

# **PROYECTO GENERAL DE DESMANTELAMIENTO DE LA PLANTA QUERCUS DE FABRICACIÓN DE CONCENTRADOS DE URANIO (FASE I)**

SAELICES EL CHICO (SALAMANCA)



**ANEXO I – PROYECTO CONSTRUCTIVO DE LA EJECUCIÓN DEL RECINTO DE  
CONFINAMIENTO Y EL DESMANTELAMIENTO DE LA ERA DE LIXIVIACIÓN  
ESTÁTICA DE LA PLANTA QUERCUS**

**ANEJO 4 – JUSTIFICACIÓN DE CAPAS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y SELLADO**

JULIO-2024



## **ANEJO 4**

### **JUSTIFICACIÓN DE CAPAS DE IMPERMEABILIZACIÓN Y SELLADO**



## ÍNDICE

<b>A.4.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>A.4.2. SECCIÓN TIPO DE IMPERMEABILIZACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>A.4.3.JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA MINERAL IMPERMEABLE.....</b>	<b>12</b>
<b>A.4.4. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA DE IMPERMEABILIZACIÓN ARTIFICIAL .....</b>	<b>14</b>
<b>A.4.5. JUSTIFICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES DE PROTECCIÓN Y FILTRO.....</b>	<b>43</b>
<b>A.4.6. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA DE DRENAJE.....</b>	<b>50</b>
<b>A.4.7. COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD INTERNA DE LOS MATERIALES GEOSINTÉTICOS EN TALUDES.....</b>	<b>52</b>



#### **A.4.1. INTRODUCCIÓN**

En este anexo se lleva a cabo los cálculos necesarios para la correcta justificación del diseño de las capas de impermeabilización y sellado del recinto de confinamiento y de la remodelación in situ de la era de lixiviación estática de la Planta Quercus, en Saelices el Chico (Salamanca).

En los siguientes apartados se analizan los aspectos relacionados con las capas de impermeabilización a colocar:

- Secciones de impermeabilización del vaso del recinto de confinamiento y de sellado de la era de lixiviación.
- Justificación de la capa de arcosas
- Justificación de la lámina de Polietileno de Alta Densidad
- Justificación de geotextiles de protección y filtro
- Justificación de la capa de drenaje de pluviales infiltradas
- Comprobación de la estabilidad del conjunto de geosintéticos en el talud.



#### **A.4.2. SECCIÓN TIPO DE IMPERMEABILIZACIÓN**

Las capas de cubierta que se usan habitualmente en el sellado de depósitos de residuos tienen como objetivos fundamentales evitar la difusión de los contaminantes y minimizar la percolación del agua pluvial y prevenir que esta alcance los residuos y pueda producir lixiviados. En el caso de residuos radiológicos, a este objetivo se le suma el de evitar la exhalación de radón a través de las barreras de confinamiento.

*The U. S. Nuclear Regulatory Commission. (NRC) en la NUREG -1620 Rev.1 Standard Review Plan for the Review of a Reclamation Plan for Mill Tailings Sites Under Title II of the Uranium Mill Tailings Radiation Control Act of 1978* establece los criterios y procedimientos necesarios para el diseño de capas de cubierta, entre otros, con objeto de minimizar los efectos de los residuos derivados de los procesos de concentración de uranio.

También, en el documento *EP2006-0667, Appendix B, Cover Material Information*, realizado por *Los Alamos National Laboratory*, se describe las capas de cubierta preceptivas para la clausura de residuos, incluyendo los que contengan residuos radiactivos, y la orientación de su diseño según Environmental Protection Agency (EPA 1991).

De acuerdo a lo anterior, los residuos se sellarán incorporando las siguientes capas en el perfil de la cubierta:

1. Capa barrera compuesta. Consta de una geomembrana de baja conductividad hidráulica (GM) y de una capa de tierra. Esta es la primera capa que se coloca sobre los materiales residuales. Consiste en una capa de 60 cm de suelo compactado natural o modificado con la máxima conductividad hidráulica saturada en contacto íntimo con una geomembrana sintética superpuesta de 0.5 mm de espesor mínimo. La función de esta capa barrera compuesta es limitar la circulación de la humedad hacia los residuos situados más abajo.



2. Capa de drenaje. Consiste en una capa mínima de 30 cm de material natural drenante, o una capa de material geosintético con características equivalentes. Esta capa existe directamente sobre la capa de barrera compuesta. El propósito de la capa de drenaje es minimizar el tiempo que el agua infiltrada está en contacto con la capa barrera y por lo tanto, disminuir la posibilidad de que el agua alcance los residuos.
3. Capa de vegetación. Una capa superior con vegetación (o una superficie superior blindada) y un mínimo de 60 cm del suelo clasificado en una pendiente entre 3% y 5%. Esta capa deberá ser capaz de sostener las plantas herbáceas y arbustos, tener una adecuada capacidad de retención de agua y ser lo suficientemente profunda para compensar las pérdidas esperadas por la erosión a largo plazo, así como proteger la capa de barrera del suelo subyacente de daños causados por ciclos de congelación/descongelación. Esta capa se sitúa en la parte superior de la cubierta del vertedero.
4. Capas opcionales. En el diseño del sellado de los residuos se pueden considerar capas opcionales destinadas a la ventilación de gas, barrera de Radón (la capa de arcilla compactada puede servir como barrera del Rn) y las capas de biointrusión (la capa de drenaje puede servir para evitar la intrusión de raíces y animales excavadores hacia la barrera impermeable).

Para la determinación de la secuencia de las capas de materiales naturales y elementos geosintéticos necesarios para la impermeabilización del recinto de confinamiento y el sellado de la Era de Lixiviación Estática de la Planta Quercus se han tenido en cuenta las recomendaciones anteriores de la bibliografía de EE. UU., así como la práctica habitual para el sellado de depósitos de residuos en España. En la siguiente *Figura A.4.1.* se adjunta la sección recomendada por *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*.

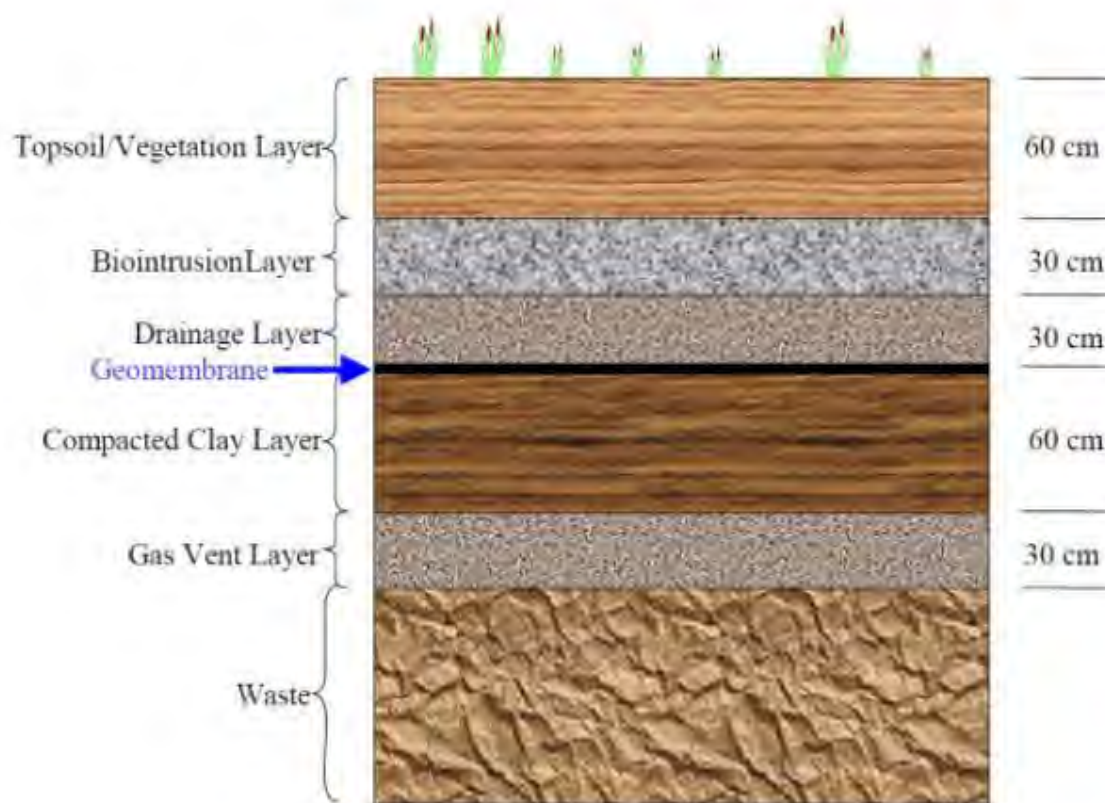


Figura A.4.1.- Sección tipo recomendada en RCRA Subtitle C (U.S. Environmental Protection Agency - EPA 1991)

A continuación se presenta la sección tipo, en orden de abajo a arriba, que se aconseja para el tipo de residuo similar al que está depositado en la Era de Lixiviación en los casos de construcción del vaso de vertido y el sellado del conjunto.

Sección tipo de la impermeabilización del recinto de confinamiento (zona de ampliación de la base de la Era de Lixiviación Estática)

- Capa de impermeabilización natural.
- Geotextil de protección.
- Capa de impermeabilización artificial.
- Geotextil de protección.
- Capa de rodadura de la maquinaria y de apoyo.



#### Sección de sellado del recinto de confinamiento

- Capa de regulación.
- Geotextil de protección.
- Capa de impermeabilización artificial.
- Geotextil de protección.
- Minerales marginales agotados de la Era.

#### Sección tipo del sellado de la era de lixiviación

- Capa de regularización y estabilización, si es necesario.
- Capa de impermeabilización natural.
- Capa de impermeabilización artificial.
- Protección superior e inferior de la capa anterior, si es necesario.
- Capa de captación y drenaje de pluviales.
- Geotextil de filtro superior de la capa anterior, si es necesario.
- Capa de revegetación.

Según estas secciones tipo recomendadas, a continuación se describen las características básicas de los diferentes componentes de la barrera impermeable en cada una de éstas:

#### Barrera impermeable para la construcción del vaso del recinto de confinamiento y ampliación de la era de lixiviación

Está compuesta por las siguientes capas de impermeabilización, ordenadas de abajo a arriba:

- Capa mineral impermeable de 60 cm de espesor, formadas por arcosas seleccionadas de los préstamos abiertos dentro del emplazamiento minero, que han sido utilizadas en los





proyectos de restauración de los huecos mineros y de las eras Elefante, ejecutadas en 2 tongadas de 30 cm de espesor, y debidamente compactadas y humectadas para conseguir la mínima permeabilidad.

- Capa de impermeabilización artificial, constituida por geomembranas de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor. En taludes se instalan geomembranas con las dos superficies texturizadas para aumentar el rozamiento de estas con los elementos situados superior e inferiormente.
- Capa de protección superior e inferior a la capa de impermeabilización artificial, compuesta por sendos geotextiles de polipropileno de 300 g/m<sup>2</sup>.
- Capa de rodadura de la maquinaria y de apoyo de los residuos, formada por una capa de 40 cm de espesor de suelo arenoso y granular. En contacto con la capa de impermeabilización artificial se deberá colocar una capa de material fino-arenoso, ya que si se aplicara el material granular sobre los materiales geosintéticos se podrían deteriorar. Según lo anterior, la capa de rodadura constará de un nivel de 20 cm de suelo arenoso, que podría ser arcosa, y otro nivel de 20 cm de material granular con la función de aportar propiedades mecánicas al suelo, que podría ser raña.

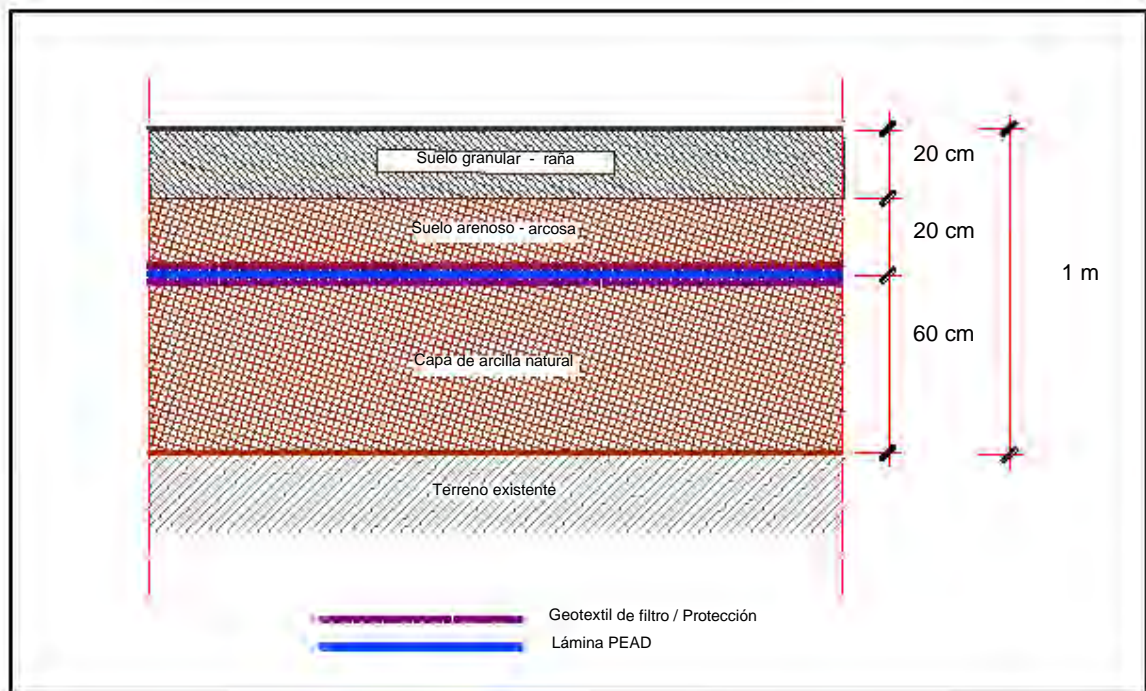


Figura A.4.2.- Sección tipo de la barrera impermeable para el vaso del recinto de confinamiento

#### Barrera impermeable para el sellado del Recinto de Confinamiento

Está compuesta por las siguientes capas de sellado, ordenadas de abajo a arriba:

- Capa de regulación, compuesta por materiales arenosos de grano fino exentos de piedra o elementos con aristas cortantes o punzantes.
- Capa de impermeabilización artificial, constituida por geomembranas de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor, iguales a las que se instalarán en la base del propio recinto.
- Capa de protección superior e inferior a la capa de impermeabilización, compuesta por sendos geotextiles de polipropileno de 300 g/m<sup>2</sup>.



### Barrera impermeable para el sellado de la Era de Lixiviación

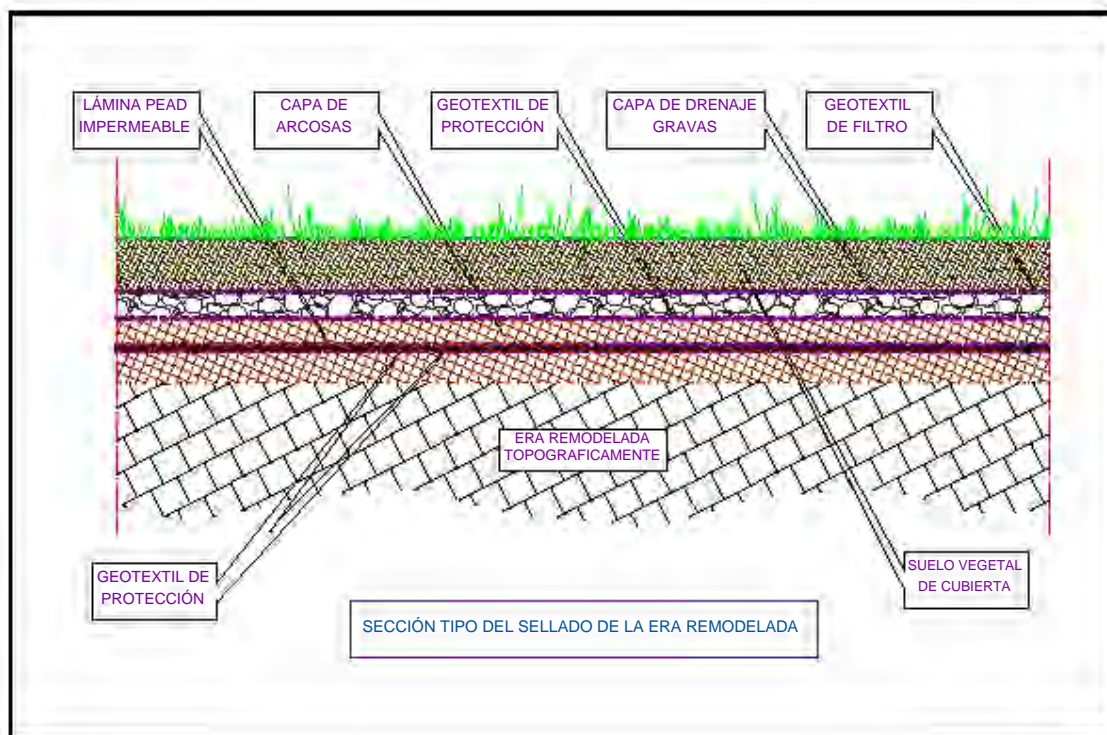
En el sellado de la Era de Lixiviación se aplicará una variante a la sección tipo recomendada que haga posible la ejecución de las capas sin dañar la geomembrana de impermeabilización artificial. En síntesis, se dividirá la capa de arcosas en 2 subcapas de 30 cm situadas por encima y por debajo de la capa de impermeabilización artificial, formada por materiales geosintéticos, para hacer posible la colocación de la siguiente capa de gravas sin deteriorar éstos.

A continuación se describe la composición las capas de sellado, ordenadas de abajo a arriba:

- Capa de impermeabilización natural y artificial, compuesta por las siguientes subcapas:
  - ❖ Capa de 30 cm de arcosas seleccionadas de los préstamos del emplazamiento minero, debidamente humectadas y compactadas para conseguir la mínima permeabilidad.
  - ❖ Geotextil de polipropileno de 300 g/m<sup>2</sup>, de protección inferior a la geomembrana.
  - ❖ Capa de impermeabilización artificial, constituida por geomembrana de polietileno de alta densidad de 2 mm de espesor. En taludes se instalan geomembranas con las dos superficies texturizadas para aumentar el rozamiento de estas con los elementos situados superior e inferiormente.
  - ❖ Geotextil de polipropileno de 300 g/m<sup>2</sup>, de protección superior a la geomembrana.
  - ❖ Capa de arcosas de 30 cm de espesor, de iguales características a la primera capa.

- ❖ Capa de protección superior de la 2ª capa de arcosas, compuesta por un geotextil de polipropileno de 300 g/m².

- Capa de captación y drenaje de pluviales de 30 cm de espesor, formada por un material granular drenante. Esta capa cumple también la función secundaria de protección superior de la capa de impermeabilización.
- Capa superior de filtro, formada por un geotextil de polipropileno de 150 g/m<sup>2</sup> que evita la colmatación por finos de la capa granular de drenaje.
- Capa de cubierta vegetal de 60 cm de espesor, formada por tierra (material tipo raña) procedente de préstamos situados en las instalaciones mineras.



**Figura A.4.3.- Sección tipo de la barrera impermeable para el sellado de la Era**

En los siguientes apartados se describen mas extensamente cada una de las distintas capas de impermeabilización del vaso del recinto de confinamiento y de sellado de la Era de



Lixiviación. También se detallarán convenientemente las características que deben cumplir los materiales para desempeñar su función correctamente, así como se justificarán los cálculos para dimensionar los espesores y resistencias necesarios.

#### **A.4.3. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA MINERAL IMPERMEABLE**

La capa mineral impermeable utilizada para el sellado de depósitos de residuos es comúnmente la encargada de evitar la entrada de aguas pluviales al interior del mismo, así como para evitar la salida de lixiviados contaminantes del medio al exterior.

Esta capa mineral puede ser natural, también llamada barrera geológica, formada únicamente por materiales impermeables naturales, como son las arcillas.

En el caso de la remodelación de la Era de Lixiviación y la construcción del vaso del recinto de confinamiento, entre los materiales naturales situados en un entorno amplio alrededor de éste se pueden encontrar materiales arcillosos naturales que presentan una permeabilidad que puede llegar hasta  $K = 0,11 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ . Por otro lado, una capa de estas arcosas de 0,6 m de espesor, con la humedad y compactación necesarias para alcanzar la mínima permeabilidad posible, se pueden colocar en el talud del 11,3° (20%) de inclinación que se ha diseñado.

Con estas características, la capa mineral de impermeabilización que se colocará tanto para la impermeabilización del vaso del recinto de confinamiento, como para el sellado de la era

$$E_{\text{arcosa}} / K_{\text{arcosa}} = \text{tiempo}_{0,6 \text{ m}}$$

$$0,6 \text{ m} / 1,1 \times 10^{-7} \text{ m/s} = 0,55 \times 10^7 \text{ s} = 63,7 \text{ días}$$



De lo expuesto anteriormente se extrae la conclusión de que una capa de 0,6 m de espesor es atravesada por una columna de agua en 63,7 días. Dado que la capa de drenaje situada sobre la capa de arcosas presenta un coeficiente de permeabilidad mínimo de  $K \leq 1,0 \times 10^{-4}$  m/s, superior en al menos tres órdenes de magnitud al de las arcosas, ésta no permite la estancia de la columna de agua tan elevado número de días sobre la capa de arcosas.

Las características de estas arcosas estarán comprendidas entre el siguiente intervalo de valores:

<b>Ensayo Proctor Normal:</b>	
• Densidad máxima (t/m <sup>3</sup> )	1,70 a 2
<b>Ensayo Triaxial:</b>	
• Ángulo de rozamiento interno (°)	19° a 45°
• Cohesión efectiva (Kg./cm <sup>2</sup> )	0,3 a 0,6
<b>Granulometría</b>	
• Finos que pasan por tamiz ASTM-200 (%)	15 a 43
<b>Otros</b>	
• Índice de plasticidad	13 a 26
• Coeficiente de permeabilidad (cm./sg)	$1,1 \times 10^{-5}$ a $6,2 \times 10^{-10}$

**Tabla A.4.1 Características de las arcosas**



#### **A.4.4. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA DE IMPERMEABILIZACIÓN ARTIFICIAL**

En general, hay que indicar que la colocación de materiales geosintéticos artificiales en la multicapa de protección de la capa de sellado de la era tiene como objeto reforzar la acción de la capa mineral impermeable, constituida por materiales naturales (arcosas, gravas y rañas), sobre todo los primeros años, y que no se han tenido en cuenta para los cálculos de estabilidad de las capas de sellado de la era.

En relación con los materiales artificiales, utilizados comúnmente en obra civil, y que se aplicarán en la impermeabilización de la era de lixiviación estática, puede señalarse que los fabricantes consideran que la durabilidad de las láminas de PEAD se extiende a 100 años, en base a cálculos en laboratorio, aunque no se incluya en las fichas técnicas del producto. En esos estudios se han usado métodos de ensayo destructivos de muy corta duración, determinando el fallo del material, justificando dicha duración, considerando como "vida útil" el tiempo necesario para que pierdan su función principal de impermeabilidad.

Asimismo, otros estudios realizados sobre las primeras geomembranas instaladas en España en balsas de recogida de aguas, hace más de 30 años, confirman que no han experimentado cambios notables.

Al final de este apartado se adjunta información relativa a la durabilidad de las geomembranas PEAD, como son las fichas técnicas de geomembranas lisas y texturizadas, donde se especifica que superan el ensayo Resistencia Stress Cracking, SP-NTCL, según método ASTM D 5397, con más de 3000 h. Además se adjunta un informe realizado por el fabricante ATARFIL denominado "Informe para los 100 años de durabilidad para geomembranas Atarfil HD instaladas en obra civil", donde se concluye que la vida útil de estos materiales supera los 100 años.





La capa de impermeabilización artificial se construirá con geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD), como aconseja la Norma UNE 104425, formando la capa de impermeabilización principal del sellado del depósito, por lo que su elección y puesta en obra se cuidará rigurosamente.

Los espesores de la geomembrana serán de 2 mm y los rollos de lámina a utilizar tendrán el mayor ancho posible para minimizar el número de uniones en obra. Las geomembranas vendrán marcadas de forma indeleble por el fabricante según Norma EN ISO 10320, y las características mínimas a exigir a las láminas de polietileno de alta densidad serán las de la Norma UNE 104300 en cuanto a láminas lisas y rugosas, cuyos parámetros principales se presentan en el siguiente cuadro.

Parámetro	Unidad	Norma	Valor mínimo
Densidad	g/m <sup>3</sup>	UNE EN ISO 1183	>0,940
Espesor	mm	UNE EN 964-1	2,0 ±10%
Alargamiento en el límite elástico	%	UNE EN 527-3	≥8
Resistencia a la tracción	Mpa	UNE EN 527-3	≥26
Tracción en el límite elástico	Mpa	UNE EN 527-3	≥16
Alargamiento en el punto de rotura	%	UNE EN 527-3	≥700
Índice de fluidez (190°C; 2,16 Kg)	g/10 min	UNE-EN-ISO 1183	<1,00
Resistencia al punzonado estático CBR	KN	EN ISO 12236	≥3,5
Contenido en negro de carbono	%	Serie UNE 53375	2,5±0,25
Dispersión del negro de carbono	categoría	ISO 18553	≤3

(\*) En ambos sentidos

**Tabla A.4.2. Características mínimas a exigir a las láminas PEAD según Norma UNE 104300**

La colocación de las geomembranas se llevará a cabo de forma continua, realizándose los taludes y la base o plataformas subhorizontales de forma diferenciada e independiente. Una vez instaladas las láminas en ambas zonas, se soldarán cuidando que la temperatura sea la misma en ambas láminas para evitar tensiones en las soldaduras. Esta operación de cierre entre el talud y la plataforma se realizará en las horas más frías del día, cuando la lámina está totalmente contraída. No se permitirá el tráfico no controlado de maquinaria sobre la





geomembrana sin protección.

Las soldaduras de unión de los distintos paños se realizarán únicamente por los métodos de soldadura doble o por soldadura por extrusión, no permitiéndose uniones de tipo adhesivo, químicas ni de cualquier otro tipo.

#### Soldadura doble

Siempre que sea posible se realizará la unión de láminas PEAD mediante soldadura doble con canal intermedio de comprobación. Estas se realizarán mediante máquina automática de unión térmica con cuña caliente, con control de la temperatura y velocidad de soldado.



**Figura A.4.4.- Dimensiones mínimas de la soldadura doble**

Los parámetros de temperatura y velocidad de soldadura se regularán en función de las condiciones meteorológicas y a partir de unos ensayos iniciales *in situ* con tensiómetro previos al comienzo del trabajo diario.

Las uniones de láminas PEAD mediante soldaduras dobles con canal central de comprobación se comprobarán según la Norma UNE 104-481-3-2.



### Soldadura por extrusión

Son soldaduras sobre láminas PEAD con aporte de material realizadas con una máquina extrusora portátil, utilizando polietileno de alta densidad de las mismas características que la materia prima de las geomembranas.

Para realizar una soldadura por extrusión se realizará lo siguiente:

- Limpieza enérgica de la zona a soldar.
- Unión de las láminas mediante calor.
- Lijado de una zona de aproximadamente 6 cm. de la zona común de ambas láminas, eliminando menos del 10 % del espesor de la lámina.
- Extrusión del material de aporte.

El cordón de soldadura resultante será de anchura mínima de 3 cm. y de altura mínima la del espesor de la lámina. Este tipo de soldadura se realizará solo en las zonas donde no sea posible la realización de soldadura doble y para reforzar la unión entre tres paños.









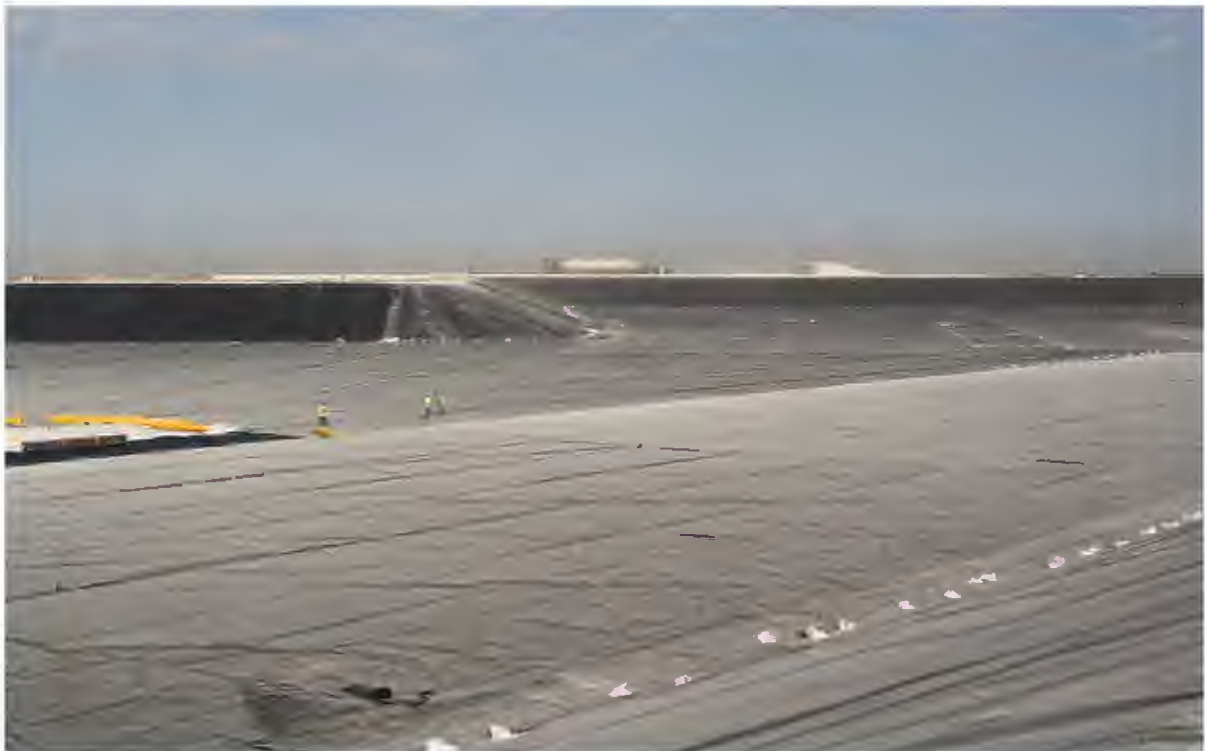
**INFORME PARA LOS 100 AÑOS DE DURABILIDAD PARA LAS  
GEOMEMBRANAS "ATARFIL HD"**





Atarfil, 22 de abril de 2014

INFORME PARA LOS 100 AÑOS DE DURABILIDAD PARA LAS GEOMEMBRANAS "ATARFIL HD"  
INSTALADAS EN OBRA CIVIL (VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, SELLADO DE  
VERTEDEROS, BALSAS DE AGUA, TÚNELES, CANALES....).



Abril 20, 2014

ATARFIL, S.L  
Geomembranes.



## ÍNDICE

1. ALCANCE.....	3
2. OBJETO DEL DOCUMENTO.....	5
3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO "ATARFIL HD" .....	6
4. DEFINICIÓN DE VIDA ÚTIL Y DURABILIDAD.....	8
5. DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA OBRA.....	12
6. PREDICCIÓN DE VIDA ÚTIL.....	13
7. CONCLUSIONES.....	20

## 1. ALCANCE.

Atarfil ha sido invitado por la empresa "FCC (Fomento de Construcciones y Contratas) a presentar un documento técnico donde se ponga de manifiesto que las Geomembranas que fabrica, concretamente las de denominación comercial "ATARFIL HD", tienen una expectativa de Vida Útil de 100 años.

Las Geomembranas "ATARFIL HD" están formuladas con:

- Un 93 % (aprox.) de Resina Virgen de PEAD.  
Resina que presenta las siguientes características:
  - Densidad comprendida entre 0,932 g/cm<sup>3</sup> y 0,940 g/cm<sup>3</sup>
  - Índice de Fluidez (MFI) menor a 1.0 g/10 min para unas condiciones de carga de 2,16 Kg y una temperatura de ensayo de 190 °C.
- Un 6,0 % (aprox.) de Negro de Carbono (N.C).
- Un 1.0 % (aprox.) de Antioxidantes (AO's).

y que las hacen totalmente aptas para cumplir con creces los requisitos exigidos tanto por la normativa española:

- Marcado CE para las aplicaciones descritas en las Normas (UNE EN 13361, UNE EN 13362, UNE EN 13491, UNE EN 13492, UNE EN 13493).
- UNE 104 425. "Materiales Sintéticos. Puesta en Obra. Sistemas de Impermeabilización de vertederos de residuos con laminas de polietileno de alta densidad (PEAD). Actualmente en revisión por parte del CTN 104.
- UNE 104 427. "Sistema de Impermeabilización de embalses para riego o reserva de agua con geomembranas impermeabilizantes formadas por láminas de polietileno (PE).

Así como por la diferente normativa internacional.

- Normativa americana, concretamente del "Geosynthetic Research Institute (GRI) y concretamente el "GRI Test Method GM 13: "Test Properties; Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes".
- Certificación "Dibt", alemana.
- Certificación KIWA, holandesa.
- Certificación ASQUAL, francesa.



Tanto desde un punto de vista Funcional, como desde un punto de vista de Durabilidad, todas las aplicaciones que se describen en las Normas arriba citadas, son de una exigencia extrema para todos los geosintéticos que se vayan a utilizar, y más para el caso concreto de las geomembranas, ya que deben dotar de estanqueidad al Sistema instalado.

## 2. OBJETO del DOCUMENTO.

Este documento tiene por objeto evidenciar que las geomembranas de impermeabilización de Polietileno de alta densidad debidamente formuladas, en las que se han utilizado materias primas específicas y de primera calidad pueden presentar una durabilidad de 100 años.

En este documento se definirá que se entiende por:

- Fin de Vida de Servicio.
- Descripción de las Condiciones de Uso.
- Descripción de los materiales, o materias primas que reporten al menos los 100 años de expectativa de vida.

En definitiva, éste documento pondrá en evidencia que la geomembrana con denominación comercial "ATARFIL HD" fabricada por ATARFIL, está diseñada para una expectativa de vida útil de 100 años.

### 3. DESCRIPCIÓN del PRODUCTO "ATARFIL HD".

La geomembrana fabricada por Atarfil con denominación comercial "ATARFIL HD" está fabricada siguiendo rigurosos y específicos controles de calidad, tanto en lo referente a las Materias Primas utilizadas como en el Proceso de su Fabricación.

- Desde el punto de vista de la Materia Prima:
  - El porcentaje mayor, un 93 %, corresponde al polietileno de alta densidad, de siglas "PEAD". El PEAD utilizado es especialmente desarrollado para su utilización en la fabricación de geomembranas, por lo que presenta:
    - § Alto valor de "SCR" ( Stress Cracking Resistance).
    - § Altas Resistencias Mecánicas (Tracción, Desgarro, Punzonado..).
    - § Alto grado de resistencia a líquidos agresivos potencialmente.
  - El 6 % (aprox.) corresponde al Masterbatch, (MB). El "MB" está formado por un 40 % de Negro de Carbono y el 60 % restante por el "carrier", normalmente polietileno, Adicionado a este 6,0 % nos garantiza un 2,4 % en la geomembrana.

El Negro de Carbono utilizado en la fabricación de geomembranas debe ser específico y especialmente desarrollado para su utilización en geomembranas, así es de vital importancia, en términos de durabilidad de la GMB:

    - § El control del tamaño de partícula, y
    - § La dispersión de este Negro de Carbono en el polímero.

Ya que con este Negro de Carbono controlamos los efectos adversos sobre la durabilidad de la GMB que presenta la Rad. UV.
  - El 1,0 % restante corresponde a los Aditivos tipo Antioxidantes, que generalmente son mezclas (de AO´s primarios y de AO´s secundarios) y que su función es la de dotar a la geomembrana de la suficiente protección frente a uno de lo procesos de degradación más importante de las GMB's, La Oxidación.

Todas las materias primas utilizadas nos las suministran los más importantes a nivel mundial fabricantes de Polietileno

- Desde el Punto de Vista de la Fabricación.

Se dispone de líneas de fabricación de tecnología "Flat Die" (Cabezal Plano) diseñadas y desarrolladas específicamente para la fabricación de GMB's.

Se dispone además, de un exigente Plan de Control de Calidad, tanto de la Producción como de la Geomembrana. Para poder llevar a cabo este Control, Atarfil dispone de los medios materiales: un Laboratorio totalmente equipado y Certificado por el GAL-LAP (Geosynthetic Accreditation Institute-Laboratory Accreditation), así de los medios humanos necesarios.

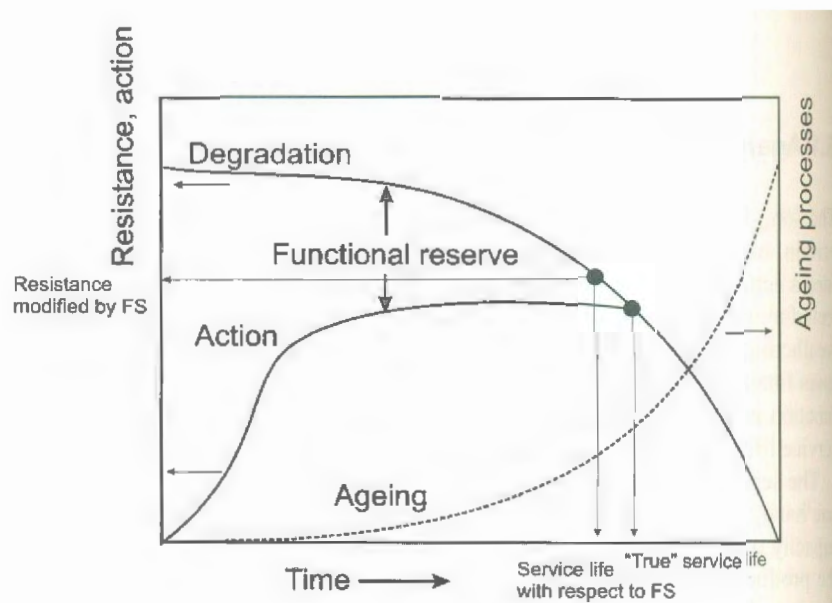
El resultado es que el producto "ATARFIL HD" presenta unas características que se describen en su Ficha Técnica (que se adjunta), que cumplen con todos los requisitos exigidos, tanto a nivel normativo español, como a nivel normativo internacional.

#### 4. DEFINICIÓN DE VIDA ÚTIL Y DE DURABILIDAD.

La bibliografía especializada establece que el "Tiempo de Servicio o Vida Útil (Lifetime)" de un producto está determinado por unas "Reservas Funcionales" que son las que determinan la capacidades, en nuestro caso, de la geomembrana de resistir una acción o acciones que le sean impuestas.

Las propiedades y el diseño funcional de la geomembrana determina sus Reservas Funcionales.

Los procesos de degradación son aquellos procesos de envejecimiento que se dan en la geomembrana y que tienen influencia en alguna propiedad relevante del producto.



Unas bajas Reservas Funcionales y unos rápidos procesos de degradación por envejecimiento acortan la Vida Útil de una Geomembrana.

La durabilidad de una Geomembrana está condicionada por los procesos de envejecimiento que se pueden dar en ella. Estos procesos de envejecimiento son procesos físicos o químicos irreversibles y que ocurren en la GMB y durante su tiempo de uso.

Por tanto, será la durabilidad de una geomembrana la que nos va a fijar su "Vida Útil".

En el *"Anexo B. Normativo. Durabilidad de las Barreras Geosintéticas"* de las Normas del Mercado CE, se citan los siguientes Procesos de Envejecimiento que pueden darse en las GMB's:

- § Ataque oxidativo acelerado por la elevada temperatura, exposición a los rayos UV ...
- § Ataque por Hidrólisis.
- § Solvatación.
- § Agrietamiento por esfuerzos medioambientales.
- § Ataque microbiológicos.
- § Lixiviación de los componentes solubles de la barrera geosintética.

Y de los anteriores los que más afectan a las GMB's de PEAD son:

- § Ataque oxidativo acelerado por la elevada temperatura, exposición a los rayos UV ....
- § Agrietamiento por esfuerzos medioambientales, o también conocido como Stress Cracking (SCR).
- § Extracción/Agotamiento de Antioxidantes.

En el Laboratorio se investigan las Reservas Funcionales usando métodos de ensayo destructivos y de muy corta duración. En ellos se determinan a nivel de laboratorio el fallo del material.

A nivel de Laboratorio, el concepto de "Vida de Servicio/Vida Útil" de una GMB se alcanza cuando:

1. Las propiedades iniciales que presenta el producto alcanza el 50 % de su valor inicial, y para el caso de la GMB de PEAD la propiedad relevante es el Alargamiento a la Rotura. Este punto es el que R. Koerner denomina "Half-life".



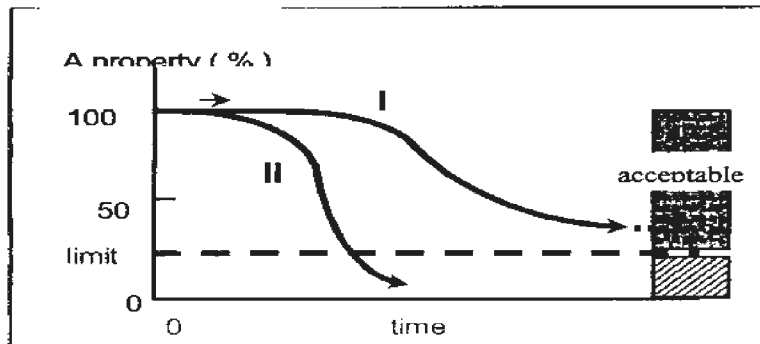


Figure-1 : Functional property variation with time

2. Cuando se completen totalmente los tres estados definidos en el proceso de Oxidación del Polímero (polietileno de Alta densidad).
3. Atendiendo al Agrietamiento por esfuerzos medioambientales o "SCR", cuando se pase de un comportamiento de estructura dúctil a un comportamiento de estructura frágil.

Aún así, los expertos en la materia, los laboratorios especializados y los productores han estado debatiendo desde hace muchos años con el fin de definir cual es el estado en el que se establece el "Final de la Vida de Servicio".

A día de hoy, no existe un camino único para evaluar mediante un sólo índice medible el Final de la Vida de Servicio y que indique claramente la Durabilidad de la Geomembrana.

En este documento se considerará "Vida Útil" como el tiempo necesario para que las Geomembranas pierdan su función principal, la impermeabilidad.

Se puede dar el caso que la "Propiedad Relevante" de la GMB, la Elongación a Rotura, alcance un valor inferior al 50% del valor original, y sin embargo, su función de impermeabilidad esté conservada al 100 %. Para el caso concreto de las GMB's de PEAD el valor inicial exigido para la Elongación a Rotura es del 700 %. Considerando que el 50 % de 700 % es de 350 %, valor mucho mayor que alargamiento límite a considerar para que la estructura o sistema colapse.

La predicción de la durabilidad significa prever la cantidad de tiempo necesario para que la GMB, y en las condiciones específicas de uso, pierda su función principal, la impermeabilidad o dicho de otra forma haya alcanzado el final de su "Vida Útil".

Las condiciones específicas de uso vienen determinadas por:

- § La temperatura media de uso.
- § El tiempo e intensidad de exposición a la radiación UV.
- § El contacto con el oxígeno (oxidación).
- § El SCR

## 5. DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES ESPECÍFICAS DE LA OBRA.

España tiene unas condiciones ambientales particulares a tener en cuenta ya que recibe una fuerte radiación UV además de unas altas temperaturas.

Atarfil tiene instaladas sus GMB´s "ATARFIL HD" en cientos de Proyectos que abarcan la mayoría de las condiciones ambientales que se puedan dar, sirvan como ejemplo: Embalses, vertederos, sellados de vertederos, túneles, canales...

Atarfil está llevando a cabo ensayos de seguimiento sobre láminas instaladas en la zona del levante español, concretamente en la región de Murcia, con el fin de determinar los procesos de envejecimiento reales que se puedan dar en una lámina instalada y como estos afectan a su durabilidad. Este programa empezó en febrero de 1998 y a día de hoy continua.

Atarfil en paralelo está llevando a cabo un programa de ensayos para determinar la pérdida de propiedades cuando las láminas se introducen en tres hornos a temperaturas de 60 °C, 80°C y a 100°C cada uno de ellos, y en agua a 80 °C. Este programa empezó en Octubre de 2007.

## 6. PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL.

La propiedad relevante para determinar la durabilidad de una GMB en el caso de las GMB's de PEAD es el "Alargamiento a la Rotura".

Esta propiedad es muy sensible a los cambios a nivel molecular que se producen en la estructura polimérica, en este caso en la estructura del PEAD.

Cualquier proceso que modifique la estructura polimérica está afectando por tanto a la Propiedad Relevante, el Alargamiento a la Rotura. Y por el mismo motivo cualquier proceso que retarde o evite cambios en la estructura polimérica estará protegiendo el No cambio de la Propiedad Relevante.

El proceso más significativo de degradación en una GMB de PEAD es el de oxidación.

El proceso de Oxidación del Polietileno se divide en tres estadios:

Estadio A.- Tiempo de agotamiento de los antioxidantes.

Estadio B.- Tiempo de Inducción a la Degradación.

Estadio C.- Tiempo necesario para alcanzar el 50% en el valor original de la Propiedad Relevante. (Halflife)

§ **Estadio A.**- Tiempo de Agotamiento de los Antioxidantes.

El objeto de aditivar a la GMB con Antioxidantes es doble, así se pretende:

1. Prevenir la degradación durante el procesado, y
2. Prevenir la oxidación que se da durante el "Estadio A" de la Vida Útil de la GMB.

Una vez que los AO's se han agotado, el oxígeno adicional comenzará a reaccionar con las cadenas poliméricas conduciendo a los estadios 2 y 3 , como se muestra en la siguiente fig.:

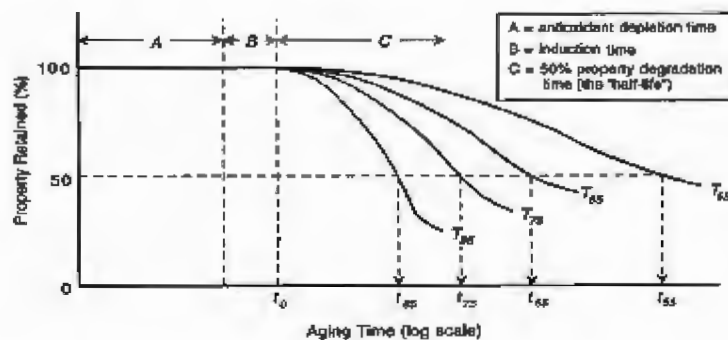


Figure 2. Three conceptual stages in chemical aging of polyolefin geomembranes.

La duración del Estadio de Agotamiento de AO's dependerá de:

- § Tipo de antioxidantes.
- § Cantidad de antioxidantes.

El gasto de los AO's es consecuencia de dos procesos:

1. Reacciones Químicas con el oxígeno que haya penetrado dentro de la GMB.
2. Pérdida física de los AO's

El proceso químico a su vez presenta dos funciones principales:

1. Reacción entre diferentes radicales libres y como resultado, originar moléculas más estables.
2. Por reacción con hidroperóxidos (ROOH) formando una sustancia más estable.

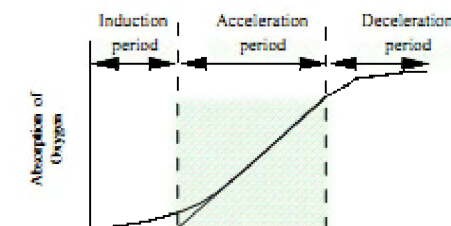
El proceso físico de pérdida de AO's es como consecuencia de la volatilidad y su extracción desde el medio ambiente donde su concentración es menor que el la GMB.

Por lo tanto, la velocidad de pérdida de los AO's está relacionada con el tipo, con la cantidad de AO's, con la temperatura de servicio y con el tipo o naturaleza del medio con el que la GMB esté en contacto directo.

#### § Estadio B.- Tiempo de Inducción para el comienzo de la Degradación

En una resina de poliolefina pura, es decir, sin negro de carbono ni antioxidantes, la oxidación se produce muy lentamente al principio, a menudo a un ritmo no medible, para posteriormente producirse más rápidamente. La reacción con el tiempo se desacelera y vuelve a ser muy lento.

Esta progresión se ilustra en la fig. (a)

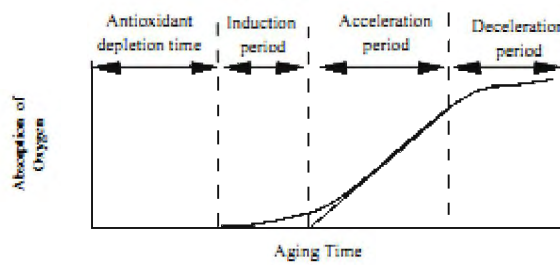


(a) Pure unstabilized polyethylene

La parte inicial de la curva es la que se denomina "Periodo de Inducción" o "Tiempo de Inducción" del polímero, y es un tiempo medible.

En este periodo el polímero reacciona con el oxígeno formando hidroperóxidos (ROOH), aunque la cantidad en esta parte es muy pequeña y el hidroperóxido no se descompone en otros radicales libres.

En un PEAD estabilizado, es decir con AO's, la reacción de oxidación acelerada tarda mucho más en darse, ya que los AO's crean una etapa adicional "el tiempo de agotamiento", que se da justo antes de la aparición del "tiempo de inducción", como se muestra en la Figura (b).



(b) stabilized polyethylene

§ **Estadio C.**-Tiempo Necesario para alcanzar el 50 % de degradación (Half-life).

La oxidación continua y se produce un aumento muy grande en radicales libres, que puede conducir bien a la reticulación del material, o bien a la rotura de cadenas moleculares. Esta rotura de cadenas, signo de degradación polimérica, hace que las propiedades físicas y químicas del PEAD cambien drásticamente. Cuando la degradación es alta, todas las propiedades resistentes son las más afectadas, y concretamente la Elongación a Rotura.

Por esto siempre que seamos capaces de proteger al PEAD de la reacción de oxidación estamos dotándolo de una mayor durabilidad.

Para poder hacer una predicción de la Vida Útil de la geomembrana se pueden utilizar diferentes ensayos de envejecimiento acelerados, pero lo cierto es que ninguno de ellos puede garantizar de una forma precisa una predicción de Vida Útil de una GMB, ya que este depende estrictamente de las condiciones reales de uso. Estos ensayos de envejecimiento realmente son útiles para comparar diferentes productos entre sí o comparar un material sin envejecer con el mismo material envejecido.

Teniendo en cuenta que la reacción de oxidación de una GMB de PEAD ha de pasar por los tres estadios antes citados, se puede establecer que la predicción de la durabilidad de

una GMB será el resultado de la suma de lo que dura cada uno de los estadio, es decir, la suma del tiempo del "estadio A" más el tiempo del "estadio B" mas el tiempo del "estadio C".

La duración del Estadio A se puede determinar mediante la predicción del tiempo de agotamiento de AO´s en la GMB.

Para ello se debe, en un primer paso medir la cantidad de AO´s que existen en la GMB sin envejecer, a este valor le llamaremos "OIT(o)". Este valor de OIT(o) se mide mediante el ensayo de Tiempo de Inducción a la Oxidación.

Ensayo que se puede realizar bajo dos condiciones diferentes, así:

- Estándar OIT (Std OIT): temperatura de 200 °C y una presión de 1 atm.
- OIT a Alta Presión (HD OIT): temperatura de 150 C y presión de 34 bares.

Teniendo en cuenta que la velocidad de pérdida de AO´s depende de la temperatura , se puede determinar esta velocidad aplicando la ecuación de Arrhenius:

$$s = A * \exp(- E_a/R*T)$$

donde:

"s"es la velocidad de la reacción ( $\text{mes}^{-1}$ ), "A" es una constante del material, " $E_a$ " es la energía de activación (KJ/mol), "R" es la constante universal de los gases (J/mol K)y "T" es la temperatura de la reacción (K),,

que tomando logaritmos naturales se convierte en:

$$\ln(s) = \ln(A) - (E/R) (1/T).$$

En este sentido la Normativa GRI GM 13 establece los valores mínimos iniciales para el ensayo "Std OIT" de 100 min y para el "HP OIT", de 400 min.

Además fija la velocidad de agotamiento de los AO´s, y esto lo consigue exigiendo un porcentaje de retención de un 55% para el OIT determinado según el "Std OIT" y de un porcentaje retenido de 80 % para el ensayo de HP-OIT, después de envejecer térmicamente a la muestra sometiéndola durante 3 meses a una temperatura de 85 °C

Es decir después de este tiempo el valor de StdOIT debe ser de 55 min y de 320 min para el valor de HP OIT.

Es decir, si partimos de una GMB que debe tener unos valores iniciales, o sin envejecer, de:

Std OIT (sin envejecer) de 100 min (min).

HP OIT(sin envejecer) de 400 min (min).

Después de envejecer los valores que se deben obtener son:

Std OIT (envejecido) de 55 min.

HP OIT (envejecido) de 320 min.

Según Hsuan and Koerner 1998, Sangam and Rowe 2002, para un tiempo,  $t$ , de envejecimiento el OIT final en la muestra se determina mediante la fórmula:

$$\text{OIT}(t) = \text{OIT}_0 \exp(-st),$$

tomando logaritmos naturales:

$$\ln \text{OIT}(t) = \ln \text{OIT}_0 - st, \quad \text{donde:}$$

- "OIT(t)" es el OIT después de envejecer la muestra.
- "OIT<sub>0</sub>" es el OIT inicial, es decir antes de envejecer la muestra.
- "s" es la tasa de agotamiento de los AO's (mes<sup>-1</sup>).
- "t" es el tiempo de envejecimiento (mes).

Así teniendo, y en cuenta que :

$$\text{Std OIT}(0) = 100 \text{ min},$$

$$\text{Std OIT}(t) = 55 \text{ min, y}$$

$$t = 3 \text{ meses},$$

La tasa de agotamiento de AO's, según el ensayo de Std OIT, será:

$$s = (\ln \text{OIT}_0 - \ln \text{OIT}(t)) / t;$$

$$s = (\ln 100 - \ln 55) / 3;$$

$$\underline{s = 0,199 \text{ mes}^{-1}}$$



La tasa de agotamiento de AO's, según el ensayo de HP OIT, será:

$$\text{HP OIT}(o) = 400 \text{ min,}$$

$$\text{HP OIT}(t) = 320 \text{ min, y}$$

$$t = 3 \text{ meses,}$$

sustituyendo en  $s = (\ln \text{OIT}_o - \ln \text{OIT}(t))/t$ ; obtenemos un valor para la tasa de agotamiento (s), según el ensayo de alta presión, de:

$$s = (\ln 400 - \ln 320)/3;$$

$$s = 0,074 \text{ mes}^{-1}.$$

Estos datos exigidos para las GMB's de PEAD por la Normativa "GRI GM 13".

Los valores de tasa de agotamiento (s) para el "Estadio A" de la reacción de oxidación son la base para estimar la duración de esta fase de la reacción y que se resumen en la siguiente tabla:

Table 2 - Lifetime prediction of HDPE (nonexposed) at various field temperatures

In Service Temperature (°C)	Stage "A" (yrs.)		Stage "B" (yrs.)	Stage "C" (yrs.)		Total Lifetime (ave. values)
	Std OIT	HP-OIT	Field Data	(max.)	(min.)	
20	200	215	30	255	149	449
25	135	144	25	132	77	270
30	95	98	20	70	41	173
35	65	67	15	38	22	111
40	45	47	10	21	12	73

Notes: Stage "A" measured values from Hsuan and Guan (1997) research via GRI  
 Stage "B" estimated values from field samples by GRI  
 Stage "C" literature values from Gedde, et al. (1994)

En esta tabla se aprecia la dependencia de la durabilidad con la temperatura, a mayor temperatura mayor velocidad de reacción y por tanto menor estimación de Vida Útil para la GMB.

La duración del Estadio B.- R. Koerner lo determina, cito textualmente " *se ha obtenido mediante la comparación del OIT para Polietilenos de 30 años de exposición al agua frente a PE utilizados para botellas de leche que no contienen ningún tipo de estabilización. Los datos muestran que la degradación está empezando a ocurrir ya que hay pequeños cambios en la resistencia y el alargamiento a rotura, sin embargo en el límite elástico no se dan estos cambios. La duración de esta etapa es la que se da en la columna correspondiente al Stage "B" de la tabla 2.*"

La duración del Estadio C.- Es el tiempo necesario para que las propiedades pierdan un 50 % de su valor inicial. Los datos dependen de la energía de activación ( $E_a$ ) que es la pendiente de la recta resultante de representar  $\ln(s)$  frente a  $1/T$ .

$$\ln(s) = \ln(A) - (E/R) (1/T).$$

y cito textualmente, a Robert Koerner lo escrito en su

GRI White Paper #6

- on -

Geomembrane Lifetime Prediction:  
Unexposed and Exposed Conditions  
by

Robert M. Koerner, Y. Grace Hsuan and George R. Koerner  
Geosynthetic Institute

*"Summarizing Stages A, B, and C, it is seen in Table 2 that the halflife of covered HDPE geomembranes (formulated according to the current GRI-GM13 Specification) is estimated to be 449-years at 20°C. This, of course, brings into question the actual temperature for a covered geomembrane such as beneath a solid waste landfill. Figure 4 presents multiple thermocouple monitoring data of a municipal waste landfill liner in Pennsylvania for over 10-years, Koerner and Koerner (2005). Note that for 6-years the temperature was approximately 20°C. At that time and for the subsequent 4-years the temperature increased to approximately 30°C. Thus, the halflife of this geomembrane is predicted to be from 270 to 449 years within this temperature range. The site is still being monitored, see Koerner and Koerner (2005)".*

Así y tomando datos de la tabla 2, la Predicción de Vida Útil para una GMB expuesta a una temperatura media de 35 °C será:

Vida Útil = Tiempo del Estadio A + Tiempo de Estadio B + Tiempo de Estadio C;

Así:

Vida Útil= 65 años+15 años+22 años(valor mínimo estimado para este estadio) = 102 años

## 7. CONCLUSIONES.

- Las Geomembranas que cumplan con los requisitos establecidos en la Normativa "GRI GM 13: " Test Properties; Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes". del Geosynthetic Research Institute (GRI) tienen una Vida Útil estimada de 449 años para una temperatura de uso de 20 °C, de 111 años para una temperatura de uso de 35 °C....
- Que las GMB´s fabricadas por ATARFIL, cumplen con creces los requisitos exigidos por esta Normativa (GRI GM 13) y por lo tanto el comportamiento que se espera de ellas es el mismo que se expone en la tabla 2, es decir una duración estimada de más de 100 años.

ATARFIL  
Gabriel Martín  
Director Técnico



#### A.4.5. JUSTIFICACIÓN DE LOS GEOTEXTILES DE PROTECCIÓN Y FILTRO

Las geomembranas pueden ser punzonadas tanto durante su instalación como durante su vida útil por los materiales que están en contacto con ellas, ya sea el soporte, las gravas de drenaje, o el propio residuo y siempre bajo el efecto de la carga soportada, lo que produciría una pérdida prematura de su función impermeabilizante.

Para aumentar la resistencia al punzonamiento de las geomembranas (láminas de PEAD) se utilizan los geotextiles como elementos complementarios de protección, aunque también se suelen usar como filtro sobre las capas de drenaje con el fin de evitar su colmatación por materiales de granulometría fina provenientes de las capas de cubierta.

En cuanto a la durabilidad, los geotextiles, por su composición y estructura, podrían verse más afectados en superficie por la radiación solar, aunque no sería el caso al quedar enterrados bajo otros materiales. Su durabilidad, de acuerdo a lo indicado en las fichas técnicas de los fabricantes, es de un mínimo de 100 años en suelos naturales en las condiciones indicadas en las mismas ( $4 < \text{pH} < 9$  y temperatura  $< 25^\circ\text{C}$ ).

Al final de este apartado se adjunta información al respecto, como fichas técnicas y certificado de durabilidad de 100 años de los geotextiles de protección y filtro emitidos por el fabricante.



### Geotextil de protección

Las características más importantes a tener en cuenta en un geotextil de protección es aquella que mide la protección de la geomembrana contra el punzonamiento de objetos o materiales que la rodean.

Las características mínimas que debe cumplir un geotextil de protección serán las recogidas en el siguiente cuadro.

Parámetro	Unidad	Norma	Valor mínimo
Peso unitario	g/m <sup>2</sup>	UNE EN 965	≥300
Espesor bajo carga de 2 kN/m <sup>2</sup>	mm	UNE EN 964	≥2
Resistencia CBR	N	UNE EN ISO 12236	≥2.000
Resistencia a tracción (*)	kN/m	UNE EN ISO 10319/1	≥4
Elongación a rotura (*)	%	UNE EN ISO 10319/1	≥50
Perforación caída libre de cono	mm	UNE EN 918	≤23

(\*) En ambos sentidos

**Tabla A.4.3. Valores mínimos del geotextil de protección**

### Geotextil de filtro

Las características mínimas que deben cumplir los geotextiles usados como filtro son las que se incluyen en el siguiente cuadro.



Parámetro	Unidad	Norma	Valor mínimo
Peso unitario	g/m <sup>2</sup>	UNE EN 965	≥120
Espesor bajo carga de 2 kN/m <sup>2</sup>	mm	UNE EN 964	≥1
Resistencia CBR	N	UNE EN ISO 12236	≥1.000
Resistencia a tracción (*)	KN/m	UNE EN ISO 10319/1	≥1
Elongación a rotura (*)	%	UNE EN ISO 10319/1	≥50
Perforación caída libre de cono	mm	UNE EN 918	≤50

(\*) En ambos sentidos

**Tabla A.4.4. Valores mínimos del geotextil filtro**

Para la colocación de los geotextiles en obra, ya sean de un tipo o de otro, se extenderán sobre la superficie de forma continua, cuidando el anclaje provisional de los mismos durante la instalación para evitar posibles movimientos por viento.

Los geotextiles se unirán por termounión de los mismos con un solapo mínimo de 20 cm.

Si las uniones se realizan por simple solapo este no será menor de 50 cm. y siempre en la dirección de extendido de los materiales de aportación.

Se evitarán las uniones transversales en los taludes, y si no fuera posible, se aumentará el solapo en estas.





## Ficha técnica del geotextil de protección, durabilidad de 100 años.



### FICHA TÉCNICA

GRUPO 01 - FICHA 14 - GEOTEXTILES

Rev. (Desarrollo 2021)

Página 1 / 1

#### 1. Producto

**GEOTESAN® NT 35**

#### 1. Marcado CE del producto



1035-CPD-ES033858

GEOTEXAN S.A.

Año de colocación del Marcado CE: 2004

Norma UNE EN 13249:2001 y UNE EN 13249:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13250:2001 y UNE EN 13250:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13251:2001 y UNE EN 13251:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13252:2001, UNE EN 13252:Erratum 2002 y UNE EN 13252:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13253:2001 y UNE EN 13253:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13254:2001, UNE EN 13254:AC:2003 y UNE EN 13254:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13255:2001, UNE EN 13255:AC:2003 y UNE EN 13255:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13256:2001 y UNE EN 13256:AC:2003 y UNE EN 13256:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13257:2001, UNE EN 13257:AC:2003 y UNE EN 13257:2001/A1:2005, Norma UNE EN 13285:2001 y UNE EN 13285:AC:2003 y UNE EN 13285:2001/A1:2005

Geotextil no tejido formado por fibras vírgenes **100% de polipropileno**, unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofijado. Campo de aplicación: en carreteras y otras zonas de tráfico, construcciones ferroviarias, muros de tierra, cimentaciones y estructuras de contención, sistemas de drenaje, control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes), construcción de embalses y presas, construcción de canales, construcción de túneles y estructuras subterráneas, vertederos de residuos sólidos, proyectos de contenedores de residuos sólidos.

Usos previstos: Drenaje, Filtración, Refuerzo, Separación y Protección.

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Resistencia a la tracción	DM DT	EN ISO 10319	kN/m 22/00 (+1300%) 25/00 (+1300%)
Alargamiento	DM DT	EN ISO 10319	% 57/01 (+685) 60/73 (+798)
Resistencia a la perforación (dinámica (caída de peso))	EN ISO 12433	N/m	0/10 (+500)
Resistencia al punzonado estático (CBR a perforación)	EN ISO 12236	kN	4.00 (+0.37)
Medida de abertura (porimetría 090)	EN ISO 12956	µm	58/0 (+170)
Permeabilidad al agua	EN ISO 11058	m/s	0/003 (+0.019)
Gradiente de flujo de agua en el plano	gradiente q20/1'0 gradiente q200/1'0	EN ISO 12958	m²/s 0.08.10 <sup>-6</sup> (+30%) 2.28.10 <sup>-6</sup> (+30%)
Eficacia de la protección	EN 13719	%	0.80 (+0.18)
Durabilidad	<p>- A recibir en el día de la instalación para refuerzos y en tres meses para las otras aplicaciones siempre que el geotextil no entre en contacto con otras sustancias químicas que lo degraden.</p> <p>UNE EN 12226: 2001, UNE EN 12224: 2001, UNE EN 12225: 2001.</p> <p>- Durabilidad prevista para un mínimo de 100 años en suelos naturales con pH&lt;8 y una temperatura &lt;25 °C.</p> <p>UNE EN 12447: 2002, UNE EN 13438: 2005, UNE EN 14030: 2002.</p>		

#### 3. Otras características adicionales

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Gramaje	EN ISO 9884	g/m²	300 (+10/0 %)
Espesor bajo 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	2.40 (+14/2 %)
Ancho de rollo	-	m	2.75 / 5.5
Largo de rollo	-	m	80
Diámetro del rollo	-	m	52
Peso del rollo	-	kg	68 / 132

Este documento pertenece a los señores: S.A. de Responsabilidad Limitada, inscrita en el Registro de Comercio de la provincia de Madrid, con NIF B-123456789, con domicilio en la calle de Alcalá, 123, 28014 Madrid, España. Este documento es propiedad de GEOTEXAN S.A. y no puede ser reproducido sin el consentimiento escrito de la misma.

GEOTEXAN S.A.

Avenida Carretera Espina nº 3

21600 Minas de Riotinto (Huelva), España

Tel: (34) 959 33 20 90 F: (34) 959 33 03 10

W: [www.geotexan.com](http://www.geotexan.com) E: [geotexan@geotexan.com](mailto:geotexan@geotexan.com)



## Certificado de durabilidad de 100 años por el fabricante del geotextil de protección.

DECLARACIÓN DE PRESTACIONES		
Nº: 0018 - GEOTEXTIL - 20130701		
<p>Geotextil no tejido formado por fibras vírgenes 100% de polipropileno unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofixado. La trazabilidad del producto está garantizada por el nº de PARTIDA y nº de SERIE que figura en la etiqueta que acompaña al producto.</p> <p>Usos previstos: Drenaje-Filtración-Refuerzo-Separación-Protección</p> <p>Fabricado por GEOTEXAN, SA. Ave. Concha Espina, nº 5, 21660. Minas de Riotinto, Huelva España Tfno: +34 958 880305 Fax: +34 958 880335 geotexan@geotexan.com</p> <p>Sistema de Evaluación: 2+</p> <p>Bureau Veritas Certificación, SA - 1035 Evaluación del Control de Producción en Fábrica Sistema 2+ 1035 - CPD - ES033858 del 25 de Octubre de 2005</p>		
Gramaje (EN ISO 9944)	300,00 g/m <sup>2</sup> (+/- 10,00%)	EN 13249-2001 EN 13249-2001/A1:2005
Resistencia a la tracción (EN ISO 10319) DM: Dirección máquina; DT: Dirección transversal	DM 23,00 kN/m (+/- 10,00%) DT 20,00 kN/m (+/- 10,00%)	EN 13250-2001 EN 13250-2001/A1:2005
Alargamiento (EN ISO 10319)	DM 57,91% (+/- 5,95) DT 66,73% (+/- 7,36)	EN 13251-2001 EN 13251-2001/A1:2005
Resistencia a la perforación (dinámica) (EN ISO 13433)	9,88 mm (+5,8)	EN 13252-2001 EN 13252-2001/A1:2005
Resistencia al punzamiento estático (EN ISO 12230)	4,06 kN (-5,37)	EN 13253-2001 EN 13253-2001/A1:2005
Medida de abertura de poros (EN ISO 12956)	58,0 µm (+/- 17,0)	EN 13253-2001 EN 13253-2001/A1:2005
Permeabilidad perpendicular al plano (EN ISO 11058)	0,053 m/s (-5,019)	EN 13253-2001 EN 13253-2001/A1:2005
Permeabilidad en el plano (EN ISO 12956) Gradiente q20/1,0 Gradiente q20/1,5	6,00*10 <sup>-6</sup> m/s (-30,00%) 2,20*10 <sup>-6</sup> m/s (-30,00%)	EN 13254-2001 EN 13254-2001/A1:2005
Espeor bajo 2 MPa (EN ISO 9857/1)	2,06 mm (+/- 14,2%)	EN 13255-2001 EN 13255-2001/A1:2005
Durabilidad (EN ISO 13224)	A recubrir en el río de la instalación para refuerzo y no 3 meses para otras aplicaciones siempre que el geotextil no esté en contacto con sustancias químicas que lo degraden.	EN 13255-2001 EN 13255-2001/A1:2005
Resistencia a la oxidación (EN ISO 13438)	Durabilidad prevista hasta 100 años en suelos naturales con 4 < pH < 9 y una temperatura < 25°C	EN 13257-2001 EN 13257-2001/A1:2005
Eficacia de la protección (EN 13719)	0,80% (+/- 15)	EN 13258-2001 EN 13258-2001/A1:2005
<p>Las prestaciones del producto identificado como GEOTESAN PP NT 35 son uniformes con las prestaciones definidas en la tabla superior. La presente declaración de prestaciones se emite bajo la única responsabilidad de GEOTEXAN, SA. Firmado por y en nombre de Geotexan, SA por:</p> <p>José María Soldán Director de Calidad de Geotexan, SA.</p> <p>Minas de Riotinto a 13 de noviembre de 2015.</p>		





## Ficha técnica del geotextil de filtro, durabilidad de 100 años.



### FICHA TÉCNICA

GRUPO 01 FICHA 02 GEOTEXTILES

1. PRODUCTO

2. MERCADO CE DEL PRODUCTO

#### 1. Producto

### GEOTESAN® NT 175

#### 2. Mercado CE del producto



1055-CPD-ES033656  
GEOTEXAN S.A.

Año de colocación del Mercado CE: 2004

Norma EN 13249:2001 y EN 13249:2001/A1:2005, Norma EN 13250:2001 y EN 13250:2001/A1:2005, Norma EN 13251:2001 y EN 13251:2001/A1:2005, Norma EN 13252:2001, EN 13252:Enatum:2002 y EN 13252:2001/A1:2005, Norma EN 13253:2001 y EN 13253:2001/A1:2005, Norma EN 13254:2001, EN 13254:AC:2003 y EN 13254:2001/A1:2005, Norma EN 13255:2001, EN 13255:AC:2003 y EN 13255:2001/A1:2005, Norma EN 13256:2001, EN 13256:AC:2003 y EN 13256:2001/A1:2005, Norma EN 13257:2001, EN 13257:AC:2002 y EN 13257:2001/A1:2005, Norma EN 13265:2001, EN 13265:AC:2003 y EN 13265:2001/A1:2005

Geotextil no tejido formado por fibras vírgenes 100% de polipropileno, unidas mecánicamente por un proceso de agujado con posterior termofijado. Campo de aplicación: en carreteras y otras zonas de tráfico, construcciones ferroviarias, movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención, sistemas de drenaje, control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes), construcción de embalses y presas, construcción de canales, construcción de túneles y estructuras subterráneas, vertederos de residuos sólidos, proyectos de contenedores de residuos sólidos.

Usos previstos: Drenaje, Filtración, Refuerzo y Separación

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Resistencia a la tracción	DM DT	EN ISO 10319	kN/m
			1100 (+1300%) 1200 (+1300%)
Alargamiento	DM DT	EN ISO 10519	%
			5540 (+730) 6191 (+750)
Resistencia a la perforación dinámica (caída de cono)		EN ISO 13433	mm
			2364 (+500)
Resistencia al punzonado estático (CBR a perforación)		EN ISO 12236	kN
			195 (+920)
Medida de abertura (perimetria Ø90)		EN ISO 12956	µm
			610 (+160)
Permeabilidad al agua		EN ISO 11058	m/s
			0,085 (+0,029)
Gradiente de flujo de agua en el plano	gradiente q20/1'0 gradiente q20/1'0	EN ISO 12956	m/s
			5,83.10 <sup>-10</sup> (-30%) 1,80.10 <sup>-10</sup> (-30%)
Durabilidad	<p>*A recibir en el día de la instalación para refuerzo y en tres meses para las otras aplicaciones siempre que el geotextil no entre en contacto con otras sustancias químicas que lo degraden. EN 13226:2001, EN 12224:2001, EN 13225:2001.</p> <p>**Durabilidad prevista para un mínimo de 100 años en suelos naturales con pH 4-9 y una temperatura &lt;25 °C. EN 12847:2002, EN 13438:2005, EN 14650:2002</p>		

#### 3. Otras características adicionales

Característica	Método de ensayo	Unidad	Valor
Gramaje	EN ISO 9884	g/m²	150 (+1000 %)
Espesor bajo 2 kPa	EN ISO 9883-1	mm	1,48 (+216 %)
Ancho de rollo	—	m	275 / 55
Largo de rollo	—	m	100
Diámetro del rollo	—	cm	41
Peso del rollo	—	kg	4125 / 9250

Este documento describe las características técnicas de los productos y servicios que se ofrecen y no constituye una oferta de venta. El contenido de este documento es meramente informativo y no debe ser utilizado como base para la toma de decisiones de inversión. El contenido de este documento es meramente informativo y no debe ser utilizado como base para la toma de decisiones de inversión.

GEOTEXAN S.A.  
Avda. Carretera Europa nº 5  
21660 Alcazar de San Juan (Huelva), España  
T: (+34) 959 59 29 98 F: (+34) 959 59 01 38  
W: [www.geotexan.com](http://www.geotexan.com) E: [geotexan@geotexan.com](mailto:geotexan@geotexan.com)



## Certificado de durabilidad de 100 años por el fabricante del geotextil de filtro.

DECLARACIÓN DE PRESTACIONES		
Nº: 0010 – GEOTEXTIL – 20130701		
GEOTEXAN PP 21 DT		
Geotextil no tejido formado por fibras virgenes 100% de polipropileno, unidas mecánicamente por un proceso de agitado con posterior termofijado. La tenacidad del producto está garantizada por el nº de PARTIDA y nº de SERIE que figura en la etiqueta que acompaña al producto.		
Usos previstos: Drenaje-Filtración-Refuerzo-Separación		
Fabricado por GEOTEXAN, SA Avd. Concha Espina, nº 5, 21600, Minas de Riotinto, Huelva, España. Tlfn: +34 959 550305 Fax: +34 959 550335 geotexan@geotexan.com		
Sistema de Evaluación: 2+		
Bureau Veritas Certificación, SA – 1035 Evaluación del Control de Producción en Fábrica Sistema 2+ 1035 – CPD – ES033553 del 25 de Octubre de 2005		
Características técnicas	Propiedades físicas	Nivel Medio de Rendimiento
Gramaje (EN ISO 9846)	158,85 g/m <sup>2</sup> (+/- 10,00%)	EN 13249:2001 EN 13249:2001A1:2005
Resistencia a la tracción (EN ISO 10319) DM: Dirección máquina, DT: Dirección transversal	DM 11,50 N/m (-10,00%) DT 12,98 N/m (-12,80%)	EN 13250:2001 EN 13250:2001A1:2005
Alargamiento (EN ISO 10319)	DM 55,40% (+/- 7,32) DT 61,51% (+/- 7,50)	EN 13251:2001 EN 13251:2001A1:2005
Resistencia a la perforación dinámica (EN ISO 13433)	33,64 mm (+5,0)	EN 13252:2001 EN 13252:2001A1:2005
Resistencia al punzamiento estático (EN ISO 13336)	1,85 kN (+0,30)	EN 13253:2001 EN 13253:2001A1:2005
Medida de abertura de poros (EN ISO 12005)	51,5 µm (+/- 18,0)	EN 13254:2001 EN 13254:2001A1:2005
Permeabilidad horizontal al vapor (EN ISO 11088)	0,006 m/s (+0,629)	EN 13255:2001 EN 13255:2001A1:2005
Permeabilidad en el plano (EN ISO 10149) Gradiente q20/1,0 Gradiente q20/1,5	8,43*10 <sup>-6</sup> m/s (+30,00%) 1,50*10 <sup>-6</sup> m/s (+30,00%)	EN 13256:2001 EN 13256:2001A1:2005
Espesor bajo 0,1 MPa (EN ISO 5965/1)	1,48 mm (+/-21,60%)	EN 13257:2001 EN 13257:2001A1:2005
Durabilidad (EN ISO 12224)	El material en el día de la instalación para refuerzos y en 3 meses para otras aplicaciones siempre que el geotextil no entre en contacto con sustancias químicas que lo degraden.	EN 13258:2001 EN 13258:2001A1:2005
Resistencia a la rotura (EN ISO 13438)	Durabilidad prevista hasta 100 años en suelos naturales con 4+ pH y 5 y una temperatura < 20°C	EN 13259:2001 EN 13259:2001A1:2005 EN 13260:2001 EN 13260:2001A1:2005
Las prestaciones del producto identificada como GEOTEXAN PP NT 175 son conformes con las prestaciones declaradas en la tabla superior. La presente declaración de prestaciones es emitida bajo la única responsabilidad de GEOTEXAN, SA. Firmada por y en nombre de Geotexan, SA por		
 Jesus Madrid Soldán Director de Calidad de Geotexan, SA.		
Minas de Riotinto a 1 de julio de 2013.		



#### **A.4.6. JUSTIFICACIÓN DE LA CAPA DE DRENAJE**

La capa de drenaje de aguas pluviales está constituida generalmente por gravas y materiales de granulometría unimodular, es decir, de tamaño de grano constante, que deben cumplir con una permeabilidad suficiente para desaguar el caudal de aguas pluviales producido.

A continuación se justifica la capacidad de drenaje de una capa de gravas de 0,3 m de espesor mediante la Ley de Darcy:

Ley de Darcy  $q = K \cdot i \cdot e$

Dónde:

- q: caudal por unidad de longitud ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )
- K: permeabilidad (m/s)
- i: gradiente hidráulico (adimensional)
- e: espesor de la capa granular (m)

#### **DATOS DE ENTRADA**

- Gradiente Hidráulico,  $i = 0,03$
- Capa de Gravas de 0,3m de espesor
- $K = 10^{-2}$  m/s (permeabilidad típica de una grava utilizada en drenajes)

#### **CALCULO DE DRENAJE CAPA DE GRAVAS**

Como el flujo en una capa de drenaje mineral es laminar, la descarga en la capa puede calcularse según la Ley de Darcy.

$$Q = K \cdot i \cdot e$$



$$Q = 10^{-2} \text{ m/s} \cdot 0,03 \cdot 0,3, \text{ luego}$$

$$Q = 0,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}, \text{ luego}$$

$$Q = 0,09 \text{ l/s}\cdot\text{m}$$

Teniendo en cuenta que este es el caudal que drena la capa de gravas situado en superficie horizontal, lo que representa el mínimo caudal drenado, y que este aumentará en las superficies de taludes de pendiente 5 y 20%. Además, el volumen de agua a drenar por esta capa drenante es el correspondiente a la infiltración de la capa de cubierta vegetal de 0,6 m de espesor, con permeabilidad inferior, por lo que la capacidad de drenaje de la capa de gravas se considera suficiente para la evacuación de las aguas de infiltración generadas.

Para que la capa de drenaje tenga la función adicional de capa de protección contra la biointrusión, es decir, que evite que los animales excavadores accedan a las capas de impermeabilización situadas más abajo, el tamaño máximo de las gravas será superior al comúnmente utilizado en gravas con función exclusiva de drenaje. Por tanto, la capa de drenaje estará formada por cantos rodados de tamaños comprendidos entre 30 y 120 mm de diámetro.



#### **A.4.7. COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD INTERNA DE LOS MATERIALES GEOSINTÉTICOS EN TALUDES**

Cuando se realiza la colocación de la barrera impermeable en taludes, como en el caso del Sellado de la Era de Lixiviación de la Planta Quercus, es recomendable el estudio del riesgo de deslizamiento por pérdida de rozamiento entre las diferentes capas del sistema de impermeabilización.

Por esto es necesario analizar los esfuerzos internos que soportará el conjunto de las capas de impermeabilización, ya que si estos superan a las fuerzas de rozamiento interno entre los geosintéticos pueden producir desgarros y deterioro de los materiales.

Analizando concretamente el talud de mayor inclinación resultante de la remodelación de la Era de Lixiviación, y teniendo en cuenta aspecto anteriormente citado, es decir, analizando el riesgo de deslizamiento por pérdida de rozamiento entre los elementos de sellado, se calculan las diversas fuerzas de rozamiento entre las capas y las fuerzas que se ejercen sobre estos por el efecto del peso de los materiales de cubrición.

En caso de prevalecer las fuerzas de rozamiento interno frente a las producidas por el peso de las tierras de cubrición, el conjunto de la barrera impermeable permanecerá estable en el tiempo. En tal caso se calculará el coeficiente de seguridad del conjunto como el cociente de las fuerzas de tracción provocadas por las cargas de la capa de tierra entre las fuerzas de rozamiento entre las capas de impermeabilización.

En el caso contrario, es decir, si las fuerzas debidas al peso de la tierra de cubrición superan a las fuerzas de rozamiento, sería necesario dimensionar un elemento geosintético adicional de refuerzo que contrarreste estas fuerzas y evite el deterioro de las capas de impermeabilización. También será necesario calcular el coeficiente de seguridad del nuevo



sistema que se ha constituido.

D <sup>o</sup>	Arella	Arena	Grava	Geotextil Agujado	Geotextil Termosold	PEAD Rugoso	PEAD liso	Geocom- puesto imperio	Residuos
Arella	18								
Arena	22	26							
Grava	24	30	35						
Geotextil Agujado	28	28	27	20					
Geotextil Termosold	23	21	21	20	17				
PEAD rugoso	21	24	35	27	24	30			
PEAD liso	15	18	18	9	8	24	15		
Geocomp. impermea.	30	30	28	22	20	30	16	25	
Residuos	30	30	32	25	19	30	12	25	55

**Tabla A.4.5. Tabla de coeficientes de rozamientos aproximados según UNE 104 425**



Para el cálculo del riesgo de deslizamiento del sistema de impermeabilización en el talud, Y teniendo en cuenta la aplicación del valor más conservador de entre los posibles, se introducirán los siguientes datos de partida:

CONCEPTO	VALOR DE ENTRADA
Espesor de la capa de cubrición	1,2 m
Longitud del talud	130 m
Densidad del material de cubrición	2.1 t/m <sup>3</sup>
Ángulo de inclinación del talud	11,3º
Coefficiente de rozamiento entre geosintéticos	25º
Resistencia a la tracción del producto de refuerzo (en caso de ser necesario)	0 kN/m

**Tabla A.4.6. Datos de partida para el cálculo de estabilidad de los geosintéticos**

A continuación se presenta el proceso de cálculo de la estabilidad de la barrera impermeable que se instalará sobre el talud de la Era de Lixiviación remodelada, los resultados que se obtienen de la aplicación del citado proceso, y la necesidad o no necesidad de aplicación de elementos de refuerzo del talud, así como el factor de seguridad del conjunto resultante.





## Estabilidad de geosintéticos en taludes

**Obra:** Remodelación Era de Lixiviación - Planta Quercus  
**Material superior:** Geotextil agujado  
**Impermeabilización:** Lámina PEAD Rugosa  
**Material inferior:** Geotextil agujado

Valores aproximados de rozamiento entre materiales

ge	Gravilla	arena	Grava	Geotextil Agujado	Geotextil Termosoldado	PEAD Rugoso	PEAD liso	Geotextil Agujado inferior	Residuos
arena	18								
arena	22	18							
Grava	24	20	25						
Geotextil Agujado	26	28	27	30					
Geotextil Termosoldado	25	21	21	20	17				
PEAD Rugoso	21	24	33	27	21	30			
PEAD liso	15	18	18	9	6	24	15		
Geotextil Agujado inferior	30	30	28	22	20	30	16	25	
Residuos	30	30	32	25	19	30	12	25	35

### 1) Datos de entrada

<b>h:</b>	1,2	m; Espesor de la capa de cubrición
<b>l:</b>	130	m; Longitud del talud
<b>d:</b>	24,7	kN m <sup>2</sup> ; Densidad material cubrición
<b>m:</b>	100	Horizontal
<b>n:</b>	20	Vertical
<b>β:</b>	11,30°	Angulo del talud
<b>Φ:</b>	25,0	Coef. de rozamiento entre ambos geosintéticos
<b>Z:</b>	0	kNm Resistencia a tracción del producto de refuerzo (caso de ser necesario)



**Tabla A.4.7. Datos de entrada en el proceso de cálculo de la estabilidad de los  
geosintéticos**



2) Cálculo

$$W = d \times h \quad W = 29,64 \text{ kN/m}^2 \quad \text{mínimo 5 kN/m}^2 \text{ de cargas de instalación}$$

$$S = W \times \cos^2 \beta \quad S = 28,50 \text{ kN/m}^2$$

$$T = W \times \sin \beta \cos \beta \quad T = 5,70 \text{ kN/m}^2$$

3) Cálculo de

Estabilidad interna del material de cubrición

FS= 1,3

$$\phi_{\text{req}} = \arctan (FS \times \tan \beta) \quad \phi_{\text{req}} = 14,57^\circ$$

4) Cálculo de

Deslizamiento, fuerza resistente

$$T_f = (S - U) \tan \phi \quad T_f = 13,29 \text{ kN/m}^2$$

Comparación  $T_f$  con  $T$

**Hf > H RESISTE**

**Factor seguridad = 2,33**

5) Cálculo de

Resistencia tracción requerida del geosintético de soporte; En el caso de no resistir

$$R_{\text{req}} = FS \times L (T - T_f) \quad R_{\text{req}} = 0,00 \text{ kN/m}$$

Resistencia requerida a largo plazo

$$Z_{\text{req}} = FS_i \times R_{\text{req}} \quad Z_{\text{req}} = 0,00 \text{ kN/m}$$

FS <sub>i</sub>	
Fluencia	2,00
Daños instal.	1,10
Res. Química	1,10
Res. Biológica	1,05

Factor de seguridad en obra con un producto de  $Z = 0 \text{ kN/m}$

$$FS = Z / Z_{\text{req}} \quad FS = 0,0$$

**Tabla A.4.8.- Cálculo de la estabilidad de los geosintéticos en el talud**



Teniendo en cuenta los datos de entrada, obtenidos de las características del talud propuesto para la remodelación de la Era, de la densidad promedio ponderada de las distintas capas de sellado y de las tierras de cubrición que se colocarán sobre los materiales geosintéticos, y aplicando la metodología de cálculo del riesgo de desplazamiento entre capas de geosintéticos recomendada en la Norma UNE 104-425, se puede concluir que:

- El conjunto de capas de impermeabilización por sí solo es estable, no siendo susceptible de pérdida de rozamiento entre capas y de desgarro y deterioro de las mismas.
- No es necesario aplicar un elemento de refuerzo sobre las capas de geosintéticos.