

# Sistema de drenaje con geocompuesto triplanar del depósito para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix

## *Drainage system with triplanar geocomposite in the landfill for the remediation of the chemical contamination in Flix's reservoir*

Jorge Gutiérrez<sup>1\*</sup>, Joaquim Castelo<sup>1</sup> y ACUAMED

### Palabras clave

drenaje;  
geored triplanar;  
resistencia a compresión;  
contaminación química;  
vertedero;

### Sumario

Tras el último episodio de fuerte mortandad de peces ocurrido el 25 de Diciembre de 2001 aguas abajo de la presa de Flix, la Generalitat Catalana, Junta de Residuos y Agencia Catalana del Agua realizaron diversos estudios sobre la composición de los sedimentos en el embalse de Flix, de los que el último de ellos, de Noviembre de 2003, evidencia la existencia de contaminación histórica derivada de la actividad industrial, que consta de elevadas cantidades de organoclorados, metales pesados y radionucleidos. De todo lo anterior se deduce la existencia de contaminación importante en los sedimentos del lecho del embalse y depósitos antrópicos del margen derecho de este. Para subsanar el problema, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España encomendó a la sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas (Acuamed) el diseño y ejecución de la actuación prioritaria y urgente para la eliminación de la contaminación química del embalse de Flix. Entre las obras necesarias para poder acometer este proyecto pionero, se requirió construir un depósito controlado para almacenar el material dragado del río una vez secado y adecuadamente tratado. Según las directivas Europeas para vertederos, es obligatorio el diseño de un sistema de drenaje para el control de aguas y la gestión de lixiviados. A tal efecto, se recurrió a un geosintético de última generación capaz de soportar las altas cargas permanentes (>40m de vertido sobre el geocompuesto) y garantizar una adecuada capacidad drenaje a largo plazo. El presente artículo detalla el diseño y uso de un geocompuesto drenante formado por una geored tri-planar de PEAD (drenaje) combinada con dos geotextiles de PP (filtración, separación y protección) de elevadas prestaciones mecánicas cuyo resistencia al punzonado estático superior a los 2,3 KN, una permeabilidad superior a 60 l/m<sup>2</sup>.s y una masa de 200 g/m<sup>2</sup>. Se trata de una actuación singular en el mundo de los geosintéticos, dadas las escasas referencias existentes para esta aplicación en España y los altos requerimientos técnicos de esta actuación.

### Keywords

drainage;  
triplanar geonet;  
compressive resistance;  
chemical contamination;  
landfill;

### Abstract

*After the hard last episode of high fish mortality happened downstream the Flix dam on 25th December 2001, the Catalan Generalitat, the Waste agency and Catalan Water Agency conducted several studies over Flix reservoir sediments composition where last one, November 2003, shows the existence of historical pollution from the industrial activity. The contaminants detected were mainly organochloride compounds, heavy metals and radionuclides. As result was concluded the existence of significant pollution sediments in the reservoir bed and anthropogenic deposits just on the right hand of the river. To remedy the problem, the Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España (MMA, Spanish Ministry of agriculture and Environment) entrusted to the State owned society Aguas de lasCuencasMediterráneas, SA (AcuaMed) the design of the necessary actions for the elimination of the chemical pollution of Flix's reservoir. Amongst these actions of this pionery project, it was required to build a controlled landfill in order to store the dredged material from the river once dried and properly treated. According to the European landfill Directives, it is mandatory to design a drainage system for water control and leachate management. The solution chosen for this purpose was a last generation geosynthetic which was able to withstand high dead loads (>40 m of sludge over the geocomposite) and to ensure an adequate long-term flow capacity. This article details the design and use of this drainage geocomposite composed of a tri-planar HDPE geonet (drainage) combined with two PP geotextiles (filtration, separation and protection) with high mechanical properties whose resistance to static puncture exceeds 2,3 kN, a permeability over 60 l/m<sup>2</sup>s and a mass of 200 g/m<sup>2</sup>. This is a singular project in the geosynthetics world, given the scarce existing references for this application in Spain and the high technical requirements of this remediation.*

\* Corresponding author: [jgutierrez@intermasgroup.com](mailto:jgutierrez@intermasgroup.com)

<sup>1</sup> Interma Nets, Barcelona, España.

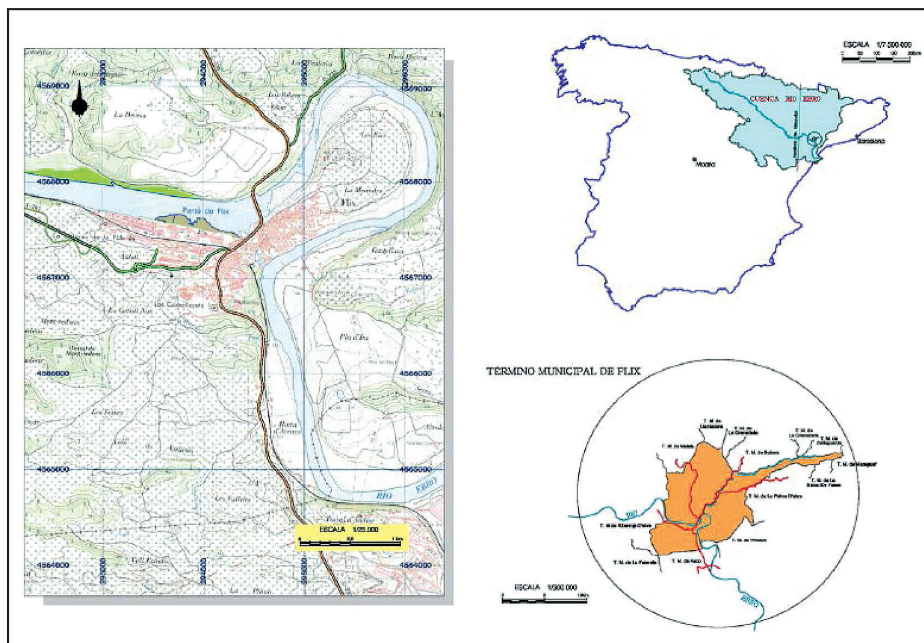


Figura 1. Localización.

## 1. INTRODUCCIÓN

El embalse de Flix, situado en el tramo bajo del río Ebro, retiene actualmente en su vaso algunos centenares de miles de metros cúbicos de lodos, presumiblemente vertidos por una industria química que se asienta en su margen derecha. Son elementos residuales y están constituidos por compuestos químicos mezclados con otros de carácter inerte. Los contaminantes pertenecen a tres grupos principales: organoclorados, metales pesados (principalmente mercurio) y radionucleidos. Están en concentraciones al menos relativamente elevadas, susceptibles de transmitir su contaminación al agua circulante por el río; esa transmisión parece que se ha producido de hecho en alguna ocasión, existiendo un registro de episodios puntuales en los que se han sobrepasado los límites de tolerancia de contenido de componentes agresivos en el ecosistema. Ante esta situación, la Administración Pública ha decidido iniciar un proceso consistente en concebir, analizar, desarrollar, comparar y escoger alternativas de actuación para corregirla y evitar o mitigar la transmisión al medio de esos elementos nocivos.

Como consecuencia de ello, una de las actuaciones prioritarias y urgentes que ha sido encomendada, por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a la sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas (Acuamed), es la eliminación de la contaminación química del embalse de Flix.

## 2. ENTORNO DE LA ACTUACION

Al igual que en otros países desarrollados, la legislación española sobre vertidos ha ido evolucionando en el tiempo hacia una mayor exigencia, lo que ha obligado a los agentes generadores de residuos a adecuarse a límites cada vez más estrictos. Pero la mera acumulación histórica de vertidos autorizados en cada momento puede conducir a situaciones no previstas de creación y permanencia de un volumen de residuos que hacen vulnerable el ecosistema ante

fenómenos naturales concretos, como avenidas, vientos o cambios térmicos bruscos.

La fabricación de productos químicos en sus orillas se inició a finales del siglo XIX y, desde entonces, los productos generados han sido muchos y variados, con arreglo a los avances de la tecnología y las tendencias de la demanda.

Los procesos iniciales tenían como base el cloro y la sosa obtenidos de la sal común como materia prima, mediante un proceso electrolítico que utiliza mercurio. Más recientemente se ha introducido el apatito como materia prima masiva adicional para producir fosfato bicálcico; este apatito contiene naturalmente cierto porcentaje de radionucleidos, que durante el proceso se concentran físicamente en el vertido. Por otra parte, en rigor no puede excluirse que alguno de los materiales contaminantes depositados tenga su origen incluso en arrastres procedentes de río arriba.



Figura 2. Vista aérea 1970.

También la morfología del río Ebro ha evolucionado notablemente a lo largo del siglo pasado en esta zona. Cada vez que se construye una presa de embalse en un río, una consecuencia inmediata es que el remanso producido en sus aguas induce una mayor sedimentación de los arrastres sólidos que su corriente habitual transporta; los embalses tienden por ello a colmatarse. La presa de Flix no es distinta en este aspecto, y por consiguiente la fuerza erosiva y de arrastre que mantiene de forma natural el río Ebro a su paso por la zona quedó influida y reducida después de su construcción. Hasta entonces, la mayor parte de los vertidos de la fábrica eran arrastrados por la corriente hacia aguas abajo, mientras que después la gran mayoría han venido quedando retenidos en el vaso del embalse

Hay, pues, tres agentes fundamentales que intervienen en la colmatación histórica del embalse de Flix: los vertidos de la fábrica, los arrastres sedimentados del Ebro y la suavización del régimen del río, todos ellos inducidos por la intervención antrópica.

Con todas estas consideraciones de partida, se acomete la búsqueda de soluciones para evitar el riesgo de contaminación, continua o episódica.



Figura 3. Vista aérea 1985.

### 2.1. Procesos generadores de residuos

Los materiales que conforman actualmente la margen del embalse a la altura de la fábrica son, en buena parte,

procedentes de residuos de la actividad de la propia fábrica. Los procesos que han podido generar la mayor parte del volumen de estos materiales acopiados o sedimentados en la margen son los siguientes:

- a) **Combustión de carbón.**
- b) **Disolución de sal.**
- c) **Tricloroetileno.**
- d) **Percloroetileno y tetracloruro de carbono.**
- e) **Fosfato dicalcico.**

### 2.2. Procesos potencialmente contaminantes

Como ya se ha indicado, los contaminantes presentes responden a tres grandes grupos: radionucleidos, orgánicos y metales pesados (mercurio principalmente)

Son los compuestos orgánicos, los que pueden tener más diversas procedencias, dada la variedad de procesos en que están integrados. Así, por ejemplo pueden originarse en los procesos de DDT (1945-75), de PER-TETRA (desde 1972), de PCBs (1959-87 o de tetracloruro de carbono (1947-72).

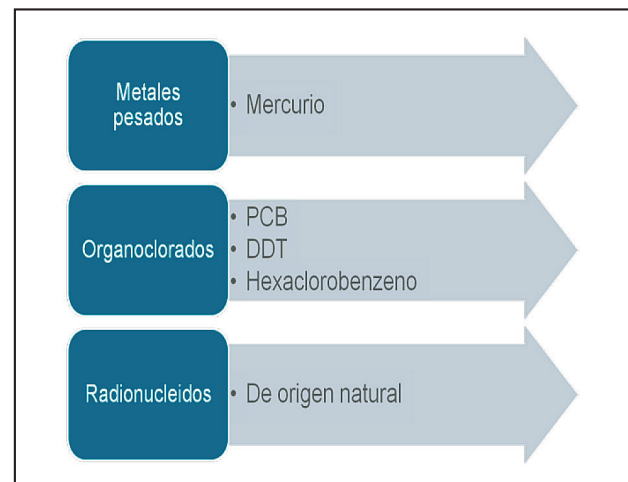


Figura 4. Contaminantes principales.

### 3. SOLUCION ADOPTADA

Los estudios realizados han permitido establecer que las soluciones posibles pueden ser clasificadas en dos grandes grupos, según que los residuos se mantengan finalmente en el embalse (soluciones in situ) o, por el contrario, sean extraídos y ubicados en otro punto (soluciones ex situ).

Diversas razones técnicas (económicamente ambas soluciones no son muy distintas) han conducido a que haya sido considerada como óptima la denominada “solución ex situ”.

Los trabajos a llevar a cabo se pueden clasificar en:

#### 3.1. Trabajos preliminares

- Construcción de un muro **de doble línea de tableros** de 1300m de longitud, cerrando un recinto de trabajo contra la margen derecha del embalse para aislar los lodos contaminados respecto del río, que se ejecuta de forma previa a la manipulación de los lodos contaminados (es un elemento común de las dos soluciones propuestas).

Su objeto esencial es la creación de un recinto abrigado (con agua quieta) e independiente del agua fluyente del Ebro, de forma que durante la actuación (durante las obras en el embalse) pueda mantenerse el flujo del río a modo de canal por la margen izquierda del embalse y que, caso de producirse alguna incidencia en el proceso, esta se mantenga confinada y no envíe contaminación hacia agua abajo.

- Construcción de un **muro pantalla de pilotes secantes** de 1100m de longitud en la línea litoral de la margen derecha del embalse, para evitar el riesgo de descalce de la costa debido a la retirada de la contención que representan los residuos y que simultáneamente evita el flujo desde el subsuelo de la fábrica hacia el embalse.
- Construcción de un **colector interceptor** de los desagües de vertido existentes en la fábrica.
- Construcción, dentro del recinto de la fábrica, de diversas **naves industriales** para albergar las **instalaciones de tratamiento** de material y del agua extraída; así como de almacenes de acopio
- Adecuación e impermeabilización de un **depósito controlado de Clase II** en el Racó de la Pubilla, siguiendo criterios de exigencia superiores a los exigidos en normativa vigente.
- Construcción de **siete pozos** para abastecimiento de agua a las poblaciones situadas aguas abajo. Su utilización está reservada única y exclusivamente en caso de una eventual situación de emergencia.



**Figura 5.** Fotografía general y detalle embalse de Flix. Cabe destacar la barrera que impide la propagación de los residuos químicos.

### 3.2. Obras de producción

Una vez ejecutado el recinto podría procederse a la extracción de los residuos (a menor escala, esta actividad también forma parte de la solución in situ).

La extracción de la fracción sumergida se realizará mediante dragas ecológicas trabajando en un segundo recinto formado con cortinas plásticas flotantes. Esto permite la minimización de la movilización de contaminantes y la creación de una depresión en la zona de la draga, lo que hará difícil la tendencia del agua hacia fuera. Esto se complementa con la disposición de una pequeña bomba que puede operar en las paradas de la draga. Para evitar la movilización de contaminantes, el rendimiento ha de ser necesariamente bajo.

Una vez extraído el material debe ser objeto de algún tipo de tratamiento, cuyo objetivo (en la solución ex situ) es la consecución en los residuos de unas condiciones tales que sea admitido para su confinamiento final en el vertedero previsto

El tratamiento consiste en:

- **Clasificación granulométrica**, usando cribas e hidrociclones, seguida de la **deshidratación** del material, mediante depósitos de decantación y filtros prensa.
- La fracción sólida será clasificada según las concentraciones de contaminantes presentes, conduciendo directamente las fracciones más limpias a vertedero y tratando específicamente aquellas otras que serían rechazadas en el vertedero. Una vez evaluadas las posibilidades se han adoptado como tratamientos (alternativa o secuencialmente):

- **Desorción térmica** (vs. comp. orgánicos): El material es introducido en el horno de desorción a menos de 350°C para evitar la evaporación del mercurio.

Los gases resultantes del horno de desorción pasan a un horno de oxidación térmica, donde se calientan de nuevo, esta vez a 1.100°C. Tras esto, la temperatura se enfría hasta por debajo de 200°C para evitar la formación de dioxinas. El gas resultante del horno de oxidación térmica pasa por el filtro de mangas para recoger las partículas en suspensión.

- **Oxidación:** Si los contaminantes principales del lodo deshidratado son compuestos volátiles en concentraciones moderadas, este se oxidará en el tanque de mezclado mediante la adición de reactivo y agua. Tras el mezclado el material pasa a los depósitos de reacción. Tras 2 horas, dan como resultado un compuesto inerte no soluble en agua y listo para trasladar al vertedero.
- **Estabilización:** (vs. metales pesados): Si los lodos resultantes tienen una alta concentración de mercurio y otros metales pesados, se procesan en la planta de estabilización.

Pasando por unas tolvas, el lodo se mezcla con agua, cemento y aditivos específicos, consiguiendo estabilizar el mercurio, evitando la presencia de este en el posible lixiviado del lodo.

- **Agua** del proceso es enviada a la planta de tratamiento de aguas (EDAR), cuya producción es alrededor de cien litros por segundo.

El diagrama inferior pone de manifiesto la crucial importancia de los controles de contaminación al final de cada proceso, antes de aprobar la continuación en la cadena de descontaminación. Asimismo se siguen unas estrictas normas de seguridad en la manipulación de los materiales, para evitar la afección tanto a las personas como al medio ambiente.

Después del tratamiento, el material es transportado por carretera mediante camiones al depósito controlado de clase II. (El residuo no es ni tóxico/peligroso ni inerte)

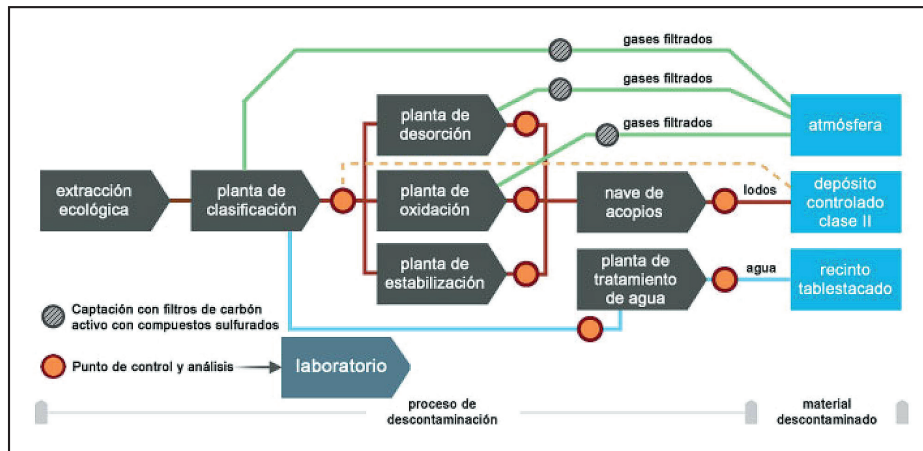


Figura 6. Proceso tratamiento lodos contaminados.

### 3.3. Obras de desmantelamiento

- Clausura del depósito controlado
- Desmontaje del muro de tablestacas
- Desmantelamiento de los interceptores de aguas superficiales y reposición del vertido al embalse de los colectores de pluviales y fabriles
- Retirada de los elementos mecánicos y móviles de la planta de tratamiento
- Desmantelamiento del edificio de la planta y los elementos fijos que contenga

- Refuerzo de estabilización mediante un talud de escollera gruesa adosado al muro de pilotes en toda la extensión en que se haya producido la extracción de material contra el muro de protección de pilotes secantes.

### 4. DISEÑO INICIAL DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL VERTEDERO

En este artículo nos centraremos en el sistema de drenaje del vertedero que debe cumplir, tal como se ha indicado anteriormente, tanto las directivas Europeas como las

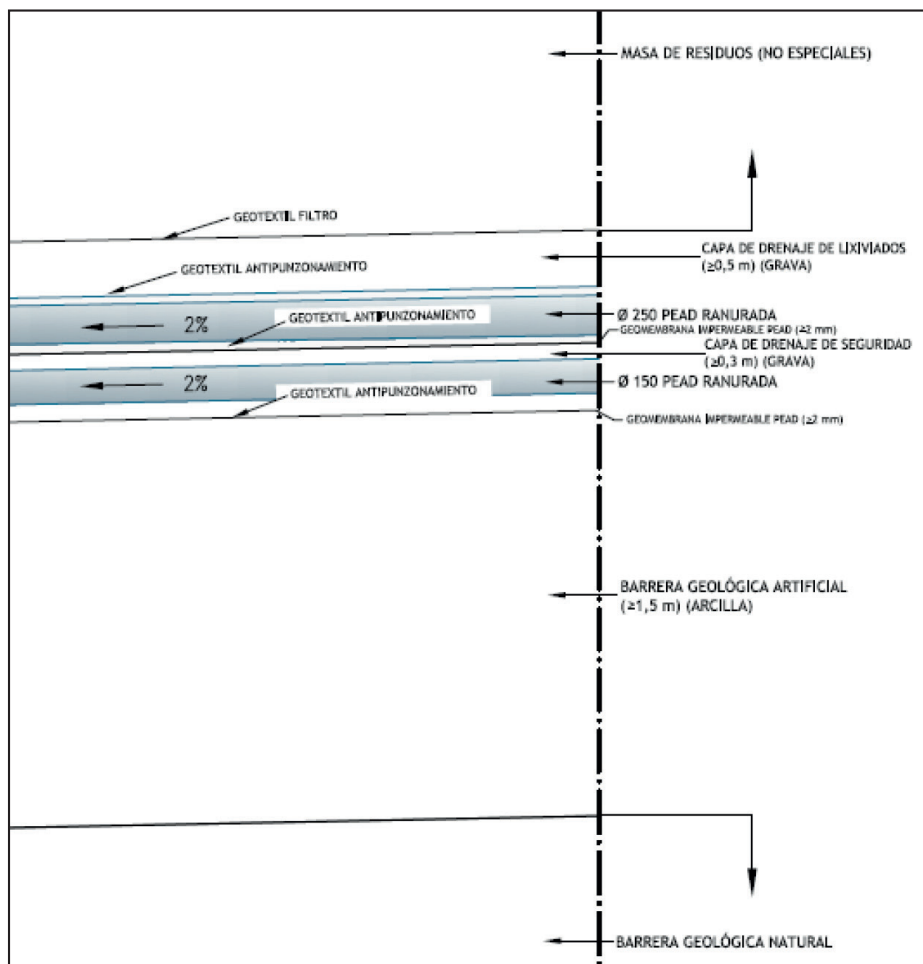


Figura 7. Sección tipo del vertedero de Flix según proyecto constructivo original (Capas de protección del sellado basal).



poliméricos para ser utilizados con suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica como parte de una estructura, sistema o proyecto hecho por el hombre.

Las primeras referencias con productos geosintéticos las encontramos en los años 70 (Koerner, 2012). Hoy en día se trata de una industria regulada, altamente tecnificada, con experiencia y solvencia sobradamente demostradas. En España, la normativa técnica especializada parte del Real Decreto 1481/2001, la norma UNE EN 13257 (Geotextiles y productos relacionados) donde se describen los requisitos para su uso en vertederos de residuos sólidos y por la norma UNE 104425 que describe los criterios de puesta en obra para los sistemas de impermeabilización de vertederos de residuos con láminas de polietileno de alta densidad.

A pesar de ser muy habituales en ciertas especialidades constructivas (vertederos y minas), estos materiales siguen siendo grandes desconocidos para la mayoría de profesionales de la construcción.

Sin entrar en demasiado detalle, existen productos geosintéticos para las siguientes aplicaciones en un vertedero:

- Separación, filtración y protección: para estas funciones se utilizan geotextiles de polipropileno (PP) o poliéster (PET), que son los geosintéticos más conocidos dada su extensa utilización en obra civil y edificación.
- Impermeabilización: barreras geosintéticas que pueden ser geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD) o de caucho de etileno propileno dieno (EPDM), o geocompuestos de bentonita.
- Refuerzo de taludes: geosintéticos bajo el nombre de geomallas extrudidas o tejidas que se pueden fabricar con PP, PEAD o PET
- Control de erosión de taludes: geocompuestos volumétricos fabricados con distintos polímeros para favorecer la revegetación.
- Drenaje: malla extruida de PEAD llamada georred o geocompuesto de drenaje cuando se combina una georred con uno o más geotextiles.

En adelante el presente artículo se centrará en los geocompuestos de drenaje utilizados en la obra que nos ocupa, pero se ha considerado oportuno realizar una breve introducción de las distintas posibilidades de los geosintéticos.

### 5.3. Solución adoptada en el vertedero de Flix

Cualquier cambio en la solución inicial del proyecto debía cumplir necesariamente con los siguientes requisitos:

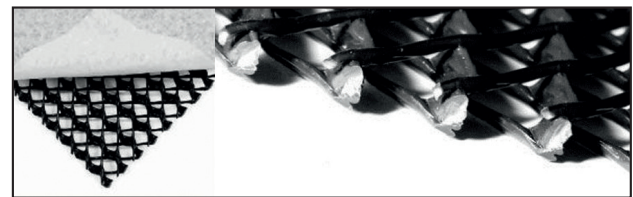
- Legislativos: cumplir con aquello establecido en la directiva 1999/31/CE y en el Real Decreto 1481/2001. Por tanto, la capacidad de flujo de la nueva solución debía ser igual o superior a la de una capa de gravas de 50cm de espesor.
- Estructurales: debido a los más de 43 m de espesor de residuos químicos de alta densidad a disponer sobre el sistema de drenaje, la presión que debe ser capaz de soportar supera los 600 kPa.

- Acopio: eliminar la necesidad de amplias zonas de acopio.
- Instalación: rendimientos adecuados tanto en el fondo como en los taludes

Tras estudiar detenidamente los condicionantes, se optó por un geocompuesto de drenaje de altas prestaciones formado por:

- Una georred tri-planar de PEAD de 7 mm de espesor de alta resistencia a la compresión
- Un geotextil de polipropileno (PP) de elevadas prestaciones mecánicas cuyo resistencia al punzonado estático superior a los 2,3 KN, una permeabilidad superior a 60 l/m<sup>2</sup>.s y una masa de 200 g/m<sup>2</sup>, como elemento protector de la impermeabilización GBR-P laminado en la cara inferior de la georred tri-planar.
- Un geotextil resistente a las radiaciones ultravioleta (UV), con idénticas propiedades al anterior, laminado en la cara expuesta a la intemperie (excepto en las zonas para drenaje de seguridad entre las dos impermeabilizaciones donde la protección UV no era necesaria).

Estos tres productos geosintéticos venían unidos mediante proceso de laminación desde fábrica, es decir, unidos para que formen un único producto monolítico capaz de cumplir con las funciones de drenaje, separación, filtración y protección (Figura 7).



**Figura 9.** Geocompuesto drenate PEAD tri-planar de alta resistencia al aplastamiento.

La elección de un producto tan específico se justificó aportando respuestas a todos los requerimientos expuestos anteriormente, tal como se detalla a continuación.

Mediante ensayo de capacidad de flujo en el plano (UNE EN ISO 12958) se demostró que el geocompuesto propuesto era capaz de drenar más volumen de fluido que una capa de 50cm de gravas.

Además, se realizó un estudio técnico siguiendo la normativa GRI GC8 (Geosynthetics Research Institute) para demostrar que la capacidad de flujo a largo plazo (vida útil de la obra) del geocompuesto tri-planar propuesto seguiría siendo superior a la de una capa de 50cm de gravas recién instalada. A tal efecto se tuvieron en cuenta los factores reductores establecidos en la normativa para intrusión de los geosintéticos adyacentes en el núcleo de la georred, fluencia tanto de la georred como de los geosintéticos adyacentes (Giroud et al., 2000), colmatación química o precipitación de sustancias químicas en núcleo de la georred, y colmatación biológica en el núcleo de la georred (Koerner, 2012).

La demostración del cumplimiento del requisito estructural, se realizó mediante ensayo de resistencia a compresión según UNE-EN ISO 604:2003 aportando un factor

de seguridad muy superior a 2, respecto a los 600 kPa requeridos.

Es de especial relevancia destacar que para suministrar el material necesario para cubrir los 150.000 m<sup>2</sup> de la obra, sólo fue necesario enviar, directo desde fábrica, 23 camiones de producto tri-planar. Además, como se suministraron a medida que se necesitaba el material en la obra, la zona de acopio necesaria no fue representativa.

De la misma manera, es importante mencionar como ventajas añadidas de los geocompuestos de drenaje su enorme facilidad de instalación, obteniendo un elevado rendimiento (> 2.000 m<sup>2</sup>/día como media entre las diferentes fases), alta seguridad (no requieren presencia de maquinaria pesada ni de operarios, especialmente delicado en zonas de elevada pendiente), no generan sobrecargas adicionales sobre el terreno, permiten aumentar la capacidad del depósito dado su reducido espesor y, al tratarse de productos industriales, homogéneos y conocidos, tienen marcado CE y siguen un estricto control de calidad que permite certificar su comportamiento.



**Figura 10.** Vistas aéreas del Flix en fase constructiva.

Los factores expuestos someramente en los párrafos anteriores demostraron la viabilidad del empleo de estos productos geosintéticos de nueva generación para su aplicación en los vasos nuevos de los vertederos. Por ello, finalmente se decidió decantarse por la utilización del geocompuesto drenante PEAD de estructura tri-planar frente a la solución tradicional con gravas.

Todas las capas de drenaje del vertedero de Flix se han ejecutado empleando geocompuestos de drenaje tri-planar que recogen los lixiviados generados en el vertedero para, posteriormente, poder tratarlos adecuadamente.

## 6. CONCLUSIONES

Existen ciertas aplicaciones que implican altos requerimientos de resistencia a la compresión, tales como la construcción de sistemas de drenaje en nuevas celdas para vertederos, así como el drenaje bajo grandes terraplenes o las balsas de decantación y PADS de lixiviación en la industria minera.

No todos los geocompuestos de drenaje existentes en el mercado son adecuados para estas aplicaciones, ya que el diseño estructural de cada uno de ellos limita su resistencia a la compresión. De hecho, sólo los geocompuestos basados en georredes tri-planares de PEAD pueden garantizar un funcionamiento adecuado a largo plazo bajo tales condiciones.

Los geocompuestos tri-planares han sido extensamente utilizados en los últimos años en todo el mundo para estas aplicaciones, mostrando que no tan sólo son justificables técnicamente, sino que también la experiencia apoya su uso. La utilización de un geocompuesto tri-planar en el depósito para la eliminación de la contaminación química del embalse de Flix demuestra su viabilidad en obras con grandes requerimientos técnicos en España.

Los ingenieros que trabajan con geosintéticos en estas tipologías de proyectos no deberían limitarse a asegurar que la capacidad de drenaje sea la adecuada, sino que también deberían tener en cuenta su resistencia a la compresión de manera que puedan asegurar su correcto funcionamiento a largo plazo bajo tales condiciones de carga. En el caso particular de Flix, las cargas permanentes sobre el geocompuesto superan los 600 kPa.

Como parte de la solución a un problema medioambiental grave, se instalaron más de 150.000 m<sup>2</sup> de geocompuesto tri-planar entre los años 2012 y 2013 en Flix.

## 7. REFERENCIAS

UNE-EN ISO 10318. (2006). *Geosintéticos*. Términos y definiciones (ISO 10318:2005)

Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril 1999, relativa al vertido de residuos.

"Eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix". Artículo de la revista RETEMA Ed. Mayo – Junio 2013.

Giroud, J. P., Zhao, A., y Richardson, G. N. (2000). *Effect of Thickness reduction on Geosynthetic Hydraulic Transmissivity*. Geosynthetic International, Vol.7 Nos. 4-5, pp.

GRI Standard GC8. (2008). *Standard Guide for Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite*. Geosynthetic Institute.

Proyecto 07/07 constructivo para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix (Tarragona). Ministerio de Medio Ambiente.

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

UNE-EN 13257. (2001). *Geotextiles y productos relacionados*. Requisitos para su uso en los vertederos de residuos sólidos.

UNE-104425.(2001). *Materiales sintéticos*. Puesta en obra. Sistemas de impermeabilización de vertederos de residuos con láminas de polietileno de alta densidad.

UNE-EN ISO 604. (2002). *Plastics - Determination of compressive properties*.

UNE-EN ISO 12958. (2010). *Geotextiles and geotextile-related products -- Determination of water flow capacity in their plane*.

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

Leiro, A. (2013). *Geosintéticos. Geotextiles y productos relacionados con geotextiles*. Revista RUTAS.

Leiro, A. (2012). *5th European Geosynthetics Congress, EuroGoe5 (Valencia)*. Geotextiles y productos relacionados. Naturaleza características y metodología experimental. Curso de introducción a los Geosintéticos. Utilización y Criterios de Diseño. Recuperado de [http://: www.descontaminacionflix.com](http://www.descontaminacionflix.com)