



Guía para la Inspección y Seguimiento de las Barreras Geosintéticas Poliméricas Utilizadas en la Impermeabilización de Balsas



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DE GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**GUÍA PRÁCTICA PARA LA INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS
BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS UTILIZADAS EN LA
IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS**

Catálogo de Publicaciones Oficiales: <https://cpage.mpr.gob.es/>

Tienda virtual de Publicaciones del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana: <https://cvp.mitma.gob.es/CVP/>

Tienda de Publicaciones del CEDEX: <https://www.cedex.es/ceh.cedex.es/tienda/>

Título: Guía para la inspección y seguimiento de las barreras geosintéticas poliméricas
utilizadas en la impermeabilización de balsas

Autores: AA.VV

Año de la edición: 2023

EDICIÓN DIGITAL

1ª edición electrónica: junio 2023

Formato: PDF

Tamaño: 38,77 MB

EDITA

Centro de Publicaciones

Secretaría General Técnica

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

© CEDEX: Servicio de Publicaciones

NIPO: 797-23-004-1

Todos los derechos reservados.

Esta publicación no puede ser reproducida ni en todo ni en parte, ni registrada, ni transmitida por un sistema de recuperación de información en ninguna forma ni en ningún medio, salvo en aquellos casos específicamente permitidos por la Ley.

PRÓLOGO

La *Guía para la inspección y seguimiento de barreras geosintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización de balsas* se ha redactado a petición de la Dirección General del Agua y forma parte del programa de investigación y desarrollo en recursos e infraestructuras hidráulicas encargado al CEDEX en el año 2019. En este programa se recogen diferentes actuaciones relacionadas con la planificación y uso sostenible del agua, infraestructuras y tecnología, gestión integrada del dominio público hidráulico y contratación, formación, difusión y transferencia de tecnología.

La redacción de la Guía, incluida en el área de infraestructuras y tecnología, ha sido posible gracias a la colaboración de especialistas en el campo de la impermeabilización, que han aportado su experiencia en la fabricación, instalación y evaluación del comportamiento de las geomembranas, tanto en el ámbito de laboratorio como en la inspección a pie de obra. Durante tres años, en las reuniones mantenidas de forma mensual, se han puesto en común y discutido todos los aspectos que se consideraron fundamentales relacionados con las geomembranas poliméricas más utilizadas en la actualidad en la impermeabilización de balsas. De esta forma, se ha obtenido un documento en el que se describen las características más significativas de cada geomembrana que proporcionan información acerca de su estado de degradación, con la finalidad de determinar la cercanía al final de su vida útil.

Para la elaboración de la Guía se constituyeron dos grupos de especialistas con experiencia en los sectores relacionados con las balsas, de forma que un grupo ha sido el que ha llevado a cabo la redacción de este documento y otro segundo grupo ha realizado la supervisión final.

Grupo de trabajo de redacción de la *Guía*:

- **Organismos estatales**

Juan Carlos de Cea	Dirección General del Agua - MITERD
Ángel Leiro	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Beatriz Mateo	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Rosario Solera	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
María Teresa Solís	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Pablo Lucio Pérez	Subdirección General de Regadíos - MAPA
Pilar Izquierdo	Subdirección General de Regadíos - MAPA
José Ángel Hernández	Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA) - MAPA
Miguel Majuelos	Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA) - MAPA

- **Organismos autonómicos**

Manuel Setrakian	Junta de Extremadura
Tatiana Vara	Balsas de Tenerife (BALTEN) – C. A. de Canarias
Dolores Cabrera	Balsas de Tenerife (BALTEN) – C. A. de Canarias
María José Méndez	Consejo Insular de Aguas de La Palma (CIALP) – C. A. de Canarias

- **Empresas**

Gabriel Martín	Atarfil
Juan Alberto Novés	Celesur
Sergio Sanz	Cetco
Javier Cabañero	Elsamex
Bernat Amat	Firestone
David Pelejero	Firestone
Fernando Ros	Firestone
Ángel Lorenzo	Geotexan
Ramón Díaz	GSR Control
Jorge Gutiérrez	Intermas
Ariosto de Haro	Laborcontrol
Francisco José Moreno	Renolit
Pau Climent	Renolit
Javier Antonio Rodríguez	Siverune 104
José Miguel Muñoz	Sotrafa
Mauro Quintero	Sotrafa
José Luis Cuenca	Tencate
Silvano Chavero	Tingeo

Grupo de supervisión:

- **Organismos estatales**

Juan Carlos de Cea	Dirección General del Agua - MITERD
Rubén Castilla	Dirección General del Agua - MITERD

Beatriz Mateo	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Rosario Solera	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Fernando Pardo	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) - MITMA
Francisco Ureña	Confederación Hidrográfica del Guadalquivir
José Ángel Hernández	Sociedad Mercantil Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA) - MAPA

- **Organismos autonómicos**

Manuel Setrakian	Junta de Extremadura
José Antonio Remesal	Junta de Andalucía
Francisco Zapata	Comunidad Autónoma de Valencia
Juan Carlos Alonso	Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León
Tatiana Vara	Balsas de Tenerife (BALTEN) – C. A. de Canarias

- **Asociaciones técnicas**

Pedro Abad	IGS – ESPAÑA
------------	--------------

En los ámbitos de laboratorio e inspecciones a pie de obra, las personas colaboradoras por parte del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales han aportado la experiencia adquirida a lo largo de más de 30 años en el estudio del comportamiento de geomembranas poliméricas, labor que fue iniciada por el Dr. D. Manuel Blanco Fernández.

En la década de 1990, el Dr. D. Manuel Blanco Fernández junto con profesionales del campo de la impermeabilización, impulsaron el estudio de las geomembranas poliméricas empleadas en la impermeabilización de balsas, debido en gran parte a la construcción de un gran número de balsas en el territorio nacional, algunas formando parte de planes hidrológicos. Esta experiencia adquirida y transmitida por el Dr. Blanco ha permitido conocer el comportamiento de una serie de materiales poliméricos de diferente naturaleza y, por tanto, descifrar sus fenómenos de degradación.

Finalmente, es nuestro deseo rendir un merecido homenaje al Dr. D. Manuel Blanco Fernández, dedicándole de forma póstuma esta Guía, que se ha redactado gracias a su trabajo y experiencia a lo largo de su carrera profesional en el Área de Materiales del Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX.

GUÍA PRÁCTICA PARA LA INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS UTILIZADAS EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS

ÍNDICE

1.	OBJETIVOS Y ÁMBITO DE APLICACIÓN	9
2.	BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS	15
3.	NORMATIVA DE REFERENCIA	21
3.1.	Normas.....	23
3.2.	Reglamentación técnica	23
4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS PARA IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS	27
4.1.	Policloruro de vinilo plastificado (PVC-P)	29
4.1.1.	<i>Composición de las geomembranas de PVC-P.....</i>	<i>29</i>
4.1.2.	<i>Características de las geomembranas de PVC-P.....</i>	<i>31</i>
4.1.3.	<i>Procesos de degradación.....</i>	<i>32</i>
4.2.	Polietileno de alta densidad (PEAD)	34
4.2.1.	<i>Composición de las geomembranas de PEAD</i>	<i>35</i>
4.2.2.	<i>Características de las geomembranas de PEAD</i>	<i>36</i>
4.2.3.	<i>Procesos de degradación.....</i>	<i>37</i>
4.3.	Etileno-propileno-dieno monómero (EPDM)	39
4.3.1.	<i>Composición de las geomembranas de EPDM</i>	<i>40</i>
4.3.2.	<i>Características de las geomembranas de EPDM</i>	<i>41</i>
4.3.3.	<i>Procesos de degradación.....</i>	<i>42</i>
4.4.	Otros materiales.....	43
4.4.1.	<i>Poliolefinas flexibles (TPO)</i>	<i>43</i>
4.4.2.	<i>Caucho butilo (IIR)</i>	<i>43</i>
5.	OTROS GEOSINTÉTICOS	45
5.1.	Geotextiles y productos relacionados con geotextiles	47
5.1.1.	<i>Geotextiles</i>	<i>47</i>
5.1.2.	<i>Productos relacionados con geotextiles</i>	<i>48</i>

5.1.3.	<i>Principales características a determinar</i>	50
5.1.4.	<i>Utilización en impermeabilización de balsas</i>	50
5.2.	Geocompuestos de drenaje. Georredes.	51
6.	REQUISITOS DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS ORIGINALES	53
6.1.	Dimensionales	55
6.2.	Mecánicos	55
6.3.	Térmicos	55
6.4.	Durabilidad	56
6.5.	Otros requisitos	56
7.	CRITERIOS PARA LA INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS EN SERVICIO	57
7.1.	Estado inicial de la geomembrana	59
7.2.	Seguimiento periódico de la geomembrana. Toma de muestras	59
7.3.	Estudio más detallado del estado de la geomembrana	62
7.4.	Características significativas a determinar en cada GBR-P	65
7.4.1.	<i>Poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P)</i>	65
7.4.2.	<i>Polietileno de alta densidad (PEAD)</i>	66
7.4.3.	<i>Etileno-propileno-monómero diénico (EPDM)</i>	70
7.4.4.	<i>Otros materiales: poliolefinas flexibles (TPO) y caucho butilo (IIR)</i>	71
7.5.	Reimpermeabilización	72
7.5.1.	<i>Reimpermeabilización total o parcial</i>	75
7.5.2.	<i>Retirada de la geomembrana existente</i>	76
8.	PATOLOGÍAS POSIBLES EN EL SEGUIMIENTO DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS	79
8.1.	Composición de la geomembrana	81
8.2.	Puesta en obra	82
8.2.1.	<i>Preparación del soporte</i>	82
8.2.2.	<i>Almacenamiento e instalación</i>	86
8.3.	Factores ambientales	90
8.4.	Flora y fauna	94
8.5.	Vandalismo o usos diferentes al previsto	95
8.6.	Otras patologías	96
9.	BIBLIOGRAFÍA	99
10.	GLOSARIO	107
	ANEXO I. MEJORA AMBIENTAL DE LA BALSA	111
	ANEXO II. FICHA TIPO DE INSPECCIÓN VISUAL DE BALSAS	117



1.

Objetivos y Ámbito de Aplicación

Objetivos y
Ámbito de
Aplicación

1. OBJETIVOS Y ÁMBITOS DE APLICACIÓN

Las balsas, como elemento para la acumulación de agua, han ido evolucionando a lo largo del tiempo desde una simple alberca de pequeño volumen para utilizar el recurso contenido en ella en huertos familiares, hasta constituir hoy en día verdaderos embalses, con varios hectómetros cúbicos de capacidad, cerrados por diques de unas dimensiones tales que en muchos casos cabe calificarlos, en sentido amplio, como grandes presas.

En lo que se refiere a la construcción de los diques de cierre, la tecnología también ha evolucionado con el paso del tiempo y de ser unos simples muros de mampostería, hoy en día son estructuras conformadas por materiales sueltos, naturalmente impermeables, generalmente arcillosos, cuya optimización ha permitido la utilización de todos los materiales situados en las inmediaciones. Ese conocimiento de los materiales y la optimización de su utilización en el interior del dique, ha hecho posible la ubicación de balsas en zonas en las que años atrás esa implantación habría sido imposible.

La creciente extensión del regadío en nuestro país a lo largo de las últimas décadas hizo necesario disponer lo más cerca posible del punto de aplicación del agua, infraestructuras que almacenaran importantes volúmenes de recurso. Como consecuencia de ello, las balsas pasaron a ser infraestructuras cruciales del regadío y la ausencia en numerosas ocasiones de materiales impermeables disponibles en las inmediaciones de las mismas, que podrían haber descartado su construcción, dieron lugar a una paulatina y creciente extensión de la utilización de elementos geosintéticos como elementos impermeabilizantes; primero internos, es decir cubiertos por materiales térreos, y luego externos, situados directamente sobre el paramento de aguas arriba del dique de cierre, por la rapidez de su ejecución y economía.

Es por todo ello que debido al elevado número de balsas existentes en el país -más de 50.000-, por el creciente e importante volumen de agua que algunas almacenan -alguna casi 20 hm³-, y por la importancia que comienzan a alcanzar estas infraestructuras, las Administraciones competentes en materia de seguridad de presas, embalses y balsas consideraron conveniente comenzar a vigilar su seguridad, para garantizarle a la sociedad que se mantiene en un nivel adecuado.

En el año 2008 se publicó el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, en el que aparece por primera vez una referencia legislativa a las balsas al incluir un nuevo título, concretamente el VII, que trata de la seguridad de presas, embalses y balsas y que tiene como principal objetivo, unificar en una misma norma los criterios de seguridad a aplicar a todas ellas, con independencia de dónde se encontraran y quien fuera su titular, así como delimitar las funciones de las distintas Administraciones competentes en materia de seguridad: Administración General del Estado y Comunidades Autónomas.

Esa norma determina que los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 metros o capacidad de embalse mayor de 100.000 m³, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir están obligados a llevar a cabo su clasificación en función del riesgo potencial en caso de rotura o funcionamiento incorrecto en tres diferentes categorías

(A, B o C) y que las que puedan ocasionar los mayores daños, es decir las clasificadas en las categorías A o B, deben elaborar obligatoriamente un Plan de Emergencia.

Y también establece que las futuras exigencias de seguridad a aplicar se incluyan en tres Normas Técnicas de Seguridad. Estas Normas, en el caso de las presas, fueron aprobadas mediante el Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses. En el caso de las aplicables a las balsas, en la actualidad se están terminando de redactar.

Uno de los pilares básicos de la seguridad establecidos en esas Normas Técnicas de Seguridad es el del control que de la misma debe hacer la Administración competente en esa materia, una de cuyas actividades básicas es, sin ningún género de dudas, la vigilancia e inspección en todas las fases de la vida de la infraestructura, pero de forma especialmente intensa y permanente en la fase de explotación, la más importante y larga de toda su vida.

Queda así establecido un sistema de control de seguridad caracterizado por la intervención y control permanente de la Administración pública, apoyado en un pilar fundamental: vigilar todas las obligaciones que la normativa y la legislación le exigen al titular de la balsa, y verificar que las cumple.

En el caso de las futuras Normas Técnicas de Seguridad de balsas esa inspección y vigilancia permanente no sólo se efectuará en la infraestructura y sus elementos auxiliares, como en el caso de las presas, sino que se extenderá también a la geomembrana, para determinar el estado en que se encuentra y el grado de envejecimiento que presenta, al ser en numerosos casos sobre la que descansa la seguridad: la función de impermeabilización durante la fase de explotación.

Y esa va a ser sin duda una de las principales tareas relacionadas con la seguridad que van a tener que realizar los titulares: examinar la evolución de esos elementos sintéticos, a través de sus propiedades físicas, químicas y de durabilidad, para asegurar un adecuado nivel de impermeabilización, pero también para conocer en qué momento de la vida de su infraestructura deberían acometer su retirada y la posterior reimpermeabilización de la balsa. Esta actividad va a generar informes técnicos que la Administración competente en materia de seguridad deberá evaluar periódicamente como parte de sus actuaciones como organismo de control de dicha seguridad.

En el marco de la normalización, y con el principal propósito de favorecer la labor de seguimiento de todas las Administraciones públicas que vayan a encargarse en el futuro del seguimiento y control de las balsas, la Dirección General del Agua encargó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas la elaboración de una Guía para la inspección y seguimiento de las barreras geosintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización de balsas que recogiera el estado del arte en la materia y que incluyera unos criterios claros y sencillos que permitieran, en el futuro más inmediato, facilitar al personal al servicio de esas distintas Administraciones públicas la evaluación del estado de los elementos de impermeabilización de las balsas de almacenamiento de agua, cuyo control de la seguridad deben realizar.

Esta finalidad puede hacerse extensible también a los titulares y a todo el personal relacionado con la explotación de las balsas, pues esta guía puede servir de referencia para establecer en qué momento deben proceder al cambio de la geomembrana desde el punto de vista de la seguridad.

De acuerdo con este objetivo la estructura de la Guía se ha planteado de tal forma que incluye una primera parte descriptiva, en la que se especifica la composición y los habituales procesos de degradación sufridos por las geomembranas, y una segunda en la que se definen y proponen los valores de las características más significativas de cada uno de los tipos de geomembranas que habitualmente se utilizan como elemento de impermeabilización de este tipo de infraestructuras, considerados como indicativos del final de la vida útil.



2.

Barreras Geosintéticas Poliméricas

2. BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS

Las barreras geosintéticas (GBR) o geomembranas son materiales geosintéticos de baja permeabilidad empleados para reducir o evitar el paso de fluidos a través de ellas. Dentro de las mismas, podemos distinguir tres grupos dependiendo del material que ejerce la función de barrera:

- **Barreras geosintéticas bituminosas (GBR-B):** La función de barrera se realiza mediante productos bituminosos.
- **Barreras geosintéticas de arcilla (GBR-C):** La función de barrera es realizada por una arcilla.
- **Barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P):** La función de barrera es desarrollada por polímeros.

La utilización de estas últimas, tanto en contacto con el suelo como con otros materiales, es muy amplia en el campo de la obra civil, desde la impermeabilización de balsas, a la impermeabilización de presas, túneles, canales o vertederos.

En el campo de impermeabilización de balsas, las ventajas que presentan estas geomembranas poliméricas son:

- Elongación o capacidad de la geomembrana para experimentar alargamientos y acomodarse a los movimientos del soporte.
- Resistencia a bajas temperaturas.
- Peso ligero.
- En general son fáciles de transportar, manejar y aplicar.
- En general pueden aplicarse bajo condiciones ambientales adversas.
- Reparaciones sencillas.

Los materiales poliméricos empleados en la impermeabilización se pueden clasificar, atendiendo a sus propiedades físicas, en:

- **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.
- **Elastómeros:** Son aquellas materias poliméricas que por acción del calor endurecen de forma irreversible. También se denominan duroplastos, materiales termoestables o termoendurecibles. Están formados por macromoléculas muy ramificadas o reticuladas.
- **Cauchos termoplásticos:** son elastómeros que tienen un comportamiento termoplástico en lugar de termoestable.

Teniendo en cuenta esta clasificación, en la tabla 1 se presentan los principales materiales poliméricos empleados en la elaboración de geomembranas para impermeabilización.

Tabla 1. Materiales poliméricos utilizados en la elaboración de geomembranas para impermeabilización

Nomenclatura	Material básico	Clase
ECB	Copolímeros de acrilatos/etileno y betún	
EVA/C	Copolímeros de acetato de vinilo y etileno	
EEA	Copolímeros de acetato de etilo y etileno	
PE	Polietileno	
PEC	Polietileno clorado	Termoplásticos
PP	Polipropileno	
PIB	Poliisobutileno	
PVC-P	Poli(cloruro de vinilo) plastificado	
TPO	Termoplástico poliolefínico	
E/P	Copolímeros de etileno/propileno	Cauchos
CSM	Polietileno clorosulfonado	Termoplásticos
CR	Caucho de cloropreno	
EPDM	Caucho terpolímero de etileno/propileno/monómero diénico	
IIR		
NBR	Caucho butilo	Elastómeros
BR	Caucho de acrilonitrilo/butadieno	
POE	Caucho de butadieno	
	Poliolefina elastomérica	

De los materiales poliméricos, los más utilizados en la impermeabilización de balsas en España son el policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), el polietileno de alta densidad (PEAD) y el etileno-propileno-monómero diénico (EPDM). Es por ello, que sus características serán descritas con mayor detalle dentro del apartado 4 de la presente guía.

Además de estos materiales, las geomembranas contienen aditivos, que son productos que acompañan a las resinas en la formulación de la lámina para modificar sus propiedades. De forma general, los de mayor interés son:

- **Cargas:** son aditivos sólidos que se incorporan al polímero para modificar sus propiedades físicas, especialmente sus propiedades mecánicas.
- **Plastificantes:** sustancias normalmente líquidas que añadidas a un material plástico aumentan su flexibilidad.
- **Aditivos antienviejecimiento:** son necesarios ya que los materiales plásticos modifican sus características con el paso del tiempo. Entre estos aditivos se encuentran:

- **Antioxidantes:** evitan en lo posible la degradación de la cadena polimérica por el fenómeno de oxidación, bien sea durante el proceso de fabricación o una vez instalada en la balsa.
 - **Antiozonizantes:** previenen la degradación de ciertos cauchos, fundamentalmente cuando están sometidos a tensión.
 - **Estabilizantes contra la deshidrocloración:** en materiales clorados retardan la pérdida de ácido clorhídrico.
 - **Absorbentes de la luz UV:** evitan la reacción en cadena de degradación de la macromolécula provocada por las radiaciones solares. Como absorbente de luz ultravioleta destaca el negro de carbono.
- **Agentes ignífugos o pirorretardadores:** aquellas sustancias que en pequeñas cantidades disminuyen o retrasan el carácter inflamable de la geomembrana.
- **Otros aditivos:** por ejemplo, fungicidas (para prevenir el ataque por hongos a las láminas), pigmentos (sustancias sólidas que confieren color y opacidad) o agentes de conductividad (permiten transformar la superficie de la lámina en conductora).

Las geomembranas utilizadas en impermeabilización se suelen presentar de las siguientes formas:

- a) **Homogéneas**, constituidas, exclusivamente, por el material polimérico y los aditivos correspondientes.
- b) **Multicapa**, formadas por una serie de capas del mismo material o de distintos materiales. De este modo se puede conseguir mejorar las propiedades mecánicas o la protección frente a la radiación ultravioleta y evitar la retracción.
- c) **Con refuerzo interno o armadas**, cuando el material polimérico 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 algunos casos, el objetivo fundamental de esta inserción es la mejora de las propiedades mecánicas, entre otras, la estabilidad dimensional de la lámina.
- d) **Revestidas externamente** con velos, tejidos, u otros refuerzos externos, para evitar la aparición de tensiones del proceso de fabricación y/o para reforzar la resistencia mecánica.

Además, las geomembranas pueden estar combinadas con otros geosintéticos formando geocompuestos.

Las características de las geomembranas para su utilización en impermeabilización de embalses y presas vienen recogidas en la norma UNE EN 13361.

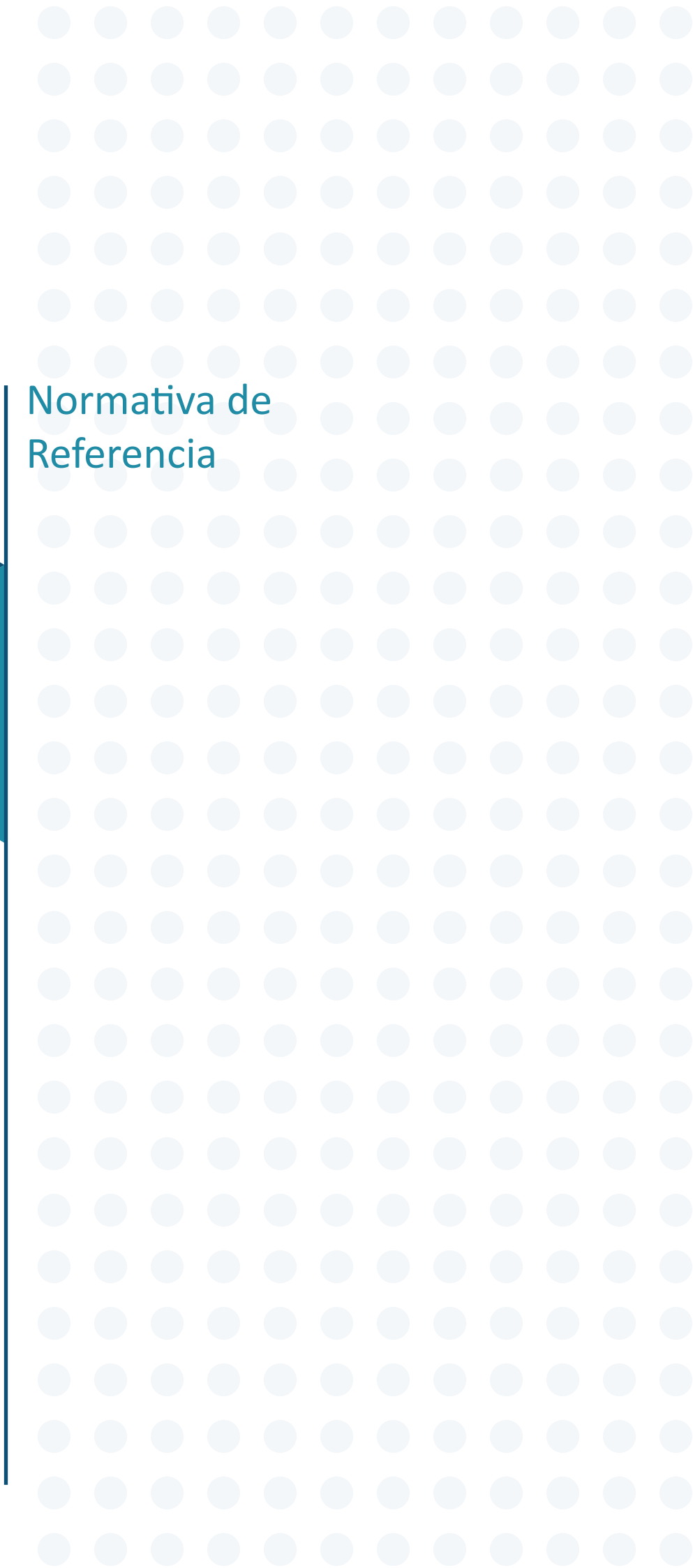
La figura 1 muestra ejemplos de balsas impermeabilizadas con geomembranas de PVC-P, PEAD y EPDM.



Figura 1. Ejemplos de balsas impermeabilizadas con geomembranas de (a) PVC-P, (b) PEAD y (c) EPDM



3. Normativa de Referencia



3. NORMATIVA DE REFERENCIA

3.1. Normas

Los ensayos a realizar inicialmente en las geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD), poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) y caucho de etileno-propileno-monómero diénico (EPDM) están contemplados en la norma **UNE EN 13361. Barreras geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de embalses y presas.**

Adicionalmente, también serán de aplicación las siguientes normas:

- **UNE 104427.** *Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno (PE).*
- **UNE 104423.** *Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) no resistentes al betún.*
- **GRI-GM13** *Standard Specification for Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes.* Geosynthetic Research Institute.

En estas normas de referencia se indican los ensayos para el control y seguimiento de las características significativas de cada geomembrana. No obstante, existen algunos ensayos no contemplados en ellas y que se relacionan a continuación:

- **UNE 104306.** *Materiales sintéticos. Determinación del contenido en plastificantes en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, utilizadas en impermeabilización.*
- **UNE-ISO 7619-1.** *Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la dureza de indentación. Parte 1: Método del durómetro (dureza Shore).*

Además, como documentos complementarios a los anteriores, podrán tenerse en cuenta los siguientes:

- *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*, editado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en 2010.
- *Guía para el proyecto, explotación, mantenimiento y plan de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad*, publicado por la Comunidad Valenciana en 2009.
- *Reglamento Particular de la Marca AENOR N para barreras Geosintéticas.*

3.2. Reglamentación técnica

El Texto Refundido de la Ley de Aguas dispone en su artículo 123 bis, dedicado a la seguridad de presas y embalses, que, con la finalidad de proteger a las personas, al medio ambiente y a las propiedades, el Gobierno regulará mediante Real Decreto las condiciones esenciales de seguridad que deben cumplir las presas y embalses, estableciendo las obligaciones y responsabilidades de sus titulares, los procedimientos de control de la seguridad, y las funciones que corresponden a la Administración pública.

Dando cumplimiento a este mandato, se aprueba el Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en el cual se incorpora un nuevo Título VII dedicado a la seguridad de las presas, embalses y balsas.

Esta modificación del Reglamento de Dominio Público Hidráulico ha supuesto la primera referencia legislativa a las balsas, que, en su artículo 357, se definen como aquella “obra hidráulica consistente en una estructura artificial destinada al almacenamiento de agua situada fuera del cauce y delimitada, total o parcialmente, por un dique de retención”.

Así mismo, en su artículo 367 se establece que los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 metros o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m³ (figura 2), de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a llevar a cabo su clasificación y registro en el Registro de Seguridad de Presas y Embalses. En relación con el proceso de clasificación, esta se llevará a cabo en función del riesgo potencial derivado de su rotura o funcionamiento incorrecto en tres categorías: A, B o C.

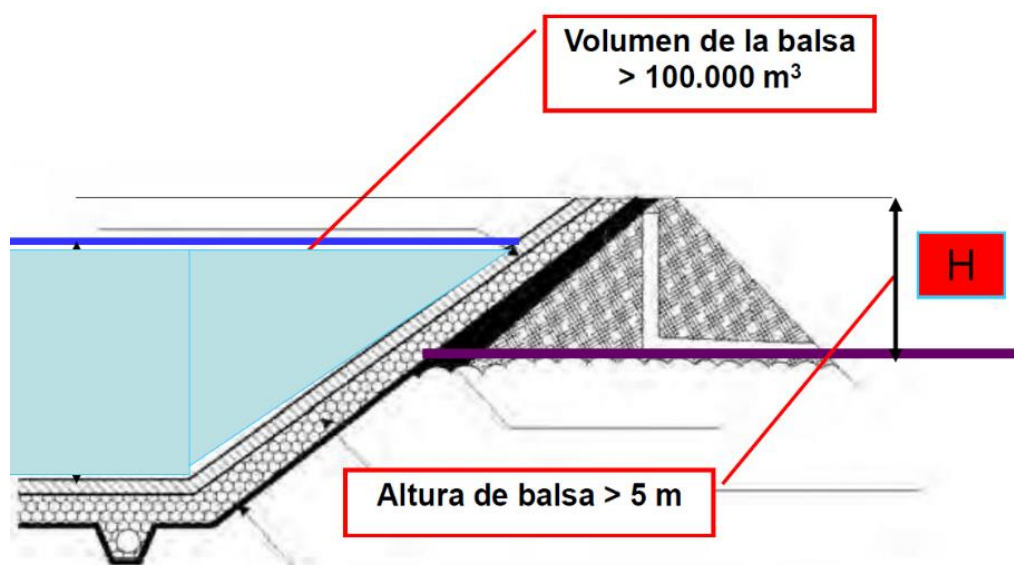


Figura 2. Requisitos para la clasificación de balsas (RD 9/2008)

La definición de cada una de estas categorías es la siguiente:

- Categoría A: balsas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B: balsas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños medioambientales o materiales importantes o afectar a un número reducido de viviendas.
- Categoría C: balsas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas.

Complementariamente, todas aquellas presas o balsas que resulten clasificadas en las categorías A o B, deberán disponer, obligatoriamente, de un Plan de Emergencia que además habrá de implantarse.

En lo que se refiere a este último, la Dirección General del Agua redactó en el año 2012 una Guía Técnica para la Elaboración de Planes de Emergencia de Balsas, con la que facilitar y simplificar esas tareas a los titulares de estas, y utilizable tan solo en aquellos casos en los que las balsas estén situadas fuera de cauce, sin cuenca de aportación y cuyo llenado se realice de forma controlada, por bombeo o por derivación.

Esos Planes de emergencia una vez redactados por los titulares son tramitados y aprobados por la Administración competente en materia de seguridad de presas y embalses, de acuerdo con el esquema reflejado en la figura 3.

Y una vez aprobados, todos se incorporarán:

- Al Plan Estatal de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.
- A los Planes ante el riesgo de inundaciones de las Comunidades Autónomas.
- A los Planes de actuación municipal ante el riesgo de inundaciones.

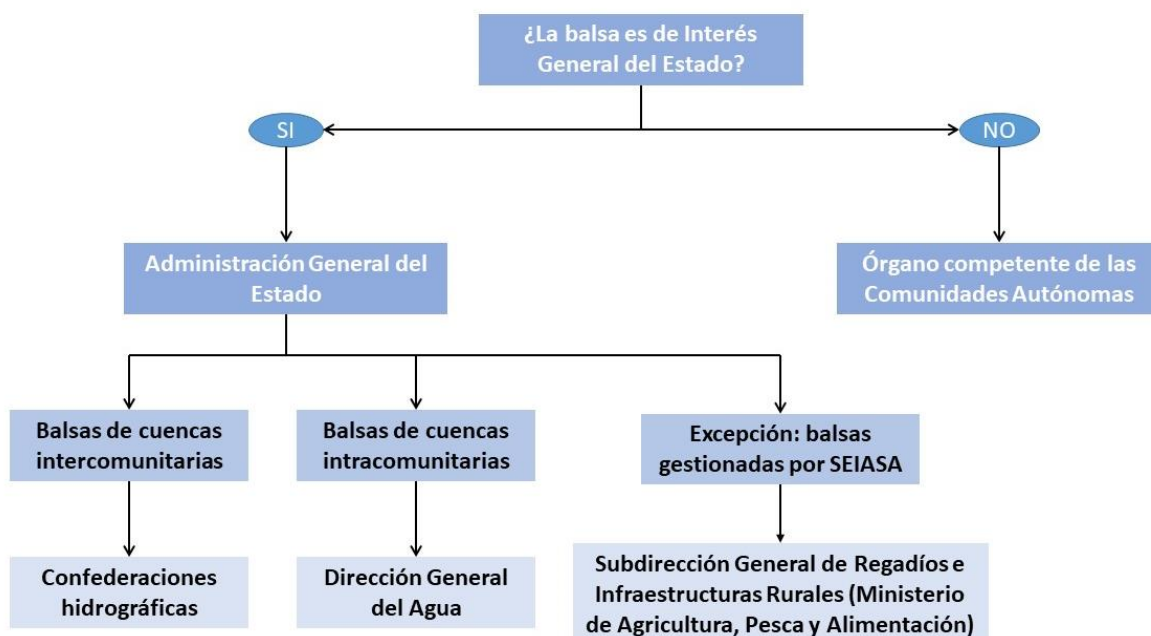


Figura 3. Organismos competentes en la tramitación de los Planes de Emergencia

Una vez clasificada y registrada la balsa en el correspondiente Registro de Seguridad de Presas y Embalses Autonómico o Nacional, y aprobado e implantado su correspondiente Plan de Emergencia, el titular será, a partir de ese momento, el responsable de la seguridad de la balsa y de todas sus instalaciones, correspondiéndole, por lo tanto, las siguientes obligaciones (Art. 367 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico):

- Cumplir las Normas Técnicas de Seguridad.
- Contar con solvencia económica para hacer frente a las exigencias de seguridad de su balsa.
- Asumir todas las condiciones que se le impongan y adoptar las medidas necesarias por motivos de seguridad.

- Facilitar a la Administración cualquier información en materia de seguridad, así como comunicar cualquier actuación que pueda alterar las condiciones de seguridad de la balsa.
- Permitir el acceso a los representantes de la Administración cuando fuera necesario.

Por su parte, a la Administración le corresponderá efectuar el control de la seguridad de la balsa, entendiendo como tal el conjunto de actuaciones que debe llevar a cabo para verificar que el titular cumple todas las obligaciones que la normativa de seguridad le exige.

Todas esas obligaciones y exigencias mínimas de seguridad de las balsas, graduadas según su clasificación, y los estudios, comprobaciones y actuaciones que el titular debe realizar en materia de seguridad para garantizar que esa seguridad es adecuada, quedarán descritas y detalladas en sus correspondientes Normas Técnicas de Seguridad.



4.

Características de las
Barreras
Geosintéticas
Poliméricas para
Impermeabilización
de Balsas

4. CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS PARA IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS

En el epígrafe 2 se relacionan los principales materiales poliméricos empleados en la elaboración de geomembranas para impermeabilización. De todos ellos, los más utilizados en la impermeabilización de balsas en España son el policloruro de vinilo plastificado (PVC-P), el polietileno de alta densidad (PEAD) y el etileno-propileno-monómero diénico (EPDM), cuyas principales características pasamos a definir a continuación.

4.1. Policloruro de vinilo plastificado (PVC-P)

El PVC es un polímero que presenta una elevada dureza y rigidez que, unidas a su inestabilidad térmica y ultravioleta, hacen que sea necesario el empleo de numerosos aditivos para comercializarlo en áreas tan importantes como la construcción y el transporte.

Los plastificantes son los aditivos que se incorporan al PVC para transformarlo en un material flexible que lo hace idóneo para la fabricación de geomembranas impermeabilizantes, de ahí su denominación como policloruro de vinilo plastificado (PVC-P).

4.1.1. Composición de las geomembranas de PVC-P

La composición típica de una geomembrana de PVC-P empleada en impermeabilización suele estar compuesta por un 50-70% de poli(cloruro de vinilo), un 25-35% de plastificantes y un 2-5% del resto de aditivos entre los que se encuentran el negro de carbono, las cargas, los estabilizantes y otros aditivos para facilitar su procesado. En la tabla 2 se presentan los componentes empleados en su fabricación.

Tabla 2. Composición de una geomembrana de PVC-P

COMPUESTO	CANTIDAD, %
PVC	50-70
Plastificantes	25-35
Otros Aditivos:	
Absorbentes de luz UV	
<i>Negro de carbono</i>	
<i>Dióxido de titanio</i>	2-5
Cargas	
<i>Carbonato cálcico</i>	
Estabilizantes	

Los **plastificantes** constituyen uno de los aditivos más importantes que participan en la formulación de las geomembranas impermeabilizantes. La mayoría de los plastificantes son

líquidos orgánicos de elevado peso molecular y baja volatilidad que al agregarse de forma física al PVC aumentan su flexibilidad y elasticidad. Los más utilizados comercialmente son compuestos derivados de ftalatos, adipatos, trimelitatos, ésteres de fosfatos e incluso plastificantes poliméricos.

El PVC se puede considerar un polímero único en cuanto a su compatibilidad con los plastificantes mencionados. Además, tiene la capacidad de absorber grandes cantidades de este tipo de aditivos, lo que da lugar a una modificación de sus propiedades físicas que lo hacen apto para su aplicación en impermeabilización.

Los **absorbentes de luz ultravioleta** actúan absorbiendo o apantallando la radiación ultravioleta. Los más importantes son el negro de carbono o el dióxido de titanio (TiO_2), que actúan también como pigmentos. El dióxido de titanio, de color blanco, da estabilidad al color de la geomembrana además de aumentar la resistencia a la intemperie. La pigmentación negra de una de las capas de las geomembranas se consigue con negro de carbono.

Las **cargas** se utilizan para reducir costes o para mejorar las características mecánicas. Se utilizan productos como carbonato cálcico, calcita microcristalina, caolín, talco, sulfato de bario, sílice y silicatos.

Los **estabilizantes** constituyen un aditivo valioso para el PVC-P debido a su gran inestabilidad frente a la degradación térmica y ultravioleta. En su degradación, el PVC-P genera cloruro de hidrógeno que provoca una reacción de degradación en cadena, dando lugar a radicales libres que pueden formar peróxidos, hidroperóxidos, así como modificaciones en las cadenas moleculares que ocasionan la aparición de zonas decoloradas o con coloración amarillenta, lo que indica la degradación de la geomembrana de PVC-P.

Los **estabilizantes térmicos** empleados en el PVC-P reaccionan con el cloruro de hidrógeno generado en su degradación, bloqueando las posiciones reactivas de la macromolécula de PVC-P. Tradicionalmente las más utilizadas son las sales de bario, cadmio y zinc, combinando dos metales diferentes, Ba/Cd y Ca/Zn, dando lugar a un efecto sinérgico en la estabilización.

La búsqueda de compuestos menos dañinos para el medioambiente y rentables, como estabilizantes de PVC-P, ha dado lugar al desarrollo de nuevos estabilizantes orgánicos basados en compuestos poliméricos y oligoméricos así como compuestos inorgánicos de magnesio-aluminio, conocidos como arcillas intercambiadoras de iones. Asimismo, han sido objeto de estudio las arcillas basadas en montmorillonita y los estabilizantes térmicos basados en productos naturales y biopolímeros como proteínas de soja y aceites de semilla de girasol y soja.

La efectividad de estos estabilizantes térmicos alternativos se basa en los mismos mecanismos de estabilización ya conocidos para el PVC-P: la inhibición de la formación de ácido clorhídrico.

Los **estabilizantes ultravioleta** actúan fundamentalmente a través de dos mecanismos: absorbiendo la radiación ultravioleta y neutralizando partes de la molécula de PVC responsables del inicio del proceso de degradación. Entre ellos se encuentran los pigmentos citados anteriormente y las aminas impedidas estéricamente, conocidas con las siglas HALS (“Hindered Amines Light Stabilizers”) que están consideradas como los mejores estabilizantes ultravioleta.

Otros aditivos. El PVC-P es un material autoextinguible debido a la presencia de cloro en su estructura molecular. A pesar de esto, para algunas aplicaciones se hace necesaria la adición de *retardantes de llama* como los complejos inorgánicos de magnesio/zinc o molibdeno/calcio/zinc. En las formulaciones de PVC-P para su procesado mediante calandrado se utilizan complejos de zinc/fosfato/molibdeno.

Los *lubricantes* constituyen un grupo de aditivos importantes en el PVC-P ya que sin ellos es prácticamente imposible su procesado. Su objetivo principal es impedir la adherencia de los compuestos de moldeo de las diversas partes del equipo.

4.1.2. Características de las geomembranas de PVC-P

Las geomembranas de PVC-P presentan en general buena resistencia frente a reactivos químicos excepto a la ciclohexanona y tetrahydrofurano, que pueden utilizarse para realizar la unión entre láminas. Son autoextinguibles y difícilmente inflamables debido a la presencia de cloro en las moléculas del polímero. Respecto a las características mecánicas, tienen una elevada resistencia a la tracción y a la deformación, así como al punzonamiento, por lo que se adaptan fácilmente al terreno. Al ser un material termoplástico, la capacidad de soldadura es muy buena, permitiendo la realización de la soldadura con disolventes o por calor.

Existen diferentes tipos de geomembrana de PVC-P dependiendo del refuerzo interno o externo que lleven incorporado en su constitución. Como se ha mencionado en el punto 2, pueden encontrarse geomembranas homogéneas, multicapa sin refuerzo, con refuerzo interno y revestidas externamente. Suelen fabricarse como multicapa y es corriente observar dos colores en la lámina, siendo la capa externa la que lleva mayor cantidad de aditivos para la protección ultravioleta y la interna con mayor proporción de biocidas y fungicidas para protección del ataque por microorganismos del terreno.

La figura 4 muestra una selección de los diferentes tipos de geomembranas de PVC-P que se comercializan actualmente.

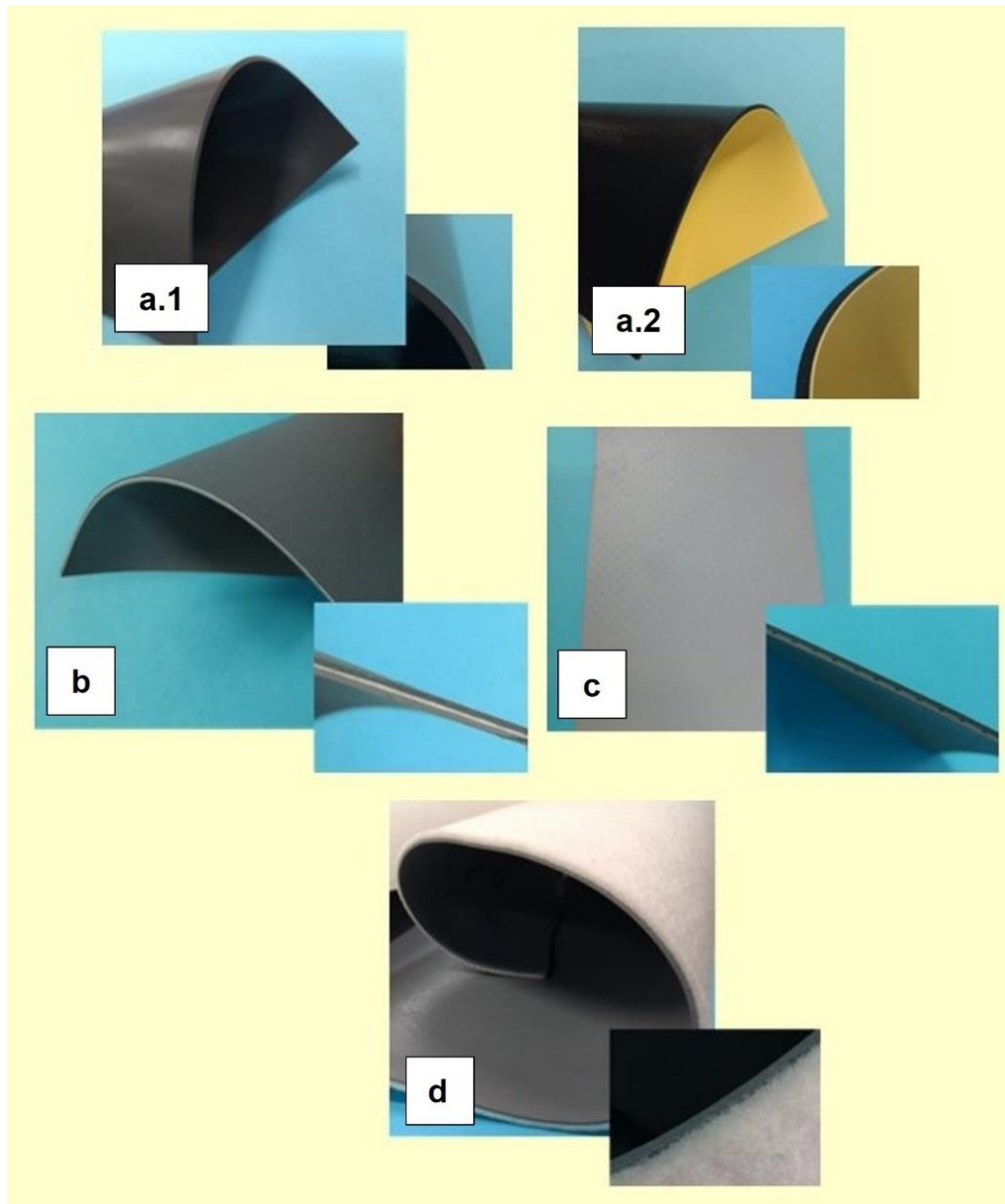


Figura 4. Tipos de geomembranas de PVC-P: (a.1) homogénea, (a.2) homogénea bicapa, (b) reforzada con fibra de vidrio, (c) reforzada con geotextil tejido y (d) revestida con un geotextil

4.1.3. Procesos de degradación

Las geomembranas de PVC-P experimentan principalmente tres procesos de degradación: pérdida de plastificantes, envejecimiento térmico y envejecimiento por radiación ultravioleta o fotodegradación. Estos tres procesos se pueden dar simultáneamente o por separado.

- **Pérdida de plastificantes**

La pérdida de plastificantes es un proceso que sucede a través de tres mecanismos de migración del plastificante: al aire o volatilización, al agua o disolución y a otro sólido.

La migración del plastificante al aire o volatilización se debe a la difusión desde el interior de la geomembrana a la superficie produciéndose la evaporación del plastificante al aire. Existen estudios que han mostrado que el incremento del peso molecular del plastificante junto con la disminución de las ramificaciones en la molécula del plastificante, reducen la pérdida por volatilización de la geomembrana de PVC-P.

La extracción de plastificante por un líquido, ya sea agua o algún producto químico, se produce cuando el líquido penetra en la geomembrana y se difunde en el seno del material polimérico dando lugar a la disolución y pérdida gradual de plastificante.

La migración del plastificante desde una geomembrana PVC-P a otro material sólido también puede producirse. Al igual que en los procesos anteriores, el incremento del peso molecular y una estructura molecular lineal del plastificante da lugar a una reducción de la migración a un sólido.

Este último proceso de migración se ha observado cuando se han puesto en contacto dos geomembranas de PVC-P, en los baberos de protección sobre la geomembrana impermeabilizante de la balsa. Se ha detectado una transferencia de plastificante desde el babero a la geomembrana debido a la tendencia a igualar las concentraciones de plastificantes.

También se ha observado migración de plastificante entre una geomembrana de PVC-P y otra de PEAD que se encontraban en contacto, después de una reimpermeabilización. En este caso, como consecuencia de la reacción entre el plastificante y los aditivos presentes en la geomembrana de PEAD, se produjo una aceleración de la degradación de la geomembrana, que dio lugar a agrietamiento por esfuerzos (stress-cracking).

El empleo de plastificantes con un peso molecular superior a 400, evita su rápida migración, de forma que se consigue una mayor durabilidad de la geomembrana y por otra parte, la preservación del medio ambiente de estas sustancias.

- *Envejecimiento térmico y fotodegradación*

Tanto la degradación térmica del PVC-P como la producida por la radiación ultravioleta presente en la luz solar, dan lugar a la eliminación de ácido clorhídrico, originando zonas decoloradas en la geomembrana, así como la rotura de las cadenas macromoleculares, provocando la degradación del material polimérico.

En la figura 5 se presentan los tipos de degradación que experimentan las geomembranas de PVC-P.

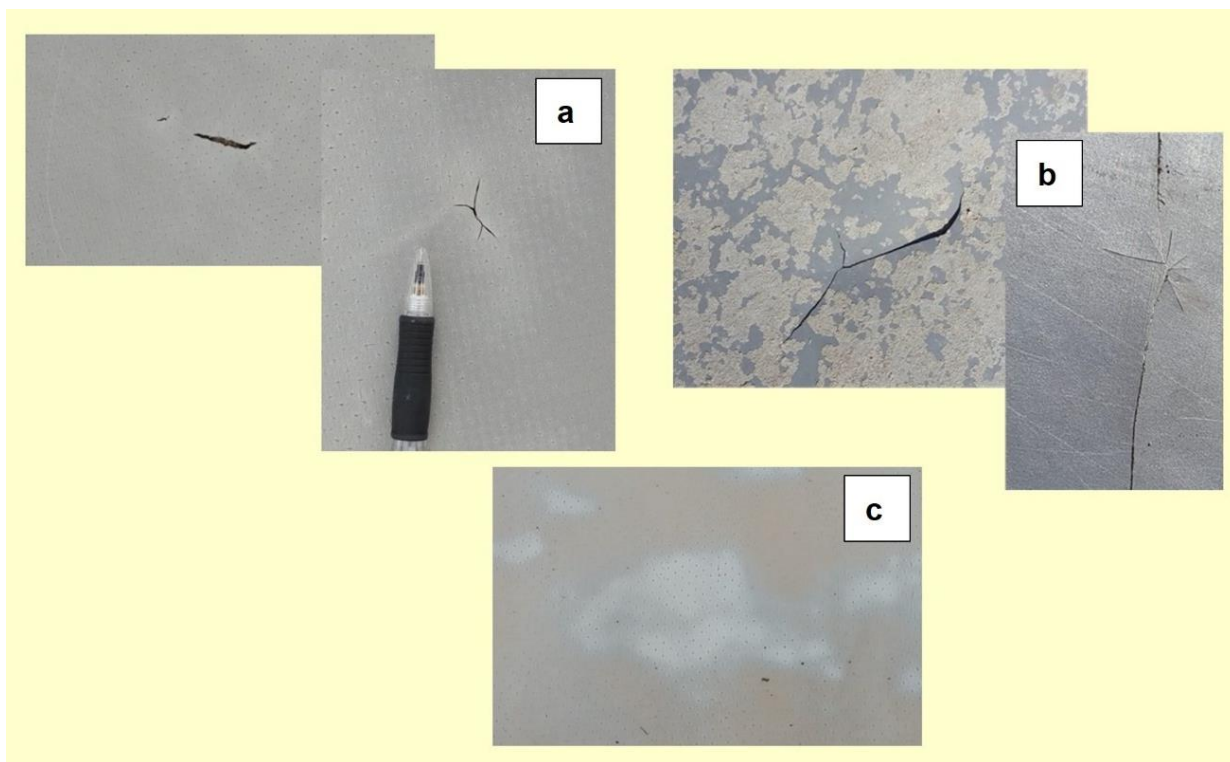


Figura 5. Tipos de degradación en una geomembrana de PVC-P: (a) grietas por degradación del PVC-P, (b) rotura por granizo, (c) decoloración por pérdida de ácido clorhídrico

4.2. Polietileno de alta densidad (PEAD)

El polietileno es un polímero que presenta una gran inercia química frente a un elevado número de reactivos, lo que hace que esté presente en muchos sectores como la automoción, alimentación, envases, embalajes, construcción y agrícola.

La estructura química del polietileno está formada por unidades de etileno dando lugar a una cadena molecular lineal difícil de romper. No obstante, debido a los procesos secundarios de polimerización o de copolimerización con otras moléculas, se generan puntos débiles en el seno del polímero que dan lugar a reacciones de oxidación provocando la degradación del material. Esto explica que casi siempre se incorpore una pequeña cantidad de antioxidantes durante el proceso de fabricación de la geomembrana, con objeto de evitar su degradación, ya sea durante el periodo de fabricación, o bien una vez instalada la geomembrana en obra.

Los diferentes tipos de polietileno que se encuentran comercialmente se clasifican en función de la densidad de la resina y los más empleados en el sector de la construcción y en el agrícola se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de polietileno y sus aplicaciones

Material	Polietileno de alta densidad (PEAD)	Polietileno de media densidad (PEMD)	Polietileno lineal de baja densidad (PELBD)
Densidad de la resina, g/cm ³	> 0,940	0,926 – 0,940	0,919 – 0,925
Aplicaciones	Geomembranas impermeabilizantes	Tuberías	Filmes
Productos			

4.2.1. Composición de las geomembranas de PEAD

Las geomembranas impermeabilizantes están constituidas por polietileno de alta densidad y una serie de aditivos para evitar su degradación térmica y la provocada por la radiación ultravioleta. La composición típica de una geomembrana figura en la tabla 4.

Tabla 4. Composición de una geomembrana de PEAD

COMPUESTO	CANTIDAD, %
PEAD	96-97
Negro de carbono	2-3
Otros aditivos <i>Antioxidantes</i>	0,5-1

El **negro de carbono** es uno de los aditivos más importantes en las geomembranas de polietileno. Se emplea como estabilizante ultravioleta ya que actúa absorbiendo la radiación UV y disipando la energía absorbida en forma de calor. El comportamiento óptimo del negro de carbono depende del tamaño de partícula empleado y la dispersión dentro de la matriz polimérica.

La cantidad de negro de carbono que se incorpora a la resina polimérica está comprendida entre el 2 y el 3%. Cantidades inferiores serían insuficientes para evitar la degradación por las radiaciones solares. Si es importante el contenido en negro de carbono, más aún es su adecuada

dispersión en la geomembrana ya que de lo contrario, las características pueden variar notablemente de unos puntos a otros y dar lugar tanto a fallos mecánicos como a la degradación del polietileno por el ataque de la radiación solar.

Los **antioxidantes** tienen una especial importancia en la formulación de la geomembrana de polietileno ya que previenen la oxidación durante su proceso de fabricación y además aseguran la estabilidad del polímero durante su tiempo de vida útil. Existen muchos tipos de antioxidantes, clasificados como primarios y secundarios, que actúan en función de su actividad frente a la oxidación del polietileno.

- Los *antioxidantes primarios* actúan atrapando o desactivando radicales libres, de forma que dan lugar a compuestos neutros con la finalidad de estabilizar el polímero. Un ejemplo lo constituyen los compuestos químicos derivados de fenoles y aminas impedidas estéricamente.
- Los *antioxidantes secundarios* están diseñados para descomponer los compuestos generados en la oxidación del polietileno en otros menos reactivos y de esta forma prevenir la formación de radicales libres en el proceso de degradación de la geomembrana de polietileno. Un ejemplo lo constituyen los compuestos derivados de fosfitos orgánicos, compuestos de azufre y aminas impedidas estéricamente.

Esto implica que en la formulación de la geomembrana de polietileno se deberían incluir antioxidantes de ambos tipos, con el fin de asegurar su durabilidad.

Por otra parte, los antioxidantes son estables en diferentes rangos de temperatura, por lo que habrá que incluir antioxidantes que protejan a la geomembrana durante su procesado, en el que soporta elevadas temperaturas, y en su puesta en servicio a temperatura ambiente.

4.2.2. Características de las geomembranas de PEAD

Las propiedades físicas y mecánicas de las geomembranas de PEAD se encuentran relacionadas con la densidad de la resina polimérica.

La figura 6 muestra como las propiedades de dureza, resistencia a la tracción y resistencia química aumentan a medida que aumenta la densidad del polietileno mientras que disminuyen otras como la flexibilidad, la permeabilidad y la resistencia a la fisuración por esfuerzos medioambientales ("stress-cracking").

Las geomembranas de PEAD presentan un buen comportamiento con respecto a la resistencia mecánica a la percusión o impacto dinámico y peor comportamiento frente a la resistencia al impacto estático o punzonamiento. En relación con la prueba de comportamiento a bajas temperaturas, presenta un buen comportamiento incluso a -75°C.

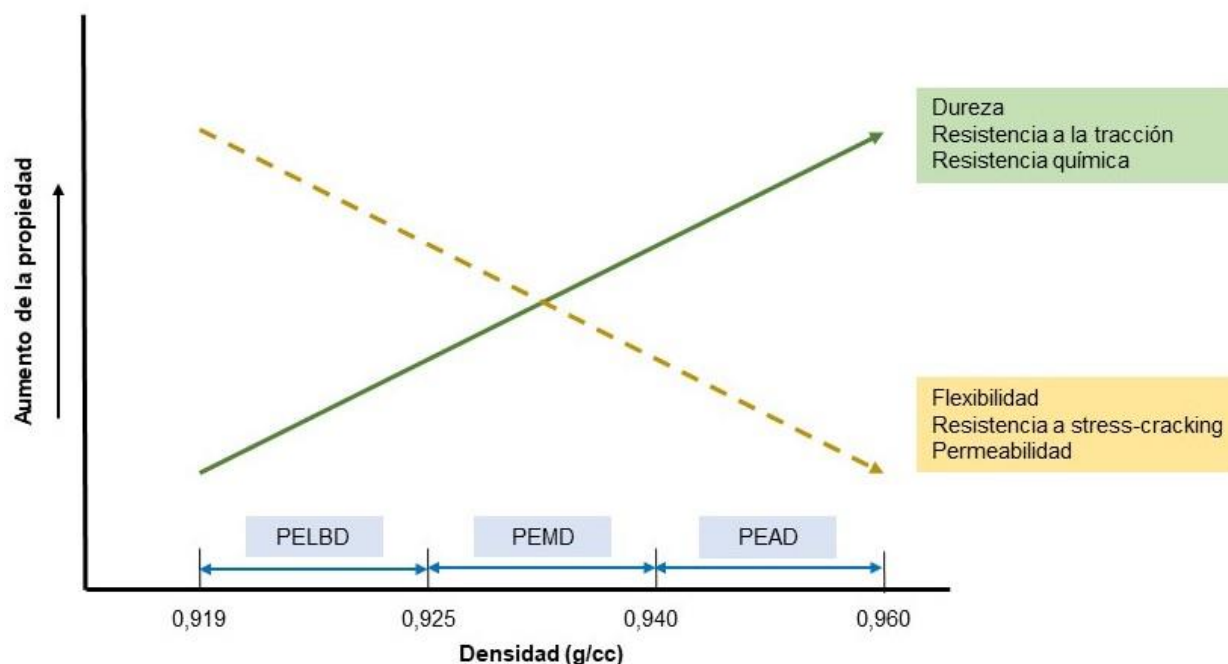


Figura 6. Relación entre la densidad del polietileno y sus propiedades (Hsuan et al. 2008)

4.2.3. Procesos de degradación

Los procesos más representativos de la degradación de las geomembranas de PEAD son el agrietamiento por esfuerzos medioambientales y la degradación oxidativa.

- *Agrietamiento por esfuerzos medioambientales*

El proceso de agrietamiento por esfuerzos medioambientales tiene lugar debido a la coexistencia de zonas cristalinas y amorfas en la estructura molecular del polietileno. Este agrietamiento se produce cuando la geomembrana está bajo la acción de agentes externos y a la vez sometida a un esfuerzo constante. Adicionalmente a la influencia del esfuerzo soportado, el agrietamiento se acelera por las altas temperaturas.

En la figura 7 se muestra el proceso de agrietamiento de forma esquemática. Las cadenas macromoleculares están organizadas en fases cristalinas y amorfas de forma que algunas cadenas de la fase amorfa actúan de enlace entre estructuras cristalinas adyacentes. Cuando la geomembrana está sometida a un esfuerzo constante, se produce el deslizamiento de las cadenas macromoleculares en la fase amorfa, dando lugar a la fractura y separación de la fase cristalina. Este proceso se acelera en contacto con determinados agentes, como por ejemplo tensioactivos.

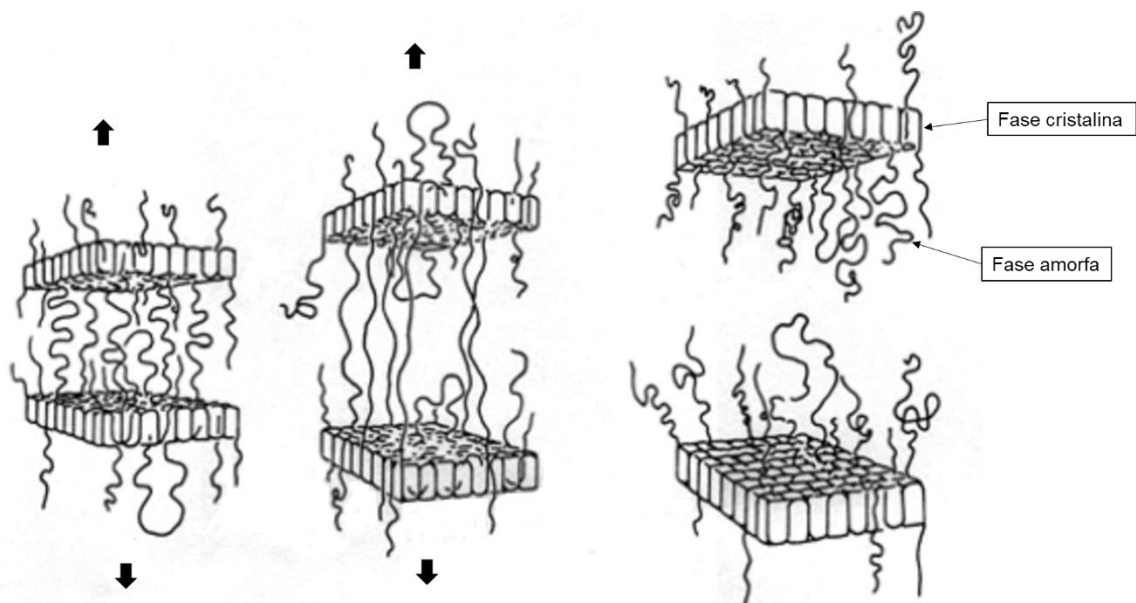


Figura 7. Mecanismo de rotura de las cadenas macromoleculares en el PEAD (Lustiger 1983)

El agrietamiento por esfuerzos se produce cuando la geomembrana está soportando una tensión constante y existe un punto débil que es el origen del agrietamiento, como por ejemplo en las zonas cercanas a las soldaduras, en zonas con piedras o protuberancias debajo de la geomembrana, en los parches, así como en zonas con rasguños en la superficie de esta.

En la figura 8 se observan las grietas iniciales detectadas en la zona de coronación de una balsa y la temperatura registrada en la superficie de la geomembrana.

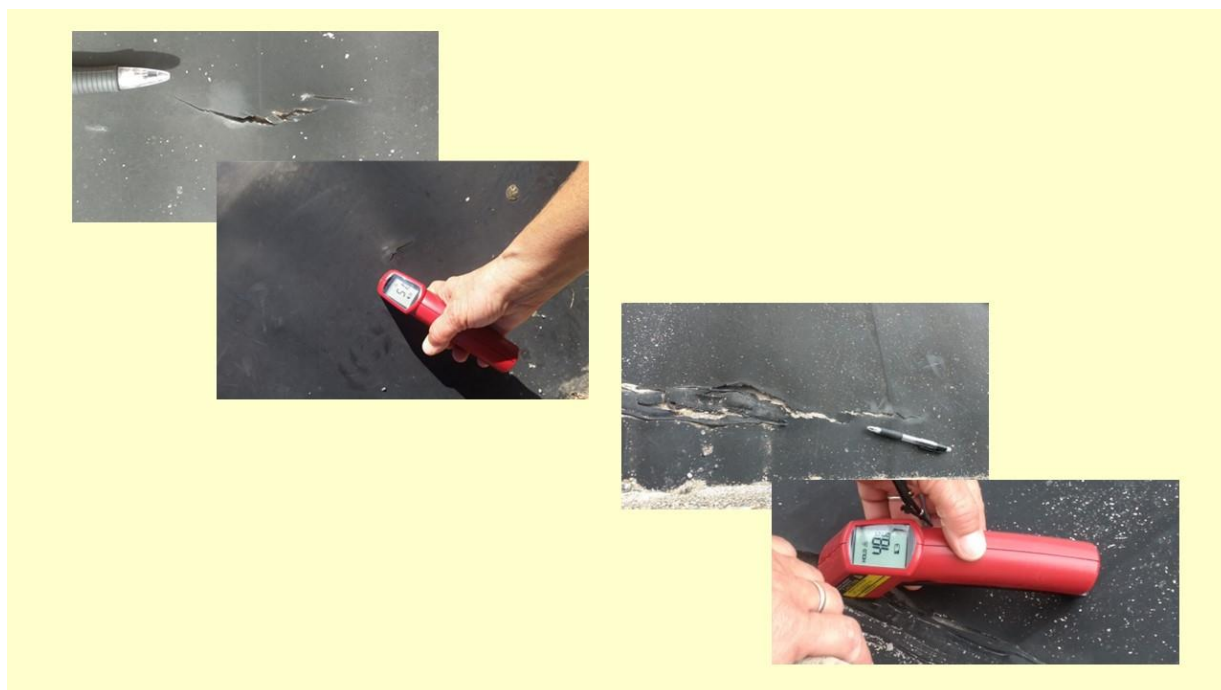


Figura 8. Agrietamiento por esfuerzos medioambientales (stress-cracking) detectado en diferentes puntos de una geomembrana de PEAD

- *Degradación oxidativa*

La degradación oxidativa se produce por la acción del oxígeno, iniciando un proceso rápido debido a la reacción por radicales libres. El mecanismo se desarrolla mediante procesos cíclicos, comenzando por la acción del oxígeno en las cadenas macromoleculares y la propagación de los radicales libres formados dentro de la masa del polímero.

Este proceso puede describirse en tres etapas que se muestran en la figura 9:

- Primera etapa (A): periodo de agotamiento de los antioxidantes presentes en la geomembrana.
- Segunda etapa (B): periodo de inducción en el que los antioxidantes están agotados y comienza la degradación lenta del polímero.
- Tercera etapa (C): se produce la degradación del polímero. Como consecuencia de este proceso, la geomembrana experimenta una disminución de las propiedades mecánicas, tales como la resistencia a la tracción y alargamiento en la rotura indicando el fin de la vida útil de la geomembrana.

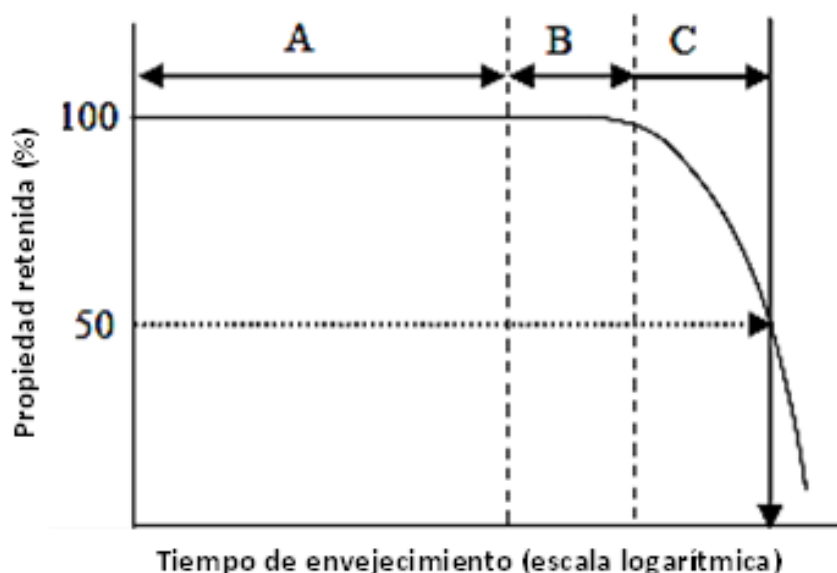


Figura 9. Etapas de la degradación oxidativa de la geomembrana de PEAD (Hsuan & Koerner, 1998). A: periodo de agotamiento de los antioxidantes, B: periodo de inducción al inicio de la degradación del polímero, C: tiempo para alcanzar el 50% del valor inicial de una propiedad determinada

4.3. Etileno-propileno-dieno monómero (EPDM)

Las geomembranas de EPDM están constituidas por un copolímero de etileno-propileno y una pequeña cantidad de un monómero con dobles enlaces en su molécula que permitirán la posterior vulcanización convencional del polímero. De esta forma se obtiene un caucho vulcanizado con pocos puntos reactivos en su macromolécula, lo que le hace especialmente resistente frente al ataque por ozono. Este hecho ha sido el motivo por el cual el EPDM fue desplazando al caucho butilo en el campo de la impermeabilización.

4.3.1. Composición de las geomembranas de EPDM

Una composición típica de una geomembrana de EPDM es la que figura en la tabla 5 en la que se aprecia que la cantidad de material polimérico es inferior al de las geomembranas de PVC-P y PEAD.

Tabla 5. Composición de una geomembrana de EPDM

COMPUESTO	CANTIDAD, %
Etileno+Propileno+Monómero diénico	25-40
Negro de carbono	20-40
Aceites parafínicos	10-20
Otros Aditivos:	
<i>Antioxidantes</i>	8
<i>Estabilizantes</i>	
<i>Arcillas, Azufre, Aceleradores</i>	

La geomembrana de EPDM, debido a su naturaleza, requiere una mayor cantidad de aditivos para su procesado y para aumentar su durabilidad. Los aditivos que forman parte de la formulación del EPDM van desde los agentes de curado y activadores de la vulcanización, aceites para mejorar los procesos de fabricación y reducir la viscosidad del material, hasta los estabilizantes que disminuyen el efecto de las radiaciones ultravioletas en la resina polimérica. En la tabla 6 se resumen los tipos de aditivos empleados en las geomembranas de EPDM.

De todos los aditivos, el que se encuentra en mayor proporción es el negro de carbono, que desempeña dos funciones:

- Actuar como carga para mejorar algunas características mecánicas.
- Actuar como estabilizante ultravioleta atrapando los radicales libres que se producen en la degradación de la geomembrana.

Los dos requisitos que se le exige al negro de carbono es que el tamaño de partícula y su dispersión en la geomembrana sean los adecuados para conseguir una incorporación homogénea en la misma y evitar los posibles fallos mecánicos o el ataque por radiación solar.

Tabla 6. Aditivos de las geomembranas de EPDM

ADITIVOS	FUNCIÓN	COMPUESTOS
Catalizadores	Controlan la reacción de polimerización	Sales de vanadio, haluros de alquil-aluminio y metallocenos.
Agentes de curado	Vulcanización: generan una red tridimensional de macromoléculas dando lugar al material elastomérico.	Azufre y peróxidos
Activadores de la vulcanización	Mejoran el tiempo de vulcanización, reducen la temperatura de dicho proceso y disminuye la cantidad de azufre necesaria.	Óxido de cinc
Aceleradores de la vulcanización	Reducen el tiempo de vulcanización	Benzotiazoles, Ditiocarbamatos
Aceites	Facilitan el procesado en la fabricación de la geomembrana reduciendo la viscosidad de la mezcla polimérica	Aceites parafínicos y aromáticos
Estabilizantes UV	Capturan radicales libres que se producen en la geomembrana	Negro de Carbono
Cargas	Mejoran la estabilidad dimensional y propiedades ignífugas	Arcillas y Negro de Carbono

4.3.2. Características de las geomembranas de EPDM

El caucho de EPDM presenta una buena resistencia al envejecimiento y al ozono debido a su estructura química. La densidad de dobles enlaces presentes en sus macromoléculas, que resultan perjudiciales para su durabilidad, disminuye debido al proceso de vulcanización, lo que da lugar a una buena resistencia al ataque de agentes externos en la geomembrana. En cuanto a compuestos químicos, es atacado por aceites de petróleo y gasolina.

Una de las propiedades importantes que presenta la geomembrana es su elevada flexibilidad a las bajas temperaturas, ofreciendo unos buenos resultados a -55°C.

Su resistencia al impacto estático (punzonamiento) es elevada lo que le confiere una buena resistencia a la posible perforación de los áridos presentes en el terreno.

Respecto a las características mecánicas, la resistencia a la tracción sufre poca variación con el tiempo, sin embargo, el módulo de elasticidad aumenta mientras que el alargamiento hasta la rotura disminuye de forma notable a lo largo del tiempo. Otra de las propiedades que varía en las geomembranas de EPDM es su dureza, detectándose un aumento a lo largo del tiempo.

Las resistencias al desgarrar y al impacto dinámico presentan valores iniciales bajos, pero mejoran con el tiempo debido a los procesos de entrecruzamiento.

4.3.3. Procesos de degradación

El EPDM es más estable que los cauchos butilo, cloropreno y butadieno, sin embargo, a pesar de su estabilidad, presenta una comprobada tendencia a la oxidación. Este fenómeno es el principal mecanismo de degradación en el EPDM lo que provoca alteraciones de los enlaces moleculares entre las cadenas poliméricas, pudiendo conducir a la rotura de las cadenas.

La degradación oxidativa del EPDM ha mostrado que durante los procesos de rotura de cadena en la oxidación del polímero se produce una recombinación de radicales libres que da lugar a un entrecruzamiento adicional. Este proceso de reticulación parece ser muy rápido si se compara con las reacciones de oxidación. Adicionalmente, se observa que el aumento del entrecruzamiento conduce a una disminución de la concentración de oxígeno en el terpolímero, lo que da lugar a una disminución en la velocidad de oxidación, de forma que esta degradación oxidativa puede llegar a detenerse. Este hecho se ha comprobado en diferentes elastómeros diénicos, tales como el caucho butilo, caucho de estireno-butadieno y caucho natural.

Este proceso de reticulación a lo largo del tiempo explicaría la variación de las propiedades mecánicas y la retracción de la geomembrana, causa fundamental de la degradación de la geomembrana de EPDM.

En la figura 10 se presentan ejemplos de tipos de degradación detectados en las geomembranas de EPDM.

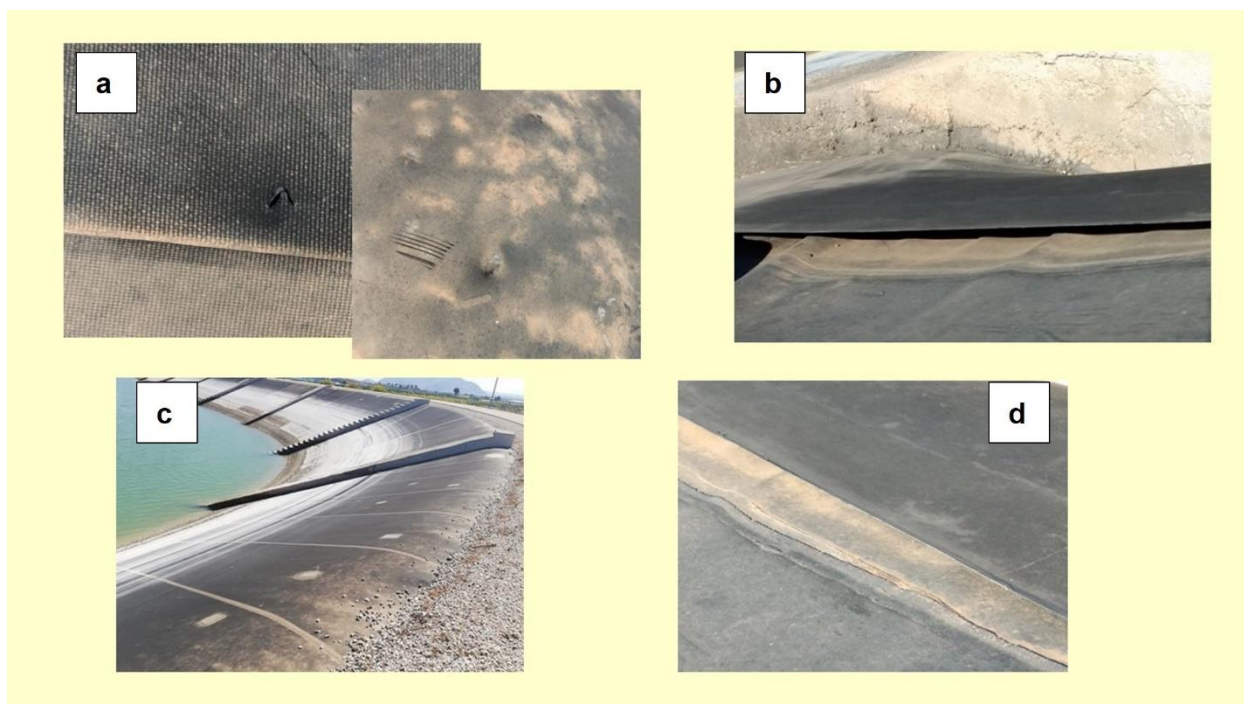


Figura 10. Detalles de la degradación de las geomembranas de EPDM: (a) perforación por la presencia de sólidos punzantes, (b) despegue de la soldadura, (c) reparación de perforaciones en la coronación de la balsa, (d) retracción de la geomembrana

4.4. Otros materiales

4.4.1. Poliolefinas flexibles (TPO)

Las geomembranas de TPO presentan una elevada flexibilidad, buen comportamiento a bajas temperaturas y buena resistencia química. Se suelen comercializar con un refuerzo de fibra de vidrio o bien con un geotextil tejido siendo estas últimas las que presentan unas elevadas características mecánicas. La figura 11 presenta dos ejemplos de geomembranas de TPO.

El empleo de este tipo de geomembranas no está tan extendido como las de PEAD, PVC-P y EPDM, aun así, se encuentran en balsas de almacenamiento de agua para riego (Castilla-La Mancha) y agua procedente de plantas desaladoras (isla de Tenerife).



Figura 11. Geomembranas de TPO

4.4.2. Caucho butilo (IIR)

Las geomembranas de caucho butilo comenzaron a utilizarse en la impermeabilización de balsas situadas en la zona del Levante, y en alguna infraestructura en Andalucía, en la década de 1970 (figura 12). Esta geomembrana se ha utilizado en unos casos protegida de la intemperie, como por ejemplo en una balsa en el sur de Tenerife instalada en el año 1974, o bien de forma expuesta como es el caso del Azud de Matavacas en la provincia de Huelva.

Actualmente su uso no está tan extendido como las geomembranas poliméricas mencionadas en el apartado anterior.



Figura 12. Geomembranas de caucho butilo instaladas en dos infraestructuras diferentes en España en la década de 1970

5. Otros Geosintéticos



5. OTROS GEOSINTÉTICOS

5.1. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles

5.1.1. Geotextiles

Los geotextiles son materiales textiles planos, permeables y poliméricos (sintéticos o naturales), cuyos elementos individuales son fibras o filamentos que se entrelazan entre sí mediante diversos procesos, obteniéndose estructuras continuas, relativamente delgadas, porosas y permeables en forma de láminas, que se emplean en contacto tanto con suelos como con otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.

Existe una gran diversidad de geotextiles cuyas propiedades dependen de los siguientes factores:

- La **materia prima** empleada en su fabricación. Los polímeros más empleados son:
 - *Poliolefinas* (polietileno y polipropileno). Son sensibles a la acción de los agentes oxidantes y a la acción de la luz ultravioleta, por lo que se les añade generalmente negro de carbono como aditivo para mejorar su durabilidad.
 - *Poliésteres*. Son susceptibles de sufrir hidrólisis alcalina. Este proceso puede tener lugar en contacto con el hormigón, por lo que conviene señalar la importancia de no colocar un geosintético de poliéster en contacto con hormigón, tanto en estado fresco como endurecido, ya que en este último caso también se puede producir su hidrólisis debido a la presencia de lixiviados del citado hormigón con un pH muy alcalino.
 - *Poliamidas*. Son susceptibles de sufrir hidrólisis, fundamentalmente en medios ácidos.
- **Tipo de filamento**. Pueden ser de filamento continuo o de fibra cortada.
- **Sistema empleado en la fabricación**. Según el sistema pueden ser:
 - *Geotextiles no tejidos (GTX-N)*. Constituidos por fibras, filamentos u otros elementos, orientados regular u aleatoriamente, unidos mecánicamente o térmicamente.
 - *Geotextiles tejidos (GTX-W)*. Se obtienen al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos.
 - *Geotextiles tricotados*. Son geotextiles fabricados mediante entrelazado de hilos, fibras, filamentos u otros elementos.

En las figuras 13 y 14 se presentan ejemplos de geotextil no tejido y tejido, respectivamente.

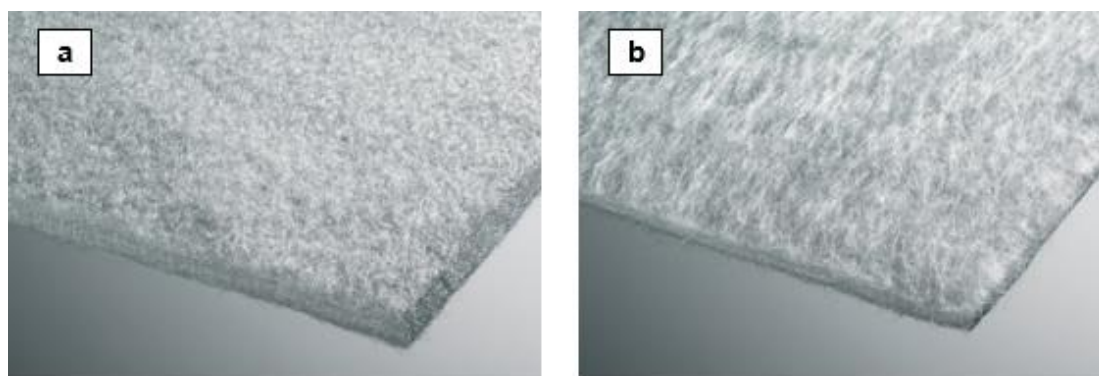


Figura 13. Geotextil no tejido de filamentos continuos: (a) para protección, (b) para separación y filtro

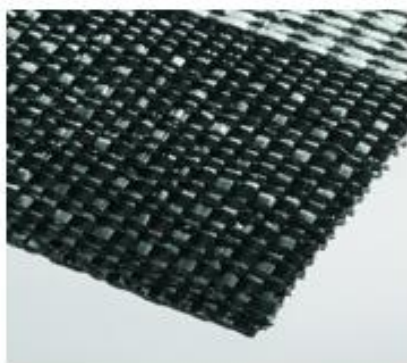


Figura 14. Geotextil tejido de polipropileno

- **Funciones de los geotextiles**

Las aplicaciones de los geotextiles se basan en cinco funciones básicas: drenaje, filtración, separación, refuerzo y protección. En la mayoría de los casos el geotextil cumple simultáneamente varias de las funciones. No obstante, una de ellas es siempre la principal, que será la base para el diseño de la obra, lo que se conoce por “diseño por función”.

- **Función de drenaje.** Consiste en la conducción de líquidos y gases, es decir, la evacuación del agua y el aire del suelo a su través o en su seno.
- **Función de filtración.** Consiste en la retención de partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la de grano grueso.
- **Función de separación.** Se utiliza para la separación de dos capas de suelo de diferentes propiedades granulométricas y así evitar de forma permanente la mezcla de material o contaminación del material más grueso.
- **Función de refuerzo.** El geotextil asociado a un suelo refuerza el conjunto, aportándole resistencia a la tracción. Juega puntualmente un papel de armadura y de unión entre los granos: la presencia de una lámina continua permite repartir las tensiones locales.
- **Función de protección.** En este caso el geotextil se interpone entre la barrera geosintética impermeable y la masa de suelo como elemento de protección para evitar su deterioro debido a perforaciones y al desgaste.

5.1.2. Productos relacionados con geotextiles

Los productos relacionados con geotextiles constituyen, junto con los geotextiles, la familia de materiales permeables de los geosintéticos. Los más utilizados son: geomalla, georred, geoestera, geocelda, geobanda y geoespaciador.

- **Geomalla.** Estructura plana polimérica que consiste en una red abierta regular de elementos que actúan por tracción integralmente conectados y cuyas aberturas son mayores que sus elementos constitutivos. Posee elevada resistencia y baja deformación y actúa como elemento estructural, para distribuir la carga que transmiten terraplenes, cimentaciones y pavimentos.
- **Georred.** Geosintético constituido por conjuntos de nervios (cordones) paralelos superpuestos, que se conectan integralmente con otros conjuntos similares, formando diferentes ángulos. Se utiliza para drenaje.

- **Geoestera.** Consiste en una estructura tridimensional, permeable, fabricada por monofilamentos poliméricos y otros elementos (sintéticos o naturales). Se emplea para control de la erosión.
- **Geocelda.** Consiste en una estructura tridimensional, permeable, polimérica, con estructura de panal de abeja, o similar, fabricada por bandas o tiras unidas de geosintéticos. Se utilizan principalmente para contener rellenos en taludes, con el objetivo de evitar su deslizamiento y erosión.
- **Geobanda.** Material polimérico, más conocido como “mecha drenante”, fabricado en forma de manguera enrollada, con un ancho no superior a 200 mm y en cuyo interior dispone de un alma plástica ondulada que le dota de un cierto espesor para favorecer el drenaje por su interior, que se emplea en la consolidación de suelos blandos como drenes verticales.
- **Geoespaciador.** Estructura polimérica tridimensional diseñada para crear un espacio de aire en suelos, y otros materiales. Se utiliza para la separación y el drenaje.

De todos estos productos, los más utilizados en las balsas impermeabilizadas con barreras geosintéticas poliméricas son las geomallas y las georredes.

En la figura 15 se presentan varios ejemplos de productos relacionados con los geotextiles.

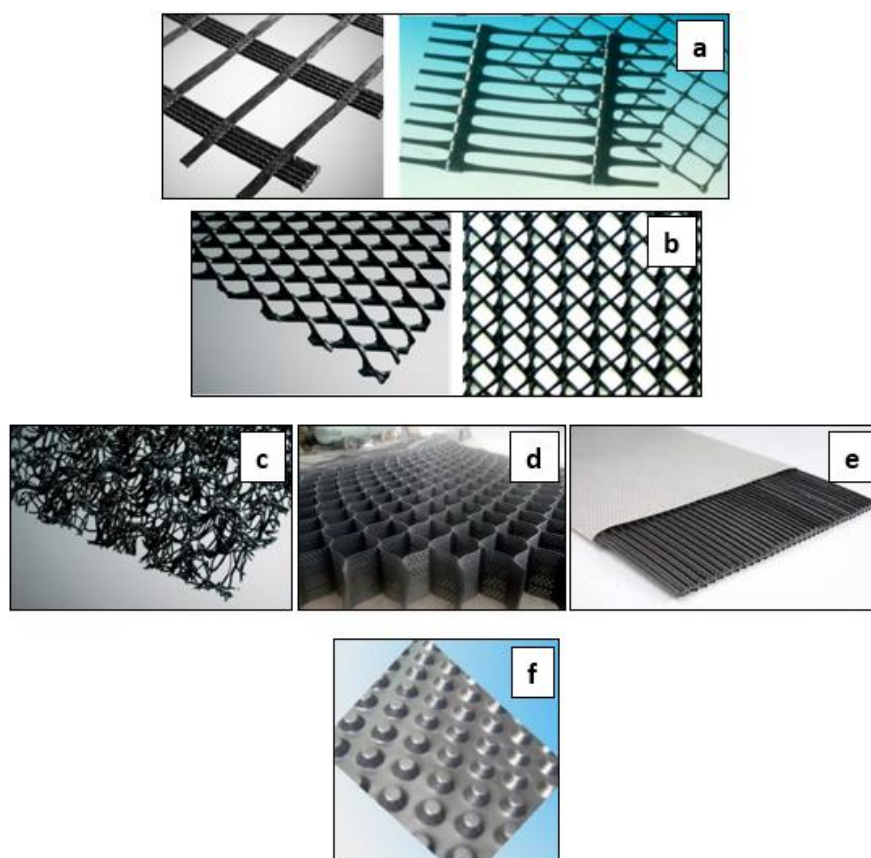


Figura 15. Ejemplos de productos relacionados con geotextiles: (a) geomallas, (b) georredes, (c) geoestera, (d) geocelda, (e) geobanda, (f) geoespaciador

5.1.3. Principales características a determinar

Las principales características a determinar en los geotextiles y productos relacionados con geotextiles son:

- **Características generales.** Las características generales del geotextil o producto relacionado se especifican en la norma UNE-EN ISO 10320, y se refieren a los datos que debe facilitar el fabricante o suministrador del producto para su identificación.
- **Características físico-mecánicas.** Las características físico-mecánicas, junto con las características hidráulicas, son la base de la elección de los geotextiles en función de sus aplicaciones. Las características que generalmente se determinan son:
 - o Resistencia a tracción y alargamiento (UNE-EN ISO 10319).
 - o Resistencia al punzonamiento estático (UNE-EN ISO 12236).
 - o Resistencia a la perforación dinámica (UNE-EN ISO 13433).
 - o Eficacia de la protección (UNE-EN 13719).
 - o Resistencia al punzado piramidal (UNE-EN 14574).
- **Características hidráulicas.** Deben ser consideradas cuando el geotextil o producto relacionado realiza las funciones de filtro o de drenaje y son:
 - o Permeabilidad normal al plano del geotextil (UNE-EN ISO 11058).
 - o Permeabilidad en su plano (UNE-EN ISO 12958).
 - o Abertura característica (UNE-EN ISO 12956).
- **Durabilidad.** En la normativa se cita el tiempo máximo de exposición después de la instalación del geotextil o producto relacionado, según sea su comportamiento al ensayo de resistencia a la intemperie de acuerdo con la norma UNE-EN 12224. Además, los geotextiles o productos relacionados deben cumplir, en función de su materia prima, una serie de ensayos específicos de comportamiento a diferentes medios, como son, resistencia a la hidrólisis (UNE-EN 12447) para poliéster y poliamidas, y resistencia a la oxidación (UNE-EN 13438) para polipropileno.

5.1.4. Utilización en impermeabilización de balsas

En los sistemas de impermeabilización de balsas se emplean geotextiles no tejidos y productos relacionados que deben cumplir las características que especifica la norma UNE-EN 13254 *Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de embalses y presas*. Los valores mínimos de dichas características exigibles a los geotextiles se encuentran en el *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*.

Estos materiales, en su aplicación dentro del sistema de impermeabilización de balsas, ejercen básicamente la función de protección de la barrera geosintética y la función de filtración dentro del sistema de drenaje del fondo de la balsa, o en taludes, bajo la barrera geosintética. También pueden ejercer las funciones de separación y refuerzo.

- **Función de protección de la barrera geosintética.** En este caso la función del geotextil es prevenir la perforación de la barrera geosintética del sistema de impermeabilización que puede producirse durante su instalación y a lo largo de su vida útil. Durante la ejecución de la obra o en cualquier operación de mantenimiento, el geotextil protegerá a la barrera geosintética del trasiego de personal o maquinaria que puedan provocar roturas. Durante la

explotación de la balsa, el geotextil protegerá a la geomembrana de posibles roturas producidas por la existencia de objetos punzantes en el terreno y la presión que ejerce el agua, así como de posibles perforaciones ocasionadas por el crecimiento de raíces en la parte inferior de la geomembrana y/o de posibles debilitamientos de la lámina por rozamiento con el soporte donde está instalado. El geotextil no tejido, correctamente diseñado e instalado, realizará también las siguientes funciones:

- Absorber pequeñas tracciones producidas por grietas o cavidades del terreno.
 - Colaborar en el drenaje de aguas infiltradas o de posibles gases bajo el sistema de impermeabilización.
 - Evitar el desgaste por rozamiento de la barrera geosintética.
 - Proteger el terreno en taludes frente a la pérdida de suelo debido a movimientos de la barrera geosintética.
 - Separar el terreno de la barrera geosintética permitiendo una correcta y limpia soldadura de esta.
- *Función de filtración.* En este caso los geotextiles se utilizan para facilitar el paso del agua, reteniendo las partículas finas y evitando así la contaminación del material granular del sistema de drenaje tanto del fondo de la balsa como si lo hubiera en los taludes (o bien en su caso, una georred de drenaje sustituyendo a dicho material granular) bajo el sistema de impermeabilización. Por lo tanto, el geotextil puede presentar la función de filtración, por separado o juntamente con la función de separación.
 - *Función de refuerzo.* El geotextil, debido a su estructura rugosa, puede evitar pérdidas de rozamiento entre las capas de impermeabilización cuando se intercala entre la barrera geosintética y el terreno.

5.2. Geocompuestos de drenaje. Georredes.

Un geocompuesto es un producto ensamblado que se fabrica empleando al menos un geotextil o producto relacionado con geotextiles entre sus componentes, y que se emplea en contacto tanto con el suelo como con otros materiales en ingeniería civil para aplicaciones geotécnicas. Los geocompuestos deben cumplir como mínimo las características requeridas a cada uno de los geosintéticos integrantes de este.

Entre los más empleados se encuentra el geocompuesto "Geotextil + Georred", utilizado como elemento de drenaje para la captación y/o conducción de líquidos y/o gases. En este geocompuesto el geotextil separa y filtra el suelo donde se apoya, y evita que se colmaten los espacios vacíos de la georred por el arrastre de finos que ocasiona el flujo del agua.

Los sistemas de drenaje pueden ejecutarse en obra por combinación de una georred con uno o dos geotextiles de filtro, o bien pueden suministrarse desde fábrica en forma de geocompuestos de drenaje, donde los geotextiles han sido laminados al núcleo drenante. Estos sistemas se vienen utilizando, cada vez con más frecuencia, como sustitutos de capas de material granular drenante bajo el sistema de impermeabilización, puesto que presentan múltiples ventajas como, por ejemplo, un menor peso, una fácil y rápida instalación, una gran adaptabilidad en taludes, una ganancia de volumen de embalse y además son muy beneficiosos desde el punto de vista medioambiental pues evitan la extracción de áridos. Se colocan principalmente en los taludes de la balsa, aunque también pueden sustituir a la capa granular en el fondo de ella siempre y cuando

se justifique técnicamente, con un elevado factor de seguridad. Además, se podrán utilizar como parte integrante del sistema de detección y control de fugas, si lo hubiera.

Los geocompuestos drenantes, o bien la georred de drenaje y los geotextiles de filtro instalados independientemente, deben cumplir las características especificadas en la norma UNE-EN 13252. Los valores mínimos exigibles derivados de la experiencia se encuentran en el *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*.

Es muy importante señalar que se recomienda que el sistema de drenaje con geosintéticos sea diseñado y especificado en función de las condiciones de contorno de la obra, teniendo en cuenta, principalmente, el gradiente hidráulico (inclinación y distancia entre puntos de desagüe), la carga a soportar, el caudal estimado o calculado a evacuar y las características de los materiales, ya sean suelos o geosintéticos, en contacto con el sistema de drenaje.



6.

Requisitos de las
Barreras
Geosintéticas
Poliméricas
Originales

6. REQUISITOS DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS ORIGINALES

Las cualidades exigibles a las geomembranas que constituyen los sistemas de impermeabilización dependerán de su propia naturaleza y de los requisitos de la obra en la que vayan a instalarse y están recogidas en la norma UNE EN 13361 *Barreras geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de embalses y presas*. A nivel nacional, estas características se recogen en el *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas*.

6.1. Dimensionales

La característica dimensional de mayor trascendencia en la geomembrana es su espesor. Las geomembranas se presentan en el mercado con unos espesores que oscilan entre 0,5 mm a 4,0 mm. A nivel nacional, el espesor mínimo de las láminas impermeabilizantes es 1,2 mm para PVC-P y EPDM y 1,5 mm para PEAD. Esta es una de las características que se ve afectada a medida que la geomembrana se degrada, especialmente en aquellas en las que se produce la pérdida de aditivos con el paso del tiempo, como es el caso de las geomembranas de PVC-P y EPDM. Sin embargo, el espesor de la geomembrana de PEAD no presenta una disminución acusada a lo largo del tiempo.

6.2. Mecánicos

Los requisitos mecánicos que se exigen a los materiales poliméricos aportan información significativa para evaluar su comportamiento a lo largo del tiempo. La determinación de las características de tracción y alargamiento en rotura o en la carga máxima muestran la capacidad de resistir las tensiones que sufren las geomembranas, así como la adaptabilidad al terreno a lo largo de su vida útil. Por otra parte, la resistencia al impacto dinámico y al impacto estático (perforación o punzonamiento) son determinantes para evaluar el comportamiento de las geomembranas una vez instaladas. Desde el punto de vista estático, la prueba de punzonamiento proporciona datos de interés acerca del material sometido a la presión del agua y en contacto con el soporte. Una mala compactación, un lavado de taludes, una rotura y contracción del geotextil protector hacen aflorar una serie de materiales pétreos que pueden dar lugar a la rotura de la geomembrana.

La resistencia al desgarro es un factor a tener en cuenta debido a la facilidad que presentan algunas geomembranas al rasgado cuando se produce una hendidura o entalla en su superficie.

6.3. Térmicos

El comportamiento a bajas temperaturas se considera una característica prioritaria para evaluar el funcionamiento de la geomembrana a lo largo del tiempo. Dependiendo del material polimérico que constituye la geomembrana, este comportamiento varía con la temperatura, por ejemplo, las geomembranas de PEAD no experimentan grietas ni roturas a temperaturas del orden de -75°C al contrario de lo que ocurre con las de PVC-P y EPDM.

La dilatación térmica, prueba realizada a elevadas temperaturas, aporta información acerca del comportamiento de la geomembrana una vez instalada en la balsa. Un ejemplo es lo que ocurre

en las geomembranas de PEAD, en las que se producen pliegues cuando su temperatura aumenta por la exposición al sol y se contrae cuando ésta disminuye.

6.4. Durabilidad

Las características de durabilidad relacionadas con el envejecimiento en sus distintas vertientes (ozono, temperaturas elevadas, radiación solar, entre otras) son de gran interés para predecir el comportamiento en obra de la geomembrana, máxime cuando ésta estará completamente expuesta a la intemperie.

El envejecimiento por ozono se produce en mayor medida en las geomembranas de EPDM. Esta degradación por ozono tiene lugar aun cuando su concentración en la atmósfera sea muy baja y es particularmente importante cuando el material se encuentra sometido a un esfuerzo de tracción. El ataque por las radiaciones procedentes del sol es una de las causas fundamentales de la degradación de PVC-P, PEAD y EPDM, por lo que las pruebas de envejecimiento son de carácter prioritario, especialmente en países con mayor radiación solar, como es el caso de España.

Íntimamente relacionados con la durabilidad se encuentran las resistencias a los microorganismos, a reactivos químicos y a la penetración por raíces. Una característica de durabilidad importante es el agrietamiento por esfuerzos medioambientales, que se produce de una forma más acusada en las geomembranas de PEAD, manifestándose por la aparición de grietas en zonas que están sometidas a fuertes tensiones y aceleradas por la temperatura u otro agente externo.

6.5. Otros requisitos

Finalmente, una de las determinaciones importantes a tener en cuenta es la resistencia de la soldadura entre los paños de la geomembrana. La unión entre paños de distintas láminas que conforman la impermeabilización de un embalse es una característica de instalación o puesta en obra, más que intrínseca del material. Para lograr la continuidad de la impermeabilización se pueden utilizar diferentes métodos, entre los que destacan soldadura por calor, disolventes, vulcanización y otros procedimientos que dependen de la clase y naturaleza del polímero. Por ejemplo, las geomembranas de PVC-P o PEAD se unen mediante calor, mientras que las de EPDM necesitan el empleo de adhesivos especiales para conseguir la soldadura. El tema es de vital importancia, ya que el éxito de una buena puesta en obra depende de la ejecución de las soldaduras entre los diferentes paños de geomembrana.



7. Criterios para la Inspección y Seguimiento de las Barreras Geosintéticas Poliméricas en Servicio

7. CRITERIOS PARA LA INSPECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS EN SERVICIO

7.1. Estado inicial de la geomembrana

Los trabajos relacionados con la instalación, así como los planes de control y vigilancia de la balsa, no se encuentran incluidos en el alcance de la Guía, ya que su objetivo es determinar las características necesarias para realizar el seguimiento de las geomembranas impermeabilizantes.

Se realizarán los ensayos iniciales a las geomembranas, que serán el punto de partida para el seguimiento posterior. Los dos casos que se pueden presentar son:

- **Balsa nueva.** Debe disponer de ensayos iniciales (punto “cero”) que serían los aportados por el fabricante. Adicionalmente a estos, se deberían determinar los ensayos que van a dar información de la evolución de la geomembrana a lo largo del tiempo y que serán los que se consideran significativos de cada material, que se encuentran relacionados en el punto 7.4.
- **Balsas ya construidas.** En este caso pueden darse dos opciones:
 - Si se dispone de los datos del fabricante (antiguos o recientes), como en el caso de las balsas nuevas, estos se considerarán como punto “cero” y adicionalmente se deberían realizar los ensayos más significativos de cada material, que son los que darán información de la evolución de la geomembrana a lo largo del tiempo (punto 7.4.). Los ensayos aportados por el fabricante deben estar avalados por su control de producción y el sistema de calidad que tenga el fabricante establecido, que aseguren su fiabilidad.
 - Si no se dispone de datos iniciales, se deberían realizar los ensayos que se establecen en el punto 7.4., como punto de partida del posterior seguimiento.

7.2. Seguimiento periódico de la geomembrana. Toma de muestras

En el Plan de mantenimiento de la balsa se contemplará el seguimiento de la geomembrana para conocer su estado y determinar cuándo es necesario proceder a su reimpermeabilización. Constará de una inspección visual anual durante la explotación y la realización de una serie de ensayos en laboratorio sobre muestras que se extraerán de la lámina periódicamente.

En el anexo II, se ha incorporado una ficha tipo con objeto de que sirva como referencia al personal encargado de realizar las inspecciones visuales de la balsa durante su explotación.

De forma general, la periodicidad que se puede establecer para esta toma de muestras es:

- La primera toma de muestras para iniciar el seguimiento será en el quinto año de la instalación.
- La siguiente toma de muestras tendrá lugar en el noveno año de la instalación (garantía decenal).
- A partir del décimo año, se recomienda tomar muestras cada dos años.
- Una vez comiencen los primeros síntomas de envejecimiento, la toma de muestras deberá ser anual.

Las muestras se extraerán de la pantalla de impermeabilización. El lugar idóneo será la zona de coronación del talud norte de la balsa, orientado al sur, ya que es la zona donde las radiaciones procedentes del sol deterioran en mayor medida el material polimérico.

En cualquier caso, si se observa una patología en una zona determinada, se tomará una muestra adicional en dicha zona.

La cantidad de material a extraer, ya sea PVC-P, PEAD o EPDM, será:

- Una muestra de 40 cm x 80 cm con soldadura incluida, según se presenta en la figura 16.
- En el caso de las geomembranas de EPDM se extraerá adicionalmente una muestra de aproximadamente 1 m x 1 m para la realización del ensayo CBR.

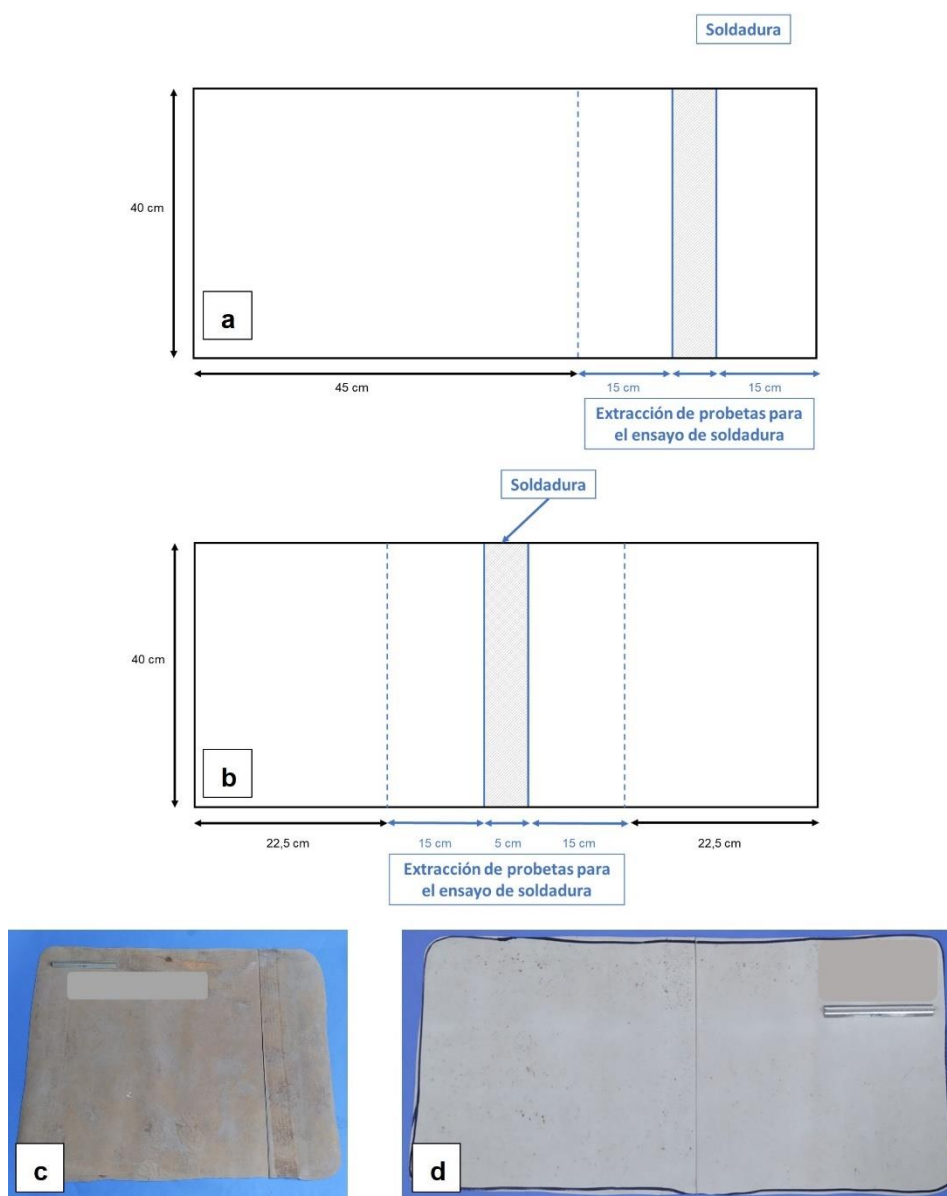


Figura 16. Material a extraer: (a) esquema de la muestra con la soldadura en un extremo, (b) esquema de la muestra con la soldadura centrada, (c) y (d) muestras extraídas de una geomembrana de PVC-P reforzado con geotextil tejido

La extracción de material deberá realizarse por personal especializado y acreditado. En el caso de balsas impermeabilizadas con geomembranas de PVC-P, una vez extraída la muestra, se procederá a la restitución de la geomembrana necesaria y su soldadura con la existente, tal y como se refleja a modo de ejemplo en la figura 17. Además, se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- El parche debe ser de un material de igual o mayor calidad que el reemplazado, y se debe asegurar su compatibilidad.
- En láminas degradadas se puede soldar por la parte interior de la lámina envejecida para conseguir una mejor unión.
- Es conveniente redondear las esquinas de la muestra para evitar concentración de tensiones. Se recomienda un radio mínimo de 10 cm.



Figura 17. Reposición de material en geomembrana de PVC-P

Si la muestra a extraer es de una geomembrana de PEAD, la soldadura entre la geomembrana a reponer y la existente se llevará a cabo por extrusión, mediante el aporte de un cordón del mismo material sobre la zona donde se va a llevar a cabo la soldadura, tal y como se refleja en la figura 18.



Figura 18. Reposición de material en geomembrana de PEAD

Por último, cuando la muestra se extraiga en una geomembrana de EPDM, la reparación se puede llevar a cabo mediante bandas de EPDM no vulcanizadas colocadas sobre una cinta adhesiva, tal y como queda reflejado en la figura 19, o bien empleando adhesivos de reticulación y contacto o adhesivos selladores.



Figura 19. Reposición de material en geomembrana de EPDM

7.3. Estudio más detallado del estado de la geomembrana

En el caso de que adicionalmente al seguimiento periódico se quiera realizar un estudio más detallado del estado de la geomembrana, se pueden hacer tomas de muestras en zonas de la balsa distintas a la coronación del talud norte.

Se puede estudiar la influencia de la orientación en el estado de la geomembrana, realizando extracciones de muestras en la zona sur de la balsa, que es la zona que recibe menor radiación solar, para establecer una comparación. También se pueden extraer muestras de los taludes este y oeste, que se podrían considerar como zonas que reciben una cantidad intermedia de radiación solar.

Otro factor que se puede estudiar es cómo influye la profundidad, es decir, cómo varía el estado de la geomembrana dependiendo de su situación respecto a la altura de la balsa. El comportamiento de la geomembrana no será el mismo en zonas que no llegan a cubrirse de agua, donde se encuentra la mayor parte de su vida expuesta al sol, que en zonas donde pasará su vida útil total o parcialmente sumergida. En este caso, se podrían tomar muestras en cuatro alturas de la balsa (figura 20):

- Coronación: zona del talud expuesta permanentemente al sol.
- Intermedia: zona del talud donde fluctúa el agua.
- Próxima al fondo: zona del talud cubierta por agua la mayor parte del tiempo.
- Fondo: zona horizontal cubierta por agua y lodos.

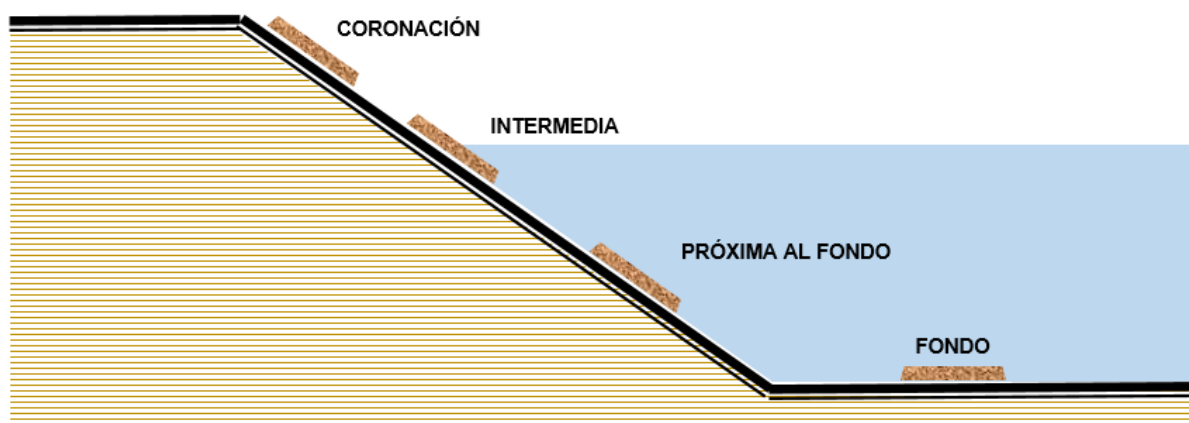


Figura 20. Esquema de toma de muestras en la balsa en función de la profundidad

En el caso de que se quiera hacer un estudio más detallado de la geomembrana, que implique una mayor extracción de muestras, se recomienda instalar una o varias piezas de la misma geomembrana que la que impermeabiliza la balsa, denominadas probetarios, soldadas sobre esta última, con objeto de no deteriorar en exceso la pantalla y bajo la premisa de que estos no representan realmente el comportamiento de la geomembrana, ya que esta soporta tensiones y contracciones que hacen que, en general, esté más deteriorada.

El número de probetarios a instalar dependerá del tamaño de la balsa. Así, para balsas con superficie inferior a los 10.000 m² bastará con un probetario que se situará en el talud norte. En el caso de balsas con superficie comprendida entre 10.000 m² y 50.000 m², se instalará uno más en el talud sur. Finalmente, en balsas con superficies superiores a los 50.000 m², se recomienda la colocación de cuatro probetarios, uno en cada punto cardinal.

Su tamaño será el adecuado para extraer las sucesivas muestras que se consideren necesarias en función de los ensayos que esté previsto realizar. Un diseño del mismo se presenta en la figura 21.

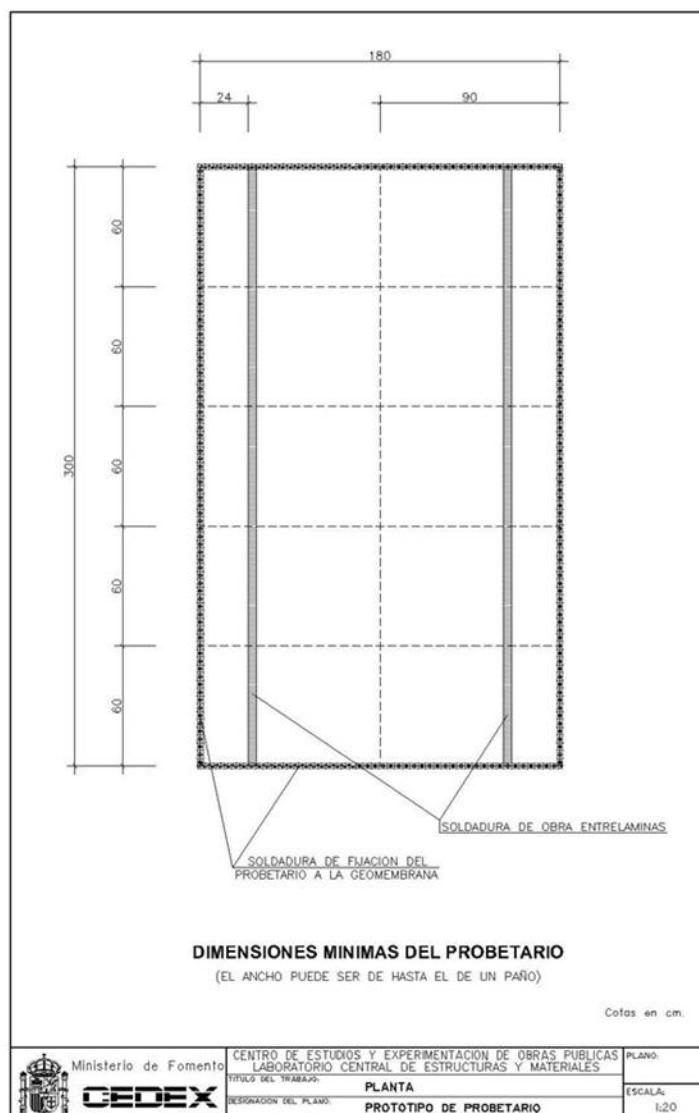


Figura 21. Diseño del probetario para la extracción de muestras de la balsa

En la figura 22 se presentan dos ejemplos de probetarios realizados en balsas impermeabilizadas con PEAD y EPDM.

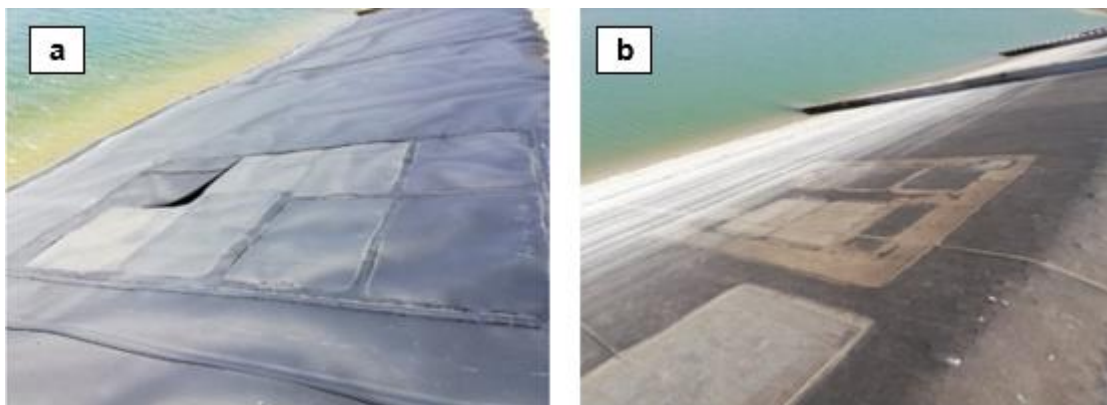


Figura 22. Probetarios en balsas impermeabilizadas (a) con geomembrana de PEAD y (b) con geomembrana de EPDM

7.4. Características significativas a determinar en cada GBR-P

En este apartado se describen las características más significativas que proporcionan información acerca de la degradación de las geomembranas impermeabilizantes. Dependiendo de la naturaleza de cada geomembrana, es decir, del material polimérico y aditivos que las constituyen, se llevarán a cabo determinaciones específicas. Asimismo, se han establecido unos valores límite en cada una de las características que indicarán la necesidad de reemplazar la geomembrana.

7.4.1. *Poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P)*

Las características más significativas en el caso de las geomembranas de PVC-P son las siguientes:

- Contenido de plastificantes
- Comportamiento a bajas temperaturas
- Alargamiento
- Resistencia de la soldadura

Los valores límite de las características más significativas indican la proximidad al final de la vida útil de la geomembrana y son los que se describen a continuación:

- *Contenido de plastificantes:*
 - Geomembranas homogéneas: obtener un valor igual o inferior al 20%.
 - Geomembranas reforzadas: obtener un valor igual o inferior al 17%.
- *Comportamiento a bajas temperaturas:*
 - Si el plegado se realiza a -20°C y se observan grietas, se puede considerar que la geomembrana comienza a degradarse.
 - Si el plegado se realiza a 5°C y la muestra presenta grietas visibles, se puede considerar que la geomembrana está degradada.
- *Alargamiento:* obtener una disminución del 50% del valor exigido en la normativa, es decir 125% para geomembranas de PVC-P homogéneas y 7,5% para reforzadas con geotextil tejido (según el Reglamento Particular de la marca N para Barreras Geosintéticas Rev. 6).
- *Resistencia de la soldadura:*
 - Tracción: obtener un valor menor del 50% del valor de resistencia a la tracción de la geomembrana sin soldadura.
 - Pelado: las probetas ensayadas no deben experimentar deslaminación (rotura tipo A según UNE EN 12316-2). Si se produce dicha deslaminación, se considerará el

resultado no apto cuando se produzca a una tensión inferior a 150 N/50mm, tanto en geomembranas homogéneas como reforzadas.

En la tabla 7 se resumen las características significativas de las geomembranas de PVC-P, los ensayos para determinarlas y los valores límite que indican que es necesario sustituir la geomembrana.

Tabla 7. Valores límite de las características de las geomembranas de PVC-P

Características significativas	Métodos de ensayo	Valores límite
Contenido de plastificantes, %	UNE 104306. Materiales sintéticos. Determinación del contenido en plastificantes en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, utilizadas en impermeabilización	Geomembranas homogéneas: ≤ 20
		Geomembranas reforzadas: ≤ 17
Comportamiento a bajas temperaturas	UNE-EN 495-5. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la plegabilidad a baja temperatura. Parte 5: Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas	Grietas a -20°C : comienza la degradación de la geomembrana
		Grietas a 5°C : se puede considerar que la geomembrana está degradada
Alargamiento, %	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	Geomembranas homogéneas: 125
		Geomembranas reforzadas: 7,5
Resistencia de la soldadura	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	Método de Tracción. Obtener un valor menor del 50% del valor de resistencia a la tracción de la geomembrana sin soldadura
	UNE 104304. Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas utilizadas en impermeabilización	Método de Pelado. Si deslaminan, obtener un valor menor de 150N/50mm (geomembranas homogéneas y reforzadas)
	UNE 12316-2. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la resistencia al pelado. Parte 2: láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas	

7.4.2. Polietileno de alta densidad (PEAD)

Las características más significativas en el caso de las geomembranas de PEAD se han agrupado siguiendo dos criterios:

- a) Características que aportan información con objeto de realizar un mantenimiento predictivo de la geomembrana:
 - Determinación de la resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales (Stress-Cracking).

- Determinación del tiempo de inducción a la oxidación (OIT).
- b) Características que aportan información para llevar a cabo la reposición de la geomembrana:
 - Resistencia a la tracción a la rotura.
 - Alargamiento a la rotura.
 - Resistencia de la soldadura.

Los valores límite de las características mencionadas son los que se describen a continuación:

a) Características que aportan información con objeto de realizar un mantenimiento predictivo de la geomembrana:

- *Determinación de la resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales (Stress-Cracking):* obtener un valor menor o igual a 168 horas, es decir, una disminución del 50% del valor exigido en la normativa (según la norma UNE EN 13361, el valor de esta característica en una geomembrana original debe ser mayor de 336 horas).
- *Determinación del tiempo de inducción a la oxidación (OIT):*
 - OIT estándar (Std): obtener un valor menor o igual a 10 min (según la norma UNE EN 104427, la determinación de OIT en una geomembrana original deber ser mayor o igual a 100 min.).
 - OIT alta presión (HP): obtener un valor menor o igual a 50 min (según la norma GRI-GM13, la determinación de OIT en una geomembrana original debe ser como mínimo 400 min.).

Cuando la geomembrana alcance los valores límite descritos en estas dos características, se recomienda aumentar la frecuencia de determinación de las características significativas, ya que estos valores indican que ha comenzado a degradarse.

b) Características que aportan información para llevar a cabo la reposición de la geomembrana:

- *Resistencia a la tracción a la rotura:* obtener una disminución del 50% del valor exigido en la normativa, es decir 13 MPa (según la norma UNE 104427, la resistencia a la tracción de una geomembrana original debe ser mayor o igual a 26 MPa).
- *Alargamiento a la rotura:* obtener una disminución del 50% del valor exigido en la normativa, es decir 350% (según la norma 104427 el alargamiento en rotura de una geomembrana original debe ser mayor o igual a 700%).
- *Resistencia de la soldadura:* al realizar los ensayos de soldadura, según la norma UNE 104304, no se debe producir en ningún caso un fallo de adhesión de la soldadura y ésta debe cumplir con los siguientes valores, que dependen del espesor de la geomembrana (criterio de aceptación de soldaduras de la norma UNE 104425).
 - Tracción o cizalla:

- 1,5 mm de espesor, valor ≤ 23 N/mm
 - 2,0 mm de espesor, valor ≤ 30 N/mm
 - 2,5 mm de espesor, valor ≤ 38 N/mm
- Pelado. En función del espesor de la geomembrana, obtener unos valores iguales o menores a:
- 1,5 mm de espesor, valor ≤ 15 N/mm
 - 2,0 mm de espesor, valor ≤ 20 N/mm
 - 2,5 mm de espesor, valor ≤ 25 N/mm

Cuando la geomembrana alcance los valores límite descritos en estas características se debería considerar su reposición.

En la figura 23 se presentan los esquemas de las probetas para realizar la soldadura por pelado, así como las imágenes del ensayo realizado en laboratorio.

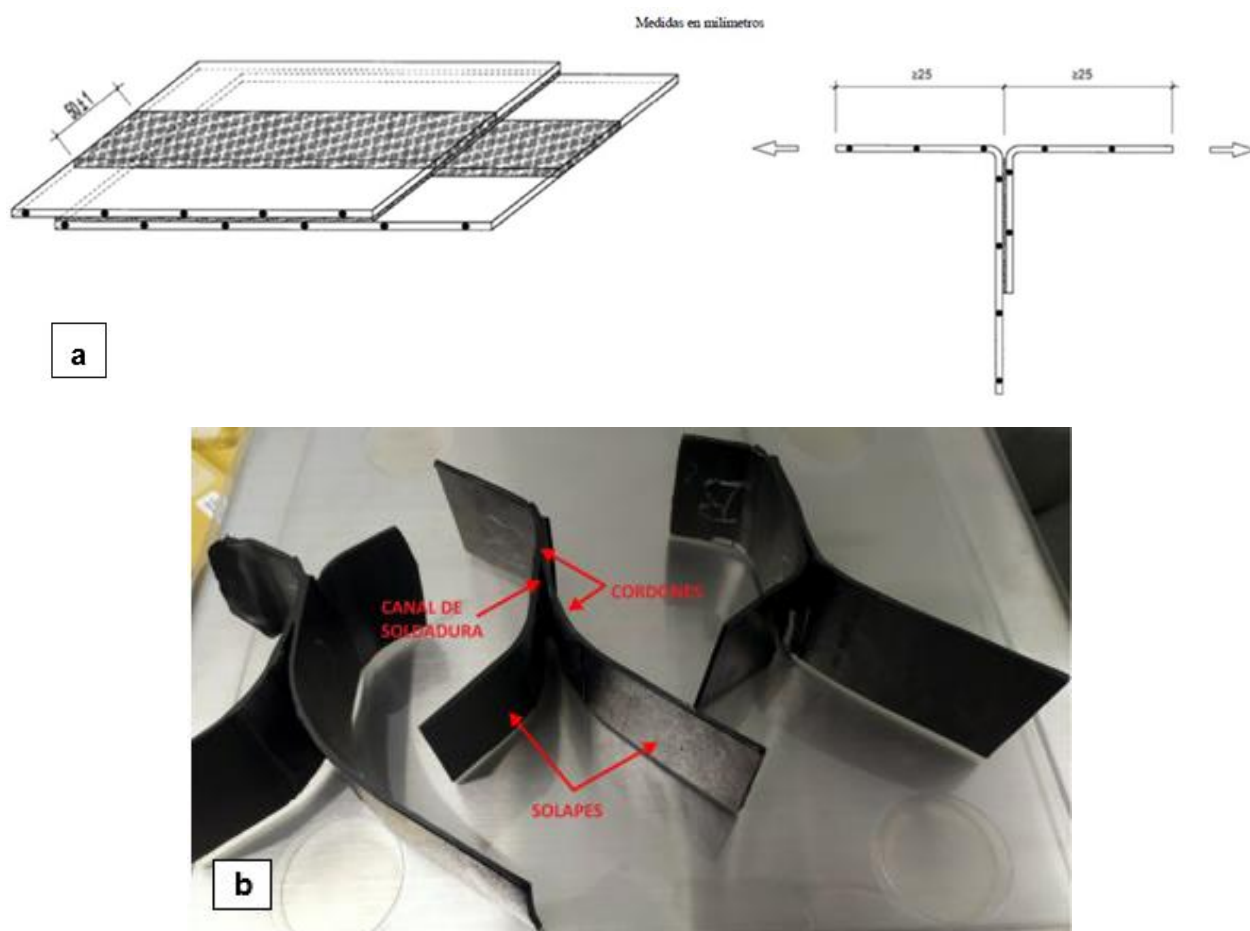


Figura 23. Resistencia de la soldadura por pelado: (a) esquema de la probeta según la norma UNE 104304, (b) ejemplo de pelado y propagación dentro del cordón de soldadura

En la tabla 8 se resumen las características significativas de las geomembranas de PEAD, los ensayos para determinarlas y los valores límite que indican que es necesario sustituir la geomembrana.

Tabla 8. Valores límite de las características significativas de las geomembranas de PEAD

Características significativas	Métodos de ensayo	Valores límite
Características que aportan información con objeto de realizar un mantenimiento predictivo		
Resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales (Stress-Cracking), horas	UNE EN 14576. Geosintéticos. Método de ensayo para la determinación de la resistencia de barreras geosintéticas poliméricas al agrietamiento por esfuerzos medioambientales.	Valor ≤ 168
Tiempo de inducción a la oxidación (OIT), minutos	UNE EN ISO 11357-6. Plásticos. Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Parte 6. Determinación del tiempo de inducción a la oxidación (OIT isotérmico) y de la temperatura de inducción a la oxidación (OIT dinámica)	OIT estándar (Std) ≤ 10
	ASTM D5885/D5885M – 17. Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry	OIT alta presión (HP) ≤ 50
Características que aportan información para llevar a cabo la reposición		
Resistencia a la tracción a la rotura, MPa	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	13
Alargamiento a la rotura, %	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	350
Resistencia de la soldadura	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	Método de tracción o cizalla
		Espesor, mm Valor, N/mm
		1,5 ≤ 23
		2,0 ≤ 30
	UNE 104304. Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas utilizadas en impermeabilización	2,5 ≤ 38
		Método de pelado
		Espesor, mm Valor, N/mm
		1,5 ≤ 15
		2,0 ≤ 20
		2,5 ≤ 25

7.4.3. Etileno-propileno-monómero diénico (EPDM)

Las características más significativas en el caso de las geomembranas de EPDM son las siguientes:

- Resistencia a la tracción a la rotura.
- Alargamiento a la rotura.
- Punzonado estático (ensayo CBR).
- Dureza Shore A.
- Comportamiento a bajas temperaturas.
- Resistencia de la soldadura.

Los valores límite de las características más significativas son los que se describen a continuación e indican que es necesario realizar el cambio de geomembrana:

- *Resistencia a la tracción a la rotura:* obtener una disminución del 25% del valor exigido en la normativa, es decir, 6 MPa (según el Reglamento Particular de la marca N para Barreras Geosintéticas Rev. 6).
- *Alargamiento a la rotura:* obtener una disminución del 50% del valor exigido en la normativa, es decir 150% (según el Reglamento Particular de la marca N para Barreras Geosintéticas Rev. 6).
- *Punzonado estático (ensayo CBR):*
 - Para geomembranas con espesor menor de 1,5 mm: obtener un valor inferior a 0,6 kN
 - Para geomembranas con espesor mayor o igual a 1,5 mm: obtener un valor inferior a 0,9 kN
- *Dureza Shore A:* obtener un incremento del 20% respecto al valor inicial, teniendo en cuenta el valor de 85 como dato relevante para considerar la sustitución de la geomembrana.
- *Comportamiento a bajas temperaturas:* aparición de grietas a una temperatura igual o superior a -45°C
- *Resistencia de la soldadura:*
 - Tracción: obtener un valor < 3,2 kN/m o disminución del 50% del valor inicial.
 - Pelado: obtener un valor < 0,8 kN/m o disminución del 50% del valor inicial.

En la tabla 9 se resumen las características significativas de las geomembranas de EPDM, los ensayos para determinarlas, así como los valores límite que indican que es necesario sustituir la geomembrana.

Tabla 9. Valores límite de las características significativas de las geomembranas de EPDM

Características significativas	Métodos de ensayo	Valores límite
Resistencia a la tracción a la rotura, MPa	UNE EN 12311-2. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de las propiedades de tracción. Parte 2. Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas.	6
Alargamiento en rotura, %	UNE EN 12311-2. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de las propiedades de tracción. Parte 2. Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas.	150
Punzonado estático (CBR)	UNE EN ISO 12236. Geosintéticos. Ensayo de punzonado estático (CBR)	Espesor < 1,5mm Valor < 0,6 kN Espesor ≥ 1,5mm Valor < 0,9 kN
Dureza Shore A	UNE EN ISO 7619-1. Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la dureza de indentación. Parte 1: Método del durómetro (dureza Shore).	Valor > 20% del inicial Teniendo en cuenta el valor de 85 como dato relevante para considerar la sustitución de la geomembrana
Comportamiento a bajas temperaturas	UNE-EN 495-5. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la plegabilidad a baja temperatura. Parte 5: Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas	Aparición de grietas a una T ^a ≥ -45°C
Resistencia de la soldadura	UNE EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas	Método de Tracción. Valor < 3,2 kN/m o disminución del 50% del valor inicial
	UNE 104304. Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas utilizadas en impermeabilización	Método de Pelado. Valor < 0,8 kN/m o disminución del 50% del valor inicial

7.4.4. Otros materiales: poliolefinas flexibles (TPO) y caucho butilo (IIR)

El empleo de geomembranas de TPO no es tan común por lo que se dispone de pocos datos obtenidos durante su inspección y seguimiento a lo largo de los años. Las geomembranas estudiadas están constituidas por un refuerzo de geotextil tejido y los valores obtenidos en sus características mecánicas son similares a los que experimenta una geomembrana de PVC-P con el mismo tipo de refuerzo.

Respecto a las de caucho butilo, los datos disponibles en el seguimiento de esta geomembrana sin refuerzo son similares a los de caucho EPDM.

7.5. Reimpermeabilización

Será necesario sustituir la geomembrana cuando sus características significativas hayan alcanzado los valores establecidos en el punto 7.4., que indicarán que ha dejado de cumplir su función de barrera impermeabilizante. La pérdida de impermeabilidad de la barrera polimérica puede darse por distintos motivos: degradación del material polimérico, fallos constructivos, condiciones climáticas, eventos naturales extraordinarios, actuaciones humanas inadecuadas u otros.

➤ *Degradación del material polimérico*

En el punto 7.4. de esta Guía se han expuesto los valores definidos como límites en las características significativas de cada material polimérico. Estos datos dan información del estado de la geomembrana e indican su grado de degradación.

Es recomendable aplicar el criterio preventivo frente al correctivo ya que las consecuencias de llevar al límite la vida útil de la geomembrana pueden ser nefastas y arriesgarse a no sustituirla es, como mínimo, temerario.

Se deberían iniciar los trámites para llevar a cabo la sustitución de la geomembrana cuando se alcancen las siguientes circunstancias:

- En el caso de las geomembranas de PEAD, cuando se obtenga al menos alguno de los siguientes valores:
 - OIT estándar (Std OIT) ≤ 10 minutos
 - OIT alta presión ≤ 50 minutos
 - Resistencia al agrietamiento por esfuerzos medioambientales (Stress-Cracking) ≤ 168 horas.

Estos valores indican que se debería llevar a cabo un muestreo con mayor periodicidad ya que estas características se han determinado como predictivas de la degradación de la geomembrana.

- En el caso de las geomembranas de PVC-P y EPDM, cuando los resultados obtenidos en el seguimiento de las geomembranas se aproximen a los valores definidos en el apartado 7.4 para cada uno de estos materiales poliméricos.

➤ *Factores climáticos y fenómenos naturales extraordinarios*

Las geomembranas deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales del emplazamiento en el que se encuentre la balsa. Esto debería garantizarse mediante un diseño adecuado con una correcta selección de materiales, una instalación de calidad y la realización de un seguimiento de los materiales, como se ha propuesto en el apartado 7.4. No obstante, las geomembranas pueden sufrir daños por factores climáticos y fenómenos naturales extraordinarios como, por ejemplo:

- Tormentas que puedan causar perforación por granizo.
- Succión del viento, que puede llegar a provocar la rotura de la geomembrana.
- Episodios de temperaturas extremas.
- El crecimiento de la vegetación, que puede provocar perforaciones en la geomembrana.
- Desplazamientos o deformaciones del terreno por cambios en las condiciones geotécnicas, hidrogeológicas, por sismos, etc.
- Incendios.
- Otros (ver apartado 8 sobre patologías).

En estos casos, se deberá llevar a cabo una inspección técnica para evaluar los posibles daños y decidir las acciones necesarias para restituir la impermeabilidad de la geomembrana. Estas acciones pueden ser desde reparaciones puntuales hasta reimpermeabilizaciones totales o parciales.

En las figuras 24 y 25 se observan las consecuencias del efecto de factores climáticos en dos geomembranas.



Figura 24. Efecto de succión del viento en la zona de coronación de la balsa



Figura 25. Paso de estalladuras a roturas/brechas de más de 10 cm en el plazo de 4 meses, llegando a alcanzar algunas casi los 20 cm de longitud y 2 mm de separación por el efecto de la retracción

➤ *Defectos constructivos y fallos durante la instalación*

Además de los problemas derivados de eventos naturales, también se pueden dar fallos en el sistema de impermeabilización por acciones de origen humano, que pueden ser desde defectos constructivos hasta daños causados voluntaria o involuntariamente durante la explotación de la balsa.

La deficiente compactación de los taludes, la existencia de terrenos colindantes situados a mayor cota o la acumulación de agua sin salida adecuada que provoque encharcamientos, puede ocasionar que se produzcan filtraciones que conllevan asentamientos del terreno que dan lugar a la formación de oquedades y/o tubificaciones. Esto puede provocar tensiones en las geomembranas y su posterior rotura. Asimismo, una mala conformación del terreno soporte puede dar lugar a que afloren elementos punzantes y ocasionen daños mecánicos, como punzonamientos en las geomembranas.

A diferencia de los fallos debidos a fenómenos naturales, estos fallos no necesariamente son consecuencia de un evento puntual, por lo que deberán ser detectados durante las inspecciones rutinarias y comunicados a los técnicos competentes para decidir las actuaciones correctivas necesarias. Para un mejor conocimiento de los fallos típicos de esta naturaleza se recomienda consultar el apartado 8 de este documento sobre patologías. De nuevo, la subsanación de estos fallos puede tener carácter de reparación puntual o reimpermeabilización.

7.5.1. Reimpermeabilización total o parcial

Frente a una pérdida de impermeabilidad de la geomembrana, se pueden acometer dos tipos de actuaciones:

- Reparación: se trata de una actuación puntual o de alcance limitado destinada a subsanar un fallo específico, como puede ser la aplicación de un parche o la colocación de un paño sobre una zona con un daño concreto.
- Reimpermeabilización: se trata de una actuación de mayor calibre, destinada a sustituir la geomembrana para restituir la impermeabilidad (acción correctiva) o prevenir su fallo debido a un estado avanzado de degradación (actuación preventiva), en toda la balsa o en una de sus unidades funcionales. En este tipo de actuación se tiene en consideración la configuración de los sistemas de anclaje y/o drenaje de la balsa. Por tanto, para aplicar este principio, se deben tener debidamente identificadas las distintas partes funcionales o sectores de la balsa.

En general, la geomembrana, durante su envejecimiento, suele seguir el siguiente comportamiento:

- La velocidad de degradación suele ser creciente desde el fondo de la balsa hasta la zona de coronación, por lo que se supone que la parte superior de los taludes (zona emergida) se degradará antes que el fondo de la balsa (zona sumergida). Excepcionalmente, se ha observado que algunas geomembranas de PVC-P son susceptibles de sufrir mayor degradación en las zonas sumergidas que en las expuestas a la radiación solar, debido a la naturaleza del plastificante, con mayor tendencia a migrar al agua que al aire. En estos casos se recomienda llevar a cabo el seguimiento de la geomembrana también en la zona sumergida, siempre que sea posible la extracción de muestras en esa zona.
- A igual altura de talud, el envejecimiento es superior en la zona de mayor exposición a la luz solar y al viento. La zona norte de la balsa, orientada al sur, suele ser la que experimenta mayor envejecimiento.

Teniendo en cuenta estos comportamientos, la reimpermeabilización de la geomembrana puede realizarse en la totalidad o en una parte de la balsa.

- **Reimpermeabilización total**

La reimpermeabilización total de la balsa se puede acometer por diferentes motivos:

- Degradación generalizada de la geomembrana en toda la superficie de la balsa.
- Existencia de tensiones debidas al anclaje en coronación que pueden dar lugar a punzonamientos, grietas y fisuras en la geomembrana.
- Aparición de irregularidades (por ejemplo, cárcavas o asientos) en el terreno de soporte, que puedan dar lugar a posibles roturas de la geomembrana al llenar la balsa.

- Cambio de la geomembrana por una de diferente material o imposibilidad de garantizar una conexión fiable a la lámina existente.

- ***Reimpermeabilización parcial***

La reimpermeabilización parcial tiene como objetivo sustituir la geomembrana solamente en aquellas partes de la balsa donde se ha detectado una mayor degradación, manteniendo la geomembrana existente en el resto de la balsa. Para poder llevar a cabo esta práctica es necesario garantizar la compatibilidad entre la lámina nueva y la existente.

Este tipo de reimpermeabilizaciones se pueden llevar a cabo mientras la balsa está en uso. En estos casos, todos los trabajos deberán realizarse en condiciones de seguridad para los trabajadores.

Es habitual aprovechar los anclajes existentes para evitar trabajos de obra civil. Si la zona a reimpermeabilizar es la de coronación, la sustitución se debería llevar a cabo entre dos bermas o líneas de anclaje, ya que se puede realizar el anclaje con suficiente seguridad y garantía de éxito. Otra opción que se puede considerar, en el caso de que la coronación tenga un avanzado estado de degradación, sería la instalación de un babero de protección para retrasar el envejecimiento de esta zona de la balsa.

Pueden surgir problemas de soldadura entre la geomembrana nueva y la antigua. En un principio los resultados de resistencia de la soldadura pueden cumplir los valores umbrales para esta característica, pero con el paso del tiempo, estas soldaduras se pueden convertir en un punto débil de la balsa, por lo que se deberá ejercer un seguimiento especial.

Asimismo, no se recomienda realizar soldaduras transversales respecto a la línea de máxima pendiente del talud ya que éstas sufren tensiones superiores a las soldaduras longitudinales entre geomembranas. Cuando las soldaduras transversales sean inevitables, se deberán garantizar unas resistencias de cizalla y pelado entre las láminas soldadas que soporten las tensiones esperadas, tanto en el momento de su ejecución como durante la fase de operación.

7.5.2. Retirada de la geomembrana existente

A la hora de abordar una reimpermeabilización se debe estudiar la conveniencia de mantener o retirar la geomembrana existente.

La decisión de conservar o retirar la geomembrana antigua depende, entre otros factores, del estado de los taludes. Si existen cárcavas generalizadas o lavado de materiales finos y aparición de elementos punzantes, será imprescindible retirarla para acondicionarlos. Si se tiene la total certeza de que solo se ha producido pérdida de material en zonas puntuales, se puede sustituir solo en esos puntos. En la solera de los embalses no suele haber cárcavas, aunque sí asientos y afloramientos de elementos punzantes. No obstante, al realizar las labores de eliminación de lodos, si son abundantes, la maquinaria utilizada puede romper la lámina y también habría que sustituirla.

La retirada total de los materiales impermeabilizantes (geotextil y láminas) permitirá comprobar el estado general de la infraestructura con la posibilidad de aumentar la seguridad de la misma añadiendo, si procede, nuevas conducciones de explotación y nuevos sistemas de drenaje.

En el caso de que se decida retirar la geomembrana antigua, es necesario gestionar el transporte y ubicación en un vertedero de la gran cantidad de residuo generado o bien la búsqueda de alternativas para su reciclaje.

Si se decide mantener la geomembrana antigua, se puede considerar que esta se convierte en una protección complementaria en los taludes frente a acciones mecánicas, pero no es posible realizar una inspección detallada del estado del soporte, de los sistemas de drenaje, etc. Además, hay que tener en cuenta que para asegurar la estabilidad del sistema de impermeabilización es necesario tomar una serie de medidas de precaución:

- Para evitar que entre la geomembrana antigua y la nueva se acumule agua, se deben hacer cortes en la inferior para llevar el agua al sistema de drenaje de la balsa. También se pueden colocar tubos respiradores para eliminar las bolsas de aire.
- Se deben tener en cuenta las distintas dilataciones y retracciones de las dos geomembranas para contar con la formación de pliegues en toda la superficie de la balsa.

Además, hay que asegurar que no se produzca interacción entre las dos geomembranas, ya que, en determinados casos, como se ha comprobado experimentalmente, esto puede dar lugar a problemas:

- En el trabajo realizado por Blanco, M.; Castillo, F. y Aguiar, E. (2006), se indica que si ambas geomembranas son de PVC-P y se colocan en contacto directo, se puede producir una migración de plastificantes desde la geomembrana nueva a la antigua. Como consecuencia, se produce una rápida degradación de la geomembrana nueva.
- En el trabajo llevado a cabo por Mateo, B. (2017) se observó que si se coloca una geomembrana de PEAD sobre otra de PVC-P, puede producirse la migración de plastificantes desde la geomembrana de PVC-P a la de PEAD. Estos pueden reaccionar con los aditivos de la geomembrana de PEAD, acelerando su degradación, proceso que se agrava por la elevada temperatura que se genera entre ambas. Normalmente se producen agrietamientos en la zona de coronación ya que es la más expuesta a la luz solar y al aumento de temperatura.

Para mitigar o retrasar estos problemas, en los dos casos mencionados es necesario instalar un geotextil de separación entre las dos geomembranas.

Si las dos geomembranas son de caucho de EPDM, ambas son compatibles y su instalación se puede realizar ejecutando una junta de unión o superponiéndolas sin riesgos de transferencia de aditivos entre las dos.

Si las dos geomembranas son de PEAD, ambas son compatibles y su instalación se puede realizar ejecutando una junta de unión o superponiéndolas sin riesgos de transferencia de aditivos entre las dos.

En general, tanto si las geomembranas son iguales o de diferente composición, siempre es recomendable colocar un geotextil de separación/protección entre las dos geomembranas. De cualquier forma, se deberá garantizar la estabilidad de todo el sistema de impermeabilización para evitar el desprendimiento de alguna geomembrana o geotextil intermedio.



8. Patologías posibles en el Seguimiento de las Barreras Geosintéticas Poliméricas

8. PATOLOGÍAS POSIBLES EN EL SEGUIMIENTO DE LAS BARRERAS GEOSINTÉTICAS POLIMÉRICAS

Se ha considerado oportuno redactar un apartado que recoja las posibles patologías detectadas en las geomembranas entendiéndolas, dentro de este sector, como *“los defectos y problemas que presenta una construcción”*. En este apartado se han mencionado los casos más frecuentes encontrados al efectuar el seguimiento de las geomembranas poliméricas, con el objetivo de que sirvan de alerta cuando se detecten y poder hacer las reparaciones oportunas en la balsa.

Las patologías detectadas en las barreras geosintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización de balsas pueden tener distintos orígenes, principalmente: composición de la geomembrana, puesta en obra, factores ambientales, flora y fauna, y vandalismo o usos de la balsa diferentes al previsto.

8.1. Composición de la geomembrana

La correcta formulación de la barrera geosintética polimérica, resina y aditivos, es un aspecto imprescindible para asegurar la funcionalidad de la impermeabilización.

La función del paquete de estabilización es la de proteger al polímero frente a la degradación, siendo vital la resistencia de este tanto frente a procesos físicos (volatilización, migración, extracción, etc.), como químicos (reacciones antagónicas entre ellos, reacciones no deseadas, etc.)

La pérdida o extracción de estos aditivos, bien por el contacto con agentes externos o por su migración, es algo que afectará a la vida útil de las geomembranas.

Un ejemplo de patologías de esta categoría puede ser la causada por la retracción isotrópica en las láminas de PVC-P como consecuencia de la pérdida de plastificante. En cambios de plano o zonas de curvatura donde no se haya diseñado y ejecutado un sistema de fijación adecuado, puede darse un levantamiento (pérdida de soporte) de la lámina, que comúnmente se conoce como “efecto timbal”. Un ejemplo de este proceso puede verse en la figura 26.

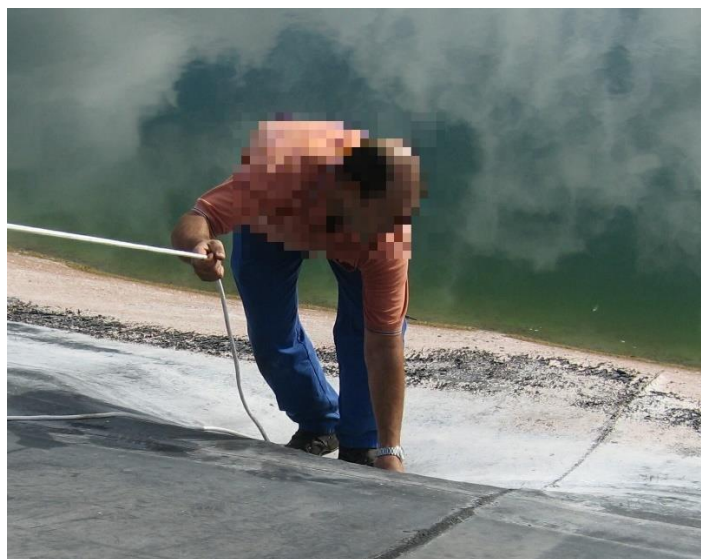


Figura 26. “Efecto timbal” en lámina de PVC-P

8.2. Puesta en obra

La forma en la que se aborda la puesta en obra de la geomembrana es uno de los factores que más afecta e influye en su durabilidad. En este sentido hay que tener en cuenta los aspectos fundamentales que se describen a continuación.

8.2.1. Preparación del soporte

Terrenos poco o mal compactados, muy deformables, la aparición de dolinas, chimeneas o cavidades de cualquier tipo producidas en el terreno por fenómenos de erosión interna o por disolución de los materiales que lo conforman (yesos u otros materiales solubles, por ejemplo), así como eventuales subidas del nivel freático, pueden producir la rotura o deformación de las láminas situadas sobre ellos, al tener que adaptarse a unas deformaciones que, en caso extremo, podrían llegar a provocar su fallo o rotura.

En la figura 27, se observan las consecuencias del colapso de la galería del dique de cierre de la balsa, que ha dado lugar a la rotura de la geomembrana.



Figura 27. Rotura de lámina de PVC-P por colapso del terreno de soporte

Debido a que la lámina se ve obligada a seguir todos los movimientos del terreno situado bajo ella, producidos por la carga que supone el agua almacenada en la balsa, estos deben ser objeto de vigilancia frecuente, siendo los de tipo diferencial, los asociados a materiales de características diferentes pero situados muy próximos, los más peligrosos, ya que pueden ocasionar tensiones excesivas y desperfectos importantes en la geomembrana, y en caso extremo, su rotura. Las conexiones a obras de fábrica son un punto débil habitual debido a asentamientos diferenciales (figuras 28 y 29).

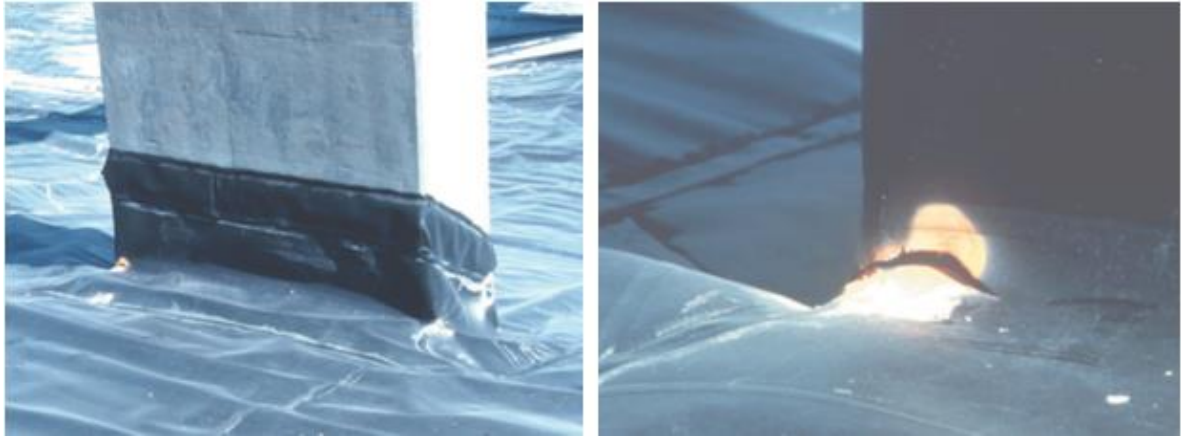


Figura 28. Rotura de lámina de PEAD como consecuencia de asientos diferenciales en la conexión con estructura de fábrica



Figura 29. Rotura en lámina de PVC-P como consecuencia de asientos diferenciales en estructura de toma

Por otro lado, el soporte debe permitir a la geomembrana cumplir su función de impermeabilización sin que elementos externos comprometan su funcionalidad. Elementos que supongan irregularidades en el soporte pueden dar lugar a punzonamientos de la lámina. El punzonamiento se produce por una concentración de tensiones y da pie a un fallo puntual, que puede propagarse y formar daños más severos si la geomembrana está sujeta a tensiones.

En las figuras 30, 31 y 32 se presentan ejemplos de punzonamientos en geomembranas de EPDM, PEAD y PVC-P, respectivamente.



Figura 30. Punzonamiento en lámina de EPDM (izquierda) y posterior propagación de punzonamiento en forma de desgarro (derecha)

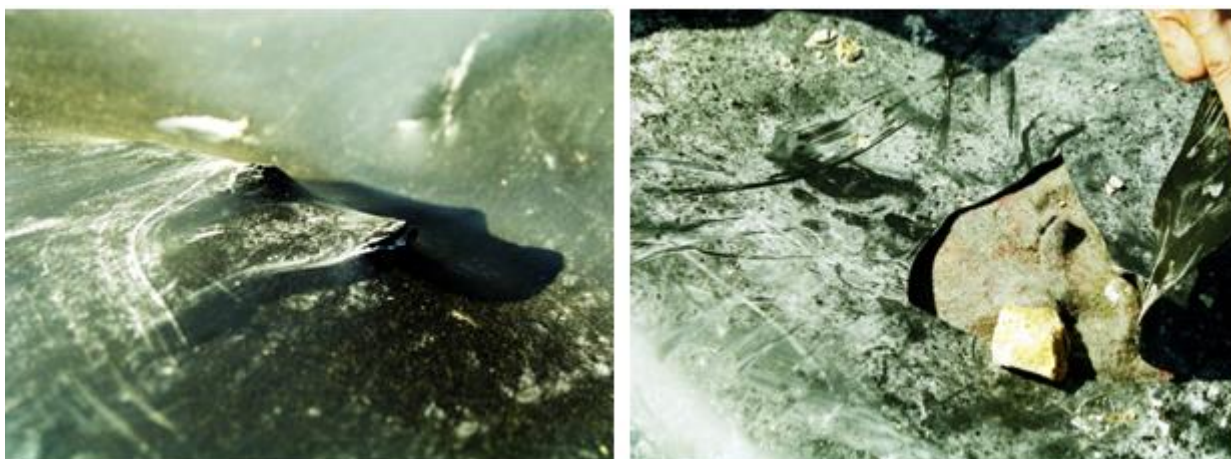


Figura 31. Plastificación (izquierda) y rotura (derecha) en lámina de PEAD por punzonamiento estático debido a un canto en el soporte



Figura 32. Punzonamiento incipiente en lámina de PVC-P armada

Una mala conformación del soporte, ya sea por desmoronamiento o el producido por bateo del viento, conduce al afloramiento de los elementos punzantes presentes en el terreno, que pueden dañar la geomembrana.

Para conseguir una adecuada calidad en la instalación sobre las superficies de asiento ya perfiladas y refinadas, se colocará un geotextil, que realizará, además, labores de protección y drenaje. Sus características se fijarán considerando los detalles del proyecto.

En la figura 33, puede verse un nuevo ejemplo de punzonamiento de la geomembrana debido al deficiente acondicionamiento del soporte.



Figura 33. Punzonamiento estático por deficiente acondicionamiento del soporte

Otro posible punto de degradación está situado en el cambio de plano en la zona de coronación, al inicio del talud interior, zona donde la geomembrana está sometida a más tensión. En el caso de las geomembranas de PEAD, en esta zona se pueden producir los fenómenos de agrietamiento por esfuerzo o stress-cracking. En otros tipos de geomembranas es donde se produce el mayor número de perforaciones (figuras 34 y 35). Una forma de minimizar este proceso es suavizar este ángulo con la finalidad de evitar aristas vivas.



Figura 34. Grietas en el cambio de plano en la coronación



Figura 35. Punzonamientos en la esquina superior del talud (cambio de plano) en láminas de PEAD

El terreno también puede ser el causante de la aparición de gases que, si no se dispone de un correcto sistema de drenaje para su evacuación, pueden dar lugar a la aparición de bolsas bajo la geomembrana, conocidas comúnmente como “hipopótamos” o “ballenas” (figura 36). Estas bolsas de gas pueden llevar a la lámina a su rotura. Esta patología se ha detectado principalmente en balsas que almacenan lixiviados, aguas residuales o estanques de estiércol de granjas. En estos casos se genera metano, que se acumula debido a que la balsa no tiene un correcto sistema para su evacuación.



Figura 36. Formación de bolsas por efecto de gas acumulado debajo de la geomembrana

En el *Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas* se mencionan las recomendaciones constructivas de carácter general considerando las distintas fases de la obra que sirve de complemento en este epígrafe de la Guía.

8.2.2. Almacenamiento e instalación

Para realizar una correcta instalación de los elementos que componen la barrera impermeable en una balsa es preciso contar con el adecuado Plan de control de calidad. Este se organiza en torno a dos fases:

- Fase I. Recepción del material
 - Se controlará que los rollos lleguen a pie de obra en perfectas condiciones.

- No deberán tener defectos en su superficie (perforaciones, estrías, rugosidades, burbujas, etc.).
- Se comprobará, asimismo, que la zona donde se va a realizar la descarga del material esté libre de cascotes y objetos punzantes que pudieran dañarlo cuando se esté realizando la operación de descarga.

- Fase II. Puesta en obra

La empresa de control de calidad de la puesta en obra, junto con la dirección de ésta, deberán aprobar el **plano de distribución** de láminas facilitado por la empresa instaladora. Así se procederá también con las soluciones aportadas para la impermeabilización en los puntos especiales (uniones a obras de fábrica, tuberías, puntos sumergidos...).

Asimismo, controlará las siguientes operaciones durante la puesta en obra:

- Operaciones de despliegue - desenrollado de las láminas y la utilización de herramientas adecuadas para no dañar la lámina.
- Que ninguna de las personas que está trabajando sobre la geomembrana fume, lleve calzado que las dañen o realicen otro tipo de operaciones que puedan deteriorarlas.
- Que el método utilizado para desenrollarlas no cause arañazos ni deteriore el suelo del soporte o del geotextil de base.
- Que el sistema de distribución adoptado para la geomembrana minimice la formación de arrugas.
- Que se coloquen contrapesos o lastres durante su instalación para prevenir desplazamientos causados por el viento.
- Que el desenrollado de la geomembrana se realice a temperaturas adecuadas y que la instalación de la geomembrana no se realice en presencia de excesiva humedad (niebla, rocío) o en presencia de vientos excesivos.
- Que las áreas de tráfico en contacto directo con las geomembranas se minimicen, protegiéndolas con geotextiles, otra geomembrana superpuesta u otro sistema protector.

En cuanto a la instalación, será fundamental tener en cuenta las recomendaciones de las normas de puesta en obra UNE 104427, para las geomembranas de PEAD, y UNE 104423, para las geomembranas de PVC-P.

En el caso del EPDM, la unión de las geomembranas se realizará con bandas autoadhesivas de conformidad con las especificaciones del fabricante y controlando los siguientes aspectos:

- La cinta deberá sobrepasar aproximadamente entre 5 y 15 mm el borde de la junta.
- La capa de imprimación deberá quedar visible en la hoja inferior pasado el borde de la cinta en toda la longitud de la unión.
- Debe haber un rastro continuo de imprimación visible en la hoja superior a una distancia aproximada de entre 150 y 200 mm desde el borde la hoja superior.
- No deben apreciarse aberturas del tipo boca de pez ni arrugas en la cinta.
- No deben apreciarse burbujas de aire en la unión de más de 15 mm de diámetro.

El proceso para efectuar las soldaduras es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la ausencia de problemas posteriores en ellas.

Las uniones hechas en fábrica son fáciles de controlar y se realizan bajo unas estrictas condiciones conocidas de limpieza, humedad y temperatura.

En obra, sin embargo, esas condiciones son mucho más variables, al depender de demasiados factores, incluso dentro de una misma jornada de trabajo, por lo que la calidad resultante de la soldadura y su resistencia no será la misma que la efectuada en fábrica. Por lo tanto, para garantizar la seguridad de la balsa, se deberá efectuar un detallado y periódico seguimiento posterior de todas estas zonas, siempre que sea posible, a lo largo de la vida útil de la geomembrana, siguiendo las indicaciones de las normas de puesta en obra.

En las figuras 37, 38 y 39 se presentan ejemplos de desgarros y defectos en los bordes de las soldaduras.



Figura 37. Soldadura despegada



Figura 38. Desgarro en borde exterior de soldadura



Figura 39. Defecto en unión entre paños de lámina de EPDM, fácilmente despegable con la mano

Especial atención se prestará a la ejecución de los contactos de la lámina con los distintos elementos rígidos que puedan existir en la balsa, por ejemplo, con las estructuras en las que se alojen los elementos de desagüe, aliviaderos, tomas u otros. Esas uniones pueden originar distintos fallos en la geomembrana en forma de desgarros y permitir que el agua salga y penetre por debajo de ella, con las correspondientes consecuencias negativas, que en caso extremo podrían ocasionar fenómenos de erosión interna o llegar a inestabilizar los taludes del dique de cierre de la balsa. Por ello, todas estas zonas se vigilarán con mucho detalle ante la posibilidad de que se produzcan este tipo de patologías.

En la figura 40, puede verse un ejemplo de desgarrar de la geomembrana en una zona próxima a la coronación de la balsa.



Figura 40. Desgarros en la geomembrana próxima a coronación

8.3. Factores ambientales

Ciertas variables de carácter ambiental persistentes u ocasionales en la zona de ubicación geográfica de la balsa pueden influir negativamente en la degradación de la lámina o causar daños al sistema de impermeabilización.

➤ Temperatura

En las geomembranas termoplásticas la temperatura y los cambios térmicos que se producen en torno a la balsa afectan a los ciclos de contracción y dilatación de la lámina y, por lo tanto, afectan a las soldaduras, a la pérdida de plastificantes, al impacto dinámico o a otras características tenso-deformacionales. Por este motivo, es importante llevar un control de la temperatura de la geomembrana durante las inspecciones realizadas a las balsas (figura 41).



Figura 41. Medida de la temperatura de la geomembrana durante las inspecciones

En general, la temperatura o la radiación solar influyen en el envejecimiento de la geomembrana, pero esto solo se considera una patología si el envejecimiento no es coherente con el tiempo transcurrido desde la instalación de la geomembrana.

➤ Precipitaciones

Las lluvias pueden ocasionar, indirectamente, problemas de erosión en los taludes externos del dique, generando inestabilidades o deslizamientos del terreno que, en caso límite, podrían ocasionar la rotura de la geomembrana al tener que seguir esta los movimientos del terreno sobre el que se sitúa.

La acción del granizo puede causar en algunas geomembranas grietas en forma de “pata de gallo” que comienzan a formarse desde la parte interna a la externa de la geomembrana y siempre en zonas que en algún momento se ven expuestas a la intemperie. En las figuras 42, 43 y 44 se presentan varios ejemplos de roturas producidas en geomembranas por los efectos del granizo.



Figura 42. Efectos del granizo en la geomembrana



Figura 43. Roturas tipo estrella a causa de impactos en lámina de PVC-P homogénea



Figura 44. Roturas tipo estrella a causa de impactos en una lámina de PVC-P armada sobre la cara anterior (izquierda) y posterior (derecha)

➤ **Viento**

La acción del viento incide directamente sobre la geomembrana y puede producir daños tales como:

- Separación de anclajes y desgarrros.
- Generación de olas que deformen los taludes formando un escalón en el nivel del plano de agua.
- Bateo de la lámina, que puede dar lugar a un tamizado de la capa de regularización y la aparición de elementos que provoquen punzonamiento de la geomembrana.

En las figuras 45, 46, 47 y 48 se observan varios efectos producidos por el viento en distintas geomembranas.



Figura 45. Levantamiento del babero por la acción del viento



Figura 46. Efectos del oleaje en la balsa



Figura 47. Lámina de PEAD arrancada por succiones de viento



Figura 48. Deformación de taludes por acción del oleaje bajo geomembrana de PVC-P

8.4. Flora y fauna

Existen especies vegetales capaces de adaptarse a terrenos tan áridos como los utilizados en la construcción de los diques de cierre de las balsas. Sus raíces, en busca de agua, pueden atravesar la capa asfáltica del camino de coronación y llegar a arraigar inmediatamente debajo de la geomembrana impermeabilizante, ya que en esta zona suele acumularse bastante humedad. Un ejemplo es la zarza, que suele encontrarse en las zonas de coronación de la balsa.

La figura 49 presenta dos ejemplos de crecimientos de vegetación, en coronación y en la geomembrana.



Figura 49. (a) Vegetación en coronación, (b) Vegetación en la geomembrana

En la figura 50, se observa el crecimiento de vegetación en una geomembrana de PEAD.



Figura 50. Vegetación creciendo en una geomembrana de PEAD

En ocasiones, la fauna de la zona puede quedar atrapada en la balsa ocasionando daños en la propia lámina o en las soldaduras entre paños en sus intentos por salir del vaso. Además, los roedores se sienten atraídos por el olor y sabor característicos de los plastificantes de las láminas de PVC-P, conociéndose casos aislados de perforaciones en láminas homogéneas causadas por ellos. La figura 51 presenta dos ejemplos de la presencia de fauna en balsas.

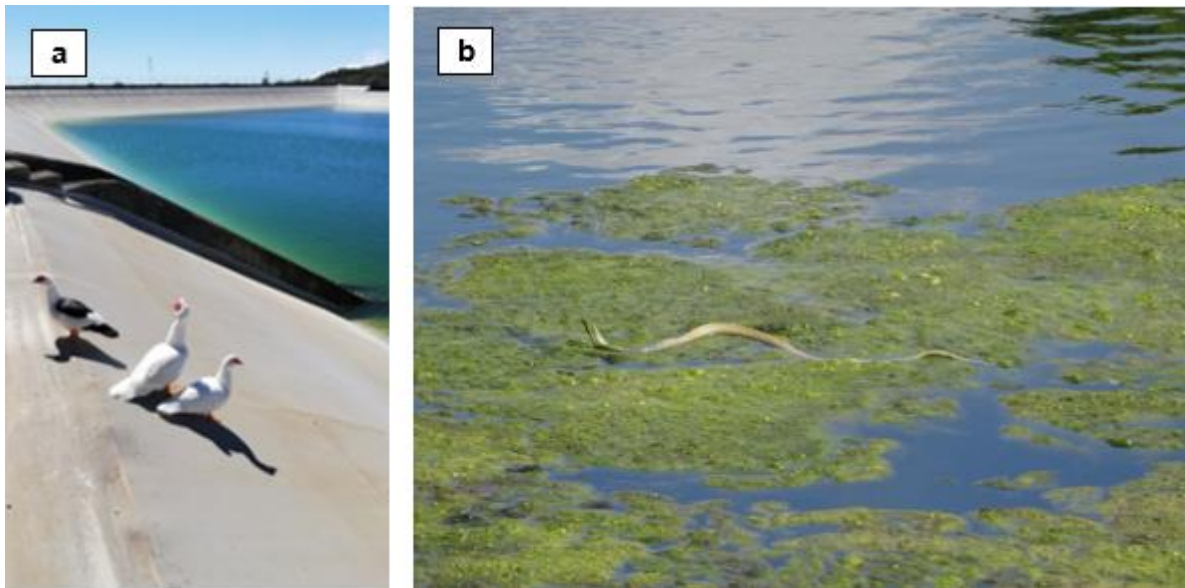


Figura 51. (a) Presencia de aves en la geomembrana, (b) Culebra localizada en el interior de la balsa

Es importante asegurar que las balsas cuenten con un diseño que no perjudique a la fauna, instalándose para ello escalas, rampas o islas flotantes que, a su vez, tendrán que estar ancladas adecuadamente para evitar causar daños a la propia geomembrana. Dada la relevancia que ha adquirido esta cuestión en los últimos años, se incluye dentro de esta guía y a modo de anexo una mayor descripción de este y otros aspectos medioambientales que podrían ser de interés a fin de conseguir una mejora ambiental de las balsas.

8.5. Vandalismo o usos diferentes al previsto

El vandalismo o el uso indebido de las instalaciones de la balsa para actividades distintas al uso para el que fue concebida, como natación, piragüismo, circulación de bicicletas o motos, además de hacer peligrar al deportista, pueden dañar la geomembrana e impedir la función para la que esta fue colocada. En estos casos, es de suma importancia una adecuada señalización de peligro en la balsa, así como la instalación de elementos, como escalas de salvamento y lastres de talud, que permitan la salida de las personas. Será fundamental el mantenimiento de estos lastres para evitar roturas que dañen a la geomembrana (figura 52).

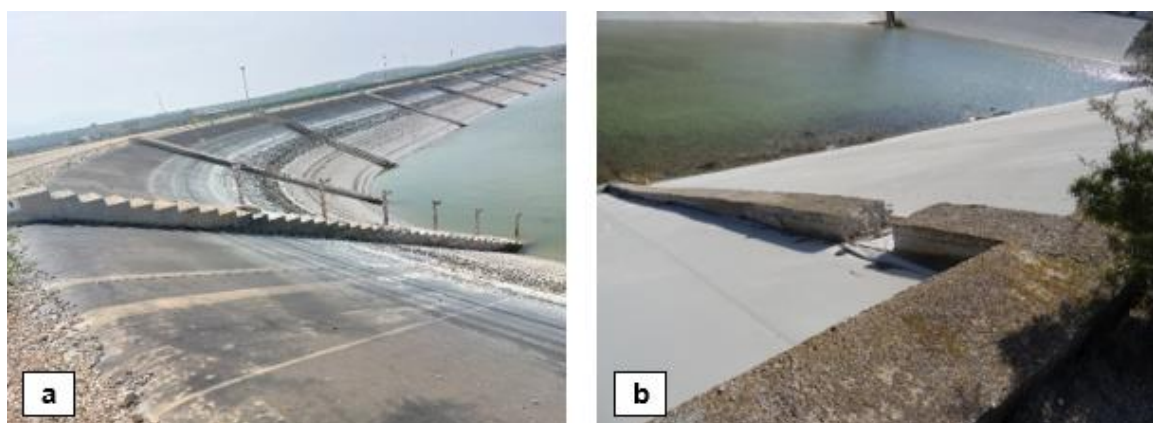


Figura 52. (a) Lastres y escaleras en el talud de la balsa, (b) Rotura de lastre en talud

Como consecuencia de otros actos vandálicos, no son infrecuentes los cortes de trozos de lámina o los daños producidos por impactos debidos al lanzamiento de ciertos objetos al vaso de la balsa. En la figura 53 se observan dos ejemplos de efectos debidos a este tipo de actos vandálicos en balsas.



Figura 53. Efectos de actos vandálicos: (a) Automóvil y (b) Distintos objetos arrojados al interior de las balsas

Asimismo, se han detectado perforaciones de las láminas debidas a disparos efectuados por cazadores o desgarros en lámina o soldaduras por enganches en anzuelos cuando se practica la pesca, siendo estos difíciles de localizar en inspecciones visuales rutinarias, al estar cubiertos por el agua.

8.6. Otras patologías

Existen otros factores que pueden provocar daños en el sistema impermeabilizante:

- Características del agua almacenada.
 - Las aguas almacenadas en la balsa, dependiendo de sus características químicas y su calidad, pueden en ciertos casos afectar a la formulación de la geomembrana y provocar una degradación más rápida de lo esperado. El estudio de esas características y su compatibilidad con la geomembrana no puede obviarse.
- Limpieza y retirada de lodos.
 - Una de las operaciones a las que habría que prestar una especial atención para no afectar al sistema de impermeabilización de la balsa es la limpieza y retirada de lodos.
 - Durante la limpieza de las balsas, si esta se lleva a cabo por vía húmeda con lanzas con presión excesiva o concentrando el chorro bajo las solapas de las soldaduras, se pueden debilitar sustancialmente estas últimas o llegar incluso a cortarlas
 - En el caso de la extracción por vía seca, las botas de los operarios al andar o los elementos de tracción mecánica pueden ser la causa de tensiones o zonas debilitadas en la geomembrana que, con el tiempo, den lugar a roturas de la misma.

- Desprendimientos de materiales.
 - El desprendimiento de fragmentos de roca de los taludes del terreno en el que se encuentra la balsa puede causar, en su caída, perforaciones en la geomembrana, por lo que es recomendable estudiar cómo proteger esas potenciales zonas de desprendimientos con mallas de triple torsión u otros elementos: bulones, anclajes, etc. La figura 54 presenta un ejemplo de desprendimiento de talud sobre la geomembrana.



Figura 54. Desprendimiento de talud sobre la geomembrana

- Incendios.
 - Otro factor es el fuego, que puede producirse en la balsa, en sus instalaciones, en el camino de coronación, en el cerramiento de la balsa o en la vegetación que la rodea (figura 55).



Figura 55. Lámina de PVC-P afectada por un incendio contiguo

- Proceso constructivo del camino de coronación.
 - El extendido del aglomerado asfáltico del firme de coronación, a temperaturas superiores a 100°C, directamente sobre la geomembrana puede provocar graves alteraciones en la misma (figura 56). Por lo tanto, se recomienda realizar una separación física que evite el contacto entre la impermeabilización y la mezcla bituminosa.



Figura 56. Extendido de mezcla bituminosa sobre el sistema de impermeabilización de la balsa

9. Bibliografía



9. BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, E. y Amigó, E. (1994). Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas. Consejería de Agricultura y Alimentación. Gobierno de Canarias.

ASTM D5885/D5885M – 17. Standard Test Method for Oxidative Induction Time of Polyolefin Geosynthetics by High-Pressure Differential Scanning Calorimetry.

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

Blanco, M., Aguiar, E., Cea, J.C. de, Castillo, F. y Soriano, J. (2010). El polietileno en la impermeabilización de balsas. *Ingeniería Civil*, 159, 57-64.

Blanco, M.; Aguiar, E.; Rico, G.; Pargada, L.; Crespo, M.A. y Solera, R.-(2008c). Estudio de los plastificantes utilizados en geomembranas de PVC-P procedentes de la isla de La Palma. *Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*. pp. 461-469 Palma de Mallorca.

Blanco, M.; Castillo, F. & Aguiar, E. (2006). Comportamiento de los plastificantes utilizados como aditivos del poli(cloruro de vinilo) plastificado usado como geomembrana en obras hidráulicas. *Revista de plásticos modernos*, 603, 246-250.

Blanco, M., Cea, J.C. de, García, F., Sánchez, F.J., Castillo, F., Mora, J. y Crespo, M.A. (2010). La impermeabilización con barreras geosintéticas poliméricas (GBR-P) en el Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas. *Ingeniería Civil*, 158, 43-50.

Blanco, M., Crespo, M. A., Noval, A. M., Leiro, A., Mateo, B., Aguiar, E., Vara, T. y Giroud, J.P. (2013b) La durabilidad de geomembranas de PVC-P en función del aditivo utilizado como plastificante. *Proc. Congreso Geosintec Iberia 1*, 138-146. Sevilla, noviembre.

Blanco, M., Cuevas, A. y Aguiar, E. (2000). Patología de geomembranas de poli(cloruro de vinilo) plastificado instaladas como pantallas impermeabilizantes en embalses. *Ingeniería Civil*, 119, 91-101.

Blanco, M., García, F., Cea, J.C., Sánchez, F.J. (2008). Control en obra de la impermeabilización de balsas con geomembranas sintéticas. *Proc. 2º Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación y Obra Pública y 2º Congreso Internacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*. 319-328. Palma de Mallorca.

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. 3er Congreso Nacional de Impermeabilización: Edificación, Obra Civil y Balsas y 3er Simposio Nacional sobre proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*, pp. 347-357. Barcelona, octubre.

Blanco, M. y Leiro, A. (2013). Experiencia española en el uso de geomembranas sintéticas en obras hidráulicas. *Ingeniería Civil*, 171, 57-74.

Blanco, M., Zaragoza, G., Aguiar, E. (2003). El seguimiento de geomembranas sintéticas como factor que contribuye a la seguridad y durabilidad de la impermeabilización de embalses. *Ingeniería civil* 129, 53-71.

Castillo, F. y Blanco, M. (1991). Síntesis, caracterización y fotodegradación en atmósfera inerte de diferentes tipos de poli(cloruro de vinilo). Pub. CEDEX. Monografía M-20. Ed. Neografis. Madrid.

Catalina, F y Arias, B. (1993). Fotoestabilizantes UV en polímeros. *Revista de plásticos modernos*, 440, 137-148.

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.

Dirección General del Agua (2012). Guía técnica para la elaboración de Planes de Emergencia de Balsas.

Generalitat Valenciana (2009). Guía para el proyecto, construcción, explotación, mantenimiento, vigilancia y planes de emergencia de las balsas de riego con vistas a la seguridad.

GRI-GM13 Standard Specification for Test Methods, Test Properties and Testing Frequency for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes. Geosynthetic Research Institute.

Hsuan, Y.G. & Koerner, R.M. (1998). Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(6), 532.

Hsuan, Y.G.; Schroeder, H.F.; Rowe, K.; Müller, W.; Greenwood, J.; Cazzuffi, D. & Koerner, R.M. (2008). Long-term performance and life prediction of geosynthetics. Keynote Paper. 4th European Geosynthetics Conference, EuroGeo4, Edinburgo, Reino Unido.

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Lustiger, A. (1983). The molecular mechanism of slow crack growth in polyethylene. *Proceedings of the 8th plastic fuel gas pipe symposium*, American Gas Association, Columbus, OH, pp-54.46.

Mateo, B. (2017). Comportamiento de las geomembranas sintéticas poliméricas utilizadas en la impermeabilización del embalse de Buen Paso. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2010). Manual para el diseño, construcción, explotación y mantenimiento de balsas.

Norma UNE 104306. Materiales sintéticos. Determinación del contenido en plastificantes en láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado, PVC-P, utilizadas en impermeabilización.

Norma UNE 104304. Materiales sintéticos. Determinación de la resistencia de la soldadura por pelado entre láminas sintéticas instaladas utilizadas en impermeabilización.

Norma UNE 104423. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de poli(cloruro de vinilo) plastificado (PVC-P) no resistentes al betún.

Norma UNE 104425. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de vertederos en residuos con láminas de polietileno de alta densidad (P.E.A.D).

Norma UNE 104427. Materiales sintéticos. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno (PE).

Norma UNE-EN 495-5. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la plegabilidad a baja temperatura. Parte 5: Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas.

Norma UNE-EN 12224. Geotextiles y productos relacionados. Determinación de la resistencia al envejecimiento a la intemperie.

Norma UNE-EN 12311-2. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de las propiedades de tracción. Parte 2. Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas.

Norma UNE-EN 12316-2. Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la resistencia al pelado. Parte 2: láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas.

Norma UNE-EN 12447. Geotextiles y productos relacionados. Método de ensayo de selección para determinar la resistencia a la hidrólisis en agua.

Norma UNE-EN 13252. Geotextiles y productos relacionados. Características requeridas para su uso en sistemas de drenaje.

Norma UNE-EN 13254. Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de embalses y presas.

Norma UNE-EN 13361. Barreras geosintéticas. Requisitos para su utilización en la construcción de embalses y presas.

Norma UNE-EN 13438. Geosintéticos. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la oxidación de geotextiles y productos relacionados.

Norma UNE-EN 13719. Geosintéticos. Determinación de la eficacia de la protección a largo plazo de los geotextiles en contacto con barreras geosintéticas.

Norma UNE-EN 14574. Geosintéticos. Determinación de la resistencia al punzonado piramidal de los geosintéticos soportados.

Norma UNE-EN 14576. Geosintéticos. Método de ensayo para la determinación de la resistencia de barreras geosintéticas poliméricas al agrietamiento por esfuerzos medioambientales.

Norma UNE-EN ISO 527-1. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 1: Principios generales.

Norma UNE-EN ISO 527-3. Plásticos. Determinación de las propiedades en tracción. Parte 3: Condiciones de ensayo para películas y hojas.

Norma UNE-EN ISO 10319. Geosintéticos. Ensayo de tracción de bandas anchas.

Norma UNE-EN ISO 10320. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Identificación in situ.

Norma UNE-EN ISO 11058. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Determinación de las características de permeabilidad al agua perpendicularmente al plano sin carga.

Norma UNE-EN ISO 11357-6. Plásticos. Calorimetría diferencial de barrido (DSC). Parte 6. Determinación del tiempo de inducción a la oxidación (OIT isotérmico) y de la temperatura de inducción a la oxidación (OIT dinámica).

Norma UNE-EN ISO 12236. Geosintéticos. Ensayo de punzonado estático (ensayo CBR).

Norma UNE-EN ISO 12958. Geotextiles y productos relacionados. Determinación de la capacidad de flujo de agua en su plano.

Norma UNE-EN ISO 12956. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. Determinación de la medida de abertura característica.

Norma UNE-EN ISO 13433. Geosintéticos. Ensayo de perforación dinámica (ensayo de caída de un cono).

Norma UNE-ISO 7619-1. Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la dureza de indentación. Parte 1: Método del durómetro (dureza Shore).

Noval, A. M. (2015). Estudio del comportamiento de tres geomembranas de EPDM, PVC-P y PEAD a lo largo del tiempo. Tesis Doctoral, Universidad Carlos III, Madrid.

Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses.

Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

Reglamento Particular de la Marca AENOR N para Barreras Geosintéticas.

Solera, R. (2017). Efectos de la cubierta en la durabilidad de las geomembranas poliméricas empleadas en la impermeabilización de embalses. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid.

10. **Glosario**



10. GLOSARIO

- **Antioxidante.** Compuesto químico que forma parte de una geomembrana cuya función es reducir o anular la oxidación del material polimérico.
- **Balsa.** Estructura artificial destinada al almacenamiento de agua, ubicada en el terreno y fuera de un cauce y del dominio público hidráulico y delimitada total o parcialmente por un dique de cierre.
- **Barrera geosintética (GBR)/Geomembrana.** Material geosintético de baja permeabilidad, utilizado en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil, con el objeto de reducir o prevenir el paso de fluidos a través de la construcción.
- **Barrera geosintética arcillosa (GBR-C).** Estructura ensamblada en fábrica de materiales geosintéticos, en forma de lámina, en la que la función de barrera se realiza fundamentalmente mediante una arcilla.
- **Barrera geosintética bituminosa (GBR-B).** Estructura ensamblada en fábrica, de materiales geosintéticos en forma de lámina, en la que la función de barrera se realiza fundamentalmente por productos bituminosos.
- **Barrera geosintética polimérica (GBR-P).** Estructura ensamblada en fábrica de materiales geosintéticos, en forma de lámina, en la que la función de barrera se realiza fundamentalmente mediante polímeros.
- **Caucho butilo.** Caucho constituido por isopreno e isobutileno que presenta una elevada flexibilidad debido a este último compuesto.
- **Caucho de EPDM.** Caucho constituido por etileno, propileno y un monómero diénico que presenta una elevada resistencia a la intemperie y a temperaturas extremas.
- **Contenido de plastificantes.** Cantidad de plastificantes presentes en una geomembrana de PVC-P determinada mediante un ensayo normalizado.
- **Drenaje.** Recolección y transporte del agua precipitada o subterránea, y/u otros fluidos en el plano de un material geosintético.
- **Dureza Shore A.** Propiedad medida a través de la penetración de un punzón con unas características y bajo condiciones específicas, determinada mediante un ensayo normalizado.
- **Estabilizante.** Compuesto químico que tiene como finalidad aumentar la durabilidad de la geomembrana.
- **Filtración.** Retención del paso incontrolado del suelo u otras partículas sujetas a fuerzas hidrodinámicas, mientras que permite el paso de fluidos dentro o a través de un material geosintético.
- **Geosintético (GSY)** .Término genérico para describir un producto, de cuyos componentes, al menos uno de ellos, está fabricado con un polímero sintético o natural en forma de una lámina, tira o banda o estructura tridimensional, que se emplea en contacto con suelos y/u otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.
- **Geotextil (GTX).** Material textil plano, permeable, polimérico (sintético o natural), que puede ser no-tejido, tejido o tricotado, que se emplea en contacto con suelos y/u otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.

- **Geotextil no-tejido (GTX-N).** Geotextil fabricado de fibras, filamentos u otros elementos orientados regular o aleatoriamente, unidos de forma mecánica y/o química y/o térmicamente.
- **Geotextil tejido (GTX-W).** Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos.
- **Negro de carbono.** Compuesto con textura de fino polvo negro compuesto esencialmente de carbón que absorbe la radiación procedente del sol.
- **Patología.** Deterioro sufrido por el material que suele clasificarse en función de su agente causante.
- **Plegabilidad a bajas temperaturas.** Comportamiento al plegado de las geomembranas poliméricas después de su exposición a baja temperatura.
- **Probetario.** Pieza de geomembrana con la misma composición que la instalada en la balsa y sobrepuesta en esta última con la finalidad de extraer muestras.
- **Protección.** Prevención o limitación del daño local de un elemento o material dado, mediante el uso de un material geosintético.
- **Refuerzo.** Empleo del comportamiento a la tracción y deformación de un material geosintético para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo u otros materiales de construcción.
- **Resistencia a la fisuración bajo tensión en un tensioactivo (“stress-cracking”).** Determinación del tiempo requerido para que se produzca la rotura de una probeta de la geomembrana sometida a una carga de tracción constante en presencia de un agente tensioactivo y a una temperatura elevada.
- **Resistencia a la tracción y alargamiento.** Carga soportada por una probeta sometida a un alargamiento a lo largo de su eje principal a velocidad constante, hasta que rompe o hasta que el esfuerzo (carga) o la deformación (alargamiento) alcance un valor predeterminado.
- **Resistencia al punzonado estático (CBR).** Determinación de la carga máxima necesaria para perforar una probeta de geomembrana con un punzón normalizado a velocidad constante.
- **Resistencia de la soldadura. Pelado.** Determinación de la carga necesaria para separar la unión entre geomembranas y realizada de forma que se provoque la separación de dicha unión.
- **Separación.** Prevención de la contaminación por mezcla de suelos o materiales de relleno adyacentes de naturaleza diferente mediante el uso de un material geosintético.
- **Tiempo de inducción a la oxidación (OIT).** Método de ensayo para medir el tiempo durante el que el material, con el conjunto de aditivos constituido por antioxidantes, estabilizantes y otros aditivos presentes en la probeta, inhibe la oxidación cuando la probeta es mantenida isotérmicamente, a una temperatura especificada, en una corriente de oxígeno.
- **Vida útil.** Periodo de tiempo desde el comienzo de la instalación hasta el momento en que el material ya no cumple con las propiedades de diseño requeridas para cumplir su función dentro de los límites definidos.

ANEXO I. Mejora Ambiental de la Balsa



MEJORA AMBIENTAL DE LA Balsa

La preocupación por el medio ambiente y la conservación del equilibrio de las especies, tanto la flora como la fauna, se ha visto incrementada durante los últimos años de forma que el principio de prevención se erige como el pilar básico en materia ambiental, es decir, se da prioridad a evitar el daño antes que tener que combatir los efectos negativos posteriores de una actividad.

Este principio de prevención es el objeto principal de las evaluaciones de impacto a las que son sometidas las obras de nueva construcción. Incluso en el caso de infraestructuras ya en explotación, no debemos dejar de lado la prevención y protección del medio ambiente.

Por ello, mediante la incorporación de este anexo en la Guía se pretende ofrecer al explotador de la balsa una serie de medidas que pueden tomarse para conseguir un uso más sostenible y armonioso con el medio ambiente y, al mismo tiempo, disminuir los impactos negativos sobre el mismo.

1. PROTECCIÓN DE LA FAUNA

Las balsas están suponiendo una trampa para muchas especies animales que quedan atrapadas en las mismas sin apenas opciones de salir debido a la superficie deslizante de las geomembranas.

La solución a este problema parte de un adecuado cerramiento del embalse, del orden de dos metros de altura, cimentado sobre un murete de hormigón de forma que se evite que los animales puedan atravesarlo por la parte inferior.

Además, es importante asegurar que las balsas cuenten con un diseño que no perjudique a la fauna y sea compatible con la seguridad de la infraestructura. Para ello se recomienda la instalación de elementos anti-ahogamiento como los siguientes:

- **Rampas, escalas o cuerdas prolongadas** hacia el nivel del agua que permitan la salida de los animales que han caído a la balsa e incluso, de las personas que, en su intento por salvar la vida de aquellos, también pueden quedar atrapados en la masa de agua (figura 57).

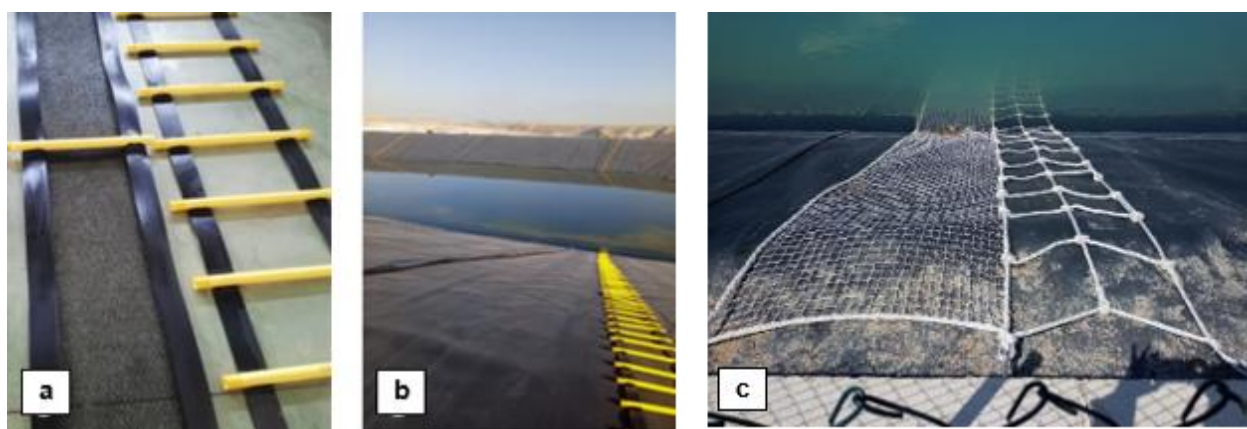


Figura 57. (a) Escalas de animales, (b) Lastres de taludes y escalas de salvamento, (c) malla para la salida de personas y animales

- **Plataformas flotantes (islas)** que permiten a las aves apoyarse para beber agua. En este caso, será importante la adecuada sujeción del objeto flotante pues puede ir a la deriva y producir por impacto la rotura en la impermeabilización o la obstrucción del aliviadero (figura 58).

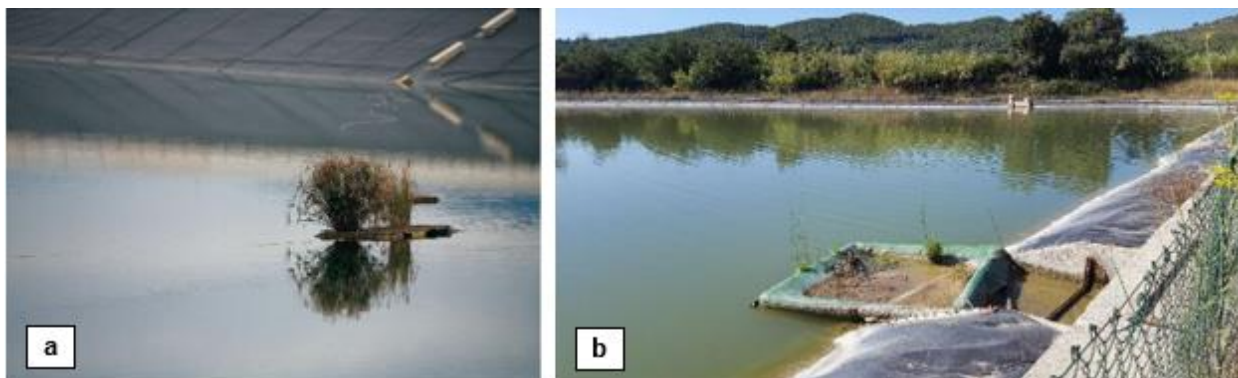


Figura 58. (a) Plataforma flotante (isla), (b) Plataforma flotante obstruyendo aliviadero

Finalmente, se recomienda prestar especial atención a los huecos en puertas, aliviaderos o demás estructuras de fácil acceso para personas y/o animales, así como la instalación de carteles, en número adecuado, para informar de la prohibición de acceso a la instalación y del baño.

2. GESTIÓN DE RESIDUOS

Uno de los objetivos del desarrollo sostenible es promover la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos lo que trae consigo la economía circular y la aplicación de las tres “R” en la gestión de los residuos: reducir, reutilizar y reciclar.

En este contexto medioambiental, se aprueba la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular que tiene por objeto “regular el régimen jurídico aplicable a la puesta en el mercado de productos en relación con el impacto en la gestión de sus residuos, así como el régimen jurídico de la prevención, producción y gestión de residuos”.

Por lo tanto, tomando como base la mencionada Ley 7/2022, será necesario que el explotador de la balsa se asegure del adecuado tratamiento de las láminas extraídas durante la reimpermeabilización, por sí mismo o a través de un gestor autorizado de residuos.

Una buena valorización de los residuos de las geomembranas permitirá poder reciclar el PEAD, PVC-P y EPDM para transformarlos en nuevos productos o materiales.

3. INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES

Las balsas son infraestructuras hidráulicas que abarcan, muchas de ellas, una amplia superficie de manera que podrían ser objeto de una segunda utilidad.

La instalación de plantas de energía solar flotantes permitiría mejorar la eficiencia energética, pues se produciría la energía necesaria para el consumo eléctrico de las instalaciones asociadas a la balsa, y contribuiría a generar una energía más limpia.

Estas plantas fotovoltaicas flotantes cuentan con los siguientes elementos:

- **Un sistema flotante** que sostiene el módulo fotovoltaico.
- **Cable subacuático.** Para transferir la energía generada a la subestación eléctrica.
- **Un sistema de amarre.** Es una estructura permanente utilizada para detener el libre movimiento del sistema flotante en el agua. Permite ajustar las fluctuaciones del nivel del agua mientras mantiene su posición.

La buena instalación del sistema de amarre será imprescindible para evitar daños a la geomembrana por movimientos imprevistos de los paneles. Asimismo, se recomienda utilizar elementos de flotación, anclaje y amarre que no dañen a la geomembrana, en caso de producirse roturas de partes de la instalación.



ANEXO II. Ficha Tipo de Inspección Visual de Balsas

FICHA TIPO DE INSPECCIÓN VISUAL DE BALSAS

FICHA DE INSPECCIÓN VISUAL

NOMBRE DE LA BALSA:	
SITUACIÓN:	
USO ACTUAL DE LA BALSA:	
CLASIFICACIÓN DE LA BALSA:	
FECHA DE INSPECCIÓN:	Nº DE INSPECCIÓN:

DATOS GENERALES DE LA BALSA

COTA CORONACIÓN:	COTA FONDO:
CAPACIDAD ÚTIL:	ÁREA CORONACIÓN:
TALUD INTERIOR:	TALUD EXTERIOR:
ALTURA MÁXIMA EN TERRAPLÉN:	PROFUNDIDAD TOTAL:

DATOS DE LA IMPERMEABILIZACIÓN

MATERIAL	
	POLI(CLORURO DE VINILO PLASTIFICADO (PVC-P)
	POLIETILENO ALTA DENSIDAD (PEAD)
	ETILENO-PROPILENO-MONÓMERO DIÉNICO (EPDM)
	OTROS:
ESPESOR:	AÑO INSTALACIÓN:
GEOTEXTIL (SI/NO):	PROBETARIOS (SI/NO):
SE APORTA FICHA DE CARACTERÍSTICAS DE LA LÁMINA ORIGINAL (SI/NO):	
JUNTAS ENTRE LÁMINAS	
	SOLDADURA DOBLE POR TERMOFUSIÓN
	SOLDADURA POR EXTRUSIÓN
	UNIÓN CON BANDAS AUTOADHESIVAS DE CAUCHO BUTÍLICO/EPDM
	OTROS

RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL

ESTADO GENERAL DE LA LÁMINA					
	INSPECCIÓN BALSA LLENA		BUEN ESTADO		
	INSPECCIÓN BALSA SEMILLENA		REGULAR ESTADO		
	INSPECCIÓN BALSA VACÍA		MAL ESTADO		
ELEMENTOS DE LA IMPERMEABILIZACIÓN					
ANCLAJE CORONACIÓN		JUNTAS ENTRE LÁMINAS		UNIÓN ELEMENTOS RÍGIDOS	
	BUEN ESTADO		BUEN ESTADO		BUEN ESTADO
	REGULAR ESTADO		REGULAR ESTADO		REGULAR ESTADO
	MAL ESTADO		MAL ESTADO		MAL ESTADO

PATOLOGÍAS OBSERVADAS					
ROTURAS LÁMINA		PUNZONAMIENTO		VEGETACIÓN	
	NO		NO		NO
	POCO		POCO		POCO
	MUCHO		MUCHO		MUCHO
OTRAS PATOLOGÍAS OBSERVADAS:					

TOMA DE MUESTRAS

SITUACIÓN:
DIMENSIONES:
INSPECCIÓN VISUAL DE LA MUESTRA:

OBSERVACIONES FINALES

--

