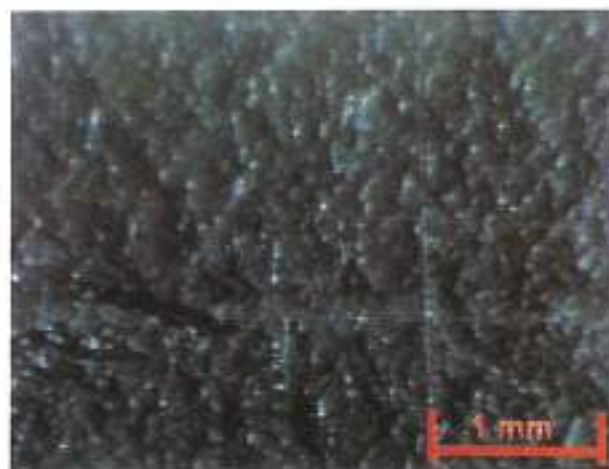


FIGURA 9. Muestra tomada del material del embalse B en su cara externa (x60).

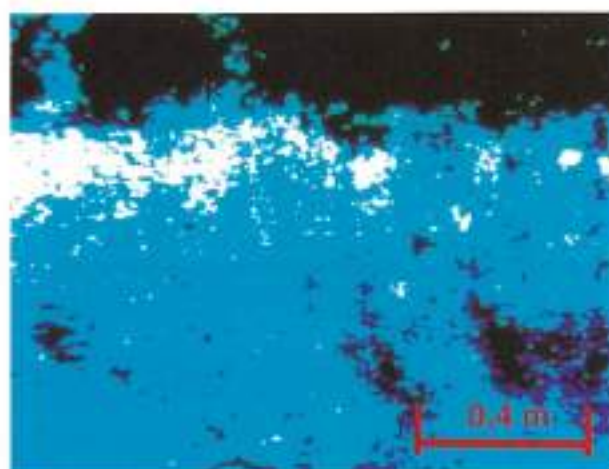


FIGURA 8. Aspecto de la microfotografía anterior a la que se le ha aplicado la técnica del "falso color".

técnico-científicos, aunque no demasiado desarrollada en el campo de los materiales orgánicos, quizás debido al elevado coste tanto de los aparatos utilizados como al de la realización de las pruebas experimentales. Nuestro equipo viene utilizando este tipo de tecnología punta desde hace más de dos décadas aplicándola, en sus inicios al polícloruro de vinilo) plastificado (22 a 24) y hoy en día, al resto de los materiales poliméricos.

La mencionada técnica de "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 generó una capa continua semiconductora entre la muestra, el grafito y el portamuestras. Una vez concluido este proceso, se recubre el material con una capa de oro-paladio, por el sistema de Sputtering, consistente en hacer va-



FIGURA 10. Muestra tomada del material del embalse B en su cara interna (x60).

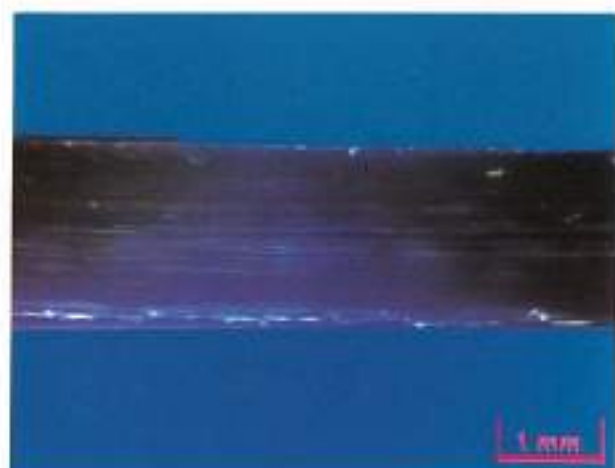


FIGURA 11. Corte transversal de la muestra tomada del material del embalse D (x40).

cio a la muestra y someterla a una atmósfera de estos dos elementos; a continuación se controla el espesor de la misma para que sea homogéneo hasta un máximo de 30 micrómetros.

Se presentan dos fotografías (Figuras 12 y 13) una a bajo poder de resolución (90x) y otra a alta resolución (900x), que corresponden a una muestra extraída del embalse B. Se puede detectar en las mismas una superficie con descamaciones y síntomas de agrietamientos.

4. INSPECCIONES TÉCNICAS

En las visitas técnicas de inspección que se cursan a los embalses con frecuencia semestral se ha podido apreciar, como aspectos más destacables los siguientes:

- Se detectaron problemas en la unión entre láminas en las zonas de contacto talud-fondo (Embalses A y B).
- Se han observado pequeñas picaduras en la parte de coronación en la lámina impermeabilizante del embalse D.

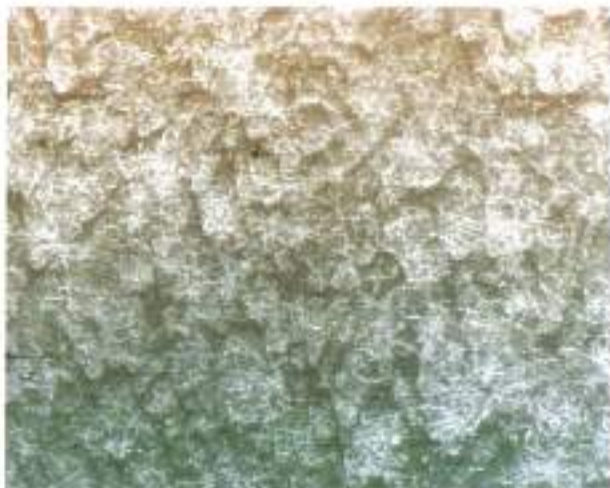


FIGURA 12. Muestra tomada del material del embalse B (x90).

- Se ha constatado la delicada fase de instalación, llevándose a cabo la puesta en obra a primeras horas del día, para evitar el calor fuerte que es común en la zona de ubicación de los embalses.

5. CONCLUSIONES

Los datos obtenidos en las pruebas experimentales llevadas a cabo en el laboratorio, conjuntamente con lo observado durante la inspecciones técnicas a los embalses, permiten elaborar las siguientes conclusiones:

- Los valores de resistencia al desgarro al cabo de los cinco años de instalación de los materiales en obra, no sufren variaciones importantes; el único que experimenta pérdida es el que se encuentra ubicado en el embalse B de fuerte insolación y además tiene menor espesor. El embalse A se encuentra situado en la misma zona que el anterior, pero sin embargo el material presenta un espesor bastante superior. El mismo polietileno se empleó para la impermeabilización del embalse D construido en un área de condiciones climatológicas no tan adversas y en este caso los valores no han variado con relación a los iniciales.

Para encontrar estas diferencias ha sido preciso transformar los valores indicados por la norma española, es decir, newtons, en una carga por el espesor de la lámina.

- Los valores del esfuerzo en el punto de fluencia y del alargamiento en dicho punto no han experimentado cambios demasiado notables. Sin embargo, la resistencia y alargamiento en rotura si originan variaciones apreciables. Los valores de resistencia a la tracción en el caso del material de bajo espesor, procedente del embalse situado en zonas de elevada insolación, muestran pérdidas importantes ya que superan el 30% con relación a los originales. Los correspondiente valores del alargamiento en rotura sufren una pérdida del orden del 40%. Todos estos datos se refieren a muestras de materiales extraídas de la zona norte del talud, área de coronación.
- La orientación juega un papel relevante en el comportamiento del polietileno de alta densidad. Las caracterís-



FIGURA 13. Muestra tomada del material del embalse B (x900).

ticas mecánicas comentadas en el punto anterior con disminuciones del 40% (zona norte), se alteran en mucho menor grado cuando las pruebas se llevan a cabo con materiales extraídos de la zona sur donde apenas la pérdida alcanza el 10%.

4. Cuando la toma de muestras se efectúa en la parte del fondo del embalse, los valores de la resistencia a la tracción y el alargamiento no varían de forma considerable, alcanzándose en la situación más desfavorable unas pérdidas próximas al 10%.
5. Las pruebas de doblado a bajas temperaturas y resistencia mecánica a la percusión han superado las exigencias indicadas en la normativa vigente a para este tipo de geosintéticos, lo cual es síntoma del buen estado del material.
6. La resistencia de la soldadura por tracción muestra unos datos que no difieren notablemente de los valores originales, ni tampoco se aprecian diferencias entre los datos de muestras extraídas de coronación con relación a las del fondo del embalse. Todas las uniones ensayadas en el laboratorio rompían fuera de la zona de soldadura, lo que es un índice del buen estado de las mismas.
7. Como ya se ha señalado en otros trabajos que fueron publicados anteriormente, la resistencia de la soldadura por cizalla debe contemplarse como una prueba válida para conocer el estado de la unión entre láminas, pero no desde el punto de vista comparativo; dicho de otro modo, podría considerarse una prueba cualitativa. Este hecho, es por lo que se puso a punto una prueba de resistencia de la soldadura por pelado que origina unos valores numéricos sobre el estado real de las mencionadas uniones. Como es obvio, los valores son totalmente diferentes para los ensayos por cizalla y por pelado.
8. Aunque la mayoría de las uniones hechas en obra, en el momento de la instalación de la geomembrana impermeabilizante se han realizado vía térmica, en ocasiones se ha procedido a soldaduras con aporte de material. Los valores obtenidos a nivel de laboratorio son similares, aunque no así el comportamiento de todos los materiales durante la realización del ensayo, pues las muestras de aportación, en algunos casos, experimentan la rotura en el punto de fluencia, mientras las soldadas vía térmica lo alcanzan, siempre, una vez pasado el mismo.
9. El recorrido del pistón antes del punzonamiento en la prueba de resistencia a la perforación origina valores bajos comparados con el resto de los materiales sintéticos utilizados en la impermeabilización en Ingeniería Civil. Las cargas están en la línea de las obtenidas por el resto de este tipo de materiales poliméricos.
10. Se han detectado fugas como consecuencia de deficiencias en ciertas soldaduras en la confluencia talud-fondo.
11. En algunas ocasiones, se ha constatado un comportamiento anómalo de las probetas de polietileno de alta densidad durante la prueba de tracción, lo que puede atribuirse a deficiencias del material tales como arañazos, entallas, burbujas, etc. o bien a una deficiente dispersión de cargas, como el caso del negro de humo.
12. Las láminas de polietileno de alta densidad desde el punto de vista químico presentan una inercia superior al resto de los materiales sintéticos, lo cual parece patente en la gran parte de los resultados obtenidos hasta

el momento. Sin embargo, su durabilidad puede verse gravemente afectada por las radiaciones solares, fundamentalmente cuando estas geomembranas son de bajos espesores.

13. El contenido en negro de humo es correcto en todos los casos, en cambio no así su dispersión que no parece idónea a nivel general y podría explicar las anomalías apreciadas en valores, fundamentalmente, de resistencia a la tracción y alargamiento en rotura (en cursiva en las tablas correspondientes).
14. En general, al someter las muestras a microscopía óptica y electrónica de barrido se ha constatado el buen estado del material. Sin embargo, y principalmente, en las probetas procedentes de la zona norte, área de coronación del embalse B, se ha puesto de manifiesto una alteración del material, sobretodo cuando la observación se realiza a través de "scanner" donde se detectan descamaciones producidas al saltar las placas de zonas más externas, así como la formación de estrías que en ciertos casos llevan asociadas microgrietas incipientes.
15. La instalación debe llevarse a cabo en las condiciones idóneas, es decir a temperaturas no demasiado elevadas, para evitar riesgos debidos a su carácter termoplástico. Asimismo, se evitarán arañazos, punzonamientos y otros deterioros superficiales que pueden afectar negativamente al comportamiento del material, sobre todo si estas imperfecciones están próximas a las zonas de unión entre paños.
16. Por último, es necesario hacer constar la validez de este material como geomembrana sintética utilizada en el campo de la impermeabilización de las Obras Hidráulicas puesto que al conjunto de sus notables propiedades técnicas hay que añadir su idoneidad ecológica, su inercia química y su facilidad de reciclado. No obstante, es misión de los técnicos controlar su validez, realizar su seguimiento y evitar problemas teniendo en cuenta la cantidad de metros cuadrados que se están introduciendo en nuestro país, con orígenes desconocidos y con precios muy por debajo de lo que es el mercado. El no tener en cuenta estos hechos puede llevar consigo una serie de riesgos en embalses impermeabilizados con polietileno de alta densidad cuyas consecuencias pueden ser imprevisibles.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincera consideración a la generalidad del personal de Balsas de Tenerife (BAL-TEN) que han colaborado en la ejecución de este trabajo, en especial a D^a Tatiana Vara Mora y D^a Virginia Armendáriz Tallo. Asimismo, este agradecimiento se hace extensivo al personal del CEDEX que ha hecho posible la consecución de esta investigación, fundamentalmente a los técnicos, D. Angel Cuevas González, Jefe de Servicio de Materiales, por su apoyo permanente y a D. Nicanor Prendes Rubiera por sus trabajos de microscopía; finalmente, los autores quieren agradecer de una forma especial, el esfuerzo realizado, tanto en obra como en laboratorio por D^a Ascensión Martín Marcos sin cuya colaboración hubiera sido difícil llevar a buen término en el presente trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AMIGÓ, E. y AGUIAR, E. "Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con

geomembranas" Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias (1994).

2. 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).

3. AGUIAR, E. y 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.

4. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E. "Evolución de geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado utilizadas en la impermeabilización de embalses en la isla de Tenerife". Proc. III Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y V de Control de Calidad. La Habana (Cuba), octubre 1995.

5. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E. "Comportamiento en obra de geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad utilizadas en la impermeabilización de embalses en las Islas Canarias". Proc. IV Congreso Iberoamericano de Patología de la Construcción y VI de Control de Calidad. Porto Alegre (Brasil), octubre 1997.

6. BLANCO, M. "Evolución de geomembranas en embalses". III Jornadas de trabajo sobre utilización de geosintéticos en Ingeniería Rural. Puerto de la Cruz (Tenerife), octubre 1994.

7. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E. "Comportamiento de geomembranas sintéticas utilizadas en la impermeabilización de embalses en las Islas Canarias". V Jornadas Españolas de Presas. Valencia, abril 1996.

8. UNE 104 423. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) no resistentes al betón.

9. UNE 104 421. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) o láminas de polietileno de alta densidad coextruido con otros grados de polietileno.

10. UNE 104 420. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas a base de láminas elastoméricas de caucho de etileno-propileno-monomero diénico (EPDM) o butílico (IIR). (En elaboración)

11. REGAMEY, J. M. y HAMMERSCHLAG, J. G. "Barrage de L'Illec. Assainissement". Proc. Symposium on "Research

and Development in the Field of Dams", 389-396. Crans-Montana (Suiza), septiembre 1995.

12. SCUERO, A. M. "Flexible Synthetic Waterproofing Membranes as Remedial Measures Against Further Deterioration in Dams Subject to AAR". Proc. Symposium on "Research and Development in the Field of Dams", 377-388. Crans-Montana (Suiza), septiembre 1995.

13. SCUERO, A. M.; SOUSA NEVES, M.; SILVA MATOS, D.; MACHADO DO VALE, J. L. y CAMELO, A. "Waterproofing of the Pracana Dam". 5th International Conference on "Geotextiles, Geomembranes and Related Products". Singapur, septiembre 1994.

14. BEER, H. R. "Flexible Polyolefine Roofing Membranes. Properties and Ecological Assessment". Proc. IX International Congress of "Waterproofing Association", 80-89. Amsterdam, abril 1995.

15. PALO, R. de. "Flexible Polypropylene Alloys: A New Generation of Materials for Waterproofing Applications". Proc. IX International Congress of "Waterproofing Association", 307-320. Amsterdam, abril 1995.

16. UNE 104.300. Plásticos. Láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) para la impermeabilización en obra civil. Características y métodos de ensayo.

17. BLANCO, M.; CUEVAS, A.; CASTILLO, F. y AGUIAR, E. "Puesta a punto de una nueva metodología experimental para la determinación de la resistencia a la perforación de geomembranas sintéticas". Ing. Civil 103, 65-69 (1996).

18. MELC 13.13. Determinación del índice de fluidex de materiales termoplásticos.

19. UNE 53 130. Materiales plásticos. Determinación de la dureza Shore-A y D de los materiales plásticos y elastómeros vulcanizados.

20. UNE 53 375. Plásticos. Determinación del contenido en negro de carbono en compuestos de poliolefinas.

21. UNE 53 131. Plásticos. Tubos de polietileno para conducciones de agua a presión. Características y métodos de ensayo.

22. ORTEGA, J. J.; BLANCO, M. y CUEVAS, A. "Acción de las radiaciones U.V. sobre el poli(cloruro de vinilo) flexible". Materiales de Construcción 34(196), 43-48 (1984).

23. ORTEGA, J. J.; BLANCO, M.; CUEVAS, A. y BARBA, C. "Efecto de las radiaciones U.V. sobre el poli(cloruro de vinilo) plastificado". Rev. Plast. Modernos 49(346), 461-464 (1985).

24. 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". Imperm. Prof. 6, 17-32 (1993).

Para impermeabilizaciones de protección
del Medio Ambiente y Obras Hidráulicas

Epoplás, s. l.

Tiene la solución...

Revestimientos a base de láminas flexibles de PEHD, PVC, EPDM, PELLD, PEULD, etc. Espesores desde 1 mm. Anchos hasta 7,5 m. Revestimientos rígidos en poliéster, epoxi y poliuretano. Sellados de juntas de hormigón.



Epoplás, s. l.

TENERIFE:

Urbanización El Mayorazgo
Nave 14-2.ª-Transversal
38008-Sta. Cruz de Tenerife
Telf.: (922) 21 64 55 - Fax: (922) 21 12 78

SEVILLA:

Avda. Ramón y Cajal, 21
41005 - Sevilla
Telf.: (95) 463 15 50
Fax: (95) 492 35 34

Islas Canarias