

La impermeabilización con barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) en el manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas

BLANCO, M. (*); CEA, J. C. de (**); GARCÍA, F. (*); SÁNCHEZ, F. J. (**); CASTILLO, F. (*); MORA, J. (*) y CRESPO, M. A. (*)

RESUMEN En este artículo se presenta la parte del Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas dedicada a las barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P). Se hace referencia a los materiales que constituyen las geomembranas, a sus propiedades y a los requerimientos exigibles a las mismas.

WATERPROOFING WITH POLYMERIC GEOSYNTHETIC BARRIERS (GBR-P) IN THE MANUAL FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION, MANAGEMENT AND MAINTENANCE OF RESERVOIRS

ABSTRACT *This article presents a part of Manual for the Design, Construction, Management and Maintenance of Reservoirs relative to waterproofing with Polymeric Geosynthetic Barriers (GBR-P). The nature materials of geomembranes is studied also theirs characteristics and specifications.*

Palabras clave: Impermeabilización, Geomembranas, Manual.

Keywords: Waterproofing, Geomembranes, Manual.

1. INTRODUCCIÓN

Se puede considerar que la construcción de balsas para riego en España se inició en el Sudeste peninsular. Este hecho pionero en la península, se verá fuertemente refrendado por el Plan Hidráulico de la Comunidad Autónoma de Canarias que durante la década de los ochenta lleva a cabo un ambicioso programa público de construcción 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. Por un lado, el empleo de este tipo de depósitos ha ido creciendo a lo largo de los años ya que su uso se ha extendido a agua potable para abastecimiento a poblaciones, alimentación de pequeñas centrales hidroeléctricas, almacenamiento de lixiviados en vertederos, aguas depuradas, etc. Por otra parte, la necesidad acuciante de agua se hace patente día a día y el número de balsas se ha incrementado notablemente.

Aunque en bastantes casos el diseño, proyecto y construcción de balsas se ha llevado a cabo correctamente, con altos niveles de profesionalidad, también es cierto que por desconocimiento del tema, en otras ocasiones la mencionada construcción dejaba mucho que desear. Aparte del libro de Amigó y Aguiar “Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas” y la “Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra” editada por la Generalitat Valenciana no existe una bibliografía importante sobre el tema, salvo los libros de ponencias y comunicaciones libres de los Congresos de Sevilla y Palma de Mallorca relativos a **proyecto, construcción e impermeabilización de balsas**.

Esta escasez de literatura científica ha llevado a la Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino y al Comité Nacional Español de Grandes Presas (CNEGP) a elaborar una **Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas**.

En este artículo se pasa revista a la parte de geomembranas sintéticas para la impermeabilización de balsas. Históricamente, fue en la década de los setenta del siglo pasado, cuando se comenzó en nuestro país la construcción de pequeños depósitos para el almacenamiento de agua, fundamentalmente, con fines agrícolas, y tendríamos bastantes referencias en la zona levantina y en Canarias, donde se utilizaban “films” o películas de polietileno de baja densidad, siempre

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

(**) Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

enterradas para los mencionados fines. Posteriormente, esos materiales macromoleculares fueron, poco a poco, sustituyéndose por lo que hoy conocemos con el nombre de geomembranas o barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) en términos de la norma europea, ya con mayores espesores y capaces de resistir las inclemencias de las radiaciones ultravioletas procedentes del sol; precisamente su inicio surgió en los mismos puntos geográficos antes citados como consecuencia de la escasez de agua y la necesidad de regular la existente.

La primera balsa impermeabilizada con una geomembrana sintética tuvo lugar en Kualapuu (Holokai-Hawai) cuya naturaleza era elastomérica a base de caucho butilo. España siguió los mismos pasos y tras el mencionado caucho, con notables problemas de ataque por ozono, fue introduciéndose un termoplástico, el poli(cloruro de vinilo) plastificado al que, con el tiempo, le harían competencia el polietileno de alta densidad y el caucho terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico. En la actualidad, la química de los nuevos materiales macromoleculares avanza tan de prisa que de manera continuada pone en el mercado nuevos productos cuya idoneidad desconoce el usuario.

2. EL GRUPO DE TRABAJO

El grupo de trabajo dirigido por los técnicos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) estuvo constituido por Manuel Blanco Fernández, Florencio García Sánchez, Escolástico Aguiar González, Enrique Santarrufina Sanmartín, Francisco Ruiz Caballero, Mario García Gironés, Isidro Sans Sánchez-Ocaña y Joaquín Segura Graiño (q.e.d.), recientemente fallecido.

La elaboración del capítulo de geomembranas se realizó a lo largo de casi dos años con reuniones periódicas en Madrid, Tenerife, Palma de Mallorca, Granada y Colmenar Viejo. Se

aportaron los conocimientos de los técnicos en cuanto a materiales, puesta en obra, seguimiento, patología e incluso un capítulo o anexo de nomenclatura de macromoléculas que al final por la extensión del manual no figurará en el mismo.

También, se ha realizado un trabajo experimental para completar las tablas de requerimientos de geomembranas poco comunes, y en las que se disponían de escasos datos experimentales; por ello se han efectuado ensayos de tracción y alargamiento, resistencia al punzonamiento estático y dinámico y doblado a bajas temperaturas en poliisobutileno, polipropileno y polietileno de muy baja densidad reforzado con tejido de hilos sintéticos.

Además y en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid, se han aislado e identificado cualitativa y cuantitativamente los plastificantes de una serie de láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado empleando las técnicas de espectroscopia infrarroja, cromatografía de gases y espectrometría de masas, que permitió incluir en el manual unos párrafos para geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado de gran durabilidad.

En este artículo solo haremos mención a la parte de materiales y no al resto de los temas abordados por el grupo de trabajo que se presentan en diversos capítulos del mencionado manual.

3. BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS (GBR-P) O GEOMEMBRANAS

De acuerdo con la norma UNE-EN ISO 10318, elaborada en el Comité Europeo de Normalización CEN-TC-189, la clasificación de los geosintéticos se presenta en el diagrama de la figura 1.

En la figura 2 aparecen los tres tipos de balsas: normal, cubierta y flotante.

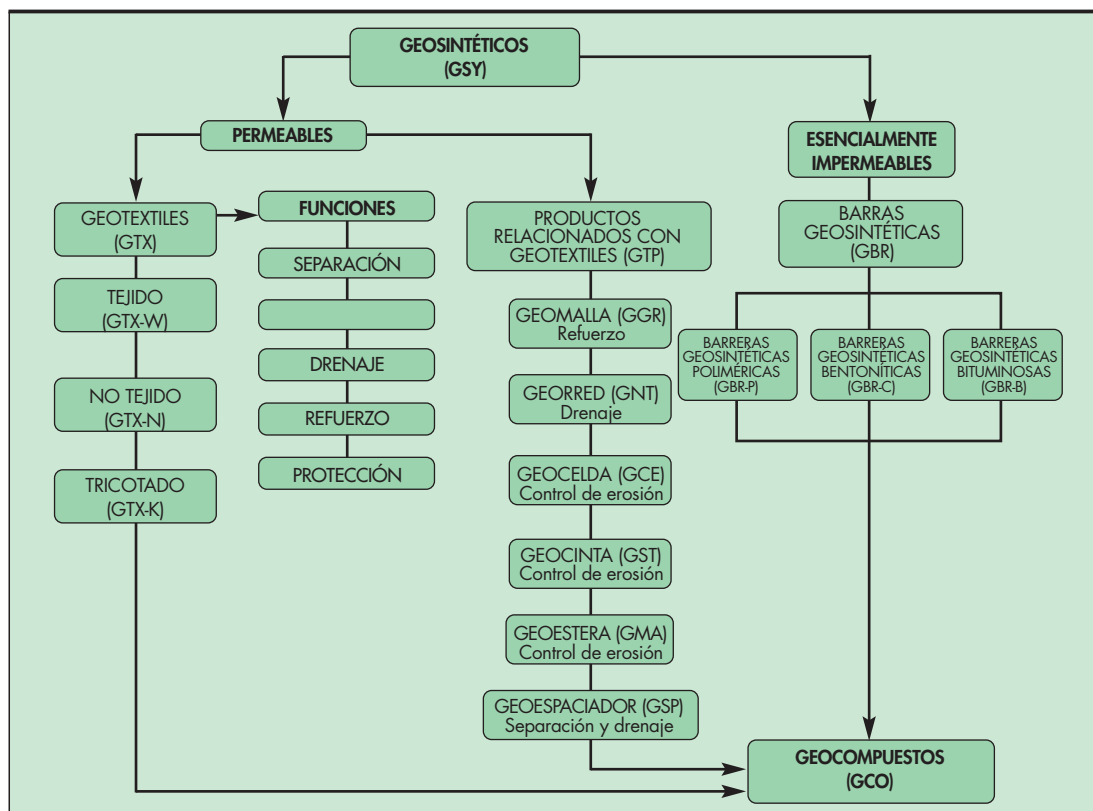


FIGURA 1.
Clasificación
de los
geosintéticos.



FIGURA 2. a) Balsa de Bediesta (Isla de La Palma) impermeabilizada con una geomembrana de PVC-P. b) Balsa cubierta de Ravelo (Tenerife) con pantalla impermeable de EPDM. c) Balsa de cubierta flotante de Aguadulce (Almería) con barrera geosintética polimérica de CSM.

3.1. MATERIALES

Aunque se pueden emplear barreras geosintéticas bituminosas (GBR-B) llamadas también geomembranas bituminosas, en este manual no se hace referencia a las mismas por su falta de experiencia en nuestro país y en este campo, hasta el momento.

En cuanto a las barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) o geomembranas sintéticas y basándose en la normativa europea, los materiales poliméricos para impermeabilización se pueden agrupar en tres clases:

- I. Termoplásticos.
- II. Cauchos termoplásticos.
- III. Elastómeros.

Termoplastos o materiales termoplásticos. Son aquellos polímeros que por acción del calor reblandecen (“plastifican”) de forma reversible, solidificándose de nuevo al enfriar. Funden sin descomposición. Están constituidos por macromoléculas lineales o muy poco ramificadas.

Los **elastómeros** son polímeros que desde el punto de sus propiedades físicas se denominan duroplastos, materiales termoestables o termoendurecibles. Son aquellas materias poliméricas que por acción del calor (o por catalizadores apropiados) se endurecen de forma irreversible. Descomponen al fundir. Están formados por macromoléculas muy ramificadas o reticuladas.

Los **cauchos termoplásticos** son elastómeros que tienen un comportamiento termoplástico en lugar de termoestable.

Los materiales básicos que engloban esta clasificación figuran en la tabla 1, que estarán, lógicamente, acompañados de los aditivos correspondientes.

3.1.1. Aditivos

Los aditivos son aquellos productos que acompañan a las resinas en la formulación de una lámina, cambiando notablemente sus propiedades.

Aunque existen una gran variedad de aditivos solo se hará referencia a los de mayor interés desde el punto de vista de las láminas:

- Cargas.
- Plastificantes.
- Antienviejecimiento.
- Agentes ignífugos o piroretardadores.
- Agentes de entrecruzamiento.
- Fungicidas.
- Pigmentos.
- Agentes de conductividad.

Las **cargas** son aditivos sólidos que se incorporan al polímero para modificar sus propiedades físicas, especialmente mecánicas. Suelen dividirse en dos tipos: inertes y reforzantes. Las consideradas cargas inertes, como carbonato cálcico, barita, talco, caolín, dióxido de titanio, no son tal pues suelen afectar a algunas propiedades; su acción dependerá del tamaño de la partícula incorporada, de su forma, de su naturaleza química e impurezas que la acompañan.

Los **plastificantes** son sustancias normalmente líquidas que añadidas a un material plástico aumentan su flexibilidad. Los productos comúnmente empleados con este fin suelen ser ésteres de elevado peso molecular. La pérdida de estos plastificantes por extracción o, fundamentalmente, por migra-

ción, conduce a la geomembranas a una degradación progresiva que se ve favorecida bien por las radiaciones solares, o bien por la presencia de agua, dependiendo de la naturaleza del agente de plastificación.

Se hace uso de aditivos **antienvejecimiento** debido a que la mayoría de los materiales plásticos cambian de propiedades con el paso del tiempo. Entre estos aditivos antienvejecimiento cabe destacar los citados a continuación:

- **Antioxidantes** para evitar, en lo posible, la degradación de la cadena del polímero que se rompe por el calor durante el proceso de fabricación de la lámina o de las radiaciones UV una vez instalada.
- **Antiozonizantes** que previenen la degradación de ciertos cauchos, fundamentalmente cuando están sometidos a tensión.
- **Estabilizadores contra la deshidrocloración** que retardan la pérdida de ácido clorhídrico en materiales clorados.
- **Absorbentes de luz UV** que eviten la reacción en cadena de degradación de la macromolécula provocada por las radiaciones solares. De todos ellos, uno de los más utilizados es el negro de humo que se incorpora a la resina en una proporción comprendida entre el 2 y el 3% en el caso de los polietilenos. El aditivo debe estar repartido de una forma homogénea a lo largo de la lámina, pues de lo contrario las características pueden variar notablemente de unos puntos a otros.

Los **agentes ignífugos o piroretardadores** son aquellas sustancias que en pequeñas cantidades disminuyen o retrasan su carácter inflamable. Las láminas que se utilizan como geomembranas en la impermeabilización de balsas en las que puede haber un riesgo de incendio deben ser, al menos, autoextinguibles.

Otros productos empleados como aditivos son los **fungicidas** que incorporados a las resinas previenen del ataque por hongos a las láminas.

Los **pigmentos** son aquellas sustancias sólidas que confieren color y opacidad a la lámina.

Los **agentes de conductividad** permiten transformar la superficie de la lámina en conductora.

3.2. LÁMINAS

Aunque se han utilizado materiales de aplicación “in situ” en la impermeabilización de balsas, aquí se hará referencia, exclusivamente, a los materiales sintéticos empleados en forma de lámina.

Membrana es la lámina aplicada, entendido como un componente del sistema de impermeabilización, que sirve para proporcionar estanquidad al mismo. El concepto de geomembrana hace referencia a la membrana que va a aplicarse en la tierra, aunque como es sabido en casi la totalidad de las ocasiones el soporte será otro elemento, generalmente, otro geosintético.

3.2.1. Tipos

Las láminas confeccionadas a base de materiales plásticos o elastómeros, empleados en la impermeabilización se suelen presentar de cuatro formas distintas:

- Láminas homogéneas**, constituidas, exclusivamente, por el material polimérico y los aditivos correspondientes.
- Láminas multicapa**, formadas como su nombre indica, por una serie de capas, del mismo o de distintos materiales. De este modo, se puede conseguir mejorar las propiedades mecánicas, antirretracción, protección ultravioleta. Es corriente en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, observar dos colores distintos en la lámina, la capa externa suele llevar abundancia de aditivos para la protección ultravioleta.

A su vez este tipo de lámina puede subdividirse en:

- **Láminas con refuerzo o armadas**, cuando el material macromolecular lleva inserciones de fibras, velos o tejidos. Los materiales de refuerzo, comúnmente utilizados para estos fines, son la fibra de vidrio y los hilos sintéticos, fundamentalmente, hilos de poliéster. Dependiendo del tipo de refuerzo se puede mejorar una propiedad determinada para un uso particular. En unos casos, el objetivo fundamental de esta inserción es la mejora de las propiedades mecánicas; en otros, la estabilidad dimensional de la lámina.

TABLA 1. Materiales sintéticos utilizados en la confección de láminas para impermeabilización.

NOMENCLATURA	MATERIAL BASICO	CLASE
ECB EVA/C EEA PE PEC PP PIB PVC-P TPO	Copolímeros de acrilatos/etileno y betún Copolímeros de acetato de vinilo y etileno Copolímeros de acetato de etilo y etileno Polietileno Polietileno clorado Polipropileno Poliisobutileno Poli(cloruro de vinilo) plastificado Termoplástico poliolefínico	I
E/P CSM	Copolímeros de etileno/propileno Polietileno clorosulfonado	II
CR EPDM IIR NBR BR POE*	Caucho de cloropreno Caucho terpolímero de etileno/propileno/monómero diénico Caucho butilo Caucho de acrilonitrilo/butadieno Caucho de butadieno Poliolfina elastomérica	III
* Aunque la nomenclatura más extendida es la que figura en la tabla se pueden encontrar en la bibliografía otras siglas equivalentes como FPP al PP; CSPE al CSM y TPE al POE, entre otros.		

PROPIEDAD	MATERIAL													
	EVA/C	PEAD	PELBD	PEMBD	PEC	PIB	PVC-P	TPO	PP	CSM	CR	IIR	EPDM	POE
Refuerzo				SI		SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI
Características de tracción	B	E	E	E	A	B	A	A	B	B	A	A	A	B
Resistencia al desgarro	E	E	E	E	A	B	A	B	E	E	R	R	R	E
Punzonamiento														
Dinámico	A	E	B	B	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Estático	E	R	A	E	B	B	B	E	B	R	E	E	E	E
Resistencia radiaciones UV	B	E	B	A	B	B	A	B	B	B	E	E	E	E
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	R	R	B	E
Resistencia de la soldadura														
Soldabilidad	B	B	B	E	E	B	E	E	A	A	R	R	R	E
Pelado	B	E	E	E	B	B	B	B	B	B	R	R	R	B
Facilidad de instalación	B	E	E	E	E	B	E	E	B	B	B	B	B	E
Reparabilidad	A	E	E	E	E	A	E	E	A	R	R	R	R	E

Donde: R, Regular. A, Aceptable. B, Bueno. E, Excelente.

TABLA 2. Cuadro comparativo de las propiedades de las geomembranas.

- **Láminas revestidas** externamente con velos, tejidos, u otros refuerzos, para evitar la aparición de tensiones del proceso de fabricación y/o para reforzar la resistencia mecánica.

3.2.2. Características

De los materiales que se citan en la tabla 1, los más empleados hasta el momento han sido: poli(cloruro de vinilo) plastificado, polietileno de alta densidad y copolímero de etileno-propileno-monómero diénico. En la tabla 2 se hace referencia a las características más representativas de las geomembranas.

3.2.2.1. Poli(cloruro de vinilo) plastificado

Es un material rígido de limitada estabilidad frente al calor. Por esta razón, es preciso incorporarle aditivos que lo hagan útil como lámina

Entre los aditivos que acompañan a la resina en la formulación de las láminas, cabe destacar, en primer lugar, a los plastificantes aunque la plastificación puede realizarse de otras formas.

El PVC-P suele utilizarse como lámina homogénea y también reforzada ya sea con fibra de vidrio o con hilos sintéticos.

La formulación es trascendental en este producto y hace que las láminas puedan tener una durabilidad muy diferente.

Si se desea una lámina de gran durabilidad se exigirá que el peso molecular del plastificante sea igual o superior a 400. Si en la formulación se emplean varios plastificantes el peso molecular medio del conjunto será, asimismo, igual o superior a 400; en este caso para su cálculo se utilizará la ecuación de Wilson.

Si la balsa va a permanecer bastante tiempo vacía o en aquellos lugares que vaya a estar siempre en contacto con la

intemperie sería aconsejable usar como plastificante un ftalato cuyo radical alquilo fuese lineal; por el contrario, si se tiene previsto que la balsa esté casi siempre llena o en las zonas cubiertas por el agua, se deberá utilizar un radical alquilo ramificado.

3.2.2.2. Polietileno

El polietileno es la poliolefina más sencilla y se presenta en formas diferentes:

- **Polietileno de baja densidad (PEBD).**- Es aquel que presenta un número elevado de ramificaciones y por ello baja cristalinidad.
- **Polietileno lineal de baja densidad (PELBD).**- Es aquel que presenta ramificación no tan elevada como el PEBD y se diferencia del anterior en la presencia de alfa-olefinas en su macromolécula.
- **Polietileno de alta densidad (PEAD).**- Es aquel que apenas tiene ramificaciones en su cadena principal y por ello presenta un alto grado de cristalinidad. Es un material que presenta un punto de fluencia bien definido, y sus características mecánicas deben referirse tanto a él como al punto de rotura. (Fig. 3)
- **Polietileno de muy baja densidad (PEMBD).**- En realidad puede considerarse como una especialización del PELBD en el que se incrementan las cadenas cortas y el número de ramificaciones, por ello es un material no cristalino. Se emplea en obras donde el estado de los soportes no es el idóneo para la impermeabilización. Es uno de los materiales de mejor comportamiento desde el punto de vista de punzonamiento estático (Fig. 4). Es susceptible de llevar refuerzo.



FIGURA 3. Balsa de Calderones (Valencia) impermeabilizada con PEAD.



FIGURA 4. Balsa del Cerrillo del Libro (Almería) impermeabilizada con PEMBD.

3.2.2.3. Caucho terpolímero de etileno-propileno-monómero diénico

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. Es atacado por aceites de petróleo y gasolina. No obstante, hay que ser prudente durante la realización de la obra pues su resistencia al impacto dinámico es baja y su resistencia al desgarro es menor que en otro tipo de polímeros. En cambio, su resistencia al punzonamiento estático es muy buena.

3.2.3. Requerimientos

Las cualidades exigibles a una lámina para su colocación en una pantalla de impermeabilización deben estar en concordancia con las acciones a que ésta va a estar sometida. Además de la propia impermeabilidad, a las geomembranas se les requiere, con carácter general, las siguientes características:

Dimensionales:

- Espesor.
- Ancho.
- Rectitud y planeidad.
- Aspecto.

Mecánicas:

- Resistencia a la tracción.

Alargamiento en rotura o en el punto de carga máxima (en reforzadas).

Resistencia al desgarro.

Resistencia al impacto dinámico.

Resistencia al punzonamiento.

Adherencia entre capas.

Resistencia a la perforación por raíces.

Resistencia de la soldadura (por tracción y por pelado).

Térmicas:

Doblado a bajas temperaturas.

Estabilidad al calor (Estabilidad dimensional).

Durabilidad:

Envejecimiento térmico.

Envejecimiento artificial acelerado.

Resistencia al ozono.

Tiempo de oxidación (para el PE).

“Stress-cracking” (para el PE).

Otras propiedades:

Resistencia a agentes químicos.

Resistencia al betún.

Resistencia a los microorganismos.

Comportamiento al agua.

Las características propias de cada una de las geomembranas existentes en el mercado difícilmente pueden recogerse en este documento, no obstante en la tabla 2 se presenta un cuadro comparativo de las propiedades generales de las geomembranas más empleadas en este campo de la Tecnología.

Se conocen como **normas** a las especificaciones técnicas aprobadas por una institución con actividades de normalización, para su aplicación repetida y continua, cuya observancia no es obligatoria.

Los países desarrollados cuenta con organismos, estatales o privados, que tienen la responsabilidad de la normalización. En España esta actividad la lleva a cabo la entidad privada AENOR (Asociación Española de Normalización) y sus normas se denominan UNE (Una Norma Española).

En la Unión Europea se ha creado el CEN (Comité Europeo de Normalización) que elabora las normas en este marco. Además de los 27 países de la Unión forman parte de CEN las naciones del espacio europeo: Suiza, Noruega, Islandia y Lichtenstein. Cuando este organismo empieza a crear una nueva norma, ningún país implicado puede editar una norma propia por el denominado principio de "status quo". Cuando la norma europea se edita debe ser adoptada por todos los países de la organización y anula a las nacionales si es que existiesen.

En cuanto al tema de la impermeabilización con geomembranas, en el año 1.985 tuvo lugar en Berlín la primera reunión, de carácter constituyente sobre el tema. En la actualidad es el comité técnico CT-254 que lleva por nombre "Flexible Sheets for Waterproofing" el encargado de la elaboración de estas normas; dicho comité ha editado ya la norma correspondiente a

geomembranas para su utilización en presas y embalses. No obstante, dicha norma no hace referencia a especificaciones sino a una serie de ensayos que deben realizarse y el fabricante dar los datos correspondientes y poder hacer el denominado marcado CE. El marcado CE significa libre comercio en los distintos países de la Unión, pero no implica calidad.

Por otra parte, la norma europea, no considera cálculos ni requisitos de diseño o dimensionado, ni tampoco cubre las técnicas de instalación de las geomembranas.

Como se ha indicado, la norma europea no habla de exigencias y teniendo en cuenta la gran variedad de materiales sintéticos utilizados como geomembranas que para la mayoría del sector resulta desconocido en las tablas 3 y 4 se presentan, respectivamente, los requerimientos mínimos a exigir a las geomembranas homogéneas y reforzadas utilizadas en la impermeabilización de balsas. En cualquier caso el espesor mínimo será de 1,5 mm y preferiblemente de 2,0 mm. La prueba de doblado se realizará a -20°C a excepción de los siguientes casos cuyas temperaturas de doblado serán:

Material	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
PEAD, PELBD, PEMBD, PP	-75
CR	-35
IIR, CSM	-40
EPDM	-55

Los ensayos de las tablas citadas anteriormente se llevarán a cabo según la norma UNE EN 13 361 y la determinación del recorrido del punzón antes de la perforación de acuerdo a la norma UNE 104 307.

CARACTERÍSTICA	MATERIAL												
	EVA/C	PEAD	PELBD	PEMBD	PEC	PVC-Ph	PVC-Pfv	TPO	CR	IIR	EPDM	POE	PIB
Resistencia a la tracción, MPa, mín.	20	25	25	20	12	15	10	20	10	8	9	15	3
Esfuerzo en el punto de fluencia, MPa, mín.	–	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Esfuerzo al 300% de alargamiento, MPa, mín.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,1	6,0	–	–
Alargamiento en rotura, %, mín.	750	700	750	1000	300	250	200	500	250	300	400	700	500
Alargamiento en el punto de fluencia, %, máx.	–	17	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Doblado de bajas temperaturas	Sin grietas												
Resistencia al desgarro, N/mm	60	140	100	75	35	50	50	60	35	35	35	85	20
Resistencia al impacto dinámico													
– Altura del percutor, mm, mín	500	500	500	500	500	500	500	500	300	300	300	500	500
Resistencia al punzonamiento:													
– Recorrido del percutor, mm, mín	50	8	–	45	25	20	20	25	30	30	30	25	30
Contenido en negro de humo, %	–	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–

TABLA 3. Requerimientos exigibles a geomembranas homogéneas.

CARACTERÍSTICA	MATERIAL			
	PVC-P	CSM	PP	PEMBD
Resistencia a la tracción, N/50 mm, mín.	1100	1100	1100	1000
Alargamiento en el punto de carga máxima, %, mín.	15			
Doblado a bajas temperaturas (-20°C)	Sin grietas			
Resistencia al desgarro, N	130	550	500	350
Resistencia al impacto dinámico:				
– Altura del percutor, mm, mín.	500			
Resistencia al punzonamiento:				
– Recorrido del percutor, mm, mín.	12	10	30	10

TABLA 4. Requerimientos exigibles a geomembranas reforzadas.

4. BIBLIOGRAFÍA

Aguar, E.; Blanco, M.; Vara, T.; Armendáriz, V. y Soriano, J. *Evolución de las geomembranas sintéticas instaladas en el campo experimental de El Saltadero con vistas a su empleo en la impermeabilización de Obras Hidráulicas*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 477-488. Palma de Mallorca (2008).

Aguar, E.; Blanco, M.; Romero, A.; Sacristán, A.; Soriano, J. y Vara, T. *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 (2002).

Aguar, E.; Blanco, M.; Soriano, J. y Vara, T. *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 (2003).

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).

Blanco, M. *Geomembranas*. I Simposio nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas. Sevilla. (2005).

Blanco, M.; y Aguiar, E. *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 (2000).

Blanco, M.; Aguiar, E.; Cea, J. C. de; Castillo, F. y Soriano, J. *Estado de las geomembranas sintéticas de polietileno de alta densidad (PEAD) a los siete años de su instalación en balsas*. Ing. Civil, 151, 49-60 (2008).

Blanco, M.; Aguiar, E.; Cea, J. C. de; Soriano, J.; Castillo, F.; García, F. y Crespo, M. A. *Seis años de experiencia en el empleo de geomembranas de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) en la impermeabilización de balsas*. Ing. Civil, 152, 43-50 (2008).

Blanco, M.; Aguiar, E. y Zaragoza, G. *Patología de geomembranas sintéticas instaladas como pantallas impermeabilizantes en embalses*. In Llanos and col. (Eds.), Dam Maintenance & Rehabilitation, Editorial Balkema (2002) pp. 957-964 Rotterdam (Holanda).

Blanco, M.; Castillo, F. y Aguiar, E. *Comportamiento de los plastificantes utilizados como aditivos del poli(cloruro de vinilo) plastificado usado como geomembrana en obras hidráulicas*. Rev. Plast. Modernos 92 (603), 246-250 (2006).

Blanco, M.; García, F.; Cea, J. C. de y Sánchez F. J. *Impermeabilización de balsas con geomembranas sintéticas: control y seguimiento*. Aislamiento e impermeabilización, 46, 38-46 (2008).

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 (2005).

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).

Blanco, M.; Zaragoza, G. y Aguiar, E. *El seguimiento de geomembranas sintéticas como factor que contribuye a la seguridad y durabilidad de la impermeabilización de embalses*. Ing. Civil, 129, 53-70 (2003).

Blanco, M.; Zaragoza, G.; Aguiar, E.; Soriano, J.; González J. M. y García, F. *Materiales sintéticos para impermeabilización de presas y embalses*. Proc. II Congreso Nacional de Historia de las Presas. Burgos, octubre (2005).

Cea, J. C. de y Blanco, M. *Las geomembranas sintéticas en la impermeabilización de obras hidráulicas*. Proc. I Congreso Nacional de Impermeabilización. Madrid, junio (2005).

Guía para el proyecto y construcción de balsas de tierra.- Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge. Direcció General de l'Àgua. Generalitat Valenciana, diciembre (2007).

Koerner, R. M. *Designing with Geomembranes*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, USA, 292, 4th edition. (1999).

Leiro, A.; Blanco, M. y Zaragoza, G. *Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of spanish reservoirs*. Geosynthetics 7th ICG, Delmas, Gourc & Girard (Eds.) Editorial Balkema (2002) pp. 979-982 Rotterdam (Holanda).

PVC Geomembrane Institute (PGI). PVC Geomembrane Material Specification 1104. University of Illinois, Urbana, IL. (2004).

Sans, I. *Estado actual de la normativa técnica UNE sobre impermeabilización con materiales impermeabilizantes: edificación y obra civil*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 779-788. Palma de Mallorca. (2008).

Scuero, A. y Vaschetti, G. *How to select a geomembrane to waterproof hydraulic structures*. Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas, pp. 189-202. Palma de Mallorca. (2008).

UNE-EN 13 361.- Barreras geosintéticas. Características para su utilización en la construcción de embalses y presas.

UNE-EN ISO 10 318.- Geosintéticos. Términos y definiciones.

UNE 104 307.- Materiales sintéticos. Determinación del recorrido del punzón antes de la perforación en geomembranas sintéticas impermeabilizantes instaladas en balsas.

UNE 104 426.- Materiales sintéticos. Puesta en obra. Construcción de balsas cubiertas con geomembranas sintéticas.

Wilson, A. S. *Plasticizers: Principles and Practice*.- Institute of Materials. London. (1995).