

Mejores tecnologías disponibles en el drenaje para vertederos.

Bilbao 12 y 13 Noviembre 2.014

Jorge Gutiérrez.
Intermas Nets SA. Barcelona, Spain



SISTEMA DE DRENAJE CON GEOCOMPUESTO TRIPLANAR DEL DEPÓSITO PARA LA ELIMINACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN QUÍMICA EN EL EMBALSE DE FLIX



Introducción

- **Ubicación:** Flix, Tarragona, España.
(industria electroquímica).



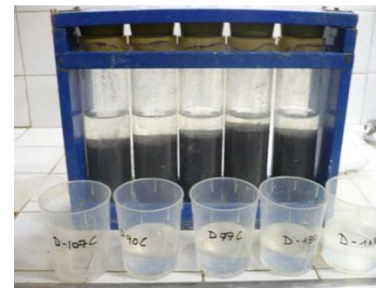
- **Informe:** Agencia Catalana del Agua (ACA) y la Comisión Interdepartamental de Investigación y Tecnología (CIRIT).
 - Vertido incontrolado de residuos químicos.
Compuestos organoclorados.



Metales pesados (mercurio)



Radionucleidos



Introducción

- Impacto social y mediático del informe:
 - Informes de ONGs, Greenpeace, 2004.
 - Periódicos: La Vanguardia, Cerrillo, 2004.
- _AcuaMed por encomienda del MMA.



- **Nota de prensa** (7 marzo 2013); Consideraciones **MMA**:

Con una inversión de 165 millones de euros

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente inicia el dragado de los lodos contaminados del embalse de Flix (Tarragona)

- Esta actuación permitirá eliminar los más de 800.000 m3 de lodos contaminados que se acumulan en el lecho del río Ebro desde hace más de un siglo
- Los trabajos de descontaminación mejorarán la calidad del agua que abastece a más de un millón de personas, que riega 50.000 hectáreas y del que se nutre el espacio protegido del Delta del Ebro
- Ramos ha señalado que “se trata de la mayor inversión acometida en España en una obra de descontaminación, en la que se va a emplear una técnica pionera para acabar con los contaminantes y garantizar la seguridad de las personas”

07 marzo 2013. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) ha iniciado hoy el dragado de los lodos contaminados del embalse de Flix (Tarragona), unos trabajos de descontaminación en los que se invertirán un total de 165 millones de euros, la mayor inversión acometida en España en una obra de descontaminación.

El Secretario de Estado de Medio Ambiente, Federico Ramos, y el Consejero de Territorio y Sostenibilidad de Cataluña, Santi Vila i Vicente, han visitado hoy los trabajos de descontaminación junto al Subdelegado del Gobierno en Tarragona, Jordi Sierra Viu, un acto al que también ha asistido el alcalde de Flix, Marc Mur, y varios regidores de los municipios de la zona ribereña aguas abajo del río Ebro, a los que se les ha informado del desarrollo de las obras.

- **>165 M€** (mayor inversión España para obra descontaminación).
- **Técnicas pioneras** para acabar con los contaminantes detectados y para garantizar la seguridad de las personas.
- Eliminar **>800.000 m³** de lodos sobre río Ebro.

Solución adoptada

1- Creación del recinto de trabajo (solución in-situ):

- **Mantener el flujo del río Ebro** durante la actuación, a modo de canal por la margen izquierda del embalse.
- **Confinar el residuo** y evitar su dispersión aguas abajo en caso de incidencia.



Solución adoptada

2- Extracción de los residuos

Entre **70 y 100 toneladas**:

- 10 - 70 t. de **metales pesados** (Hg, Pb, Ni, Zn, Cr etc.)
- 1 - 10 t. de compuestos **organoclorados**. (Hexaclorobenzeno, PcBs, DDE y DDT)
- **Radionucleídos** (Uranio 238, Plomo 210, Radio 226)



Solución adoptada

3- Clasificación y tratamiento

- **Clasificación por tamaños.**
- **Secado** del residuo. (Agua a planta de tratamiento).
- **Clasificación por contaminantes** presentes de la fracción sólida.
- **Tratamiento fracción sólida** para que sea apta para su disposición en vertedero.
Tratamientos los de desorción térmica (mercurio y orgánicos)
Oxidación (metales pesados).



AGOSTO 2012

JUNIO 2013

JULIO 2014

Solución adoptada

4- Disposición en depósito controlado (solución ex-situ).

- Vertedero de Clase II (1999/31/CE)
- Vertedero residuos peligrosos (Real Decreto 1481/2001)



Diseño inicial Sistema de Drenaje Proyecto

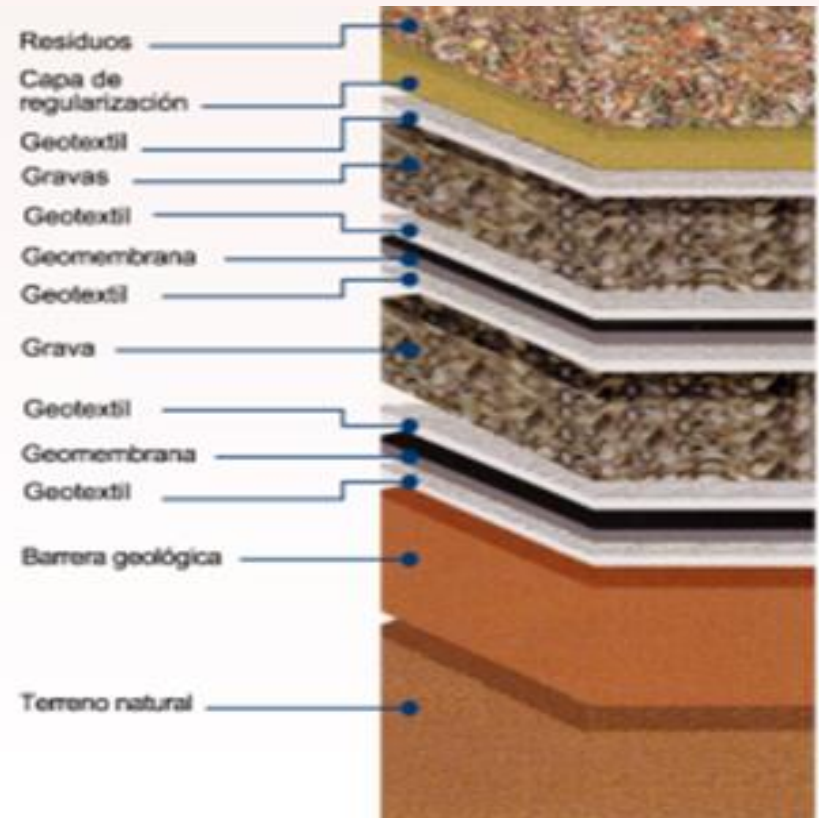
Proyecto constructivo para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix.

- **Sistema principal drenaje lixiviados** sobre con GBR-P principal.
- **Sistema drenaje Seguridad** entre GBR-P principal y secundaria.

DEPÓSITO DE SEGURIDAD

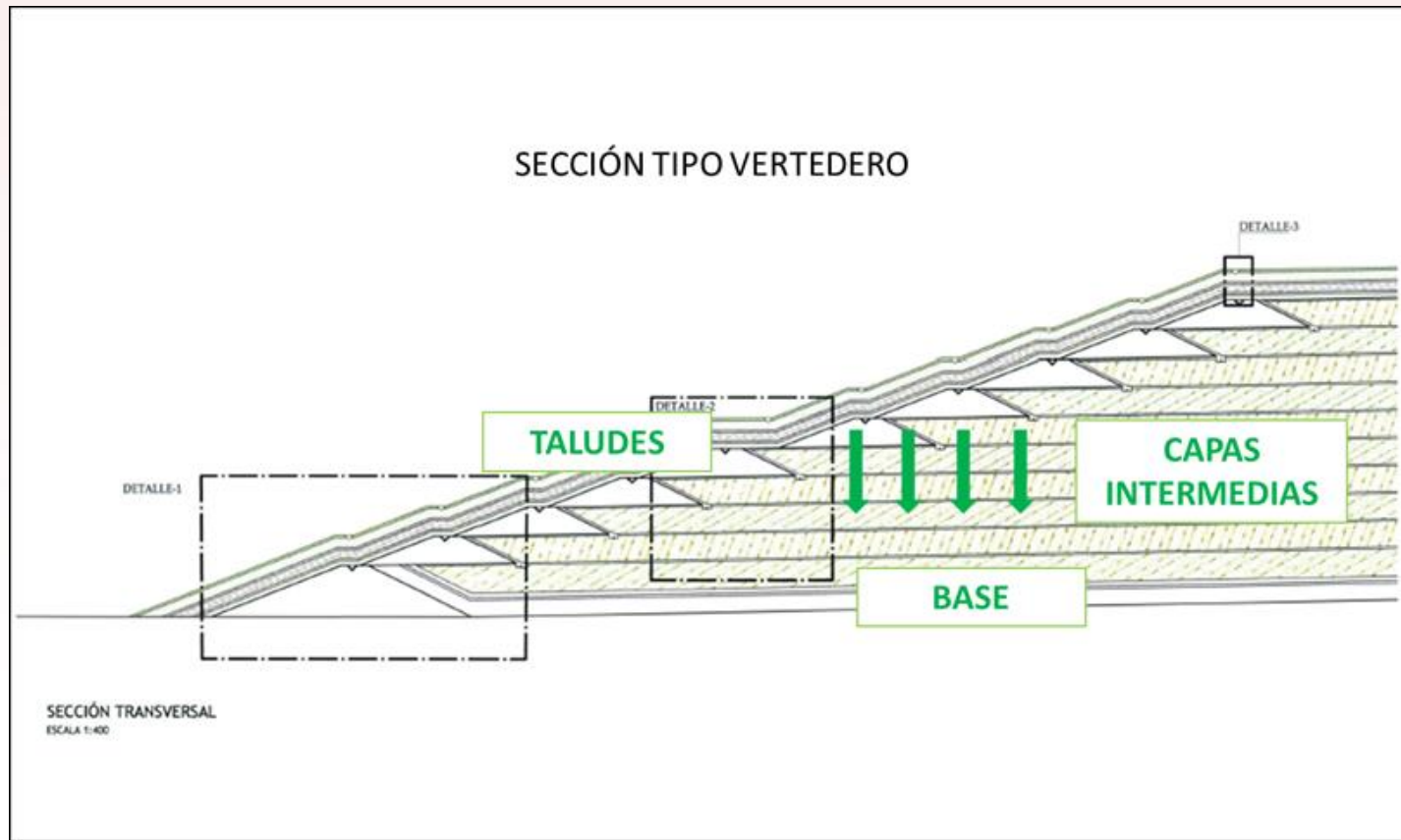
BARRERAS DE IMPERMEABILIZACIÓN EN VERTEDEROS DE RESIDUOS PELIGROSOS (REAL DECRETO 1481/2001)

- RESIDUOS
 - CAPA DE DRENAJE $\geq 0,5$ m para recogida de lixiviados
 - REVESTIMIENTO ARTIFICIAL IMPERMEABLE
 - BARRERA GEOLOGICA ARTIFICIAL $\geq 0,5$ m (cuando la barrera natural no cumple)
 - BARRERA GEOLOGICA NATURAL
- Terreno de permeabilidad y espesor equivalente a: $k \leq 10^{-9}$ m/seg
espesor ≥ 5 m



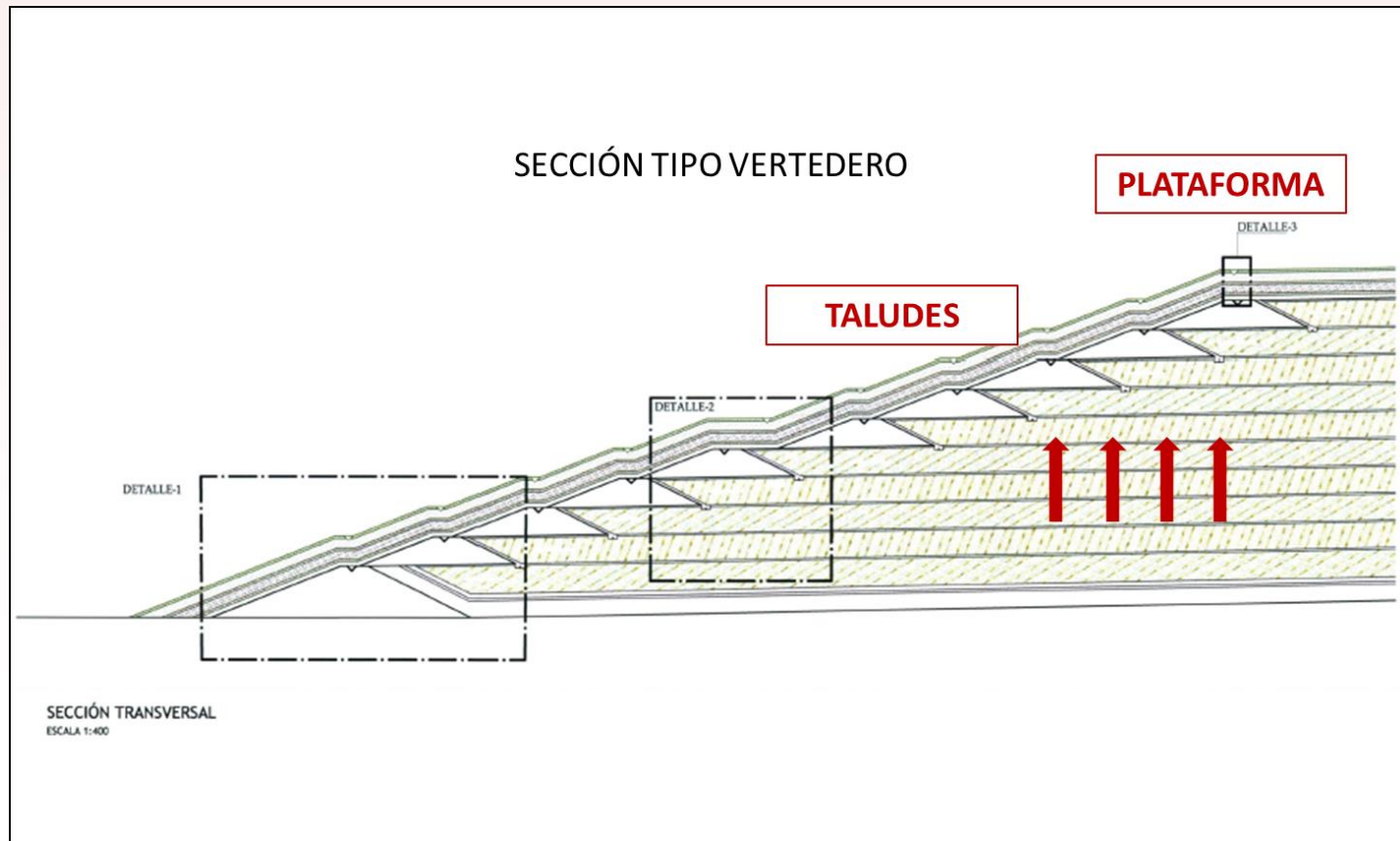
Diseño inicial Sistema de Drenaje Proyecto

Proyecto constructivo para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix.



Diseño inicial Sistema de Drenaje Proyecto

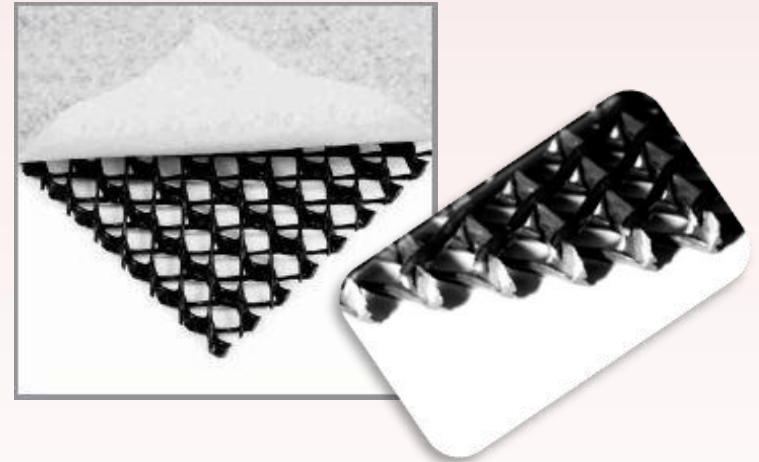
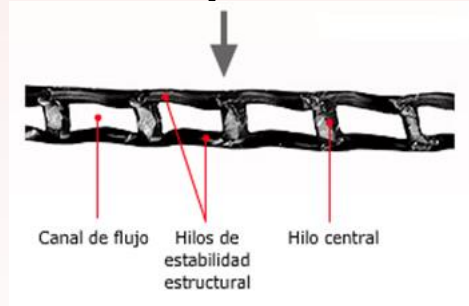
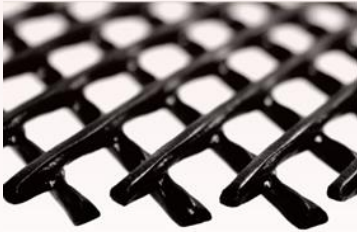
Proyecto constructivo para la eliminación de la contaminación química en el embalse de Flix.



Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

Solucion adoptada:

- **Geocompuesto drenante Tiplanar PEAD.**

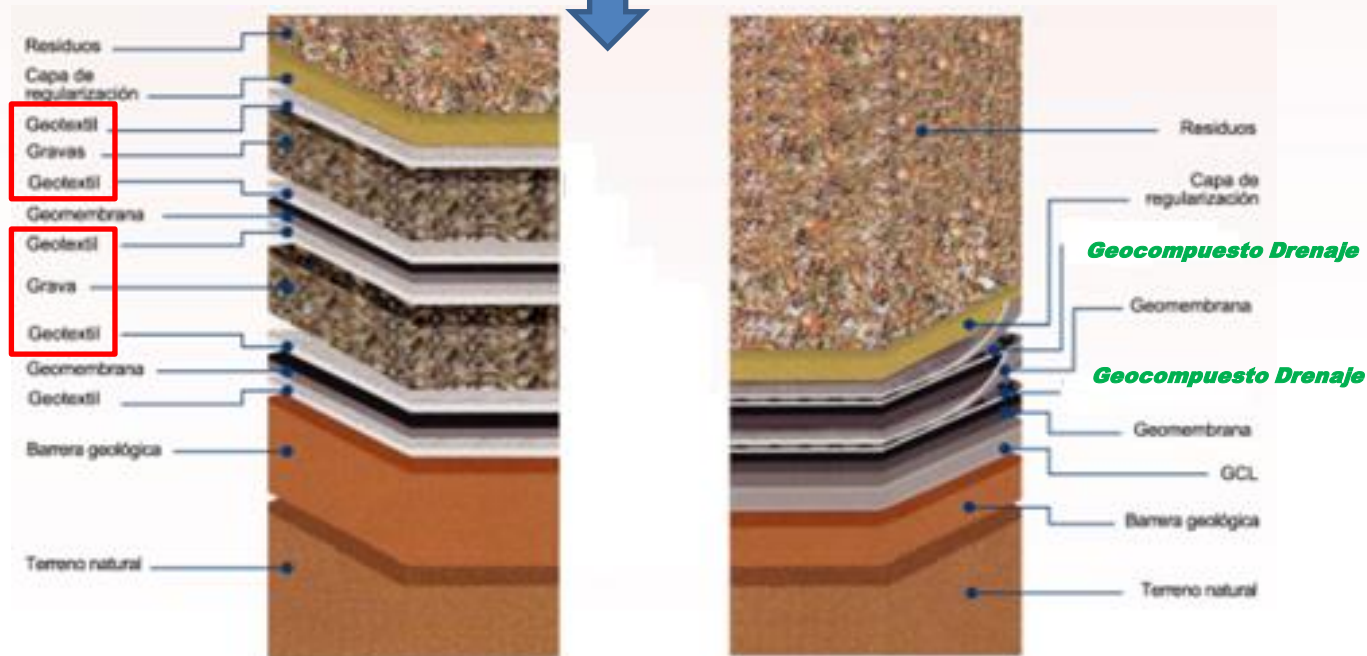


- **Georred tri-planar PEAD 7 mm** alta resistencia a la compresión (> 1.800 Kpa)
- **Geotextiles filtro y protección PP** elevadas prestaciones mecánicas.
 - CBR $> 2,3$ KN
 - Permeabilidad > 60 l/m².s
 - Masa de 200 g/m² **Geotextiles filtro y protección PP**

Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

Motivos iniciales:

- **Volumen.** 75.000 m³ ≈ 150.000 t.
- **Caballones** 2H – 1V interior y 2,5H – 1V exterior.



Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

Criterios Solucion adoptada:

- **Legislativos:** Superar LP mínimos Directiva 1999/31/CE y RD 1481/2001.

Hidráulicos: $FR_{total} = RF_{in} \cdot RF_{cc} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cr} = 1,5 \cdot 1,75 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 4,10$

F.S (corto plazo) = $q_{GD\ Triplanar\ (corto\ plazo)} / q_{Gravas} = 7,30$

F.S (Largo plazo) = $q_{GD\ Triplanar\ 100\ años} / q_{Gravas} = 1,78$

1.2.2. Cálculo del gradiente

Los gradientes hidráulicos utilizados serán los mínimos cuando en el caso de las gravas:

- i fondo = 0,02 (2%)
- i talud 2H:1V = 0,44
- i talud 3H:2V = 0,55

1.2.3. Condiciones de contorno


En este caso al estar el geomuestro en un ensayo con placas duras (HS), ya que

1.2.4.1. Capacidad drenante a corto plazo

A continuación se indica la capacidad drenante $i=0,1$ (fondo)

- $q_{TECHDRAIN\ 0,10\ 120\ 180\ MPa\ 40,11} = 0,24$
- $q_{TECHDRAIN\ 0,10\ 120\ 180\ MPa\ 40,11} = 0,22$
- $q_{TECHDRAIN\ 0,10\ 120\ 180\ MPa\ 40,11} = 0,22$

Siendo conservadores, podemos utilizar e



La capacidad drenante a corto plazo de **TECHDRAIN** se estima mediante la Norma ISO 12958 y depende de:

- el gradiente hidráulico
- la presión normal a su plano
- condiciones de contorno

1.2.1. Cálculo de la presión normal

En el fondo del vertedero la presión normal al plano:

$$p_{total} = \rho_w \sum_{i=1}^n h_i$$

$$p_{total} = K_a \rho_w$$

donde:

- ρ_w : presión vertical
- ρ_w : densidad de cada capa sobre el geosintético
- h_i : altura de cada capa sobre el geosintético
- K_a : Coeficiente de empuje activo.
- ρ : Rozamiento interno del material. (20ª para

Las capas que podemos encontrar sobre nuestro g

- 14 capas de 3 m de espesor formadas por ensayo de TEPSA e hidrataciones medias
- Sellado del vertedero formado por:
 - o 0,50m de tierras de regularización
 - o 0,30m de gravas para formar la capa
 - o 0,09m de arcilla (capa mineral impermeable)
 - o 0,30m de gravas para formar la capa
 - o 1m de cobertura de tierra con una densidad de 20 kN/m³
 - o 0,30m de tierra vegetal, con una densidad de 15 kN/m³

Resultado:

- $p_{total} = 14 \cdot 9 \cdot 15 + 0,5 \cdot 17 + 0,3 \cdot 20 + 0,9 \cdot 17 + 0,3 \cdot 20 = 236,35\ kPa$
- $p_{total} = K_a \rho_w = 0,40 \cdot 587 = 236,03\ kPa$ (en

En el caso de los taludes tenemos en cuenta el coeficiente de empuje activo K_a .

ANEXO I: CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO Y FLUENCIA

1. COMPARATIVA ENTRE CAPACIDADES DRENANTES

1.1. Capacidad de drenaje de la capa de gravas

1.1.1 Capacidad de drenaje de la capa de gravas a corto plazo

La capacidad de drenaje de una capa de gravas se estima mediante la ley de Darcy:

$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$q = K \cdot i \cdot e$$

Donde:

- Q = caudal (m³/s)
- q = caudal por unidad de longitud (m³/m)
- K = 10⁻⁷ m/s (permeabilidad típica de las gravas)
- i fondo = 0,02 (gradiente hidráulico representativo de un 2% de inclinación)
- i talud 2H:1V = 0,44 (gradiente hidráulico representativo de un 2% de inclinación)
- i fondo 3H:2V = 0,55 (gradiente hidráulico representativo de un 2% de inclinación)
- A = área (m²)
- e fondo = 0,5 m (espesor de la capa de gravas en el fondo)

Obtenemos.

$q_{Gravas\ fondo}$	$10^{-7}\ m/s \cdot 0,02 \cdot 0,5\ m = 0,01 \cdot 10^{-9}\ m^3/m \cdot s = 0,01\ \mu l/m \cdot s$
$q_{Gravas\ talud\ 2H:1V}$	$10^{-7}\ m/s \cdot 0,44 \cdot 0,5\ m = 0,22 \cdot 10^{-9}\ m^3/m \cdot s = 0,22\ \mu l/m \cdot s$
$q_{Gravas\ talud\ 3H:2V}$	$10^{-7}\ m/s \cdot 0,55 \cdot 0,5\ m = 0,27 \cdot 10^{-9}\ m^3/m \cdot s = 0,27\ \mu l/m \cdot s$

1.1.2 Capacidad de drenaje de la capa de gravas a largo plazo

Para obtener la capacidad de drenaje a largo plazo debe minorarse la capacidad drenante obtenida por la Ley de Darcy por unos factores de seguridad:

$$q_{largo\ plazo} = q_{corto\ plazo} / (RF_{cc} \cdot RF_{bc}) \quad (GRI\ Standard)$$

Donde:

- RF_{cc} : Factor de reducción por colmatación química y/o precipitación de agentes químicos en el espacio ocupado por la grava de drenaje. Consideramos un valor de 1,2
- RF_{bc} : Factor de reducción por colmatación biológica en el espacio ocupado por la grava. Consideramos un valor de 1,2

Capacidad de drenaje real de las gravas a largo plazo

- $q_{largo\ plazo}$: Capacidad de drenaje de las gravas obtenida en el apartado anterior (corto plazo)

Por tanto,

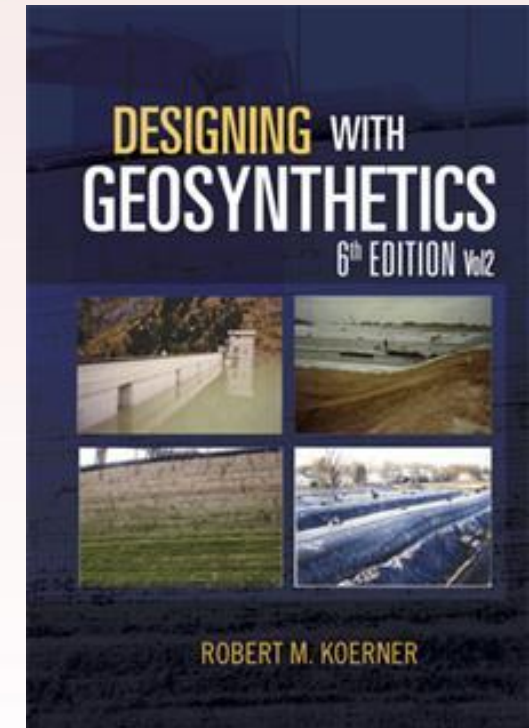
- $q_{largo\ plazo\ fondo} = 0,01 / (1,2 \cdot 1,2) = 0,00694\ \mu l/m \cdot s$
- $q_{largo\ plazo\ talud\ 2H:1V} = 0,22 / (1,2 \cdot 1,2) = 0,15277\ \mu l/m \cdot s$
- $q_{largo\ plazo\ talud\ 3H:2V} = 0,27 / (1,2 \cdot 1,2) = 0,18750\ \mu l/m \cdot s$

Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

$$q_{Largo-plazo} = \frac{q_{test}}{RF_{in} \cdot RF_{cc} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cr}}$$

Factores Reductores recomendados:

Aplicación	RF _{in}	RF _{cc}	RF _{bc}
Campos deportivos.	1,0 – 1,2	1,0 – 1,2	1,1 – 1,3
Captacion surgencias de agua.	1,1 – 1,3	1,1 – 1,5	1,1 – 1,3
Drenaje de techos y cubiertas.	1,2 – 1,4	1,0 – 1,2	1,1 – 1,3
Muros de contencion, filtraciones en roca y drenaje de taludes.	1,3 – 1,5	1,1 – 1,5	1,0 – 1,5
Mantas drenantes.	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2	1,0 – 1,2
Drenaje agua infiltrada para sellado de vertederos.	1,3 – 1,5	1,0 – 1,2	1,5 – 2,0
Drenaje secundario para lixiviados (vertederos).	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0
Drenaje principal para lixiviados	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0	1,5 – 2,0



Koerner
(2012)

“Designing with Geosynthetics”
6th Edition, Prentice Hall, New
Jersey.

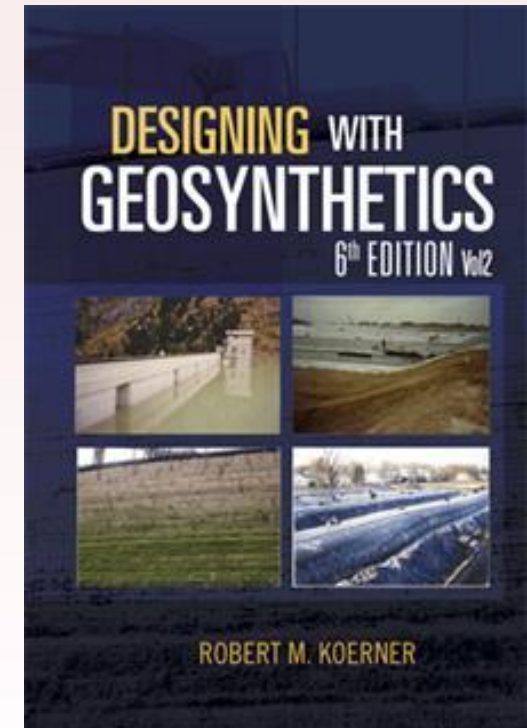
Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

$$q_{Largo-plazo} = \frac{q_{test}}{RF_{in} \cdot RF_{cc} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cr}}$$

Factores Reductores recomendados:

Aplicación	RFcr
Campos deportivos.	1,0 – 1,5
Captacion surgencias de agua.	1,0 – 1,2
Drenaje de techos y cubiertas.	1,0 – 1,2
Muros de contencion, filtraciones en roca y drenaje de taludes.	1,2 – 1,4
Mantas drenantes.	1,2 – 1,4
Drenaje agua infiltrada para sellado de vertederos.	1,1 – 1,4
Drenaje secundario para lixiviados (vertederos).	1,4 – 2,0
Drenaje principal para lixiviados (vertederos-minas).	1,4 – 2,0

➔ 1,18

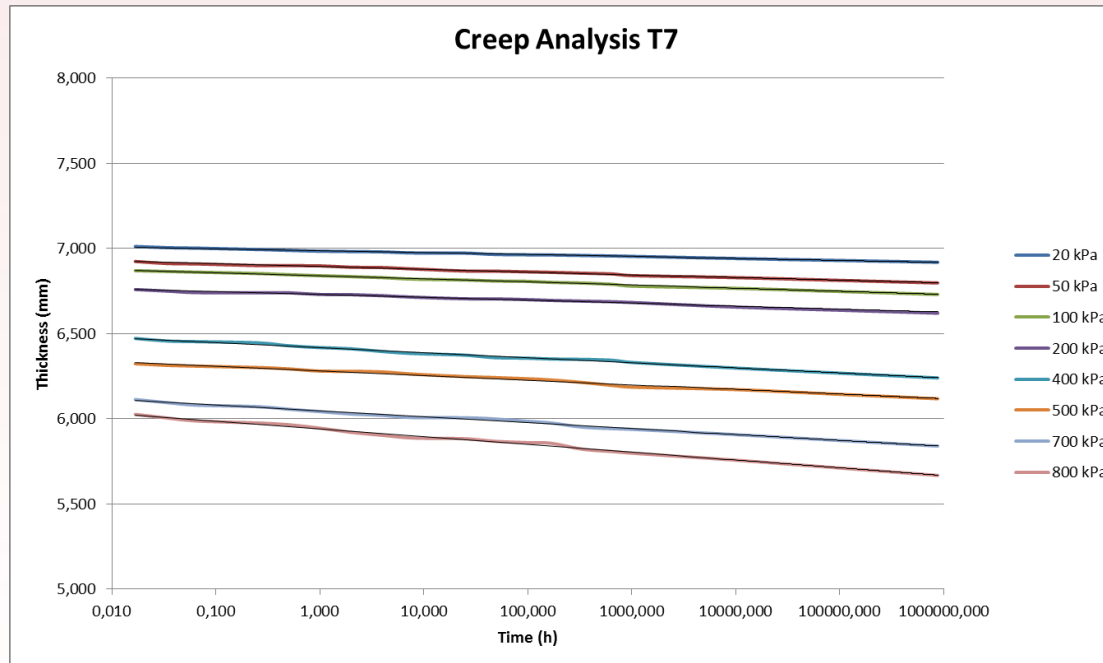


Koerner
(2012)

“Designing with Geosynthetics”
6th Edition, Prentice Hall, New
Jersey.

Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

UNE-EN ISO 25619-1: 2008. Método 5



ANALYSIS 1.000 h	
Pressure (kPa)	RFcr
20	1,03
50	1,04
100	1,05
200	1,04
400	1,08
500	1,08
700	1,11
800	1,15

ANALYSIS 10.000 h	
Pressure (kPa)	RFcr
20	1,04
50	1,05
100	1,06
200	1,06
400	1,10
500	1,09
700	1,13
800	1,18

ANALYSIS 100.000 h	
Pressure (kPa)	RFcr
20	1,04
50	1,06
100	1,07
200	1,07
400	1,12
500	1,11
700	1,16
800	1,22

ANALYSIS 876.000 h (100 years)	
Pressure (kPa)	RFcr
20	1,05
50	1,07
100	1,08
200	1,08
400	1,14
500	1,13
700	1,18
800	1,25

Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

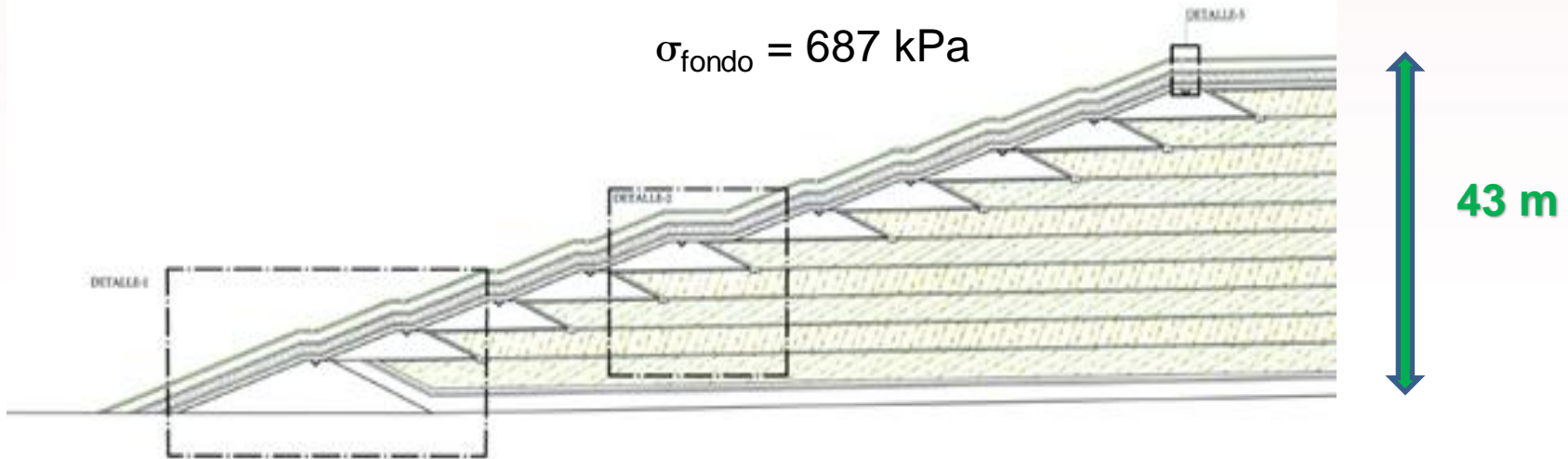
Criterios Solucion adoptada:

- **Estructurales:** 43 m espesor residuos > 600 Kpa.
 - 14 capas 3 m de espesor residuos densidad media 15 kN/m³ (ensayo TEFSA).



- Sellado futuro vertedero.

$$\sigma_{\text{fondo}} = 687 \text{ kPa}$$



SECCIÓN TRANSVERSAL
ESCALA 1:400

Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

Criterios Solucion adoptada:

- **Transporte y acopio:** minimizar volumen tráfico y eliminar reducir zonas de acopio.

2.500 camiones.



V/S



25 camiones.



Diseño Sistema de Drenaje con Geosintéticos

Criterios Solucion adoptada:

- **Rdto. Instalación:** óptimos tanto en el fondo como taludes.

> 2.000 m² / día



The logo for Intermas Geosynthetics features a stylized green checkmark icon with a small blue diamond above it.

intermas geosynthetics

Jorge Gutiérrez.

jgutierrez@intermasgroup.com

