

# LA CONSTRUCCIÓN DE EMBALSES – REDES DE SUPRESIÓN Y DRENAJE DE AGUAS INFILTRADAS EXTERNAS

DRAHEIM, Harro<sup>1</sup>; LOPVET, Antoine<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CELESUR SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN, S.L.; <sup>2</sup>AFITEX

## RESUMEN

*La totalidad de las balsas cuentan con un sistema de drenaje para la detección y gestión de las fugas del sistema de estanqueidad.*

*Existe, además, la necesidad de instalar sistemas que sean capaces de evacuar las posibles aguas procedentes de fincas y/o balsas adyacentes situadas a una mayor cota, de acuíferos activados tras la excavación del vaso o de una eventual subida del nivel freático, así como, de los gases que se puedan originar o que estén presentes bajo el paquete impermeabilizante.*

*Los sistemas tradicionales han empleado áridos que precisan de sobre excavaciones o implican pérdidas de volumen, además del uso de geotextiles de protección de gran resistencia para evitar que la capa drenante dañe a la impermeabilizante.*

*Actualmente, hay disponible en el mercado geosintéticos y tecnología capaz de dimensionar y sectorizar dichos sistemas, asegurando la correcta protección de la lámina y el drenaje del agua y gas, todo ello sin reducir los volúmenes útiles.*

## PONENCIA

### 1.- INTRODUCCIÓN

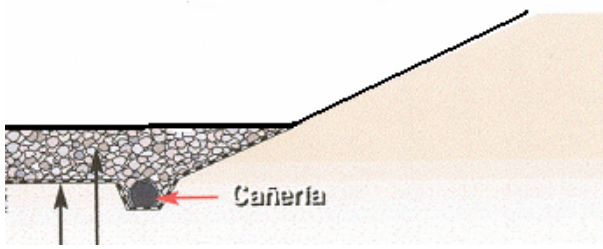
La totalidad de las balsas cuentan con un sistema de drenaje para la detección y gestión de las fugas del sistema de estanqueidad.

Podemos dividirlos según la procedencia de las aguas en:

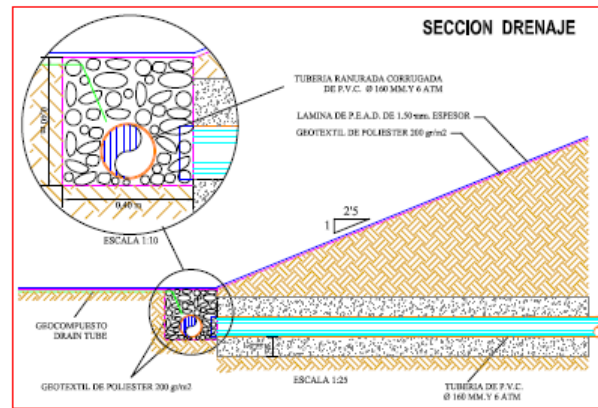
- a) La eliminación de aguas que pudieran escapar por mal funcionamiento del sistema de estanqueidad.
- b) La eliminación de aguas procedentes de acuíferos detectados en la fase de excavación o de una eventual subida del nivel freático.
- c) La eliminación de aguas procedentes de la infiltración profunda de las aguas de riego.

### 2.- TECNICA CONSTRUCTIVA TRADICIONAL DEL SISTEMA DE DRENAJE

El sistema tradicional de drenaje en fondo empleando áridos consiste en la excavación de zanjas, colocación de la tubería ranurada, relleno con gravas de una granulometría determinada y revestido de todo el conjunto con un geotextil adecuado.

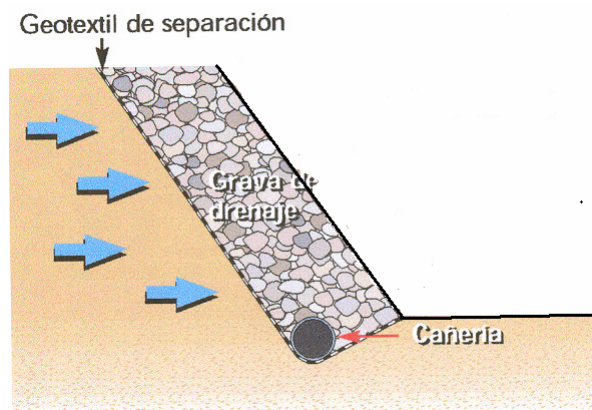


**Gráfico 1. Drenaje convencional mediante capa de gravas**



**Gráfico 2. Zanja periférica de drenaje**

El sistema tradicional de drenaje en taludes bajo la impermeabilización se realiza para prevenir la aparición de aguas través de los taludes excavados en desmonte. La solución consiste en evitar que las aguas descendan desde el punto en que afloran hasta el fondo discurrendo sobre el talud.



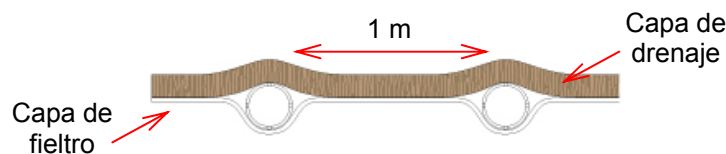
**Gráfico 3. Capa de grava en taludes (difícilmente realizable en la práctica)**

### 3.- TECNICA CONSTRUCTIVA AVANZADA DEL SISTEMA DE DRENAJE

Actualmente hay disponible en el mercado geosintéticos y tecnología capaz de dimensionar y sectorizar dicho sistema, asegurando la correcta protección de la lámina y el drenaje del agua y gas, todo ello sin reducir los volúmenes útiles.

#### 3.1.- PRESENTACIÓN

Uno de los geocompuestos de drenaje y de protección que se utilizan por debajo de la geomembrana en sustitución de la tradicional capa de gravas es el sistema DRAINTUBE. Se trata de una combinación de capas constituidas por una lámina de fieltro, una lámina drenante y una serie de mini-conductos drenantes colocados a distintas longitudes (1 m, 0,5 m y 0,25 m). Todos los componentes son polímeros de polipropileno (100%) unidos mediante agujeteado.



**Gráfico 4. Estructura del geocompuesto drenante DRAINTUBE**

### 3.2.- DESCRIPCIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO

El agua infiltrada acumulada en la capa de drenaje es evacuada por los mini-conductos hacia la zanja donde se encuentra el colector de drenaje. Dicha evacuación se produce a través de las perforaciones de los mini-conductos siendo su recorrido muy corto. Por otra parte, gracias a los mini-conductos el flujo acumulado en estos es direccional.

La distancia que recorre el agua en la capa drenante es la mitad de la distancia entre dos mini-conductos. Su recorrido permite minimizar las presiones hidráulicas, un efecto necesario para asegurar la estabilidad de los flujos.

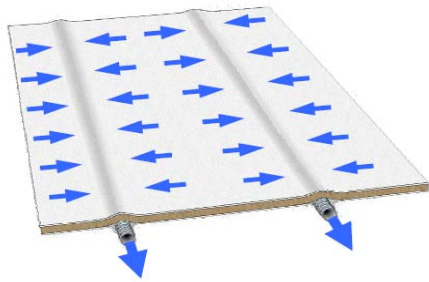


Gráfico 5. Dirección de flujo drenante



Gráfico 6. Vaciado desde el mini-conducto hacia el colector de acumulación

El valor que alcanzan las presiones y el comportamiento hidráulico del producto DRAINTUBE teniendo en cuenta la configuración del Proyecto, se predetermina mediante el programa informático LYMPHEA. Dicha simulación de caudales permiten la elección del producto geosintético más adecuado y así optimiza la potencia hidráulica de evacuación en cada Proyecto.

### 3.3.- CRITERIOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DRAINTUBE

Para garantizar la durabilidad de la impermeabilización de una balsa o superficie estanca construida a base de geomembranas sintéticas, es muy importante que estas no sufran tensiones causadas por presiones de flujos de aguas infiltradas que discurren entre el suelo y estas. Tales presiones, si son elevadas, pueden causar daños a la barrera estanca.

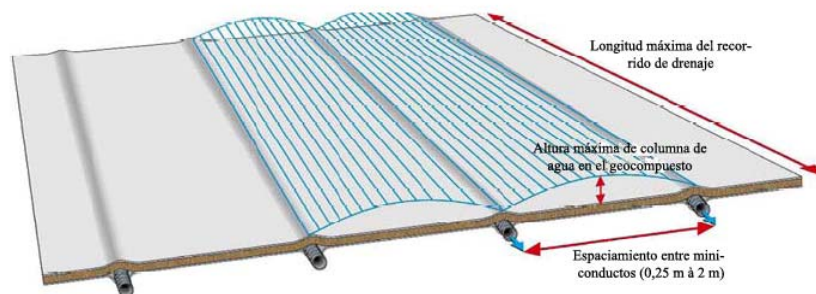


Gráfico 7. Modelo matemático para la definición de la presión y caudal del flujo drenante

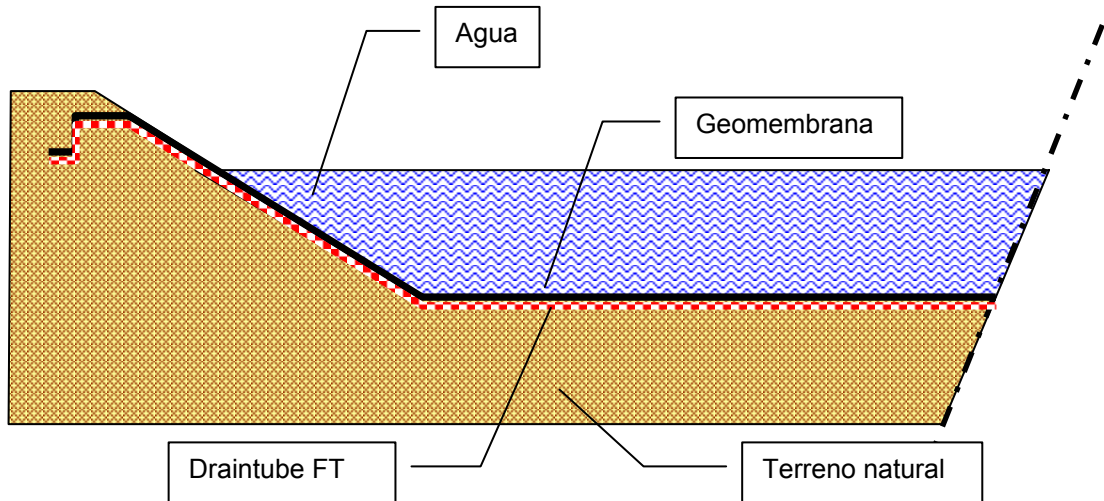
### 3.4.- PARÁMETROS DE RELEVANCIA PARA LA ELECCIÓN Y EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DRAINTUBE

El programa informático LYMPHEA, desarrollado, gracias a la colaboración entre el L.R.P.C. de NANCY (Autoridad Francesa de Carreteras) y la Universidad de GRENOBLE,

permite analizar y determinar, en función de diferentes parámetros, las capacidades hidráulicas de los geocompuestos de drenaje.

**EJEMPLO:** Aplicación del sistema DRAINTUBE en dos balsas.

A) Estructura del sistema:

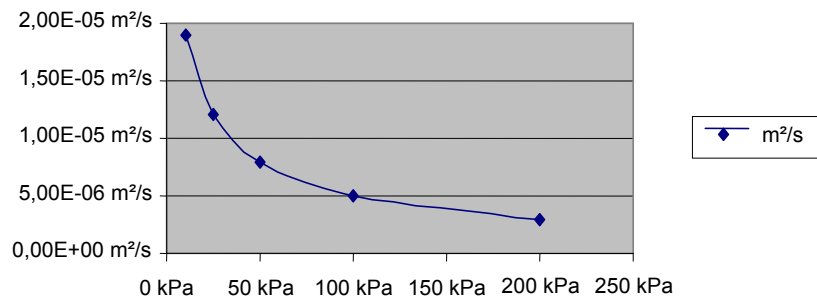


**Gráfico 8. Esquema de disposición del sistema drenante**

- B) Elección del Geocompuesto drenante DRAINTUBE 450 FT1 D16 (1 mini-conducto/m).
- C) Relación de los parámetros disponibles para determinar la capacidad de flujo drenado.

**Tabla I. Características de las balsas**

Característica	Balsa 'A'	Balsa 'B'
Longitud del mini-conducto hasta la descarga en el colector	0 a 67 m	0 a 50 m
Altura máx. de columna de agua en la balsa	9 m	11,50 m
Pendiente	0°	0°
Gradiente (i)	0,05	0,08
Transmisividad de la capa drenante bajo 100 kPa <sup>1</sup>	$5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot \text{m}$	$5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \cdot \text{m}$
Superficie a cubrir con el sistema drenante	30.000 m <sup>2</sup>	7.229 m <sup>2</sup>



**Gráfico 9. Transmisividad en función de la presión de la capa drenante DRAINTUBE 450 FT**

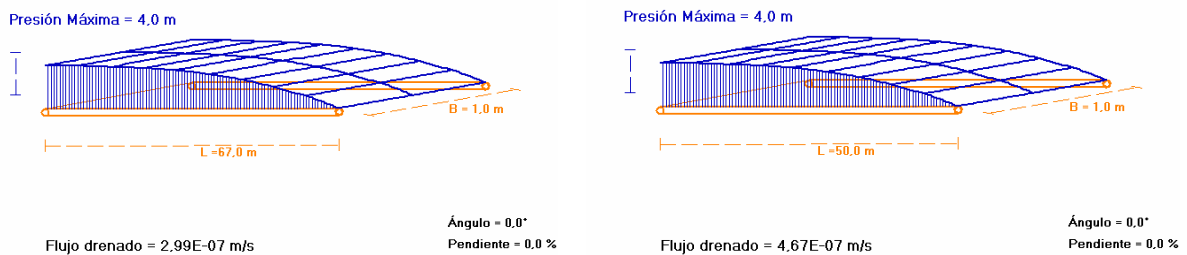
<sup>1</sup> Gráfico de transmisividad, en función de la presión sobre la capa drenante:

D) Datos de capacidad hidráulica calculados con el programa informático LYMPHEA.

**Tabla II. Capacidad hidráulica**

<b>DRAINTUBE 450 FT1 D16</b>	<b>Balsa 'A'</b>	<b>Balsa 'B'</b>
<b>Capacidad de flujo drenado; F = [m<sup>3</sup>/(s.m<sup>2</sup>)]</b>	<b>2.99.10<sup>-7</sup></b>	<b>4,67.10<sup>-7</sup></b>
Altura máxima de columna de agua en el geocompuesto [m]	4.0	4,0
Longitud máxima del recorrido de drenaje L [m]	67.0	50,0
Caudal Q = F x L [m <sup>3</sup> /(s.m)]	2.00.10 <sup>-5</sup>	2,34.10 <sup>-5</sup>
Caudal Q = F x L (l/s.m)	0,020	0,023

E) Modelo matemático de los mini-conductos saturados.



**Gráfico 10. Modelo matemático de los mini-conductos saturados. Izquierda Balsa 'A' y derecha Balsa 'B'**

F) Datos de caudal acumulado para el dimensionamiento del colector correspondiente.

Para ello se aplicará la siguiente relación:

$$Q_{\text{mayor}} = F_{\text{mayor}} \times S \text{ [m}^3/\text{s]}$$

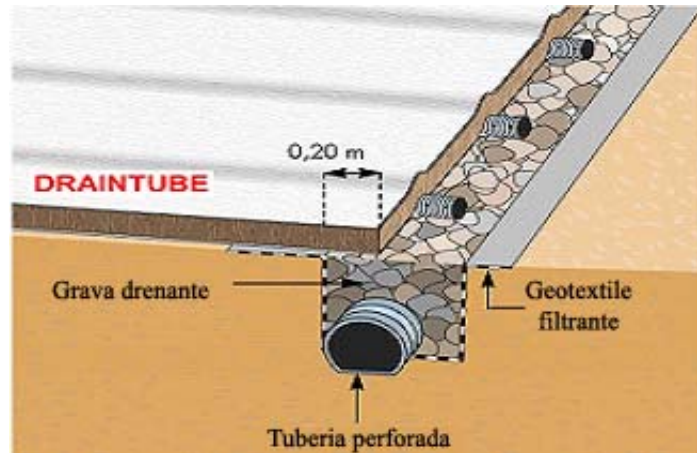
Donde,

- F = Flujo total, medio (m<sup>3</sup>/s) = Flujo medio (m<sup>3</sup>/s.m)
- S = Superficie (m<sup>2</sup>)

**Tabla III. Datos del caudal del colector**

	<b>Balsa 'A'</b>	<b>Balsa 'B'</b>
Longitud mayor de drenaje	47,5 m	25 m
Flujo mayor drenado [m <sup>3</sup> /(s.m <sup>2</sup> )]	2,99.10 <sup>-7</sup>	4,67.10 <sup>-7</sup>
Superficie a drenar [m <sup>2</sup> ]	30.000	7.229
Caudal total acumulado Q [l/s]	15	11

El caudal resultante acumulado Q (l/s), es el dato para dimensionar el colector de esta sección.



**Gráfico 11. Conjunto de zanja rellena de gravas con colector de drenaje y sistema DRAINTUBE evacuando hacia la misma**

G) Comparación y equivalencia del geocompuesto drenante versus capa de gravas:

Partiendo de la transmisividad equivalente del geocompuesto se determina el espesor que correspondería, en los sectores provistos con el sistema DRAINTUBE, a la capa de gravas. Para ello, se asume un coeficiente de permeabilidad para las gravas,  $k = 1,60 \cdot 10^{-3}$  m/s, usando las relaciones siguientes:

$$Q = F \times L$$

Donde,

- Q = Caudal del agua ( $m^3/s.m$ )
- F = Capacidad de flujo drenado ( $m^3/s.m^2$ )
- L = Longitud de drenaje (m)

$$\theta = Q/i$$

Donde,

- $\theta$  = Transmisividad equivalente ( $m^2/s$ )
- Q = Caudal del agua ( $m^3/s.m$ )
- i = Gradiente hidráulico

$$E = \theta / k$$

Donde,

- E = Espesor (m)
- $\theta$  = Transmisividad equiv. ( $m^2/s$ )
- k = Permeabilidad de la grava (m/s)

Ejemplo de cálculo del espesor de gravas equivalente y del factor de seguridad.

**Tabla IV. Datos de cálculo del espesor y factor de seguridad**

Sector	Capacidad de flujo drenado (F) $m^3/s.m^2$	Flujo de agua (Q) $m^3/s.m$	Transmisividad equivalente ( $\theta$ ) $m^2/s$	Espesor equivalente E m	Factor de seguridad
Sección fondo	$2,99 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$3,36 \cdot 10^{-4}$	<b>0,21 m</b>	<b>1,41</b>

H) Conclusión:

En este caso (el resultado se refiere a la balsa 'A'), el sistema DRAINTUBE comparado con la solución tradicional a base de gravas, ofrece un factor de seguridad de 1,41.

#### 4.- COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA AVANZADA VERSUS LA EJECUCIÓN TRADICIONAL DEL SISTEMA DE DRENAJE

A) Factores negativos de los sistemas tradicionales que emplean gravas:

- Precisan de sobre excavaciones.
- Implican pérdidas de volumen.
- La grava constituye un riesgo de daños pudiendo causar la perforación de la geomembrana impermeabilizante. Para minimizar este efecto se instalan geotextiles de protección de gran resistencia frente a daños mecánicos.
- Las zanjas de la tubería colectora en los fondos corren el riesgo de colmatación al producirse la entrada de finos procedentes de las gravas o tierras, a pesar de la instalación de geotextiles filtrantes cubriendo estos.

Cuando la aparición de aguas se produce en los taludes, tenemos el problema fundamental consistente en evitar que las aguas desciendan desde el punto donde afloran hasta el fondo discurriendo sobre estos. Este fenómeno suele aparecer cuando los estratos son de diferente permeabilidad hasta llegar a un perfil en el que la permeabilidad es prácticamente nula. Si se producen afloramientos, estos arrastran a los materiales de refinado y a partir de este momento se ve comprometida la seguridad de la lámina impermeabilizante y la estanqueidad de la obra. Si el perfil impermeable es de naturaleza arcillosa, la saturación de ésta podrá producir deslizamientos bajo la lámina que también sometieran al sistema de estanqueidad a requerimientos que quizás este no pudiera soportar.

Utilizando la técnica tradicional en busca de soluciones duraderas y eficaces a dicha problemática, el Proyectista de la balsa se enfrenta a soluciones muy complicadas de realizar y por lo tanto muy costosas.

B) Beneficios de la técnica avanzada de los geocompuestos drenantes utilizando el sistema DRAINTUBE. Podemos destacar dos aspectos básicos:

- ***El sistema DRAINTUBE asegura el perfecto drenaje de todas las superficies por debajo de lámina impermeabilizante o barrera estanca.***
- ***Asegura, a su vez, la protección de la lámina geosintética contra daños mecánicos y punzonamientos.***

Otros aspectos a destacar del sistema DRAINTUBE:

- Evita posibles presiones sobre la lámina impermeabilizante procedentes de la columna de agua y flujos acumulados no controlados.
- Permite un flujo y desagüe direccional.
- Dicho factor permite la implantación de control de fugas por sectores.
- Cuando se busca una protección mecánica apta para las condiciones del suelo, la masa del geocompuesto drenante puede ser variada en función de las tensiones y demás requerimientos de un Proyecto ya que la capa filtrante y drenante son un solo cuerpo.



D) Comparación de otros datos de interés del DRAINTUBE versus la capa de gravas.

**Tabla V. Tabla comparativa**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>DATOS CAMPOS DE ACTUACIÓN</b>	<b>SOLUCIÓN AVANZADA: Drenaje con geocompuesto sintético DRAINTUBE</b>	<b>SOLUCIÓN TRADICIONAL: Drenaje con capa de grava</b>
<b>Composición del sistema</b>		Lámina de fieltro, lámina drenante y mini-conductos, unidos por agujeteado en un conjunto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GTX de protección</li> <li>- Capa de grava</li> <li>- Tuberías de drenaje</li> <li>- GTX filtrante</li> </ul>
<b>Propiedades hidráulicas</b>	Transmisividad equivalente $\theta$	entre $10^{-2}$ y $10^{-4}$ ( $m^2/s$ )	entre $10^{-2}$ ( $m^2/s$ ), equivale a 1 m de grava drenante 20/40 y $10^{-4}$ ( $m^2/s$ ) equivale a 10 cm de arena
<b>Propiedades mecánicas</b>	Res punzonamiento  Resist a la tracción	Depende de la masa del conjunto DRAINTUBE:  2 - 5 kN  7 - 25 kN/m	Depende de la masa del geotextil:  2 - 5 kN  7 - 25 kN/m
<b>Control del caudal</b>	Dimensionamiento de los colectores	Dimensionamiento mediante cálculo de la oficina técnica	
<b>Característica del flujo, su control</b>	Capacidad de aislamiento en diferentes sectores	Flujo direccional garantizado, dado la presencia de mini-conductos	
<b>Ritmo de instalación</b>		3.000 $m^2$ por jornada	1.500 $m^2$ /día, dependiendo del aprovisionamiento de grava y del espesor de la capa