

Geotextiles y productos relacionados utilizados en la impermeabilización de balsas. Situación en Marruecos

Geotextiles and related products used in the waterproofing of reservoirs. Situation in Morocco

Ángel Leiro López^{1*}, Beatriz Mateo Sanz¹

Palabras clave

geotextiles; productos relacionados; impermeabilización; balsas;

Resumen

El presente artículo tiene por objeto describir los geotextiles y productos relacionados con geotextiles a utilizar en la construcción de las balsas para el almacenamiento de agua, que pueden ser aplicables para el caso de la construcción de este tipo de estructuras en Marruecos.

Se presentan los diferentes tipos de geotextiles y productos relacionados más utilizados en las balsas como las georredes, geomallas, geoesteras y los geocompuestos, describiendo sus características y metodología experimental.

Se hace especial hincapié, de acuerdo con lo establecido en el *Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas*, en las funciones a cumplir por estos geosintéticos, como son las funciones de protección y filtro para el caso de los geotextiles, o la de drenaje para el de las georredes y geocompuestos de drenaje.

Por último, se citan una serie de realizaciones de este tipo de estructuras en Marruecos.

Keywords

geotextiles; related products; waterproofing; reservoirs;

Abstract

The aim of this paper is to describe the geotextiles, and products related to geotextiles, used for the building of water-storage reservoirs, which can be applicable to the construction of this kind of structures in Morocco.

It presents different types of geotextiles and related products most commonly used in reservoirs, such as geonets, geogrids, geomats and geocomposites, describing their characteristics and experimental methodology.

Furthermore, and drawing on the Spanish Manual for Design, Construction, Operation and Maintenance of Reservoirs, emphasis is placed on the functions that geosynthetics can perform, such as protection and filter in the case of geotextiles, and drainage in the case of geonets and draining composites.

Finally, several works of this sort of structures located in Morocco are cited.

1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, la construcción de balsas para el almacenamiento de agua, ya sea para consumo humano o para riego, constituye un hito importante en zonas donde es escasa, como es el caso de Marruecos o España.

Esta circunstancia hace necesaria la construcción de balsas adecuadas para su almacenamiento. Ahora bien, los terrenos donde es necesaria su ubicación no siempre son impermeables por lo que se precisa de unos sistemas de impermeabilización, lo que lleva consigo la utilización de geosintéticos tanto en su construcción como en su mantenimiento posterior.

En el presente artículo se describen los geotextiles y productos relacionados con geotextiles utilizados en la construcción y mantenimiento de balsas para el almacenamiento de agua. Se citan sus características y metodología experimental. Por último, se presentan unas recomendaciones para su utilización en la construcción de este tipo de estructuras en Marruecos.

Estas recomendaciones se refieren a los geosintéticos que forman parte del paquete impermeabilizante con excepción de las barreras geosintéticas poliméricas (geomembranas) que se tratan en otro artículo del presente monográfico.

Asimismo, dado que la situación geográfica de algunas zonas de España y Marruecos es similar en cuanto a irradiación solar media, estas recomendaciones son perfectamente extrapolables para la construcción de este tipo de estructuras.

2. GEOSINTÉTICOS

La utilización en Ingeniería Civil de los geosintéticos se inicia en los años sesenta en EE.UU. en forma de napas para mejorar las características de los suelos en aplicaciones de Geotecnia. Asimismo, se empiezan a usar en Europa, concretamente en Holanda, donde se emplean para protección de costas.

Su desarrollo es a partir de 1977, año en el que se celebra el Coloquio Internacional sobre el empleo de los textiles en Geotecnia en París. De aquí nace el nombre de geotextil propuesto por J.P. Giroud, como el de un textil

* Autor de contacto: angel.leiro@cedex.es

¹ Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX, Madrid, España.

en contacto con el suelo para aplicaciones geotécnicas. En ese momento tiene lugar la fundación de la International Geosynthetic Society (IGS), asociación a nivel mundial cuya misión es la difusión del conocimiento de los geosintéticos, siendo J.P. Giroud su primer Presidente.

Organizado desde entonces por la IGS, se celebran las Conferencias Internacionales: la II se celebró en Las Vegas en 1982, posteriormente en 1986 se celebró la III en Viena, en 1990 se celebró la IV en la Haya, en 1994 en Singapur la V, en 1998 tuvo lugar en Atlanta la VI, en el año 2002 se realizó la VII en Niza, en el año 2006 tuvo lugar en Yokohama la VIII y en 2010 en Guarujá, tuvo lugar la IX. Por último, en el año 2014 tuvo lugar la X en Berlín.

Asimismo, y de manera intercalada, se celebran las denominadas Conferencias Regionales de ámbito Continental, como Geoáfrica y Geoamérica, cuyas últimas conferencias han tenido lugar en Acraa (Ghana) en 2013 y Lima (Perú) en 2012, respectivamente. Por lo que se refiere a las Conferencias Europeas (Eurogeo), hasta el momento se han celebrado cinco, la última tuvo lugar en Valencia, en septiembre de 2012, organizada por el Capítulo Español de la IGS.

También organizado por el Capítulo Español de la IGS, en el año 2013 se celebró el 1er Congreso Nacional de Geosintéticos “Geosintec Iberia I” en Sevilla.

2.1. Clasificación de los geosintéticos

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

A la vista de la clasificación general hay dos grupos de geosintéticos, los permeables y los impermeables.

El primer grupo, los materiales permeables, lo componen los geotextiles y productos relacionados con geotextiles, los cuales pueden cumplir una o varias de las siguientes funciones:



El grupo de los materiales impermeables está formado por los que, tradicionalmente, se han llamado láminas impermeabilizantes o geomembranas y que, de acuerdo con la nomenclatura del Comité Europeo de Normalización CEN TC-189 Geosynthetics, se denominan “barreras geosintéticas”, las cuales cumplen la función de impermeabilización.

De acuerdo con la norma UNE EN ISO 10318:2006. “Geosintéticos. Términos y Definiciones”, se definen los siguientes productos:

- **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 tanto con suelos, como con 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 tanto con suelos como con otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.

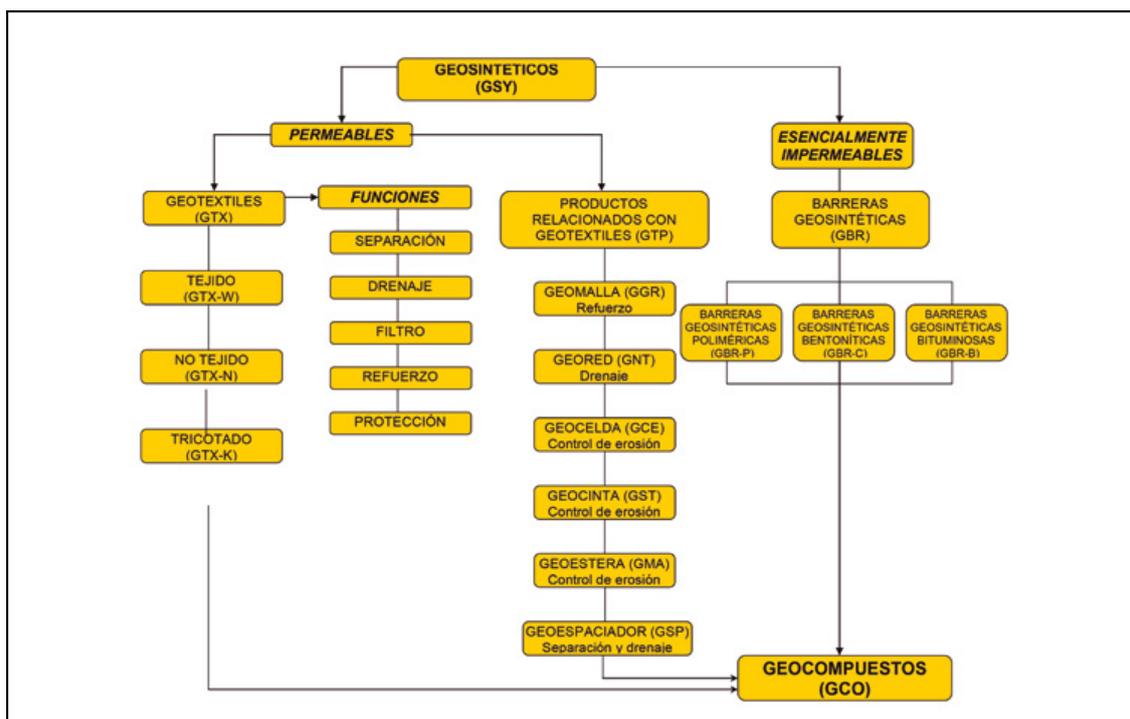


Figura 1. Clasificación de los geosintéticos.

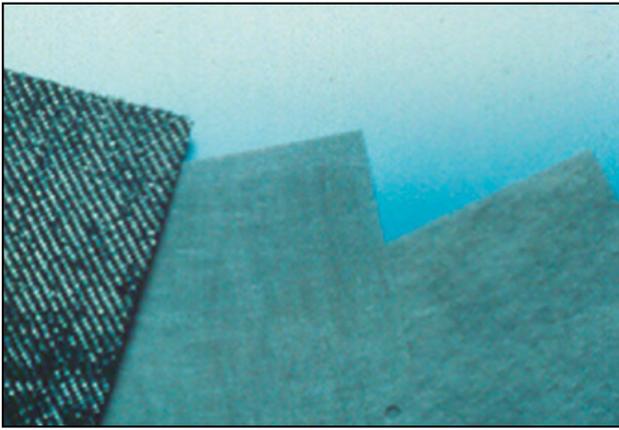


Figura 2. Geotextiles tejidos y no tejidos.

- **Geotextil tejido (GTX-W)**

Geotextil fabricado al entrelazar, generalmente en ángulo recto, dos o más conjuntos de hilos, fibras, filamentos, cintas u otros elementos.

En la figura 3 se muestra una microfotografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) de un geotextil tejido, de filamento y cinta. Se observa el entrelazado de sus componentes en dos direcciones perpendiculares.

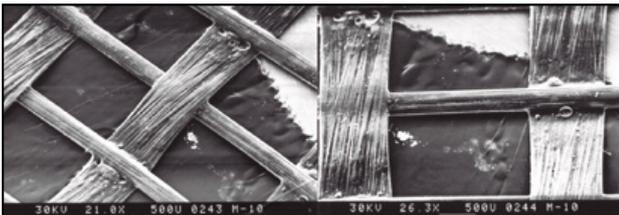


Figura 3. Geotextiles tejidos.

- **Geotextil no-tejido (GTX-N)**

Geotextil fabricado a partir de fibras, filamentos u otros elementos orientados regularmente o aleatoriamente, unidos de forma mecánica, química o térmicamente.

En la figura 4 se presentan geotextiles no tejidos, agujeteados y termosoldados.

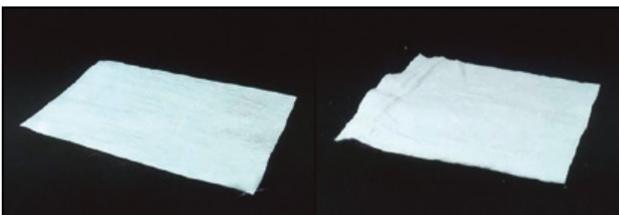


Figura 4. Geotextiles no tejidos.

En las figuras 5 y 6, se presenta el aspecto observado a través de MEB de un geotextil no tejido agujeteado, en el cual la unión de sus fibras se produce mediante un procedimiento mecánico, y de un geotextil no tejido termosoldado en el que la unión de sus fibras se produce mediante presión y calor, respectivamente.

En la figura 7 se observa una típica aplicación de un geotextil no tejido realizando la función de separación.

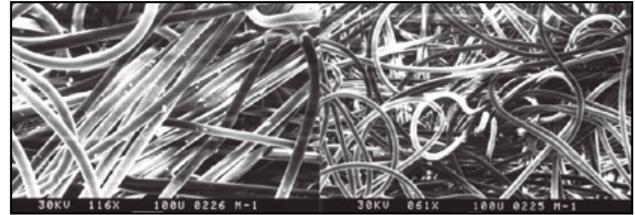


Figura 5. Geotextil no tejido agujeteado.

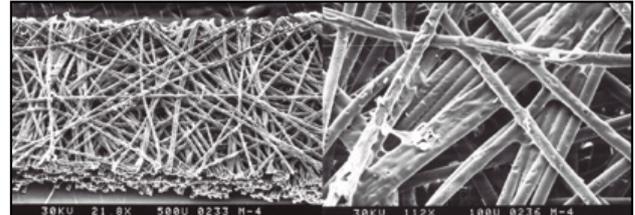


Figura 6. Geotextil no tejido termosoldado.



Figura 7. Puente de Mérida (Badajoz).



Figura 8. Geotextil de protección y filtro.

- **Geotextil tricotado (GTX-K)**

Geotextil fabricado por el entrelazado de una o más fibras, filamentos u otros elementos.

- **Productos relacionados con geotextiles (GTP)**

Material plano, permeable, polimérico (sintético o natural) que no corresponde con la definición de un geotextil. Los más utilizados son: geomalla (GGR), geocelda GNT), geocélula (GCE), geosetera (GMA), geobanda (GST) y geoespaciador (GSP).

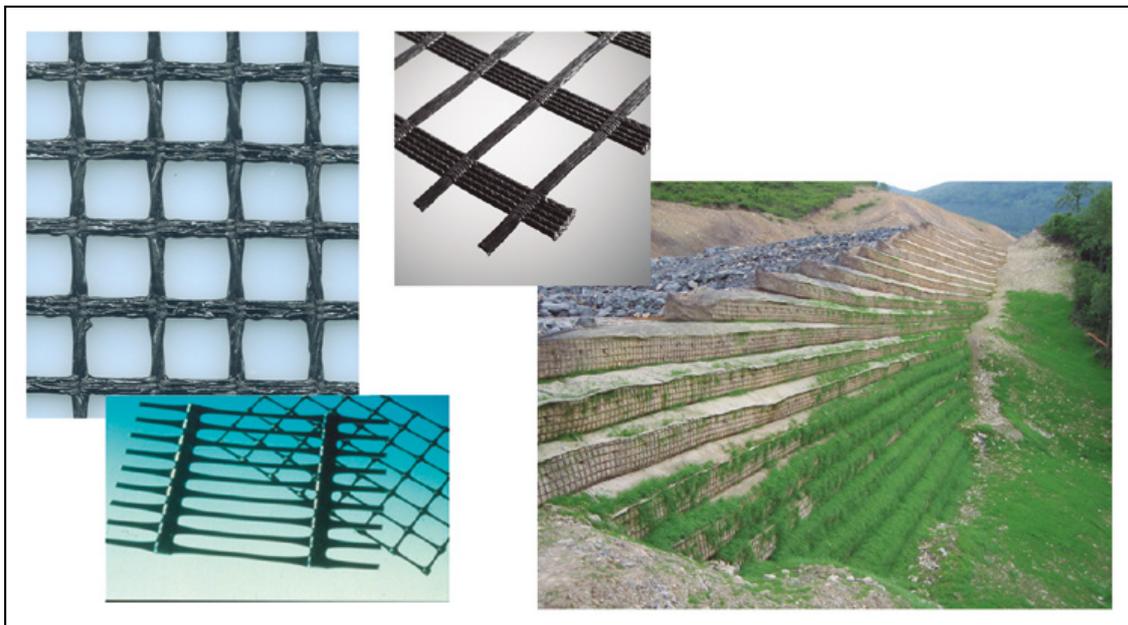


Figura 9. Tipos de geomallas y muros reforzados.

- **Geomalla (GGR)**

Estructura plana polimérica que consiste en una red abierta regular de elementos que actúan por tracción, integralmente conectados que pueden ensamblarse por extrusión, ligaduras o entrelazado, y cuyas aberturas son mayores que sus elementos constitutivos.

Se utilizan para refuerzo. Poseen una elevada resistencia a tracción y baja deformación.

En la figura 9 se presentan diversos tipos de geomallas extruídas y tejidas, monoaxiales y biaxiales, así como una típica aplicación en la ejecución de un muro verde.

- **Georred (GNT)**

Geosintético constituido por conjuntos de nervios paralelos superpuestos que se conectan integralmente con otros conjuntos similares formando diferentes ángulos.

Se utiliza para drenaje.

En la figura 10 se observan 2 georredes extruídas. Una bi-planar que puede soportar presiones de hasta 700 kPa, y otra tri-planar de mayores prestaciones que puede soportar presiones entre 1.200 y 2.000 kPa.

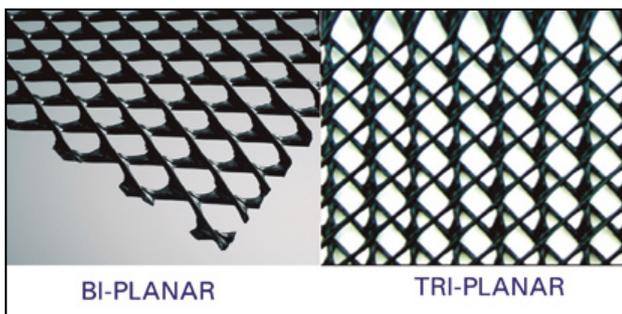


Figura 10. Georredes. Drenaje.

- **Geoestera (GMA)**

Una estructura tridimensional, permeable, fabricada de monofilamentos poliméricos y otros ele-

mentos (sintéticos o naturales), unida mecánica, térmica, químicamente o mediante otros métodos.

Se emplea para control de la erosión.

En la figura 11 se muestra una geoestera para el control de la erosión.

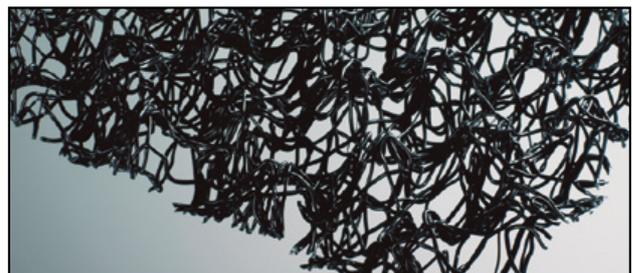


Figura 11. Geoestera. Control de la erosión.

- **Geocelda (GCE)**

Estructura tridimensional, permeable, polimérica (natural o sintética) con forma de nido de abeja o con estructura celular similar, fabricada a partir de bandas unidas de geosintéticos.

Se emplea para control de erosión.

En la figura 12 se observa una geocelda para el control de la erosión instalada en un muro verde.



Figura 12. Geoceldas. Control de la erosión.

- **Geobanda (Geotira) (GST)**

Material polimérico fabricado en forma de banda con un ancho no superior a 200 mm, que se emplea en contacto tanto con suelos como con otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.

Se utiliza en el control de la erosión.

- **Geoespaciador (GSP)**

Estructura polimérica tridimensional diseñada para crear un espacio de aire en suelos y otros materiales en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil.

Se utiliza para la separación y el drenaje.

- **Barrera Geosintética (GBR)**

Material geosintético de baja permeabilidad, utilizado en aplicaciones geotécnicas y de ingeniería civil con el objeto de reducir o prevenir el paso de fluido a través de la estructura.

Se utilizan en impermeabilización y existen tres tipos: barrera geosintética polimérica (GBR-P), barrera geosintética de arcilla-bentonita (GBB-C) y barrera geosintética bituminosa (GBR-B). Son estructuras ensambladas en fábrica de materiales geosintéticos en forma de lámina que actúan como barreras, siendo la función barrera realizada, fundamentalmente, por polímeros en el caso de las GBR-P, arcillas en las GBR-C o productos bituminosos en los GBR-B.

- **Geocompuesto (GCO)**

Material ensamblado que se fabrica utilizando, al menos, un producto geosintético entre sus componentes.

En la figura 13 se muestra un geocompuesto de drenaje, en el que el núcleo drenante del mismo es una geostera.



Figura 13. Geocompuestos de drenaje.

En la figura 14 se presenta un geocompuesto de refuerzo formado por una geomalla y una geostera para cumplir las funciones de refuerzo y control de erosión.

En la figura 15 se muestran una geored y dos geocompuestos de drenaje fabricados a partir de ella.



Figura 14. Geostera con geomalla.

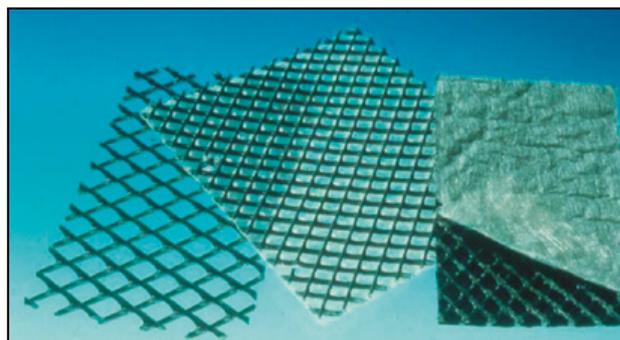


Figura 15. Geocompuestos de drenaje.

3. GEOTEXILES Y PRODUCTOS RELACIONADOS CON GEOTEXILES

Los geotextiles y productos relacionados con geotextiles, en los sucesivos geotextiles y productos relacionados, forman la familia de materiales permeables de los geosintéticos que son utilizados para la construcción de balsas y embalses para el almacenamiento de agua. Están constituidos por fibras poliméricas, sintéticas en la gran mayoría de los casos, o naturales. Deben tener una adecuada durabilidad dependiendo del suelo y del agua en contacto con ellos. Asimismo, en su fabricación se añaden diferentes tipos de aditivos, como por ejemplo estabilizadores UV, cargas minerales, etc.

Los polímeros más empleados en la fabricación de geotextiles y productos relacionados son:

- **Polimerizados**

Son poliolefinas entre las que destacan el polietileno y el polipropileno. El polietileno se emplea tanto de alta como de baja densidad. Son fácilmente inflamables, produciendo humo negro y olor a cera. Presentan una gran deformación en el punto de carga máxima, y una resistencia a tracción y fluencia moderadas.

Presentan una buena resistencia tanto a medios ácidos como básicos.

Pueden ser sensibles a la acción de los agentes oxidantes y a la acción de la luz ultravioleta, por lo cual se aditivan, generalmente, empleando negro de carbono.

- **Policondensados**

- Poliésteres

Las propiedades generales más relevantes son: elevada resistencia a tracción, poco defor-

mables, buen comportamiento a fluencia, autoextinguibles y fácilmente hidrolizables a pH muy básico mayor de 12, lo cual desaconseja su empleo en contacto con el hormigón en aplicaciones hidráulicas.

Presentan una buena resistencia frente a la luz ultravioleta y a los agentes oxidantes.

– Poliamidas

Presentan una elevada resistencia a tracción, pequeña deformación en rotura y un buen comportamiento a fluencia. Asimismo, se puede destacar que son hidrolizables, pierden hasta un 20-30 % de resistencia a tracción después de permanecer en agua, degradándose para $\text{pH} < 3$. Son sensibles a la acción de los agentes oxidantes.

Las propiedades de las diversas materias primas no permiten concluir de manera absoluta las cualidades de los geotextiles y productos relacionados, ya que a menudo están influenciadas por el proceso de fabricación.

3.1. Características

Para su utilización en una aplicación concreta es necesario conocer y verificar sus características con objeto de asegurarse de que podrán cumplir las funciones especificadas en el proyecto durante su vida útil. El fabricante o suministrador de los geotextiles y productos relacionados debe facilitar información completa sobre sus características:

- Generales
- Físico-químicas
- Hidráulicas
- Durabilidad

3.1.1. Características generales

Las características generales de los geotextiles y productos relacionados 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:

- Datos del fabricante¹⁾
- Nombre del producto¹⁾
- Marca comercial y tipo de producto¹⁾
- Fecha de fabricación: año y mes¹⁾
- Identificación de la unidad (número de identificación del rollo)¹⁾
- Masa bruta nominal de la unidad (rollo), en kilogramos
- Dimensiones de la unidad, en general, rollo (largo por ancho)
- Masa nominal por unidad de superficie
- Tipo de polímero principal
- Clasificación del producto según UNE-EN ISO 10318

¹⁾Estas características facilitan la trazabilidad del material a su fabricación, lo cual puede permitir acceder a su

control de producción, en el caso muy probable de que el fabricante tenga establecido un procedimiento de aseguramiento de la calidad, mediante la correspondiente ISO 9000. Las demás características permiten comprobar la cantidad de material suministrado.

En general, cuando sea posible, en el geosintético debe marcarse mediante estampado el nombre y el tipo de producto a intervalos de, al menos, 5 metros.

Masa por unidad de superficie o gramaje

La masa por unidad de superficie vendrá expresada en gramos por metro cuadrado. Permite un control simple y sencillo de identificación del producto. No debe, sin embargo, considerarse parámetro de diseño ni único para su identificación, si bien, permite conocer su uniformidad.

Espesor

Según el procedimiento de fabricación, los geotextiles o productos relacionados pueden ser más o menos compresibles perpendicularmente a su plano, lo cual tiene una influencia fundamentalmente en sus características hidráulicas. Por esta razón, el espesor se especifica para tres presiones diferentes, 2, 20 y 200 kN/m². No obstante, en general, tampoco debe ser considerado como un parámetro de diseño, salvo para aplicaciones muy concretas, como por ejemplo cuando cumple la función de protección de una barrera geosintética (geomembrana).

3.1.2. Características físico-mecánicas

Las características físico-mecánicas que generalmente se determinan en los geotextiles o productos relacionados son:

- Resistencia a tracción y alargamiento
- Resistencia al punzonamiento estático
- Resistencia a la perforación dinámica
- Eficacia de la protección
- Comportamiento a fluencia

Resistencia a tracción y alargamiento

La resistencia a tracción y el alargamiento en la rotura tienen una importancia primordial cuando el geotextil o producto relacionado tiene solicitaciones mecánicas, y en todos los casos para sobrevivir a la puesta en obra. Se suele determinar la carga máxima y alargamiento en el punto de carga máxima.

Resistencia al punzonamiento estático

Mide el comportamiento de un geotextil o producto relacionado bajo una carga estática, como por ejemplo, cuando se utiliza como separador, o como protección de una barrera geosintética.

Resistencia a la perforación dinámica por caída de cono

Mide la resistencia del geotextil o producto relacionado a cargas dinámicas. Está relacionado con la vulnerabilidad

de los geotextiles o productos relacionados a los impactos producidos por la caída de materiales sobre ellos durante su puesta en obra.

Eficacia de la protección

Mide la eficacia con la que un geotextil o producto relacionado, protege a una barrera geosintética contra los efectos mecánicos a largo plazo de cargas estáticas puntuales.

Comportamiento a fluencia

Una posible utilización de los geotextiles y productos relacionados es el refuerzo de estructuras de tierra y terraplenes. Una característica importante de estos materiales, como de todos los plásticos, es que su alargamiento, bajo una carga constante, varía con el tiempo, esto es, muestran características de fluencia. Por ello la aplicación de una carga puede llevar en última instancia a la rotura.

3.1.3. Características hidráulicas

Las propiedades hidráulicas deben ser consideradas cuando el geotextil o producto relacionado realiza las funciones de filtro o de drenaje.

Se consideran la permeabilidad normal al plano del geotextil o producto relacionado, y la permeabilidad en su plano, así como la medida de la abertura característica, que fija el diámetro de partículas de suelo que pueden ser retenidas por el geotextil o producto relacionado, y por tanto su eficacia como filtro.

3.1.4. Durabilidad

La durabilidad es la propiedad por la cual un material mantiene sus características con el paso del tiempo.

Los geotextiles o productos relacionados están sujetos a diversas formas de degradación como son: las mecánicas (abrasión, fatiga, fluencia, desgarro), ataques químicos (ácidos, bases, disolventes orgánicos), hidráulicos (colmatación y humedad), así como el ataque biológico y fotoquímico. Todas estas circunstancias pueden provocar la degradación de la estructura del polímero del geotextil o producto relacionado.

En el anexo B de las correspondientes normas armonizadas de aplicación (existen 10 normas armonizadas para las diferentes aplicaciones, en las que figuran los requisitos que deben cumplir los geotextiles y productos relacionados para cada aplicación) 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. Asimismo, se cita la vida de servicio requerida, que puede ser de hasta 5 o 25 años, en función de la materia prima del polímero, del tipo de aplicación y del pH y temperatura del suelo, si bien este punto se está revisando actualmente en el "Comité CEN-TC 189. Geosynthetics", para establecer una vida de servicio de 50 y hasta 100 años.

Por último, los geotextiles y 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) en el caso de poliéster y poliamida, y resistencia a la oxidación (UNE-EN 13438), en el caso de las poliolefinas (polietileno y polipropileno) y las poliamidas.

4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La realización de los ensayos de estos materiales, en general, se puede abordar en un laboratorio suficientemente dotado, en un tiempo prudencial, si bien se requiere de medios y experiencia suficientes ya que algunos de los ensayos son bastante específicos.

4.1. Resumen de Normativa

El Comité Europeo de Normalización, CEN, está trabajando en la elaboración de normas Europeas, EN, a través del Comité TC 189, denominado Geosynthetics. Este Comité está estructurado en seis Working Groups formados por expertos de los diferentes Organismos de Normalización de los países de la Unión Europea. Asisten también representantes de ASTM e ISO en calidad de expertos, con voz pero sin voto, salvo en el caso de aquellos miembros de ISO que a su vez pertenezcan a algún Organismo de Normalización de un país de la Unión Europea.

En los países de la Unión Europea del denominado Espacio o Ámbito Europeo, antigua EFTA (Suiza, Islandia y Noruega) así como en Turquía y Macedonia, se adoptan, por transposición, todas las normas elaboradas y aprobadas por el Comité CEN/TC-189.

La situación en España en este momento es la siguiente:

Actualmente existen normas UNE-EN tanto de ensayos, como armonizadas para las diferentes aplicaciones.

Por lo que respecta a EE.UU., ASTM posee una normativa bastante amplia sobre estos materiales.

Es interesante mencionar también los métodos de ensayo hidráulicos del Franzius Institut, de Hannover (República Federal de Alemania) y del U.S. Corps of Engineers (EE.UU.).

En la International Organization for Standardization, ISO, existe el Comité ISO/TC 221, dedicado al estudio y normalización de los geosintéticos desde el año 1985.

4.2. Ensayos de identificación

4.2.1. Toma de muestras y preparación de probetas para ensayo

Se establecen los principios generales para la toma de muestras de geotextiles y productos relacionados y la preparación de las probetas para ensayo a partir de dichas muestras.

El procedimiento consiste en los siguientes puntos:

- I. Selección de rollos para la toma de muestras.
- II. Cortado de las probetas.
- III. Identificación de la muestra.
- IV. Preparación de las probetas.
- V. Informe de la toma de muestras.

Se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 9862.

4.2.2. Determinación de la masa por unidad de superficie

La masa por unidad de superficie se calcula determinando en una balanza la masa de varias probetas, cuyas dimensiones básicas se conocen y que han sido previamente tomadas en distintas partes de la muestra, de forma que el valor medio de los resultados que se obtenga sea representativo del material ensayado.

Se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 9864.

4.3. Ensayos físico-mecánicos

4.3.1. Determinación del espesor (Compresibilidad)

Se determina el espesor del material medido entre una placa de referencia y un pistón especificado, a una presión determinada (2, 20, 200 kN/m²).

Se realiza de acuerdo con las normas UNE-EN 9863-1 y 2.

4.3.2. Determinación de la resistencia a tracción y alargamiento

Existe una normativa bastante amplia para realizar este ensayo, si bien la norma de referencia que se emplea, como en todos los casos, es la norma europea UNE-EN ISO 10319.

Los parámetros que definen el ensayo son:

- Dimensiones de la probeta
- Velocidad de ensayo
- Condiciones del ensayo
- Maquinaria empleada

Número de probetas a ensayar, suelen ser diez y siempre, salvo casos excepcionales, en las direcciones de fabricación y perpendicular, cinco en cada dirección.

En esencia, el procedimiento operativo consiste en colocar una probeta entre las mordazas de la máquina de ensayo a tracción, fijándola adecuadamente en toda su anchura, y someterla a un esfuerzo longitudinal con velocidad de deformación constante hasta producir su rotura.

La máquina de ensayo a tracción debe estar provista de velocidad de deformación controlada y ser capaz de producir un aumento de longitud de la probeta uniforme con el tiempo. Las mordazas deben tener las dimensiones adecuadas para abarcar la anchura total de la muestra y disponer de los medios adecuados para evitar deslizamientos o que se produzcan daños a la probeta. El extensómetro debe dar una medida representativa de la deformación en toda la anchura de la probeta.

En la figura 16 se muestra un dinamómetro para la realización de este ensayo.

En la figura 17 se ve el detalle de las mordazas en el ensayo de una geomalla.

Se determina la carga máxima y alargamiento en ese punto en la dirección de fabricación y perpendicular a ésta, y a veces la carga y alargamiento en rotura.

En la tabla 1 figura una comparación entre los ensayos de tracción-deformación, según la norma europea y la ASTM, comparando las características, dimensiones, velocidad de ensayo y distancia entre mordazas, de cada uno de ellos. El

método de referencia, como se ha mencionado anteriormente, es el definido en la norma UNE-EN ISO 10319.



Figura 16. Dinamómetro para la determinación de la resistencia a tracción y alargamiento.

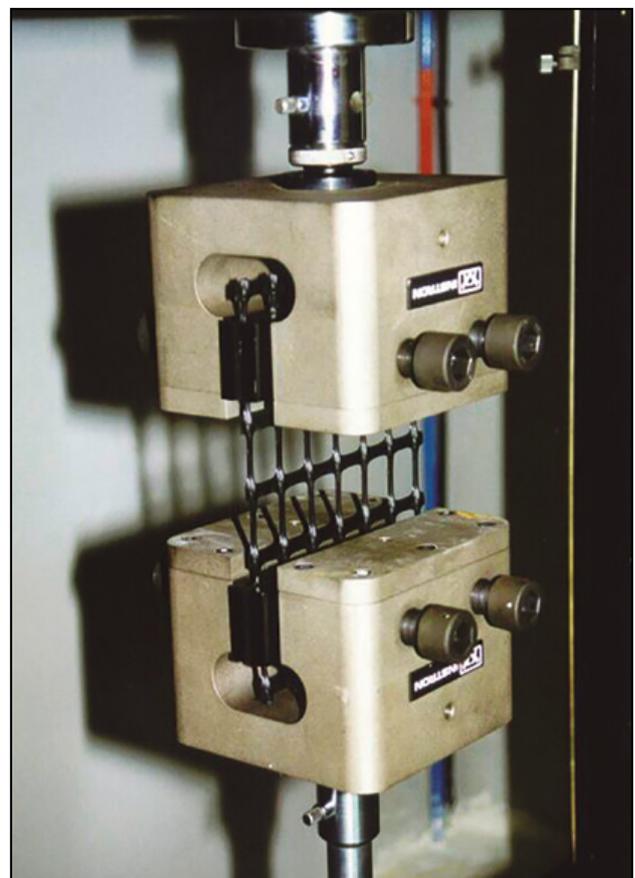


Figura 17. Detalle de las mordazas en el ensayo de una geomalla.

Tabla 1. Determinación de la resistencia a la tracción y alargamiento

Norma	Dimensiones (mm)		Velocidad de ensayo (mm/min)	Observaciones
	Ancho probeta	Distancia mordazas		
UNE en ISO 10319	200	100	7 – 13 % minuto	
ASTM-D 4595	200	100	10 ± 3% minuto	
ASTM-D 4632	150	75	300	Grab test

4.3.3. Determinación de la resistencia al punzonamiento estático

Mide la resistencia a cargas estáticas. El ensayo es adecuado para geotextiles no tejidos termosoldados y agujereados y no lo es para geotextiles tejidos de ancho de malla > 10 mm y para algunos productos relacionados.

Para la realización de este ensayo en casi todas las normas se recurre al empleo de un molde CBR modificado en el que la probeta a ensayar se dispone entre dos platos a modo de membrana de tambor. Solamente se aparta de este método la norma ASTM D-4833, que utiliza un aparato específico.

En la figura 18, se observa un dinamómetro con el dispositivo para la realización del ensayo a compresión.



Figura 18. Dinamómetro con el dispositivo para el ensayo de resistencia a punzonamiento estático.

En el ensayo se describe un método para la determinación de la resistencia al punzonamiento mediante la medida de la fuerza necesaria para llegar a perforar un geotextil o producto relacionado, por medio de un émbolo o pistón de cabeza plana acoplado al dinamómetro trabajando en modo compresión.

Cuando un geotextil o producto relacionado tiene una resistencia o módulo elevado, pueden surgir problemas en su fijación, deslizándose la probeta o produciéndose malas roturas, dando lugar a resultados con una gran dispersión. Para estos geosintéticos el ensayo no es aplicable.

Se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12236.

4.3.4. Determinación de la resistencia a la perforación por caída de cono

El ensayo describe un método para evaluar la resistencia de un geotextil o producto relacionado frente a cargas dinámicas.

Este ensayo se ha desarrollado inicialmente en los países nórdicos y Suiza.

Consiste en hacer impactar un cono y medir el diámetro de la perforación producida en el geotextil o producto relacionado, dispuesto entre dos platos a modo de membrana de tambor.

El cono posee una masa de 1.000 ± 1 g y se lanza desde una altura de 500 ± 1 mm, sobre la probeta de geotextil que está sujeta mediante dos platos encastrados de un diámetro libre de 200 mm. (figura 19) Posteriormente se procede a medir el diámetro del orificio producido en la muestra mediante un cono de medida con un peso de 600 ± 1 g. (figura 20).

Se determina de acuerdo con la norma UNE-EN 13433.



Figura 19. Ensayo de resistencia a la perforación por caída de cono.



Figura 20. Detalle del ensayo de resistencia a la perforación por caída de cono.

4.3.5. Eficacia de la protección

El ensayo determina la aportación de un geotextil de protección al sistema de impermeabilización.

Se determina de acuerdo con la norma UNE-EN13719

4.3.6. Determinación del comportamiento a la fluencia

En el ensayo a fluencia se mide la variación de la deformación del geotextil al someterlo a una determinada carga constante con el tiempo. Es fundamental para el dimensionamiento en el caso de que posea sollicitaciones resistentes. Mediante el ensayo se describe un método para la determinación de la relación carga-elongación en función del tiempo para geotextiles a una temperatura dada, mediante la aplicación de una carga constante.

El ensayo se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 13431.

4.4. Ensayos hidráulicos

4.4.1. Permeabilidad

Se refiere tanto a la permeabilidad normal al plano (permisividad) como a permeabilidad en el plano (transmisividad).

- **Permeabilidad perpendicular al plano del geotextil o producto relacionado. Permisividad**

En el ensayo se describe un procedimiento para determinar la permeabilidad al agua de los geotextiles o productos relacionados, en condiciones de altura piezométrica constante, y en flujo unidireccional perpendicular al plano del geotextil o producto relacionado sin que este se encuentre sometido a carga.

Se mide la velocidad del flujo de agua que pasa a través de una muestra de geotextil o producto relacionado, en el sentido normal al plano, y se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 11058.

- **Permeabilidad horizontal en el plano del geotextil o producto relacionado. Transmisividad**

La transmisividad es la capacidad de flujo de agua bajo carga constante que circula sobre el plano del geotextil o producto relacionado. La transmisividad sólo resulta apreciable en los geotextiles de gran espesor, además de en las georredes y geocompuestos de drenaje que permitan el desarrollo de líneas de corriente continuas paralelas a la dimensión mayor.

En el ensayo se describe un procedimiento para determinar la permeabilidad, bajo altura piezométrica constante, en el plano de un geotextil o producto relacionado (capacidad de flujo en su plano).

Se determina de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 12958.

4.4.2. Determinación de la medida de abertura característica

En el ensayo se calcula el diámetro medio de poros, como el tamaño medio de las partículas, para el cual un

determinado porcentaje de la fracción es retenido sobre el geotextil. Este diámetro es la abertura característica.

La abertura característica determina la capacidad de un geotextil o producto relacionado como filtro. Todos los métodos para la determinación de esta propiedad lo hacen mediante un tamizado, usando el geotextil o producto relacionado a ensayar como base del tamiz. Ahora bien, las normas se dividen en dos grandes grupos, los que realizan el tamizado en húmedo, utilizando una muestra de suelo graduada, y los que utilizan microesferas de vidrio debidamente graduadas en seco.

Este hecho produce una gran polémica, ya que los métodos difieren sensiblemente. Entre los que aplican el método del tamizado de un suelo en húmedo está el del Franzius Institut de Hannover, que el Comité Europeo de Normalización lo ha tomado de referencia en la Norma europea EN.

Por el contrario entre las que utilizan las microesferas de vidrio en seco, están la Norma ASTM y la del Cuerpo de Ingenieros de US Corps de EE.UU.

- **Método de tamizado en húmedo**

Consiste en introducir una fracción de suelo normalizado en un tamiz que dispone de una corriente de agua.

La probeta de geotextil o producto relacionado a ensayar se coloca en el tamiz confinado entre la parte inferior y superior del recipiente de lavado en el aparato de tamizado automático. A continuación se dispone el suelo tipo sobre la probeta, se regula la duración de la pulverización de agua y la amplitud de las oscilaciones. A partir de la fracción retenida y la que pasa, se determina el diámetro eficaz de los poros.

Este es el procedimiento descrito en la norma UNE-EN ISO 12956.

- **Método de tamizado en seco de microesferas de vidrio**

Consiste en cuantificar la cantidad de microesferas de vidrio retenidas por el geotextil o producto relacionado durante un período de tiempo preestablecido.

El agitador es similar al del ensayo en húmedo, pero sin el dispositivo del regado con agua.

Se determina el tamaño aparente del poro para el cual el 90 % de las esferas queda retenido por el geotextil o producto relacionado.

4.5. Ensayos de durabilidad

Por durabilidad se entiende la capacidad de mantener sus propiedades con el tiempo. En realidad, la durabilidad puede ser, según los casos, uno de los factores determinantes a la hora del diseño de una obra con un geotextil o producto relacionado. Hay que pensar que cuando el geotextil o producto relacionado va a estar expuesto a un determinado ambiente, éste condiciona la durabilidad de aquel. Por tanto, la evaluación de la durabilidad será un parámetro a tener en cuenta en casi todas las aplicaciones. Así pues, independientemente de que para una aplicación especial de un geotextil o producto relacionado, hubiera que diseñar

un ensayo de comportamiento específico, las normas de ensayo para evaluar la durabilidad, permiten la comparación entre diferentes geotextiles o productos relacionados.

Generalmente se evalúa el comportamiento del geosintético frente a diferentes aspectos, así, por tanto, se consideran las degradaciones térmicas, químicas, hidrolíticas, biológicas y debidas a la exposición al sol.

La durabilidad del geosintético se evalúa como el porcentaje de reducción de los valores de las propiedades iniciales, de acuerdo con la norma UNE-EN 12226, una vez que el geotextil o producto relacionado ha sido sometido a la acción de los agentes físicos, químicos y bacteriológicos a los que previsiblemente vaya a estar expuesto, de acuerdo con la norma respectiva.

Las propiedades que se evalúan son:

- Examen visual: probeta control y ensayada
- Determinación del cambio de dimensiones
- Determinación del cambio de peso
- Determinación de la resistencia a tracción y alargamiento en el punto de carga máxima residuales, es decir, el porcentaje de la resistencia a tracción en el punto de carga máxima una vez sometido el ensayo específico de durabilidad con respecto al inicial.

4.5.1. Degradación química. Resistencia a los líquidos

Se somete a los geotextiles o productos relacionados a diferentes medios: ácido sulfúrico y cal hidratada a una temperatura determinada.

Su comportamiento se estudia, como ya se ha comentado, mediante la variación de la carga de rotura y el alargamiento que sufren las probetas al someterlas a las mencionadas disoluciones.

La norma que describe el ensayo es la UNE-EN ISO 12960.

4.5.2. Degradación de hidrólisis

Todos los materiales poliméricos tienden a humedecerse con el tiempo. Las poliamidas son las más susceptibles, seguidas de los poliésteres y en menor medida las poliolefinas.

Si ese medio húmedo posee un pH ácido o alcalino, los efectos pueden ir acompañados de reacciones perjudiciales. Así para pH altos se produce la degradación del políester, mientras que para pH bajos lo hace la poliamida.

Las pruebas se llevan a cabo a temperaturas de 20 y 50 °C para cada pH comparándose con muestras a pH 7 (patrones).

El ensayo se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN 12447.

4.5.3. Determinación de la resistencia microbiológica mediante un ensayo de enterramiento en el suelo

Los ensayos suelen durar entre 4 y 9 meses. El ensayo consiste en la exposición de las muestras a un suelo microbiológicamente activo.

Sus resultados se evalúan por inspección visual y microscópica, así como mediante los cambios de dimensiones y propiedades de tracción.

El ensayo se realiza mediante la norma UNE-EN 12225.

4.5.4. Resistencia a la oxidación

El ensayo es aplicable a los geotextiles o productos relacionados fabricados con poliolefinas.

Los geosintéticos se someten a una temperatura elevada, 110 °C para polipropileno y 100 °C para polietileno, y un determinado tiempo, mayor o menor, según cumpla la función de refuerzo u otras.

El ensayo se realiza de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 13438.

4.5.5. Resistencia a la intemperie

La radiación del sol es una causa importante de la degradación de todos los materiales orgánicos, incluyendo los polímeros. La energía del sol se puede dividir en tres partes: zona IR (longitud de onda >760 nm), zona visible (longitud de onda entre 400 y 760 nm), zona UV (longitud de onda <400 nm). La más dañina es la radiación UV, concretamente la zona comprendida entre los 400-315 nm produce algunos daños y la comprendida entre 315-280 nm daños muy importantes.

En los ensayos de laboratorio (figura 21) se compara con las peores condiciones, es decir, condiciones solares máximas. Hay dos tipos de normas:

- Ensayos en los cuales el geotextil o producto relacionado se somete a ciclos alternativos de luz y luz-agua.
- Ensayos donde el geotextil o producto relacionado está expuesto a una radiación UV, a una determinada humedad relativa.



Figura 21. Ensayo de resistencia a la intemperie.

Por lo que respecta al CEN (Comité Europeo de Normalización), el TC-189 ha elaborado el procedimiento recogido en la Norma UNE-EN 12224, que es el método de referencia.

5. APLICACIONES DE GEOTEXTILES Y PRODUCTOS RELACIONADOS

Desde octubre de 2002, los geotextiles y productos relacionados deben estar en posesión del marcado CE para ser comercializados legalmente en los países de la Unión Europea, y poder ser utilizados en obra.

Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad existen diez normas europeas armonizadas, en las que se recogen los requisitos que deben cumplir los geotextiles y productos relacionados para las diferentes aplicaciones.

Estas normas permiten a los fabricantes describir los geotextiles y productos relacionados mediante los valores declarados para las características esenciales correspondientes al uso previsto obtenidos en los ensayos efectuados siguiendo el método especificado, de acuerdo con lo establecido y de esta manera poder marcar sus productos con el marcado CE para las correspondientes aplicaciones.

Estos valores, expresados en forma de valores medios y valor (es) de tolerancia correspondientes al nivel de confianza del 95%, deben ser declarados obligatoriamente y entregados a los clientes en el momento del suministro del material, mediante la declaración de prestaciones del marcado CE.

Hay que destacar, no obstante, que estas normas no especifican valores, los cuales vendrán dados por el diseño y la experiencia, siendo por tanto, responsabilidad del autor del proyecto.

6. GEOTEXTILES Y PRODUCTOS RELACIONADOS A UTILIZAR EN LA IMPERMEABILIZACIÓN DE BALSAS

6.1. Geotextiles

Los geotextiles que se emplean en los sistemas de impermeabilización de balsas son geotextiles no tejidos, es decir, constituidos por fibras, filamentos u otros elementos orientados regular o aleatoriamente, unidos químicamente, mecánicamente o por medio de calor, o en combinación de ellos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, dentro del marco del Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (89/106/CEE) se han establecido diferentes normas armonizadas de obligado cumplimiento, que permiten a los fabricantes describir los geotextiles y productos relacionados mediante los valores declarados para las características correspondientes al uso previsto, obtenidos en los ensayos efectuados siguiendo el método especificado. Estas normas también incluyen los procedimientos para la evaluación de la conformidad y para el control de la producción en fábrica, y así de esta manera obtener el marcado CE. Una de estas normas armonizadas europeas es la norma UNE-EN 13254 y sus correspondientes modificaciones "Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de embalses y presas" que determina las características correspondientes para los geotextiles y productos relacionados, excluidas las barreras geosintéticas, utilizados en la construcción de embalses y presas, así como los métodos de ensayo apropiados para determinar estas características, pero sin asignarles un valor, el cual vendrá dado por el diseño y la experiencia. Por tanto, puede utilizarse también por los diseñadores, usuarios finales y otras partes interesadas para definir las funciones y las condiciones de utilización apropiadas.

Los geotextiles, en su aplicación dentro del sistema de impermeabilización de balsas, ejercerán 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 también, según el caso, en taludes, bajo la barrera geosintética.

6.1.1. Función de protección del sistema de impermeabilización

Las geomembranas o barreras geosintéticas del sistema de impermeabilización pueden ser perforadas durante su instalación y a lo largo de su vida útil. Este daño debe prevenirse mediante el empleo de un geotextil no tejido con función protección, correctamente diseñado, especificado, instalado y controlado, el cual además, va a servir también para:

- 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 la misma.

6.1.2. Función de filtración

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 geored o gecompuesto 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 conjuntamente con la función de separación.

Cuando se emplee un geotextil como filtro en el sistema de drenaje, se cumplirá el criterio hidráulico del filtro:

$K_g > 10 K_s$ para flujo unidireccional laminar

$K_g > 100 K_s$ para flujo alternativo o turbulento

Siendo K_g , la permeabilidad (cm/s) normal al plano del geotextil, según UNE-EN ISO 11058 y K_s , la permeabilidad (cm/s) del material a filtrar.

En la elección del geotextil de filtro se pondrá especial cuidado en el criterio de retención, determinado por la medida de abertura característica (O90), según UNE-EN ISO 12956, con el fin de evitar problemas de colmatación del propio geotextil.

6.1.2.1. Especificaciones

Como ya se ha mencionado en el apartado 6.1, en la norma UNE-EN 13254, no se establecen valores para las especificaciones requeridas.

Con objeto de asegurar una calidad adecuada en la construcción de las balsas para almacenamiento de agua, se elaboró el Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas. Este Manual fue realizado por encargo de la Dirección General del Agua del

Tabla 2. Valores mínimos absolutos a exigir a un geotextil de protección

Característica	Unidad	Método de ensayo	Valor mínimo absoluto ¹	
			Esesor GMB 2 mm	Esesor GMB 1,5 mm
Resistencia a la tracción ²	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 12	≥ 19
Alargamiento a carga máxima ³	%	UNE EN ISO 10319	50 - 100	50 - 100
Eficacia de la protección (300 kPa)	%	UNE EN 13719	≤ 2,20	≤ 2,20
Resistencia a la perforación dinámica	mm	UNE EN ISO 13433	≤ 30	≤ 24
Durabilidad	-	³ Anexo B UNE EN 13254	25 años A cubrir en 2 semanas	25 años A cubrir en 2 semanas

¹ Valor mínimo absoluto es el valor medio corregido por la tolerancia para un nivel de confianza del 95%.

² En el sentido de fabricación (L) y en el sentido perpendicular a la fabricación (T).

³ El geotextil de protección cumplirá con los parámetros de durabilidad contenidos en el anexo B de la norma UNE-EN 13254.

Tabla 3. Valores mínimos absolutos a exigir a un geotextil de filtro

Característica	Unidad	Norma	Valor mínimo absoluto ¹
Resistencia a la tracción ²	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 6
Resistencia a la perforación estática	N	UNE EN ISO 12236	≥ 1000
Resistencia a la perforación dinámica	Mm	UNE EN ISO 13433	≤ 40
Medida de abertura característica	µm	UNE EN ISO 12956	50-150
Permeabilidad al agua perpendicular al plano	mm/s	UNE EN ISO 11058	≥ 50
Durabilidad	-	³ Anexo B UNE EN 13254	25 años A cubrir en 2 semanas

¹ Valor mínimo absoluto es el valor medio corregido por la tolerancia para un nivel de confianza del 95%.

² En el sentido de fabricación (L) y en el sentido perpendicular a la fabricación (T).

³ El geotextil de protección cumplirá con los parámetros de durabilidad contenidos en el anexo B de la norma UNE-EN 13254.

entonces Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, mediante Convenio de colaboración, al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Asimismo colaboró el Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD) y una serie de especialistas a título individual.

El Manual está dirigido a los proyectistas de balsas y a los técnicos encargados de supervisar su construcción e impermeabilización. En el Manual se establecen los valores mínimos umbrales de las especificaciones recogidas en la norma armonizada UNE-EN 13254, para los geotextiles y productos relacionados a utilizar. Estos valores se establecieron en base a la experiencia de los miembros participante en su elaboración.

Los geotextiles que se utilizarán a estos efectos serán, de acuerdo con el anexo B de la norma UNE-EN 13254, geotextiles no tejidos de 100 % polímeros sintéticos vírgenes. Los geotextiles procedentes de materia prima reciclada o regenerada no serán de aplicación en ningún caso.

Las características requeridas al geotextil de protección se encuentran en la tabla 2.

Asimismo, las características requeridas al geotextil de filtración según la norma UNE-EN 13254 y los valores mínimos exigibles de acuerdo con el Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas a un geotextil con función de filtración y/o separación figuran en la tabla 3.

En cualquier caso, tanto el geotextil de protección como el de filtro deberá ser capaz de resistir a la intemperie hasta 2 semanas después de la instalación, evaluado mediante la norma UNE-EN 12224 (Resistencia a la intemperie), aunque se recomienda que quede expuesto el menor tiempo

posible. En aquellos casos en los que se prevea una exposición prolongada a la misma, en ningún caso superior a cuatro meses desde su entrada en obra, o un mes en exposición directa, se exigirá del fabricante una resistencia específica a la intemperie de acuerdo con la mencionado norma UNE-EN 12224 o bien, se adoptarán medidas especiales para su protección.

Resulta muy importante señalar que los valores citados en las tablas 2 y 3 son valores mínimos absolutos requeridos y se recomienda que, tanto el geotextil de protección como el geotextil de filtro, sean diseñados y especificados en función de las condiciones de contorno de la obra teniendo en cuenta, principalmente, la granulometría del terreno, la altura y la inclinación del talud del embalse y las características de la barrera geosintética a instalar.

7. GEORREDES. GEOCOMPUESTOS DE DRENAJE

Como ya se ha mencionado, dentro del marco del Reglamento de Productos de la Construcción (89/106/CEE), se han establecido diferentes normas que determinan las características correspondientes para los geotextiles y productos relacionados (excluidas las barreras geosintéticas) utilizados en diferentes aplicaciones, así como los métodos de ensayo apropiados para determinar estas características, pero sin asignarles un valor el cual vendrá dado por el diseño y la experiencia. Por tanto, la norma europea UNE-EN 13252 y su modificación recogida en la UNE-EN 13252/A1 "Geotextiles y productos relacionados: Requisitos para su uso en sistemas de drenaje", debe aplicarse en combinación con la norma UNE-EN 13254 y sus modificaciones "Geotextiles y productos

Tabla 4. Valores mínimos absolutos exigibles al geocompuesto de drenaje con un geotextil

Característica	Unidad	Norma	Valor mínimo absoluto ¹
Resistencia a la tracción ²	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 7
Capacidad de flujo de agua en el plano ³ i=1; 20 kPa (L) placas rígidas	m/s	UNE EN ISO 12958	0,7 x 10 ⁻³
Durabilidad	-	Anexo B UNE EN 13252	25 años A recubrir en 2 semanas

¹ Valor mínimo absoluto es el valor medio corregido por la tolerancia para un nivel de confianza del 95%.

² En el sentido de fabricación (L) y en el sentido perpendicular a la fabricación (T).

³ Los valores aportados deberán indicar el tipo de superficies que se han utilizado en contacto con el geocompuesto o con la georred de drenaje para el ensayo de permeabilidad en el plano según la norma UNE-EN ISO 12958.

Tabla 5. Valores mínimos absolutos exigibles al geocompuesto de drenaje con dos geotextiles

Característica	Unidad	Norma	Valor mínimo absoluto ¹
Resistencia a la tracción ²	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 13
Permeabilidad en el plano ³ i=1; 20 kPa (L) placas rígidas	m/s	UNE EN ISO 12958	0,3 x 10 ⁻³
Durabilidad	-	Anexo B UNE EN 13252	25 años A recubrir en 2 semanas

¹ Valor mínimo absoluto es el valor medio corregido por la tolerancia para un nivel de confianza del 95%.

² En el sentido de fabricación (L) y en el sentido perpendicular a la fabricación (T).

³ Los valores aportados deberán indicar el tipo de superficies que se han utilizado en contacto con el geocompuesto o con la georred de drenaje para el ensayo de permeabilidad en el plano según la norma UNE-EN ISO 12958.

Tabla 6. Valores mínimos absolutos exigibles a la georred de drenaje

Característica	Unidad	Norma	Valor mínimo absoluto ¹
Resistencia a la tracción ²	kN/m	UNE EN ISO 10319	≥ 2
Capacidad de flujo de agua en el plano ³ i=1; 20 kPa (L) placas rígidas	m ² /s	UNE EN ISO 12958	1,0 x 10 ⁻³
Durabilidad	-	Anexo B UNE EN 13252	25 años A recubrir en 2 semanas

¹ Valor mínimo absoluto es el valor medio corregido por la tolerancia para un nivel de confianza del 95%.

² En el sentido de fabricación (L) y en el sentido perpendicular a la fabricación (T).

³ Los valores aportados deberán indicar el tipo de superficies que se han utilizado en contacto con el geocompuesto o con la georred de drenaje para el ensayo de permeabilidad en el plano según la norma UNE-EN ISO 12958.

relacionados. Requisitos para su uso en la construcción de embalses y presas”.

Igualmente, puede utilizarse también por los diseñadores, usuarios finales y otras partes interesadas para definir las funciones y las condiciones de utilización que son apropiadas.

Los sistemas de drenaje pueden estar formados en obra por combinación de una georred de drenaje 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 una serie de 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 utilizan como drenaje de líquidos y, en ocasiones, de gases. Se colocan bajo el sistema de impermeabilización principalmente en los taludes de la balsa, aunque también

pueden sustituir a la capa granular en el fondo de la balsa siempre y cuando se justifique técnicamente, con un elevado factor de seguridad (recomendado ≥ 3) para la permeabilidad en el plano del producto frente al caudal estimado o calculado a evacuar. Además, se podrán utilizar como parte integrante del sistema de detección y control de fugas, si lo hubiera.

7.1. Especificaciones

Los geocompuestos drenantes, o bien la georred de drenaje y los geotextiles de filtro instalados independientemente, estarán compuestos al 100% por polímeros sintéticos vírgenes, de acuerdo con el anexo B de la norma UNE-EN 13252. Los materiales procedentes de materia prima reciclada o regenerada no serán de aplicación.

Las características requeridas al geocompuesto de drenaje según la norma UNE-EN 13252 y los valores mínimos exigibles de acuerdo con lo establecido en el Manual para el Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas, a un geocompuesto de drenaje figuran en las dos tablas 4 y 5 dependiendo del número de geotextiles de filtro que presente el geocompuesto.

Por otro lado, si el sistema de drenaje se forma in situ mediante superposición de una georred de drenaje y de un geotextil de filtro en una o ambas caras de dicha georred, las características a requerir al sistema de drenaje según la norma UNE-EN 13252 y los valores mínimos exigibles derivados de la experiencia a la georred y a los geotextiles de filtro figuran en la tabla 6.

El geotextil o geotextiles de filtro, en contacto con la georred de drenaje, presentarán las propiedades requeridas en la tabla 3.

Resulta muy importante señalar que los valores citados en las tablas 4, 5 y 6 son valores mínimos requeridos, y 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.

8. REALIZACIONES DE ESTRUCTURAS PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA EN MARRUECOS

De acuerdo con datos publicados por AQUASTAT, (Sistema de Información de la FAO sobre el agua y la agricultura) en 2011 y por la Agencia Andaluza de Promoción Exterior (EXTENDA) de 2014, los recursos hídricos renovables en Marruecos se sitúan en torno a los 29 km³/año para aguas de superficie y a 10 km³/año para aguas subterráneas.

Los recursos de superficie están repartidos de forma muy irregular, por el contrario las aguas subterráneas están distribuidas de forma más proporcionada.

Más allá de los recursos hídricos renovables que se explotan en la actualidad en Marruecos, se estima que, con una mejora de las condiciones técnicas y de los recursos económicos, se podrían explotar hasta 20,7 km³/año de aguas superficiales y 3 km³/año de aguas subterráneas más que en la actualidad. Esto denota que existe aún un importante margen de crecimiento en las infraestructuras relacionadas con la extracción y explotación de los recursos hídricos del país vecino.

En Marruecos el almacenamiento y transporte de agua se realiza gracias a una notable infraestructura de distribución que se basa en:

- 104 presas con una capacidad total de 16.904 millones de m³.
- 13 sistemas de transporte de agua entre cuencas, con un volumen de 2.700 millones de m³.
- Una importante red de pozos y captación de fuentes que movilizan 3.000 millones de m³ de aguas subterráneas.

En materia de gestión de los recursos hídricos, la Administración Pública marroquí, a través de la ONEP (*Office National de l'Eau Potable*) es la que fija las reglas generales de explotación y uso. Así mismo, la Administración Pública realiza el inventario y la planificación de la utilización de los recursos, decide la construcción de infraestructuras e interviene en el sistema de regadíos.

Además de la ONEP, existen otros siete organismos gestores de las cuencas hidrográficas de Marruecos.

Un hecho destacable en materia de gestión y distribución de agua en Marruecos es la apertura gradual que se viene haciendo en los últimos años al sector privado exterior, otorgando concesiones a empresas extranjeras. Un claro ejemplo es la concesión para la distribución de agua y electricidad del conglomerado urbano Rabat-Salé, gestionada por el grupo ibérico-marroquí conformado por las empresas Al-Borada (Marruecos), Pleiade y EDF Electricidade (Portugal) y Urbaser (España).

Respecto al regadío en Marruecos, este sólo representa un 16% de la superficie cultivada del país vecino. No obstante, la agricultura de regadío aporta un 45% del valor añadido agrícola y contribuye en un 75% a las exportaciones del sector.

Dentro del plan nacional de Desarrollo de Cuencas Hidrográficas, está el Programa de Embalses.

Las grandes obras hidráulicas juegan un rol clave en la economía del país. Contribuyen de manera decisiva al aprovisionamiento de agua potable, así como al riego y a la producción energética; permiten la protección contra las inundaciones de amplias zonas del territorio nacional y mejoran el medio ambiente y la calidad de las aguas. Estas obras constituyen igualmente los pilares de los proyectos de transferencia de agua entre las zonas húmedas y las deficitarias. El programa nacional de embalses lleva en marcha desde 1985 y se prevé su finalización en 2030. Tiene cobertura nacional y su principal objetivo es paliar la escasez de agua a través de la construcción de presas y embalses.

La figura 22 muestra la evolución del número de grandes presas y de la capacidad de almacenamiento de agua. Para 2030 se prevé la construcción de unas 1.000 infraestructuras hidráulicas.

En el Programa Nacional de lucha contra la desertización están las acciones de atenuación de los efectos de la sequía, como el desarrollo integral de zonas forestales y su perímetro, la creación de zonas verdes y pulmones en las zonas urbanas y sus inmediaciones, así como de promoción de la recolección de aguas pluviales y de energías renovables.

Dentro de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo, en enero de 2010 fue aprobado por el Comité de Seguimiento del Programa Operativo de Cooperación España Fronteras Exteriores (Programa POCTEFEX), el proyecto "Desarrollo integral (agrario, rural, medioambiental, cultural y turístico) en el ámbito de la Reserva de la Biosfera Intercontinental del Mediterráneo".

Por otro lado, se ha realizado una búsqueda bibliográfica de este tipo de estructuras destinadas al almacenamiento de agua ejecutadas en Marruecos.

Se han encontrado algunas realizaciones encargadas por el Ministerio de Agricultura de Marruecos, dentro de un programa de desarrollo en el año 2012, consistente en una serie de depósitos circulares y rectangulares de hormigón armado con capacidades de 500, 1.000, 2.000, 2.500 y 5.000 m³.

Como ejemplo de aplicación de geosintéticos se ha encontrado un proyecto de gestión del agua de escorrentía de precipitación en Figuig. Este proyecto consiste en la realización de una balsa de regulación de avenidas y

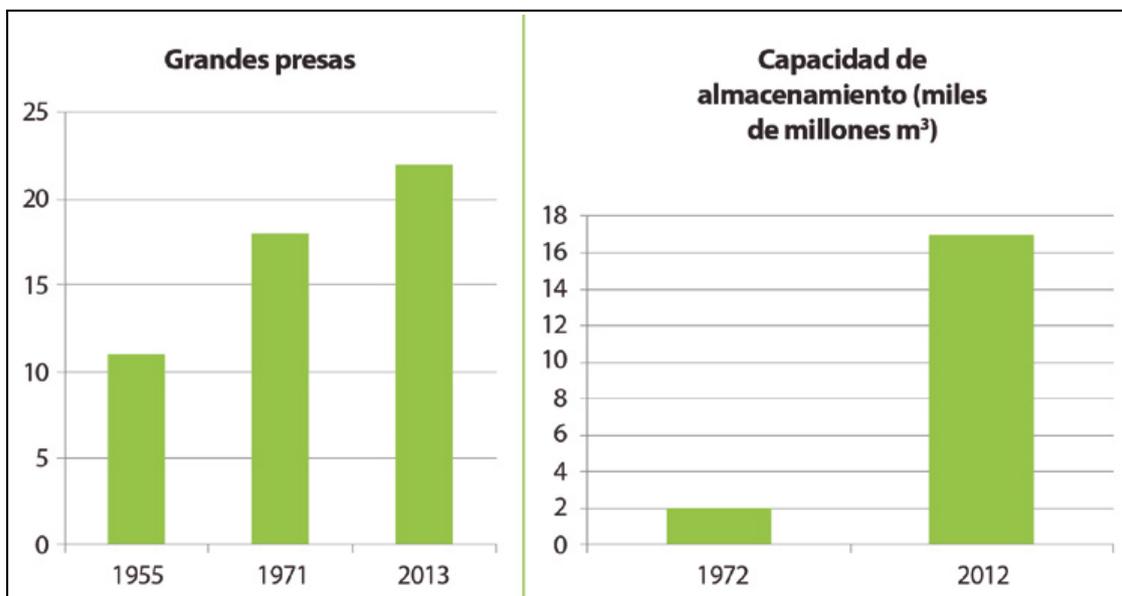


Figura 22. Evolución del número de grandes presas y de capacidad de almacenamiento de agua.

retención de agua en el Oued Bouchlikan de Figuiq, con una capacidad de regulación de 14.000 m³, cuyo llenado se realiza desde el cauce natural existente mediante una rampa de derivación a la balsa con cuenco de amortiguamiento final.

En el momento de la elaboración del proyecto el gobierno Marroquí estaba en proceso de elaboración de un Código de construcción para homogeneizar las normas y procedimientos en materia de seguridad de las construcciones.

En el apartado de la impermeabilización, se incluye una lámina de polietileno de alta densidad (PEAD), de 1,5 mm de espesor nominal mínimo, que se colocará en la balsa para asegurar su impermeabilidad, así como sus elementos auxiliares. La lámina deberá tener una densidad mínima de 95 g/cm³.

En cuanto a los geotextiles a utilizar, está prevista la instalación de un geotextil en el fondo de la balsa, y si se considera necesario, en alguna otra zona de la misma.

9. BIBLIOGRAFÍA

Leiro, A. (2009). Geosintéticos, Geotextiles y productos relacionados con geotextiles. *Rutas*, nº 132.

Leiro, A., Blanco, M. y Zaragoza, G. (2002). Performance of synthetic geomembranes used in waterproofing of Spanish reservoirs. En: *Geosynthetics 7th ICG*, Niza, septiembre 22-27, pp. 979-982.

Leiro, A. y Blanco, M. (1990). Los geotextiles como nuevos materiales orgánicos en la Obra Pública. *Monografías CEDEX*, M-17. Madrid (1990).

Koerner, R.M. (2012). *Designing with geosynthetics*. (6th Edition).

Leiro, A. (2012). Geotextiles y productos relacionados. Naturaleza, características y metodología experimental. Curso de introducción a los geosintéticos. Utilización y criterios de diseño. En: *5th European Geosynthetics Congress EuroGeo5*, Valencia, septiembre 16-19.

Blanco, M., Castillo, F., García, F., Mateo, B., Solera, R., García, C., de Cea, J.C. y García-Wolfrum, S. (2012). Monitoring of hydraulic geomembranes used for waterproofing in hydraulic

Works. En: *5th European Geosynthetics Congress EuroGeo5*. Valencia, septiembre 16-19. vol. 1, pp. 274-275.

Soriano, J., Blanco, M., García, M. A., Leiro, A., Mateo, B., Burgos, J., Aguiar, E. y Rubín De Célix, M. (2012). Optical and scanning electron microscopy as advanced analysis methods to determine the condition of synthetic geomembranes. En: *5th European Geosynthetics Congress EuroGeo5*, Valencia, septiembre 16-19, vol. 1, pp. 475-482.

Leiro, A. (2005). Materiales geosintéticos. *I simposio nacional sobre Proyecto, construcción e impermeabilización de balsas*. Sevilla.

Aguiar, E., Vara, T., Blanco, M., Noval, A.M., Mateo, B. y Leiro, A. (2013). Nuevos materiales poliméricos para su utilización como geomembranas en la impermeabilización de obras hidráulicas. En: *Congreso Geosintec Iberia 1*. Sevilla.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2010). *Manual de Diseño, Construcción, Explotación y Mantenimiento de Balsas*.

UNE EN ISO 10318: (2006). Geosintéticos. Términos y definiciones.

UNE EN 13254: (2001). Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para uso en la construcción de embalses y presas.

UNE EN 13252: (2001). Geotextiles y productos relacionados. Requisitos para uso en sistemas de drenaje.

ReTSE. (2011). *Estudio socioeconómico y de identificación de oportunidades de cooperación empresarial en la región del Oriental de Marruecos*. Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA. Consejería de Economía, innovación y ciencia.

Escolano, Laura. Nota sectorial medio ambiente. Extenda. Agencia Andaluza de Promoción Exterior. Oficina de Promoción de Negocios de Casablanca. Bureau de promotion des Affaires de l'Andalousie au Maroc.

Bellera, M. (2012). *Mitigación del riesgo de inundaciones en Figuiq (Marruecos). Proyecto constructivo de una balsa de almacenamiento y estudio de la capacidad hidráulica del puente sobre el río Khebir*. Proyecto de tesina de especialidad. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. UPC Barcelona Tech.

Lafuente, C. (2012). *Estudio de inundabilidad de Figuiq. Proyecto de gestión de la escorrentía superficial*. Pliego de prescripciones técnicas.

Fuentes de información sobre actuaciones en Marruecos

- Invest in Morocco. Disponible en [http:// www.invest.gov.ma](http://www.invest.gov.ma)
- KOMPASS. Disponible en [http:// www.kompass.com](http://www.kompass.com)
- Programa de apoyo al acuerdo de asociación: Marruecos – Unión Europea. Disponible en [http:// www.maec.gov.ma/paaa/index.html](http://www.maec.gov.ma/paaa/index.html)
- Ministerio Marroquí de la Economía y las Finanzas. Disponible en <http://www.finances.gov.ma>
- Gobierno de Marruecos. Disponible en <http://www.maroc.ma/PortailInst/Es/>
- Centro Regional de Inversiones de Agadir (CRI). Disponible en <http://www.cri-agadir.ma/>
- Consejo Regional de Souss Massa Drâa. Disponible en <http://www.regionsmd.com/>
- Haut-Commissariat au plan. Disponible en <http://www.hcp.ma/>
- Secretaría de Agua y Medio Ambiente. Disponible en <http://www.water.gov.ma/>
- Banco Africano de Desarrollo. Disponible en <http://www.afdb.org>
- CNCE. Disponible en <http://www.cnce.org.ma/>

- Ministerio Marroquí de Medio Ambiente. Disponible en <http://www.minenv.gov.ma/>
- Alto Comisariado para el agua y los bosques. Disponible en [http:// www.eauxetforets.gov.ma/](http://www.eauxetforets.gov.ma/)
- Ministerio del Interior Marroquí. Disponible en <http://www.maroc.ma/fr/actualites>
- ÁfricaInfomarket. Disponible en [http:// www.africainfo-market.org](http://www.africainfo-market.org)
- Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées. Ministère de L'Intérieur. Direction Générale des Collectivités Locales. Direction de Léau et de L'assainissement.

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa Operativo de Cooperación Transfronteriza España-Fronteras Exteriores, POCTEFEX, de la Comisión Europea (Fondos FEDER) la financiación del proyecto TTIGEM, en cuyos trabajos se enmarca este artículo. Igualmente agradecen la colaboración de SECEGSA, entidad que junto al CEDEX ha desarrollado el proyecto TTIGEM.



Caracterización geotécnica de materiales volcánicos de baja densidad. M-124

Autores: María Margarita Conde Palacios

Serie Monografías: M-124

ISBN: 978-84-7790-552-3

Año: 2014

P.V.P.: 30 €

Los materiales volcánicos canarios poseen, en general, unas características de resistencia no lineales y deformabilidad peculiares y poco conocidas, para cuya valoración es necesario realizar ensayos un tanto sofisticados e interpretarlos a la luz de nuevas teorías, diferentes a las de otros tipos de suelos y rocas. Esto tiene una especial relevancia en los piroclastos de baja densidad, cuya calidad geotécnica suele ser mediocre, ya que se encuentran a medio camino entre los “suelos duros” y las “rocas blandas”.

Debido a ello, con estos materiales se plantean unos problemas específicos en cuanto a posibles colapsos o roturas bruscas, que se producen de forma repentina, sin unas deformaciones previas significativas que sirvan de aviso, así como, en cuanto a la estimación de los empujes que ejercen sobre muros, las cargas admisibles en cimentación de estructuras sobre ellos y en la estabilidad de los taludes formados por los mismos, lo cual tiene una incidencia relevante en el ámbito de la obra civil y la edificación en la comunidad Canaria. Por ello existe un gran interés por disponer de un marco teórico y práctico que describa y permita estimar las propiedades de resistencia y deformabilidad de los piroclastos canarios.

El objetivo principal de este trabajo es avanzar en el conocimiento del comportamiento esfuerzo-deformacional de los piroclastos de baja densidad, determinando los factores más influyentes en el mismo, como su estructura o alteración. Se ha prestado especial atención a examinar aspectos que se consideran primordiales tales como: macroporosidad (tamaño y morfología de los poros, tamaño relativo en relación al de las partículas, ...), alteración de dichas partículas o relleno parcial o total de los macroporos en materiales alterados por depósitos de cristales o partículas debido a la circulación de fluidos.

Esta publicación pretende obtener:

1. Un criterio de rotura de estos materiales que, en función de unos pocos parámetros, permita estimar las tensiones máximas aplicables en los mismos,
2. Una clasificación geotécnica de los principales tipos de piroclastos de baja densidad, que permita definir un tipo de comportamiento y unos valores o rangos de valores típicos de estos parámetros para cada grupo definido.
3. Una mayor cantidad de datos de ensayos de los materiales volcánicos de baja densidad, con el fin de mejorar las diferentes correlaciones obtenidas en estudios anteriores y tratar de obtener otras de igual importancia en la obra civil.