

1.- El impacto medioambiental de un vertedero no controlado.

El residuo sólido urbano acumulado en un vertedero constituye un bioreactor que produce en distintas fases, de forma aeróbica y luego anaeróbica, metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) así como un lixiviado contaminante, durante un periodo que puede llegar a 30 años. En ese proceso químico de fermentación, el agua desempeña un papel fundamental (Fig. 1).

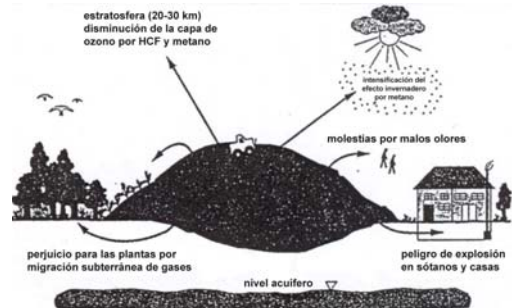


Figura 1. Esquema de las emisiones de un vertedero

Dichas emisiones junto con los lixiviados si no son controladas, constituyen una elevada contaminación medioambiental. Para evitar el impacto que pueden producir se emplean los geosintéticos.

2.- El uso de los geosintéticos, sus distintas capas como componentes de la barrera estanca.

2.1 Primera fase, la impermeabilización del vaso acumulador de basura.

Al ser la construcción de un vertedero una actividad regulada por la Administración Medioambiental, quedará la actitud del instalador de la barrera estanca, limitada a dicha normativa y sujeta a las indicaciones del correspondiente proyecto.

Por lo tanto, se centra nuestra contribución en el reto de asegurar la extensa durabilidad de los componentes, en la ejecución cualificada de la instalación, en la selección de los componentes o distintas capas bajo criterios técnicamente adecuados y en un control de calidad en los componentes a utilizar, tanto en el laboratorio como en la fase de obra.

En esta fase, para la construcción de la barrera estanca del vaso se utilizan, por debajo de la impermeabilización:

- Como medio de control y detección de fugas: 'la red de sensores electromagnéticos'.
- Como capa de seguridad: 'Mantas geosintéticas de bentonita (MGB's)', se trata de bentonita en forma de "sándwich" entre dos geotextiles o soportado sobre una geomembrana, constituyendo una barrera geológica artificial, cuando la barrera natural no cumple con lo especificado en el R.D. 1481/2001 (Foto 1).
- Como capa de protección de la geomembrana: 'geotextiles', con criterios para su adecuación como capa protectora contra efectos punzonantes entre el suelo y la geomembrana, así como de protección contra acciones mecánicas por parte de

componentes rígidos inherentes al suelo, cuando el elemento de seguridad bentonítico no es un geosintético o este no cumple adecuadamente la función de protección.

- Como capa impermeabilizante: la 'geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD)' de espesores variables, químicamente inertes.



Foto 1. Instalación de geocompuesto bentonítico en el Vertedero de Aldeanueva de Figueroa (Salamanca)

Por encima de la geomembrana:

- Como capa de protección de la geomembrana: 'geotextiles', con criterios, para su adecuación como capa protectora contra efectos punzonantes a la geomembrana (*Foto 2*), cuando el elemento drenante no es un geosintético o este no cumple adecuadamente la función de protección.
- Como capa drenante: 'geocompuestos drenantes', se trata de un tipo de combinación con mini conductos y geotextiles conocido como DRAINTUBE, o de una combinación de una malla especial con núcleo de PEAD, encapsulado entre uno o dos geotextiles.



Foto 2. Extendido de gravas e instalación de la geomembrana y geotextil en el Vertedero de Pinto (Madrid)

2.2 Segunda fase, la impermeabilización del sellado del vertedero.

El sellado de un vertedero tiene como objetivo evitar la entrada de agua procedente de las precipitaciones, originando que dichas aguas se contaminen al infiltrarse a través de la masa de residuos e incrementen el volumen de lixiviados en el interior del vaso del vertedero. Otro de los objetivos del sellado, es evitar las emisiones de los gases a la atmósfera, los cuales, además de tener una valorización energética, suponen un riesgo para la capa de ozono y el efecto invernadero.

En la fase o construcción de la barrera estanca de la capa de sellado se utilizan, por debajo de la impermeabilización:

- Como capa drenante o conductora de gases: 'geocompuesto drenante', se trata de un tipo de combinación con mini conductos y geotextiles, conocido como DRAINTUBE, o de una combinación de una malla especial con núcleo de PEAD, encapsulado entre uno o dos geotextiles.
- Como capa de protección de la geomembrana: 'geotextiles', con criterios, para su adecuación como capa protectora contra efectos punzonantes de la geomembrana, cuando el elemento drenante no es un geosintético o este no cumple adecuadamente la función de protección.
- Como capa impermeabilizante: 'la geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD)' de espesores variables.

Por encima de la geomembrana:

- Como capa de protección de la geomembrana: 'geotextiles', con criterios, para su adecuación como capa protectora contra efectos punzonantes a la geomembrana (*Foto 3*), cuando el elemento drenante no es un geosintético o este no cumple adecuadamente la función de protección.
- Como capa drenante del suelo vegetal: 'geocompuesto drenante', se trata de un tipo de combinación con mini conductos y geotextiles, conocido como DRAINTUBE, o de una combinación de una malla especial con núcleo de PEAD, encapsulado entre uno o dos geotextiles.



Foto 3. Colocación de geotextil y capa de cobertura para el sellado del talud
Vertedero de RNP'S del Complejo Ambiental Los Ruices (Málaga).

3.- Legislación.

El Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, regula la eliminación de residuos mediante su depósito en vertedero. Determina que al final del periodo de explotación y relleno, todo vertedero tiene que realizar un proceso tecnológico de clausura con el propósito de proteger la salud de las personas y del Medio Ambiente.

La Norma UNE 104425, de noviembre de 2001, tiene por objeto y campo de aplicación definir las exigencias de puesta en obra y posterior conservación de los sistemas de impermeabilización de vertederos de residuos con láminas de polietileno de alta densidad (PEAD), si bien, ante la falta de normativa aplicable a otros geosintéticos y geocompuestos, se tomaba en consideración las recomendaciones contenidas en dicha norma UNE 104425. En la actualidad existe una normativa europea sobre vertederos, son las normas prEN 13492 y prEN 13493, sobre "Barreras geosintéticas: requisitos para su uso en la construcción de obras de almacenamiento de residuos líquidos y sólidos", respectivamente. Dentro de un plazo de tiempo, serán las normas de referencia para especificar las características destacables de las barreras geosintéticas, usadas como membranas de impermeabilización en la construcción de vertederos de residuos líquidos y sólidos, además, de describir los métodos de ensayo apropiados para determinar dichas características. Cualquier norma nacional que entre en contradicción con las citadas normas quedará sin efecto.

Ya se ha publicado la norma UNE-EN 13361 sobre "Barreras geosintéticas: requisitos para su utilización en la construcción de embalses y presas", la cual, indica las características requeridas y los métodos de ensayo correspondientes de la barrera geosintética polimérica (GBR-P).

Dentro del marco legal el ingeniero deberá, en base a los puntos críticos de cada proyecto, establecer el tipo y las características de los geosintéticos a emplear según los requerimientos de cada obra.

4.- La tecnología del sellado o instalación de una envoltura (capping en inglés) en un vertedero.

La *Figura 2* representa una sección del vaso del vertedero (la parte inferior) y la envoltura o sellado (parte superior).

Hace también referencia a los geosintéticos, de los cuales, la geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) constituye la capa impermeabilizante, tanto en la prevención, que las aguas lixiviadas contaminantes se difundan hacia el subsuelo, así como impidiendo la emisión de los gases de este bioreactor. Impermeabilizar o dotar las masas residuales acumuladas de una barrera estanca, es el reto del sector industrial especializado en la materia.

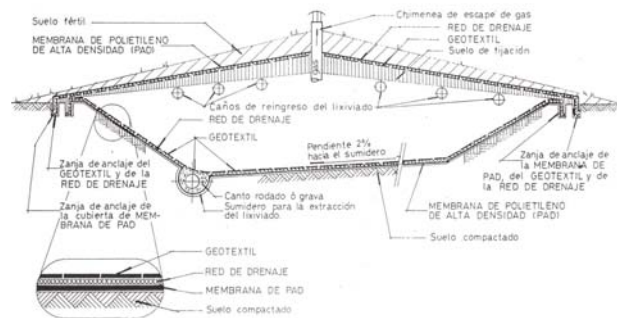


Figura 2. Esquema del corte transversal de un vertedero

Dicha barrera estanca ha de ser de gran inercia química y de larga durabilidad. Su idoneidad quedará garantizada con la aplicación cualitativa y experimentada por parte del profesional en el uso de geosintéticos, así como todos sus complementos, capas de protección, filtración o seguridad.

Toda barrera estanca construida de láminas sintéticas es, ni más ni menos, una *película* en su función impermeabilizante. Se trata de una capa muy resistente pero vulnerable, si ese material es sometido a acciones que sobrepasan sus límites de resistencia.

Ejemplos típicos:

- La agresividad del propio medio que contiene el vaso o recipiente.
- La influencia del Medio Ambiente, rayos UV, cambios de temperatura exterior o interior si el medio es un reactor.
- Comportamiento del suelo o de la superficie (punzonamientos por cantos de piedras o rocas, desgaste por fricción en superficies ásperas (por ejemplo hormigón), tensiones que originan suelos no homogéneos, etc.), que soporta la geomembrana.
- Presiones externas que origina el agua o los gases terrestres en caso de excavaciones.
- Tensiones producidas por asentamientos diferenciales del suelo o soporte.
- Tensiones que se originan debido a los cambios de temperaturas o por fricciones que sufre la lámina en los procesos de carga o explotación.
- Otros.

Dentro de los parámetros a los que hace referencia las normas europeas, son probablemente los de mayor relevancia el **tiempo de inducción oxidativa (OIT)** y el **stress cracking**. Ambos valores nos van a permitir predecir el comportamiento futuro de la lámina trabajando en condiciones extremas.

La barrera impermeabilizante va acompañada de diversos geocompuestos para el drenaje de gases, agua y lixiviados, en función del lugar que ocupe en el vaso o sellado del vertedero.

En los geocompuestos drenantes es fundamental destacar que su principal función es la de drenar los lixiviados y los gases producidos en el vertedero para, de esta forma, evitar la contaminación sobre el suelo, la atmósfera y las aguas subterráneas, neutralizando, al mismo tiempo, la presión no deseada sobre la geomembrana que estos pueden originar. Este material está sometido a unas cargas considerables, por ello dentro de las características del material, hay que incidir sobre su capacidad de flujo en el plano (m^2/s) bajo diferentes espesores de carga (kPa o kg/cm^2), considerando que serán diferentes las condiciones de trabajo del geocompuesto cuando actúe como drenaje de gases y/o agua de la capa de cobertura o cuando se coloque para el drenaje de lixiviados en el fondo o taludes del vaso. Estos materiales se someten a pruebas de laboratorio bajo distintas cargas ($20 kPa = 0,2 kg/cm^2$, $100 kPa = 1kg/cm^2$, $200 kPa = 2 kg/cm^2$, etc). Por ejemplo, suponiendo un espesor de dos metros de suelo sobre el geocompuesto drenante en el sellado del vertedero y una densidad de suelo de $1800 kg/m^3$, este material soporta una carga de $0,36 kg/cm^2$ ($36 kPa$). Será cuando se instale bajo las condiciones de construcción de un nuevo vaso cuando la capacidad de flujo en plano debe ser máxima a la máxima presión de trabajo. Además de esta función, los geocompuestos drenantes al estar entre geotextiles realizan una función de protección de la geomembrana frente a los posibles daños que pueda sufrir, por ello hay que tener en cuenta, además de lo expresado anteriormente, su resistencia a la perforación estática (ensayo CBR), la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura, etc, y a la continuidad de dichas características a la totalidad de la zona cubierta (análisis de estos parámetros en la zona de unión). Cuando los geocompuestos drenantes se utilizan en sellados, la variación de la capacidad de flujo en el plano pasa a ser menos crítica, pasando a ser más relevante la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y la resistencia a la perforación estática (ensayo CBR) en las zonas de sellado, ya que en los sellados se esperan asentamientos diferenciales, afloramiento de elementos punzonantes, etc.

Los geocompuestos bentoníticos se usan como sustitutivos de la barrera geológica natural cuando dicha barrera no existe, actuando como capa impermeabilizante para los lixiviados producidos, con el fin de evitar la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo. Una de las propiedades sobre la que hay que mostrar una especial atención, es su capacidad impermeabilizante y su coeficiente de adsorción, si a una permeabilidad menor le sumamos un coeficiente de adsorción mayor, podemos llegar a tener un producto, que ante una posible fuga en el vertedero, contenga el lixiviado durante más tiempo, evitando, de esta forma, la contaminación del medio receptor en un breve plazo de tiempo y permitiendo adoptar las medidas necesarias para evitar la contaminación. Debemos de tener en cuenta que el geocompuesto bentonítico se

comporta mucho mejor bajo condiciones de humedad y presión óptimas. Además de su función impermeabilizante, el geocompuesto bentonítico sirve de soporte a la lámina impermeabilizante, evitando la colocación de un geotextil, por lo que es importante que garantice las prestaciones de resistencia similares a la del geotextil que sustituye. En esencia, el factor crítico para su elección o no, en sustitución de la capa de arcillas, es la permeabilidad, de tal forma que pueda demostrarse la equivalencia entre la permeabilidad del geocompuesto y de la capa de arcilla contemplada en el R.D. 1481/2001. A partir de aquí y aceptando que el geocompuesto es capaz de sustituir a la capa de arcilla, son sus prestaciones técnicas como elemento de protección de la lámina los que determinarán su elección por el proyectista.

4.- Vasos de vertederos impermeabilizados (Fotos 4 y 5)



Foto 4. Vista del vaso del Vertedero de Aldeanueva de Figueroa (Salamanca)



Foto 5. Vista del vaso del Vertedero de Mora la Nova (Tarragona)

5.- Obras de sellado y de impermeabilización realizados (Foto 6)



Foto 6. Sellado del Vertedero Sanitariamente Controlado de Pinto (Madrid).

6.- Conclusiones

A modo de conclusión, los aspectos más relevantes a la hora de modificar los paquetes impermeabilizantes previstos en el R.D. 1481/2001 son los siguientes:

1. La aplicación de geosintéticos en sustitución de la barrera geológica artificial y de la capa de drenaje, vienen a optimizar la rentabilidad del suelo ocupado al conseguir el efecto de barrera pasiva en la bentonita y el efecto drenante deseado en los geocompuestos drenantes, con espesores inferiores al 10% de lo que se precisaría con la aplicación de productos naturales.
2. La aplicación de productos naturales para la creación de estas capas genera un gravísimo impacto medioambiental en las zonas de extracción y de tránsito de los vehículos y la maquinaria.
3. La aplicación de productos naturales resulta imposible para determinadas morfologías de vasos que impiden simultanear el aprovechamiento de las zonas degradadas, de explotación de canteras o de realización de préstamos para obras públicas, para la construcción de vertederos, ya que la orografía inicial hace imposible, por cuestión de estabilidad de los materiales, la aplicación de los productos naturales presentes en el R.D. 1481/2001.
4. En condiciones normales, la aplicación de la barrera impermeable artificial no bentonítica acarrea grandes problemas en cuanto a plazos de ejecución y lo que es más importante a la seguridad en la aplicación.
5. El factor del costo económico añadido al medioambiental y al de seguridad mencionados anteriormente, es un factor más de desviación para la utilización de los productos naturales como son las arcillas.
6. Existe un conocimiento claro de la evolución de los geocompuestos frente a la acción de los productos contaminantes existentes en los vertederos, por tanto, somos capaces de determinar la vida útil de estos productos en el medio donde se aplican. Resulta difícil preveer la evolución que tendrán los productos naturales en contacto con los materiales contaminantes, cuestión muy importante a la hora de decidir la sustitución por geosintéticos.

Artículo realizado por:

- **D. Francisco Abenza Guillamón. Ingeniero Técnico Agrícola.**
- **D. Harro Draheim. Diplomado en Ingeniería.**
- **D. Javier Antonio Rodríguez Ruiz. Licenciado en Ciencias Ambientales.**