

ANEJO Nº 2. DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN.

ÍNDICE.

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- APLICACIÓN DEL REAL DECRETO 1481/2001.....	1
3.- DESCRIPCIÓN DE LA BARRERA GEOLÓGICA NATURAL.....	2
3.1.- Descripción geológico-geotécnica.	2
3.2.- Permeabilidad de los materiales.	2
4.- ALTERNATIVAS AL DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN.	3
4.1.- Revestimiento impermeable del vaso de vertido.....	3
4.1.1.- Barrera geológica artificial constituida por arcilla.	3
4.1.2.- Capa de drenaje constituida por un geocompuesto drenante.	3
4.1.3.- Barrera geológica artificial constituida por un geocompuesto bentonítico....	4
4.1.4.- Consideraciones relativas al revestimiento impermeable.....	4
5.- SISITEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN PROPUESTO.	5
5.1.- Barrera de protección del fondo del vaso.	5
5.2.- Barrera de protección de los taludes.....	6
6.- CONSIDERACIONES FRENTE A LA ACCIÓN SOLAR.....	7
7.- CONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO SINTÉTICO.....	7
7.1.- Preparación del soporte.	7
7.2.- Taludes y bermas.....	8
7.3.- Colocación de la geomembrana.	8
7.4.- Anclajes.....	8
7.4.1.- Anclaje en zanja.	8
7.4.2.- Anclaje en bermas.	8
7.5.- Colocación del geotextil.	9
7.6.- Colocación de geocompuestos drenantes.	9
7.7.- Colocación del geocompuesto bentonítico.....	9

**ANEXO 1.- EQUIVALENTE DE CÁLCULO DE UNA CAPA DE ARCILLA DE 1,00 M. DE
ESPESOR FRENTE A LAS MANTAS GEOSINTÉTICAS DE BENTONITA.**

ANEJO Nº 2. DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN.

1.- INTRODUCCIÓN.

Con el objeto de ejecutar un nuevo vaso de vertido en el Complejo Medioambiental de Salto del Negro, se procederá al relleno de la vaguada trasera del barranco del Salto del Negro, aguas arriba de la zona de vertido actualmente en explotación, donde se localiza un vivero propiedad del Cabildo Insular de Gran Canaria y una antigua presa de manpostería. El relleno se realizará apoyándonos lateralmente en las laderas del barranco y creando un nuevo dique de cierre frontal, aproximadamente en la zona donde se encuentra el cuerpo de la antigua presa. La parte trasera se apoya en el talud de tierras que conforma el terraplén del enlace del Salto del Negro de la autovía de Circunvalación a las Palmas de Gran Canaria.

En el presente anejo se justifica el diseño del sistema de impermeabilización del nuevo vaso de vertido del Complejo Medioambiental de Salto del Negro, siguiendo para ello las indicaciones del Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

2.- APLICACIÓN DEL REAL DECRETO 1481/2001.

El Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, con el objeto de establecer un marco jurídico y técnico adecuado para dichas actividades, regulando las características de los vertederos, así como su correcta gestión y explotación.

Se entiende por vertedero la instalación para la eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie por períodos de tiempo superiores a:

- Uno o dos años según su destino final sea la eliminación o la valorización respectivamente, y para el caso de residuos distintos de los peligrosos.
- Seis meses en el caso de residuos peligrosos.

Se clasifican los vertederos en tres categorías atendiendo a las características de los residuos que albergan:

- Vertedero para residuos peligrosos.
- Vertedero para residuos no peligrosos.
- Vertedero para residuos inertes.

El nuevo vaso previsto para el Complejo Medioambiental de Salto del Negro se incluye dentro de la segunda categoría (vertedero para residuos no peligrosos).

Recoge el Anexo I del Real Decreto los requisitos generales para todas las clases de vertederos, estableciendo unos condicionantes en cuanto a su ubicación, el control de aguas y gestión de lixiviados, y la protección del suelo y de las aguas.

En cuanto a su ubicación, el nuevo vaso previsto quedará dentro del recinto del Complejo Medioambiental de Salto del Negro.

En relación al control de aguas y gestión de lixiviados, se define en el anteproyecto las medidas necesarias para controlar que las aguas de escorrentía no penetren en el nuevo vaso, así como para recoger y controlar las aguas contaminadas y los lixiviados, conduciéndolos hasta el punto de recogida o acumulación de lixiviados que consiste en una nueva balsa o depósito de hormigón a ubicar al pie del nuevo dique de cierre frontal, que irá conectado mediante bombeo hasta el punto de tratamiento de lixiviados.

La protección del suelo y de las aguas durante la fase activa o de explotación del vertedero queda garantizada en el anteproyecto con la definición de una barrera geológica y de un revestimiento artificial estanco bajo la masa de residuos.

La barrera geológica en las inmediaciones de un vertedero debe tener capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas. Por ello, se exige que la base y los taludes del vaso dispongan de unas condiciones de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado en materia de protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales, sea por lo menos equivalente a los requisitos siguientes en el caso de vertederos para residuos no peligrosos:

- Coeficiente de permeabilidad: $k \leq 1,0 \times 10^{-9}$ m/s
- Espesor ≥ 1 m.

Además, deberá añadirse un revestimiento artificial impermeable bajo la masa de residuos, así como un sistema de recogida de lixiviados.

Según lo anterior se establecen unas condiciones mínimas para las barreras de protección, que en el caso de vertederos de residuos no peligrosos son las siguientes:

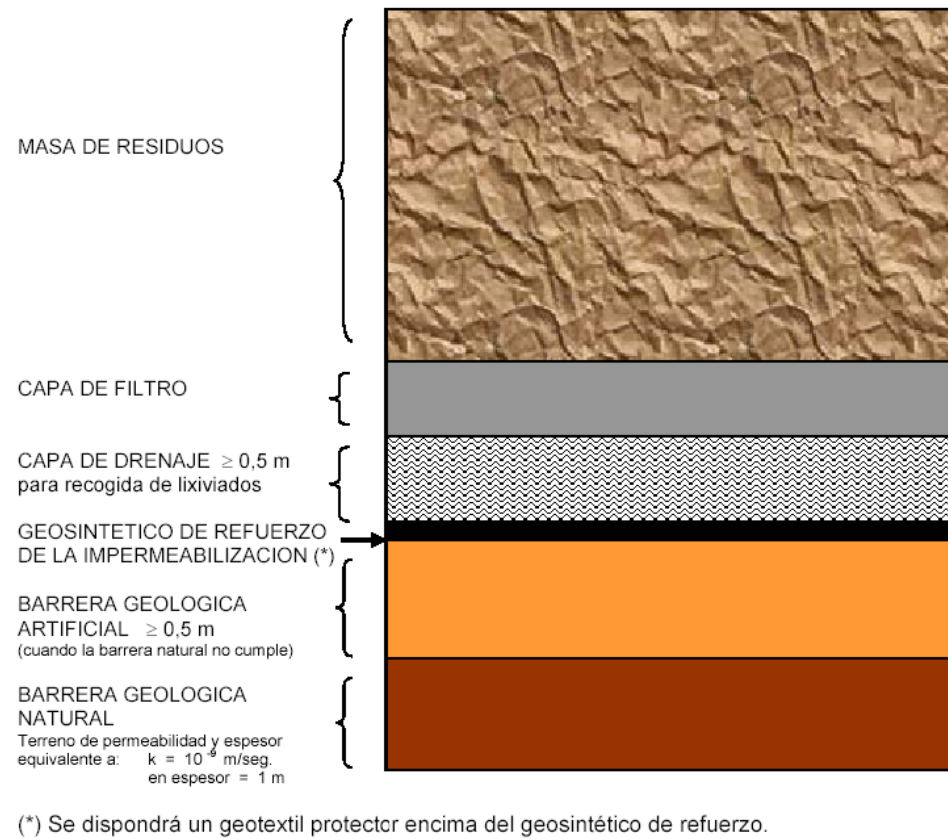


Figura 1. Condiciones mínimas exigidas a las barreras de protección de vertederos de residuos no peligrosos.

3.- DESCRIPCIÓN DE LA BARRERA GEOLÓGICA NATURAL.

3.1.- Descripción geológico-geotécnica.

Los materiales aflorantes en la zona del vertedero son arenas y conglomerados poco clasificados pertenecientes al miembro superior de la Formación detrítica de las Palmas (Cuaternario) que recubren discordantemente a lavas fonolíticas. En el fondo del barranco del Salto del Negro afloran materiales detríticos gruesos relacionados con la dinámica de este. Ver Figura 2.

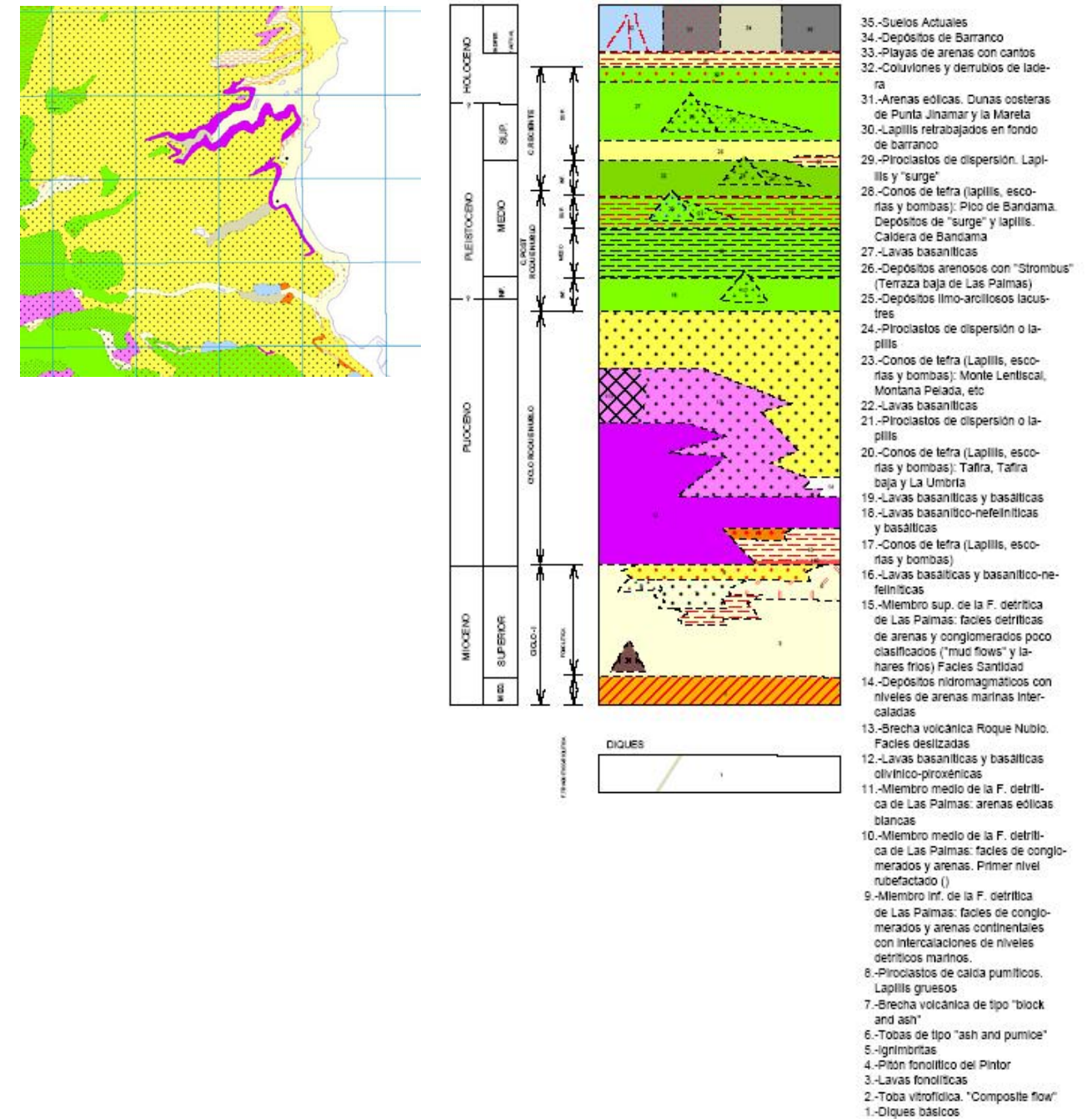


Figura 2. Mapa geológico del entorno del vertedero (Fuente IGME).

3.2.- Permeabilidad de los materiales.

La permeabilidad es un parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de un material. Los materiales detríticos presentan permeabilidad por porosidad intergranular, mientras que las lavas son permeables por fisuración. Ambos materiales tiene permeabilidades superiores a 10^{-7} m/seg., pudiéndose considerar como materiales de permeabilidad media.

Hidrológicamente el vertedero ocupa el cauce y los márgenes del barranco del Salto del Negro que discurre en sentido oeste-este, desde la Montañeta hasta su desembocadura en el mar.

En la zona del vertedero no se tiene constancia de la presencia de acuíferos en el subsuelo, ni de captaciones de agua próximas.

4.- ALTERNATIVAS AL DISEÑO DEL SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN.

El sistema de impermeabilización del nuevo vaso vendrá definido por las condiciones mínimas impuestas por el Real Decreto 1481/2001 y la Norma UNE104425, y por las características geológicas de los materiales que conforman la barrera geológica natural existente.

A continuación se realiza un estudio para determinar el sistema de impermeabilización que mejor se ajusta a las características del nuevo vaso de vertido.

4.1.- Revestimiento impermeable del vaso de vertido.

Atendiendo a las condiciones mínimas impuestas por el Real Decreto 1481/2001 y a las características de permeabilidad de la barrera geológica natural existente, la barrera de protección del nuevo vaso de vertido se diseñará considerando que las condiciones de permeabilidad son superiores a las exigidas, por lo que el sistema de impermeabilización estará constituido por una barrera geológica artificial reforzada con el empleo de materiales geosintéticos.

Durante el estudio del revestimiento del fondo del vaso se han consultado numerosos productos existentes en el mercado para su empleo en sistemas de impermeabilización de vertederos, y en base estos se proponen las alternativas siguientes.

4.1.1.- Barrera geológica artificial constituida por arcilla.

Dado que la barrera geológica natural no cumple con los requisitos fijados en el Real Decreto 1481/2001, se propone como primera solución un sistema de impermeabilización ajustado al procedimiento constructivo general de dicha normativa, formado por las siguientes capas (de mayor a menor profundidad):

- Barrera geológica artificial formada por una capa de arcilla de 1 metro de espesor.
- Geosintético de refuerzo de la impermeabilización, formado por una geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD).

- Protección de la geomembrana mediante un geotextil, que evitará que se produzca el punzonamiento de la misma por los materiales que componen la capa drenante, especialmente durante la instalación.
- Capa de drenaje de alta permeabilidad constituida por suelo granular y espesor mínimo de 50 cm. Se sitúa con una inclinación tal que permita el flujo por gravedad del lixiviado hacia el sumidero.
- Tuberías perforadas para la recogida del lixiviado, situadas en el interior de la capa de drenaje, que permitan aumentar el flujo y dirigirlo hacia el sumidero.
- Geotextil de filtro para evitar la colmatación de las gravas de la capa de drenaje.
- Capa de filtro sobre la capa de drenaje, con un espesor de 30 cm., que minimice su obstrucción y la proteja de residuos cortantes y del peso de la maquinaria.

4.1.2.- Capa de drenaje constituida por un geocompuesto drenante.

Como variante a la alternativa anterior, se podría sustituir la capa de drenaje de alta permeabilidad (constituida por un suelo granular de 50 cm de espesor) por un geocompuesto drenante formado por minitubos perforados de polietileno entre dos geotextiles (uno de protección y otro de filtro), con un espesor total de 4,5 mm. La sustitución de la capa de drenaje en estos términos permitiría aumentar la capacidad de vertido del vaso.

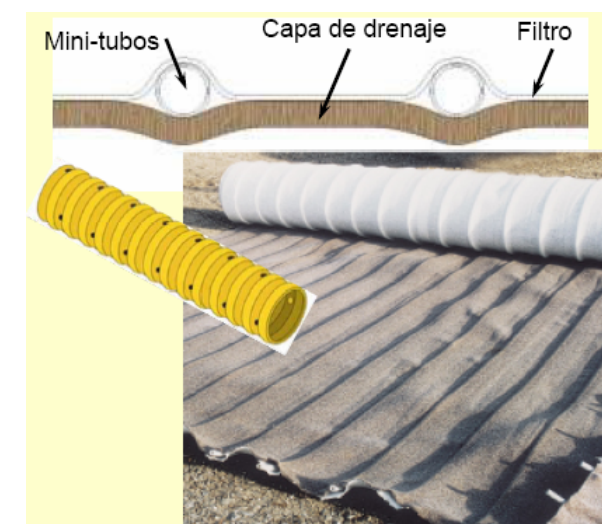


Figura 3.- Geocompuesto drenante formado por minitubos perforados.

Sin embargo, dada las características que presenta el nuevo vaso del vertedero se pueden presentar alturas de vertido de hasta 40,00 m., de modo que las cargas a las que va a estar sometido este geocompuesto drenante no recomiendan su empleo para este caso en particular.

Como alternativa a la utilización del geocompuesto drenante formado por minitubos perforados, existe en el mercado otra clase de geocompuestos drenantes, como es un geocompuesto formado por un núcleo drenante constituido por una georred de polietileno de alta densidad PEAD, de gran resistencia al aplastamiento, revestida por ambas caras por geotextiles de separación.

Estos geocompuestos drenantes presentan una alta capacidad de drenaje, y la georred que conforma su núcleo le aporta un alto grado de resistencia al aplastamiento, haciéndolo en un principio susceptible de colocación para las condiciones antes indicadas. Además de esto, dado la alta capacidad de drenaje que presentan, pueden sustituir parcial o totalmente a la capa de drenaje natural de alta permeabilidad, lo que sumado a su pequeño espesor, aproximadamente 8,00 mm., permitiría aumentar la capacidad de vertido del vaso.

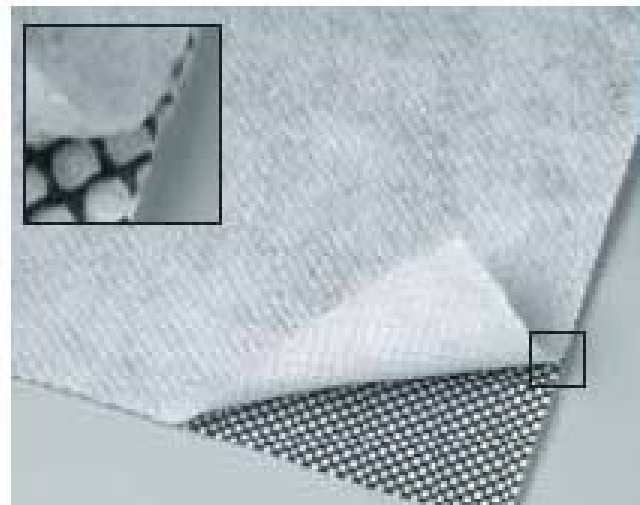


Figura 4.- Geocompuesto drenante formado por una georred de PEAD.

4.1.3.- Barrera geológica artificial constituida por un geocompuesto bentonítico.

La primera propuesta admite como solución alternativa adicional sustituir la barrera geológica artificial de 1,00 m. de arcilla por un sistema artificial de impermeabilización de menor espesor, que ofrezca una protección equivalente y a la vez permita aumentar la capacidad de vertido del vaso.

Se trata de geocompuesto bentonítico constituido por una capa de bentonita entre dos geotextiles, con un espesor aproximado de 6,00 mm.



Figura 5.- Geocompuesto bentonítico.

4.1.4.- Consideraciones relativas al revestimiento impermeable.

Para definir el sistema de impermeabilización se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El empleo de productos naturales en las capas del revestimiento impermeable del vertedero puede generar problemas de impacto ambiental en las zonas de extracción, especialmente cuando no se dispone de ellos en el ámbito de explotación del vertedero.
2. El empleo de productos naturales puede suponer igualmente inconvenientes de suministro, plazos de ejecución, e incluso de seguridad por las estrictas exigencias de calidad, especialmente cuando no se dispone de ellos en el ámbito de explotación del vertedero.
3. Al factor medioambiental y de seguridad mencionados anteriormente, se debe añadir el costo económico como un posible factor más de desviación por la utilización de productos naturales.
4. La sustitución de los productos naturales por geocompuestos permite incrementar la capacidad de vertido del nuevo vaso del vertedero, al resultar espesores muy inferiores a los requeridos.

5.- SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN PROPUESTO.

La solución propuesta para el revestimiento impermeable del fondo y de los taludes del nuevo vaso a construir se obtiene en base a las alternativas planteadas en el apartado anterior, teniendo en cuenta las consideraciones finales del mismo apartado, y cumpliendo los requisitos fijados en el Real Decreto 1481/2001 y la Norma UNE104425.

5.1.- Barrera de protección del fondo del vaso.

El sistema de impermeabilización del fondo del vaso estará constituido por las siguientes capas:

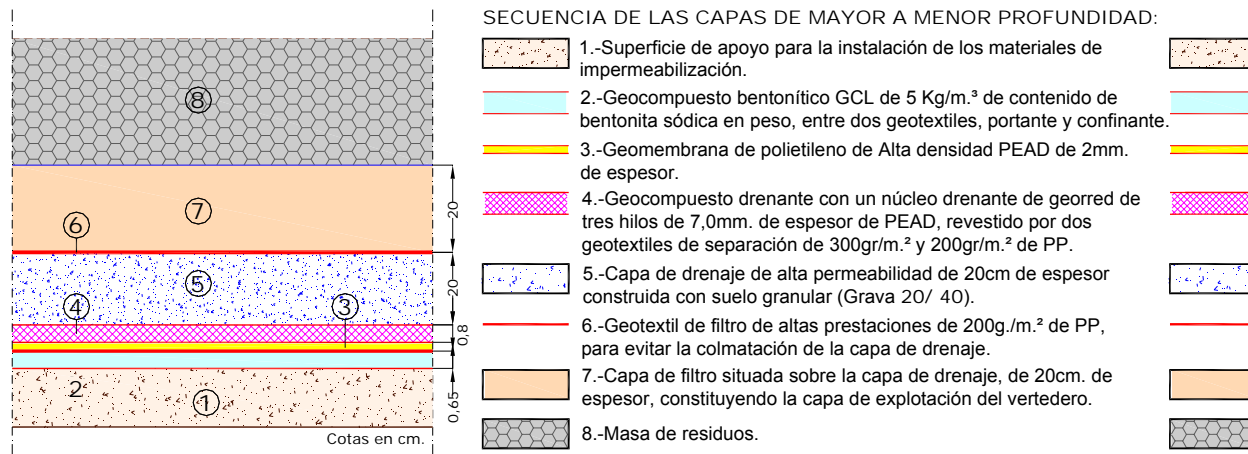
1. Superficie de apoyo. La superficie de apoyo estará lisa y libre de escombros, raíces y piedras cortantes, así como de materia orgánica, adicionando arena si fuera necesario.
2. Barrera geológica artificial. La barrera geológica artificial estará compuesta por mantas geosintéticas de bentonita (geocompuesto bentonítico GCL). Se trata de bentonita en forma de sándwich entre dos geotextiles, portante y confinante, a razón de 5 Kg./m³ de contenido de bentonita sódica en peso y aproximadamente 5,3 Kg./m³ de peso total del producto. Actuará como capa impermeable para los lixiviados producidos, con el fin de evitar la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo, además de servir de soporte a la lámina impermeabilizante. En el Anexo 1 del presente anejo se justifica mediante cálculo la equivalencia del geocompuesto bentonítico frente una capa de 1,00 m. de espesor de arcilla.
3. Geosintético de refuerzo de la impermeabilización. La capa impermeabilizante estará constituida por una geomembrana lisa de polietileno de alta densidad PEAD de 2 mm. de espesor, y color negro.
4. Protección del geosintético de refuerzo. Como capa de protección de la geomembrana se empleará un geotextil que cumplirá la función de capa protectora frente a los posibles efectos punzonantes de la capa de drenaje, cuando el elemento drenante no es un geosintético, cuando éste no cumple adecuadamente su función de protección, o durante su instalación. En nuestro caso particular, se propone tal y como se expone en el punto siguiente la utilización de un geocompuesto drenante, por lo que el geosintético de refuerzo será un elemento que vendrá incorporado al mismo. Dado que el geotextil que formará parte del geocompuesto drenante ejercerá una función de protección de la geomembrana, se instalará en la cara de contacto de

ambos geosintéticos un geotextil no tejido, de altas prestaciones de 300 gr./m², formado por un filamento continuo de polipropileno (PP).

5. Capa de drenaje. Situada directamente sobre el revestimiento impermeabilizante se dispone una capa de drenaje de alta permeabilidad, con una inclinación tal que permita el flujo por gravedad del lixiviado hacia el sumidero. Para la ejecución de la capa de drenaje se plantean dos posibles alternativas, la primera formada por una capa de 50 cm. de espesor de suelo granular (grava 20/40 mm.), y una segunda alternativa basada en la colocación de un geocompuesto drenante de alta capacidad de desagüe, con una resistencia al aplastamiento superior a 1.600 kPa (ASTM D 1621) y una capacidad drenante (ISO 12958) de 0,20 l/mxs. a 500 kPa (i=0,1), formado por un núcleo constituido por una geored drenante de tres hilos de 7,0 mm. de espesor de polietileno de alta densidad PEAD, de gran resistencia al aplastamiento, revestida por ambas caras por geotextiles de separación de polipropileno, de 300 gr./m² y 200 gr./m², no tejidos termofijados a ambas caras. Tal y como se justifica en el Anexo 2 al presente anejo, el geocompuesto tiene una capacidad drenante equivalente a 50 cm de grava. La solución que se propone pasa sin embargo por integrar las dos alternativas planteadas, disponiendo en la base de la capa de drenaje el geocompuesto drenante, sobre el que se colocará una capa de grava 20/40 mm. de tan sólo 20 cm. de espesor.
6. Evacuación del lixiviado. El lixiviado se recogerá por encima del sistema de impermeabilización mediante tubos drenantes colocados en zanjas recubiertas por gravas. Los tubos que constituyen la red de drenaje de lixiviados irán alojados por tanto en la capa de drenaje de alta permeabilidad, estando constituidos por tubería de drenaje de polietileno de alta densidad lisas ranuradas, con los diámetros y distribución descritos en el Anejo nº 3, "Captación de lixiviados y desgasificación del vertedero".
7. Barrera anticontaminante. Para evitar la colmatación de la capa de drenaje de alta permeabilidad con finos procedentes de la capa filtro o del residuo, se dispondrá sobre la capa de drenaje un geotextil anticontaminante, no tejido, de altas prestaciones de 200 gr./m², formado por filamento continuo de polipropileno (PP) agujeteado unido mecánicamente con posterior termosoldado.
8. Capa de filtro. Como culminación de la barrera de protección del fondo del vaso se dispondrá una capa de zorra de 30 cm de espesor, situada sobre la capa de drenaje, que minimice su obstrucción y la proteja de los residuos cortantes y del peso

de la maquinaria, constituyendo la plataforma de explotación del vertedero.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO.



SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN DEL FONDO. TRAMO EN ZANJA.

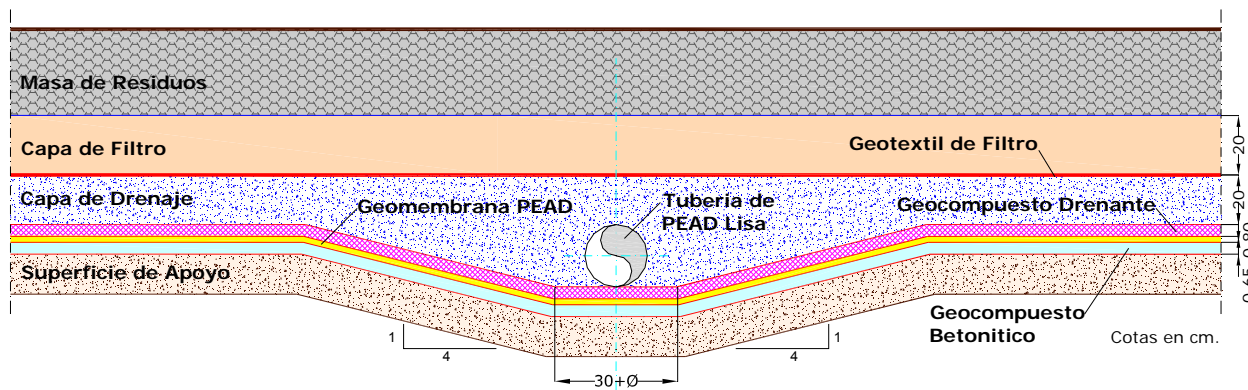


Figura 6.- Barrera de protección del fondo del vaso.

5.2.- Barrera de protección de los taludes.

El sistema de impermeabilización de los taludes interiores del nuevo vaso estará constituido por las siguientes capas:

1. Superficie de apoyo. La superficie de apoyo estará lisa y libre de escombros, raíces y piedras cortantes, así como de materia orgánica, adicionando arena si fuera necesario.
2. Barrera geológica artificial. La barrera geológica artificial estará compuesta por mantas geosintéticas de bentonita (geocompuesto bentonítico GCL). Se trata de bentonita en forma de sándwich entre dos geotextiles, portante y confinante, a razón de 5 Kg./m.³ de contenido de bentonita sódica en peso y aproximadamente 5,3 Kg./m.³

de peso total del producto. Actuará como capa impermeable para los lixiviados producidos, con el fin de evitar la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo, además de servir de soporte a la lámina impermeabilizante. En el Anexo 1 del presente anejo se justifica mediante cálculo la equivalencia del geocompuesto bentonítico frente una capa de 1,00 m. de espesor de arcilla.

3. Geosintético de refuerzo de la impermeabilización. La capa impermeabilizante estará constituida por una geomembrana lisa de polietileno de alta densidad PEAD de 2 mm. de espesor, y color negro.
4. Protección del geosintético de refuerzo. Como capa de protección de la geomembrana se empleará un geotextil que cumplirá la función de capa protectora frente a los posibles efectos punzonantes de la capa de drenaje, cuando el elemento drenante no es un geosintético, cuando éste no cumple adecuadamente su función de protección, o durante su instalación. En nuestro caso particular, se propone tal y como se expone en el punto siguiente la utilización de un geocompuesto drenante, por lo que el geosintético de refuerzo será un elemento que vendrá incorporado al mismo. Dado que el geotextil que formará parte del geocompuesto drenante ejercerá una función de protección de la geomembrana, se instalará en la cara de contacto de ambos geosintéticos un geotextil no tejido, de altas prestaciones de 300 gr./m.², formado por un filamento continuo de polipropileno (PP).
5. Capa de drenaje. Situada directamente sobre el revestimiento impermeabilizante se dispone una capa de drenaje de alta permeabilidad. Consiste en la colocación de un geocompuesto drenante de alta capacidad de desagüe, con una resistencia al aplastamiento superior a 1.600 kPa (ASTM D 1621) y una capacidad drenante (ISO 12958) de 0,20 l/mxs. a 500 kPa (i=0,1), formado por un núcleo constituido por una georred drenante de tres hilos de 7,0 mm. de espesor de polietileno de alta densidad PEAD, de gran resistencia al aplastamiento, revestida por ambas caras por geotextiles de separación de polipropileno, de 300 gr./m.² y 200 gr./m.², no tejidos termofijados a ambas caras. Tal y como se justifica en el Anexo 2 al presente anejo, el geocompuesto tiene una capacidad drenante equivalente a 50 cm de grava.

SISTEMA DE IMPERMEABILIZACIÓN EN TALUD.

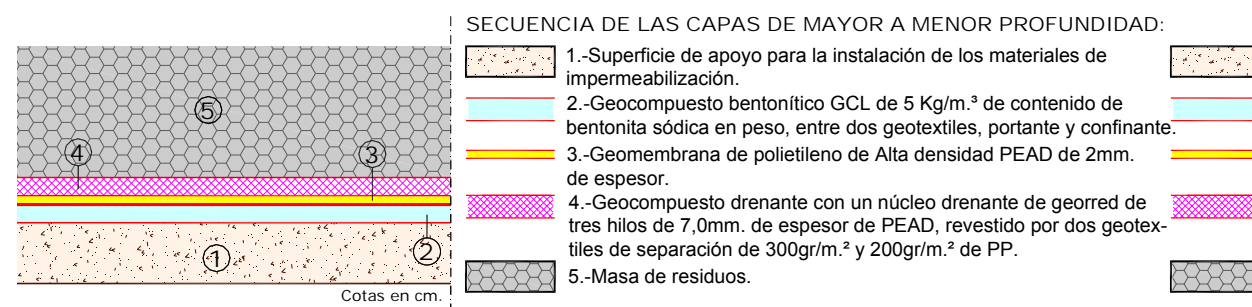


Figura 7.- Barrera de protección de los taludes.

6.- CONSIDERACIONES FRENTE A LA ACCIÓN SOLAR.

El sistema de impermeabilización de los taludes debe quedar protegido frente a la radiación UV, ya que una exposición prolongada a la radiación solar puede causar la destrucción de las capas expuestas del sistema de impermeabilización. Para proteger estas capas se puede actuar de dos maneras.

En primer lugar, se puede acudir al empleo de geotextiles estabilizados UV, que ofrecen una protección adecuada frente a la radiación solar. Sin embargo, hay que tener presente que esta protección sólo se garantiza durante un periodo aproximado de dos años, por lo que para periodos de exposición superiores, como en el caso que nos ocupa, no se recomienda el empleo de estos elementos.

En segundo lugar, podemos acudir al empleo de capas de protección frente a la radiación solar mediante el recubrimiento del sistema de impermeabilización. Para este caso se pueden emplear geotextiles de sacrificio o láminas de film plástico que recubran la impermeabilización y la aislen del exterior.

En cuanto a la idoneidad del empleo de uno u otro sistema, entendemos que corresponde al plan de explotación del vertedero decidir el sistema que mejor se adapte a sus necesidades, habida cuenta de los medios y materiales de que disponga el concesionario, así como disponibilidad en el mercado de materiales y la economía de la explotación del vertedero.

Dado que el periodo de explotación del nuevo vaso de vertido se estima que sea superior a dos años, se recomienda realizar la protección del sistema de impermeabilización de los taludes mediante el recubrimiento del sistema de impermeabilización. En cuanto a las dos alternativas planteadas, la utilización del film plástico presenta menos problemas de instalación, mayor rapidez de colocación y retirada, mayor facilidad de instalación de lastres para su estabilidad frente al viento y reparación en caso de avería que el empleo de geotextiles de

sacrificio.

Si se estima conveniente, se puede recurrir a un sistema mixto, en el que según el ritmo de crecimiento de los residuos dentro del vaso, el nivel que se alcance de residuos, transcurridos aproximadamente dos años desde su puesta en funcionamiento, se pueden emplear los geotextiles estabilizados UV, y a partir de este nivel, comenzar a proteger con el film plástico.

En cuanto a la instalación del recubrimiento con el film plástico, se debe tener muy presente, y así se deberá vigilar y exigir al concesionario, el retirar la protección a medida que el nivel de residuos vaya alcanzando mayores cotas, puesto que de lo contrario anularía la función del sistema de impermeabilización y el drenaje de los lixiviados hacia el sistema de extracción previsto.

Además de lo anterior, el film plástico se puede ir anclando a diferentes niveles, de acuerdo con el ritmo de crecimiento de residuos, de manera que se vaya retirando completamente por niveles, sin tener que actuar sobre el film que se encuentra a nivel superior.

7.- CONSTRUCCIÓN DEL REVESTIMIENTO SINTÉTICO.

La norma UNE 104425, de 25 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).

7.1.- Preparación del soporte.

El soporte determinará el sistema de impermeabilización que se empleará y de su preparación dependerá la vida del sistema de impermeabilización.

El material del soporte debe ser uniforme, con granulometría continua, y con ausencia de tamaños grandes (> 1,25 cm.) que puedan ocasionar punzonamientos al sistema de impermeabilización del vertedero. Si el terreno soporte no cumpliera con esta característica se procederá al estudio de la mejor solución, mediante la mejora del propio terreno o aportando material.

En el supuesto de que sea el propio terreno, no se aceptará la simple compactación del mismo ya que podría ocultar fisuras o cavidades, por las que podría haber fugas. Se procederá siempre a desbrozar eliminando la capa vegetal, escarificar y posteriormente compactar la capa de suelo necesaria.

Si se opta por el aporte de material, como puede ser el aporte de arena como material de subbase, se deberá compactar al 85% - 90% de densidad relativa, tanto en el fondo del vaso como en los taludes.

7.2.- Taludes y bermas.

Al igual que sucede con los materiales a emplear en el fondo del vaso, en taludes y bermas los materiales deben cumplir los requerimientos del terreno soporte.

Los taludes se realizarán lo más tendidos posible, no recomendándose taludes de pendientes mayores de 2:1. En caso que no sea factible llegar a esta pendiente se dispondrá de bermas según la siguiente tabla:

Talud horizontal/vertical	Una berma cada "x" metros de altura
1:1	cada 5 m.
1,5:1	cada 9 m.
2:1	cada 14 m.
>2,5:1	-

Tabla 1.- Disposición de bermas.

La anchura mínima recomendable de las bermas es de 4 m. en terraplén y de 2,5 m. en excavación, con la finalidad de facilitar los trabajos de impermeabilización y el tránsito de la maquinaria de explotación del vertedero.

7.3.- Colocación de la geomembrana.

La extensión y colocación de geomembranas se realizará de forma continua. Así mismo, se realizarán los taludes y la base de forma diferenciada e independiente. Las láminas una vez presentadas, se soldarán cuidando que su temperatura sea la misma para evitar tensiones en las soldaduras.

Las operaciones de cierre de base, el talud y el anclaje a obras de fábrica se realizarán durante las horas más frías del día.

Los pasos a seguir para la colocación son los siguientes:

1. Extensión y numeración de los paños.
2. Anclaje provisional de los mismos, en caso de ser necesario.
3. Soldadura y numeración de las mismas.

4. Comprobación de soldaduras.

5. Anclaje definitivo.

Es importante evitar el transporte de equipamientos y vehículos pesados sobre la geomembrana que puedan producir daños, por lo que sólo se debe autorizar el apoyo sobre la membrana de la maquinaria y el personal indispensable para su instalación. No se debe permitir el tráfico incontrolado de maquinaria sobre la geomembrana sin una protección adecuada.

7.4.- Anclajes.

7.4.1.- Anclaje en zanja.

Las zanjas de anclaje se construyen en la cresta del talud como método de sujeción de las geosintéticos, y así evitar su posible rotura a causa de las cargas aplicadas o por efecto del viento. Las aristas y bordes de las zanjas deberán estar redondeados para favorecer la adaptación de los geosintéticos.

Se establecen unas dimensiones mínimas para la zanja de anclaje en la coronación de los taludes de 50 cm. en la base y 50 cm. de profundidad. Con el fin de no deteriorar la coronación del talud y para facilitar la unión con fases futuras de ampliación del vertedero, la zanja deberá estar separada del borde del talud al menos 1 m.

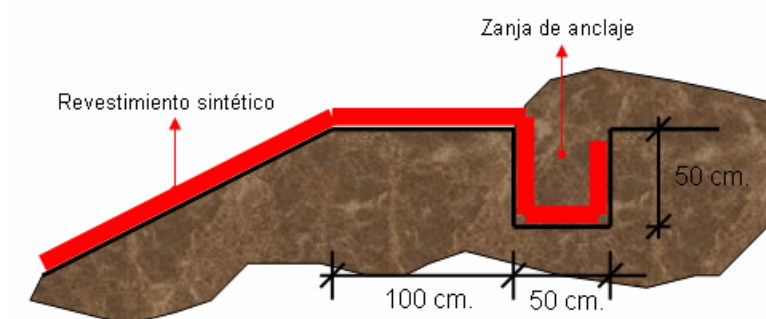


Figura 8.- Dimensiones de la zanja de anclaje.

Una vez instalados los geosintéticos de revestimiento, la zanja se rellenará con el mismo material procedente de excavación y se compactará, pudiendo emplearse también gravas u hormigón.

7.4.2.- Anclaje en bermas.

Cuando se hayan construido bermas en el talud, el anclaje de los elementos del sistema

de impermeabilización se realizará, en caso de ser necesario, mediante sobrepesos, tales como prefabricados de hormigón debidamente apoyados, o bien con material granular compactado de la excavación o de aportación, siempre sobre el geotextil de protección de la geomembrana. No se recomienda anclar las láminas en zanja, en las bermas, ya que esto obligaría a realizar soldaduras transversales no deseadas. Si fuese necesario realizar soldaduras transversales en la berma, éstas se realizarán lo más cerca posible del talud superior.

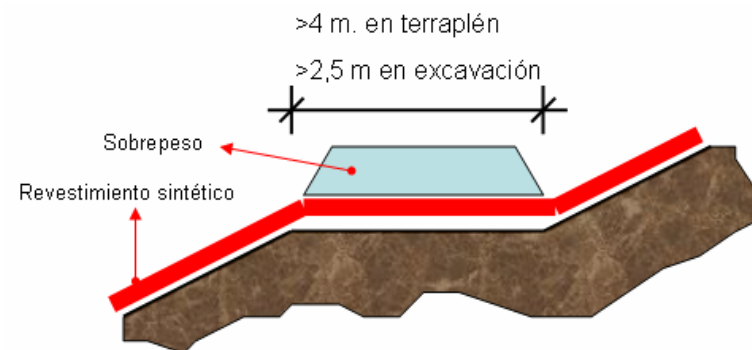


Figura 9.- Detalle y anclaje en berma.

7.5.- Colocación del geotextil.

La extensión de los geotextiles se realiza de forma continua, cuidando el anclaje eventual de los mismos durante la instalación para evitar posibles movimientos debido al viento.

Las operaciones de despliegue deberán realizarse de la siguiente manera:

1. En taludes, previo anclaje de los rollos/paneles, se desplegarán pendiente abajo coincidiendo con el sentido longitudinal de los rollos, de manera que se mantenga en tensión continuamente el material.
2. En presencia de viento excesivo, según progrese la instalación el material será provisionalmente lastrado con sacos o neumáticos. Los lastres provisionales se retirarán cuando el material quede cubierto definitivamente.
3. El corte de paneles y su unión entre sí se realizará con útiles apropiados que no dañen el material subyacente, especialmente si se trata de una geomembrana.
4. Durante la instalación se eliminará cualquier canto, brava u otro material que pueda quedar atrapado en la interfase entre el geotextil y el material subyacente, para evitar el punzonamiento de este último.
5. Tras la instalación se realizará una inspección final para eliminar residuos, agujas, cantos,

reparar desgarros y punzonamientos, etc., previa a la aprobación de la colocación del geotextil

Los geotextiles se unirán por termofusión o cosido con hilo sintético de los mismos, con un solape mínimo de 20 cm. Si las uniones se realizan por simple solape este no será inferior a 50 cm.

Se deben evitar las uniones transversales en los taludes a no ser que esta se realicen por cosido.

7.6.- Colocación de geocompuestos drenantes.

Los geocompuestos drenantes se colocarán de forma continua, y seguidamente el material que le sigue para evitar su desplazamiento debido al viento.

En taludes, los rollos deben permanecer continuamente en tensión, colocándolos, una vez extendidos, a mano para eliminar arrugas y asegurar la disposición paralela entre paneles adyacentes.

Si durante las operaciones de extendido se presente fuerte viento, los paneles deben ser lastrados provisionalmente desde el momento de su despliegue, no retirando los lastres hasta la cubrición definitiva del geocompuesto con otro material.

En cuanto a la unión, se realizará de manera que el núcleo que lo forma quede "a testa" y se solape el geotextil al menos 10 cm., unido por termofusión para asegurar la continuidad del filtro.

En los taludes de deberá evitar soldaduras o uniones transversales. Si se realizaran se deberán unir también los núcleos, de forma que la resistencia de la unión se mantenga.

7.7.- Colocación del geocompuesto bentonítico.

Las condiciones de almacenaje de estos productos son de extrema importancia dada la naturaleza hidrófila de este material, debiendo almacenarse en áreas cubiertas, preferiblemente elevadas del suelo, o en su defecto, con la ayuda de cubiertas impermeables para evitar su deterioro por la acción de la luz, humedad excesiva, daños mecánicos por corte o rasgado del envoltorio o del propio producto.

Se debe evitar su instalación en días de fuerte lluvia o viento que pueda erosionar el polvo de bentonita, debiendo cubrir, en la misma jornada de trabajo, la superficie de geocompuesto bentonítico desplegada con las capas superiores del revestimiento.

En los taludes, el despliegue de los rollos se realiza colocando los paneles según la línea de máxima pendiente, anclando previamente los rollos para su posterior despliegue pendiente abajo, manteniendo en todo momento en tensión el material y sin dejar caer nunca el rollo completo libremente.

La forma de unión de los paños de los geocompuestos bentoníticos será mediante solape, de no menos de 15 cm. de solape lateral entre paneles, y en uniones transversales este solape será de más de 30 cm. La unión se puede realizar mediante adición de pasta de bentonita, polvo de bentonita o extensión de un saco de bentonita uniformemente sobre el solape a razón de 1 kg./ml. de junta.

Se debe evitar las uniones horizontales en taludes. Para taludes de longitud superior a la del rollo, la unión se podrá realizar mediante la hincada de grapas metálicas contra el terreno sobre el geocompuesto bentonítico en el panel aguas abajo, dejando que el de aguas arriba cubra la línea de grapas.

**ANEXO 1.- EQUIVALENCIA DE CÁLCULO DE UNA CAPA DE ARCILLA DE 1,00 M. DE ESPESOR FRENTE A
LAS MANTAS GEOSINTÉTICAS DE BENTONITA.**

I. La ley de Darcy, su aplicación en relación con las MGB y arcilla compactada:

Dr. Koerner (Instituto GSI de EE.UU.) & Daniel (1995) facilitaron y surgieron un método para la evaluación de la equivalencia técnica de la MGB (manta geosintética de bentonita) o (GCL), versus un capa de arcilla compactada o (CCL).

En términos de flujos constantes de agua (J), la ley de Darcy se expresa en la ecuación:

$$J = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta H}{l}$$

donde:

- J (m³/m²/s) es el flujo constante
- k (m/s) es el coeficiente de permeabilidad
- i = ΔH/l

Si tenemos en cuenta una capa de la MGB (GCL) y una de arcilla compactada (CCL) podemos escribir la ley de Darcy como sigue:

$$J_{GCL} = k_{GCL} \cdot i_{GCL} = k_{GCL} \cdot \frac{H + T_{GCL}}{T_{GCL}}$$

$$J_{CCL} = k_{CCL} \cdot i_{CCL} = k_{CCL} \cdot \frac{H + T_{CCL}}{T_{CCL}}$$

donde:

- H (m) es la columna de agua
- T_{GCL} (m) es el espesor de la MGB húmeda y expandida (GCL)
- T_{CCL} (m) es el espesor de la capa de la arcilla (CCL)

La equivalencia de la MGB (GCL) con una capa correspondiente de arcilla (CCL) se expresa en la condición siguiente:

$$J_{GCL} \leq J_{CCL}$$

El requerido coeficiente de permeabilidad de una MBG (GCL), equivalente a una capa de arcilla (CCL) es:

$$(k_{GCL})_{requerido} \leq k_{CCL} \cdot \frac{H + T_{CCL}}{T_{CCL}} \cdot \frac{T_{GCL}}{H + T_{GCL}}$$

EJEMPLO:

Real Decreto 1481/2001, de 27.12., que establece un régimen concreto para la eliminación de los residuos en vertederos, en base de la directiva 1999/31/CE del consejo de 26 de Abril.

Dice en el ANEXO I, Cáp. 3, Protección del suelo y de las aguas, párrafo, 2 b, -- que vertederos para residuos no peligrosos, tendrán un k < 1,0 x 10⁻⁹ y un espesor de arcilla de > 1,0 m.

Hipótesis:

- k_{CCL} = 1E-9 m/s
- H = 0,30 m columna de agua normal en vertederos (Daniel)
- T_{CCL} = 1,0 m
- T_{GCL} = 0,008 m (espesor de manta de bentonita, tipo agujeteada, plenamente hidratada)

$$(k_{GCL})_{requerido} \leq 10^{-9} \cdot \frac{0,30 + 1,00}{1,00} \cdot \frac{0,008}{0,30 + 0,008} = 3,377 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$$

Conclusión: una MGB (GCL) con un k < 1*10⁻¹¹ m/s puede sustituir una capa de arcilla (CCL), con un espesor de 1,0 m.

Para evaluar completamente la posibilidad de sustituir plenamente una capa de arcilla usando una manta geosintética de bentonita MGB (GCL) es necesario considerar además el tiempo de filtración.

El tiempo de filtración correcto, resulta de la formula de la determinación del flujo, como a continuación se indica. (No vale la formula simplificada t = T/k usada por Daniel u otros.)

$$J = \frac{Q}{A} = \frac{V}{A \cdot t} = k \cdot i = k \cdot \frac{\Delta H}{l}$$

Resultando el tiempo de filtración

$$t_{filtración} = \frac{V}{A \cdot k \cdot i} = \frac{V}{A \cdot J} = \frac{V}{A \cdot k \cdot \frac{H + T}{T}}$$

Hipótesis:

- k_{CCL} = 1E-9 m/s
- T_{CCL} = 1,0 m
- k_{GCL} = 1E-11 m/s
- T_{GCL} = 0,008 m (espesor de la manta de bentonita, tipo agujeteada, plenamente hidratada)
- H = 0,30 m columna de agua normal en vertederos (Daniel)

El tiempo de infiltración es referido a la unidad de la cantidad de agua que fluye ($V = 1 \text{ m}^3$), en referencia con la superficie que atraviesa ($A = 1 \text{ m}^2$) como sigue:

$$(t_{\text{filtración}})_{GCL} = \frac{V}{A \cdot k \cdot \frac{H+T}{T}} = \frac{T_{GCL}}{k_{GCL} \cdot (H+T_{GCL})} = \frac{0.008}{10^{-11} \cdot (0.3+0.008)} \cdot \frac{1}{3600 \cdot 24 \cdot 365} = 82,36 \text{ años}$$

$$(t_{\text{filtración}})_{CCL} = \frac{V}{A \cdot k \cdot \frac{H+T}{T}} = \frac{T_{CCL}}{k_{CCL} \cdot (H+T_{CCL})} = \frac{1.0}{1 \cdot 10^{-9} \cdot (0.3+1.0)} \cdot \frac{1}{3600 \cdot 24 \cdot 365} = 24,39 \text{ años}$$

Conclusión: una MGB (GCL) con un $k < 1 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ sustituye plenamente una capa de arcilla (CCL), con un espesor de 1,0 m.