

## DIMENSIONAMIENTO DE INTERDRAIN PARA LA CAPTACIÓN Y EL DRENAJE DEL BIOGÁS GENERADO EN UN VERTEDERO

### ÍNDICE DEL ESTUDIO:

1. INTRODUCCIÓN
2. EJEMPLO UTILIZADO EN EL ESTUDIO
3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO
4. FLUJO DE GENERACIÓN DE GASES
5. TRANSMISIVIDAD MÍNIMA REQUERIDA AL GEOCOMPUESTO DE DRENAJE DE GASES
6. EQUIVALENCIA TRANSMISIVIDAD GAS-TRANSMISIVIDAD HIDRÁULICA
7. CAPACIDAD DRENANTE A CORTO PLAZO DE INTERDRAIN
8. CAPACIDAD DRENANTE A LARGO PLAZO DE INTERDRAIN
9. CÁLCULO DE LA TRANSMISIVIDAD A LARGO PLAZO DE INTERDRAIN Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD
10. BIBLIOGRAFIA

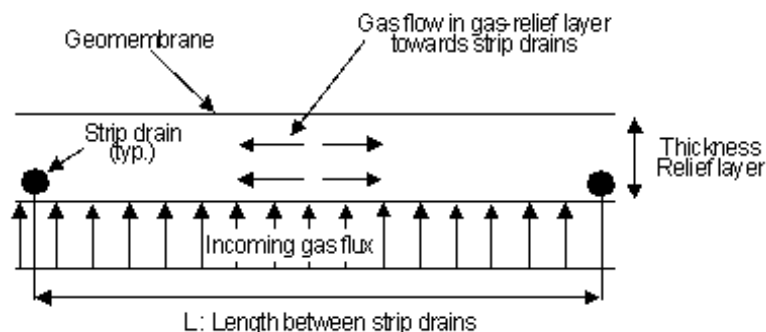
### 1. INTRODUCCIÓN

La presión del gas generado en un Vertedero en las capas de sellado reduce significativamente la fricción entre la geomembrana y la capa drenante, hecho que puede afectar a la estabilidad del sellado. El presente Estudio Técnico ofrece una metodología para dimensionar el geocompuesto drenante INTERDRAIN que tenga una Transmisividad superior a la de los gases, con lo que se evita la saturación de la capa drenante.

Un gran número de fallos de estabilidad en sellados que se han producido en la última década han sido atribuidos a una capacidad inadecuada de la capa de drenaje del biogás. Según estudios recientes, basados en la teoría de la permeabilidad intrínseca, el ratio de Transmisividad del gas es aprox. 10 veces menor que el ratio de Transmisividad hidráulica en cualquier medio poroso. En el pasado se creía que esta relación era a la inversa, lo que provoca una subestimación de la capacidad de transmisión del gas en la capa de drenaje.

El presente Estudio Técnico tiene como objetivo ofrecer una metodología para el diseño de los geocompuestos drenantes INTERDRAIN como sistemas de captación y drenaje del biogás generado en un Vertedero. Se utilizará un ejemplo para facilitar la lectura del Estudio.

### 2. EJEMPLO UTILIZADO EN EL ESTUDIO



Esquema 1. Esquema del sistema de drenaje de biogás en un sellado.

Fuente: [www.landfilldesign.com](http://www.landfilldesign.com)

Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.

Se considerará un Vertedero con las siguientes características:

- $H_{avg\ waste}$  : Altura media de los desechos = 20 m
- $\delta_{waste}$ : Densidad de los desechos = 1000 kg/m<sup>3</sup>
- $r_g$ = Índice de generación de gases = 6,24·10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/kg/año (valor recomendado por Thiel)
- $U_{gmax}$ : Presión máxima ejercida por el gas sobre el geocompuesto de drenaje = 2 kPa (usualmente entre 1 kPa y 3 kPa)
- $\gamma_{LFG}$ : Peso específico del gas = 0,01157 kN/m<sup>3</sup> (ver tabla 1)
- $L$ : Distancia entre líneas de drenes de gas = 60 m
- Geometría del sellado: El sellado del Vertedero tendrá unos taludes de 24º y una zona plana con una pendiente del 5%.

R.S. Thiel recomienda un índice de generación de gases ( $r_g$ ) en el final de la vida de la célula de 6,24·10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/kg/año. Este valor es fruto de la experiencia en vertederos de residuos sólidos de Estados Unidos.

La composición esperada del gas generado por los desechos del Vertedero, así como las densidades, pesos específicos y viscosidades dinámicas y cinemáticas se encuentran en la siguiente tabla:

Gas	%	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso específico $\gamma$ (N/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\mu$ (N-s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
Agua	-	1000	9800	1,01E-03	1,01E-06
CH <sub>4</sub>	50	0,666	6,54	1,10E-05	1,65E-05
CO <sub>2</sub>	40	1,83	17,9	1,50E-05	8,21E-06
N <sub>2</sub>	8	1,16	11,38	1,77E-05	1,52E-05
H <sub>2</sub>	1	-	-	-	-
Otros	1	-	-	-	-
LFG (Gas)	100%	1,18	11,57	1,32E-05	1,30E-05

Tabla 1. Composición esperada del gas generado en un Vertedero. Fuente: [www.landfilldesign.com](http://www.landfilldesign.com)

### 3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología propuesta por INTERMAS NETS S.A. consiste en:

- Estimación del flujo de generación de gases del Vertedero (apartado 4)
- Cálculo de la Transmisividad mínima requerida al geocompuesto de drenaje (apartado 5)
- Equivalencia Transmisividad gas-Transmisividad hidráulica (apartado 6).
- Cálculo de la capacidad drenante a corto plazo de los geocompuestos INTERDRAIN (apartado 7)
- Cálculo de la capacidad drenante a largo plazo de los geocompuestos INTERDRAIN (apartado 8)
- Cálculo de la Transmisividad a largo plazo de los geocompuestos drenantes INTERDRAIN y cálculo de los factores de seguridad (apartado 9).

*Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.*

#### 4. FLUJO DE GENERACIÓN DE GASES

Se utilizará la formulación recomendada en el documento “Design of Lateral Drainage Systems for Landfills (2000)”

El flujo de generación de gases de un vertedero puede estimarse mediante la siguiente formulación:

$$\Phi_{LFG} = r_g \cdot H_{avg \text{ waste}} \cdot \delta_{waste}$$

Dónde:

- $\Phi_{LFG}$ : Flujo total de gas generado ( $m^3/s/m^2$ )
- $r_g$ : Índice de generación de gases =  $6,24 \cdot 10^{-3} m^3/kg/año$
- $H_{avg \text{ waste}}$ : Altura media de los desechos = 20 m
- $\delta_{waste}$ : Densidad de los desechos =  $1000 kg/m^3$

Obtenemos un flujo total de:

$$\Phi_{LFG} = r_g \cdot H_{avg \text{ waste}} \cdot \delta_{waste} = \frac{6,24 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 1000}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 3,96 \cdot 10^{-6} m^3/s/m^2$$

#### 5. TRANSMISIVIDAD MÍNIMA REQUERIDA AL GEOCOMPUESTO DE DRENAJE DE GASES

La Transmisividad mínima requerida a un geocompuesto de drenaje de gases se puede calcular a partir de la expresión de *Thiel*:

$$T_{required \ LFG} = \frac{\Phi_{LFG} \cdot \gamma_{LFG}}{u_{gmax}} \cdot \left[ \frac{L^2}{8} \right] \quad (Thiel, 1999)$$

Dónde:

- $T_{required \ LFG}$ : Transmisividad requerida al geocompuesto de drenaje de gases ( $m^2/s$ )
- $u_{gmax}$ : Presión máxima ejercida por el gas al geocompuesto de drenaje = 2 kPa
- $\Phi_{LFG}$ : Flujo total de gas generado =  $3,96 \cdot 10^{-6} m^3/s/m^2$
- $\gamma_{LFG}$ : Peso específico del gas =  $0,01157 kN/m^3$
- L: Distancia entre líneas de drenes de gas = 60 m

La Transmisividad mínima requerida al geocompuesto de drenaje de gases, considerando los anteriores valores es de:

$$T_{required \ LFG} = \frac{\Phi_{LFG} \cdot \gamma_{LFG}}{u_{gmax}} \cdot \left[ \frac{L^2}{8} \right] = \frac{3,96 \cdot 10^{-6} \cdot 0,01157}{2} \cdot \left[ \frac{60^2}{8} \right] = 1,03 \cdot 10^{-5} m^2/s$$

*Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.*

## 6. EQUIVALENCIA TRANSMISIVIDAD GAS-TRANSMISIVIDAD HIDRÁULICA

Al no disponer de valores de transmisividades de los geocompuestos de drenaje en condiciones de circulación de gases se utilizará la siguiente equivalencia:

$$T_{H_2O} = \frac{\mu_{LFG} \cdot \gamma_{H_2O}}{\mu_{H_2O} \cdot \gamma_{LFG}} \cdot T_{LFG}$$

La Transmisividad hidráulica equivalente es:

$$T_{H_2O} = \frac{1,32 \cdot 10^{-5} \cdot 9800}{1,01 \cdot 10^{-3} \cdot 11,57} \cdot 1,03 \cdot 10^{-5} = 11,07 \cdot 1,03 \cdot 10^{-5} = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} = 0,11 \text{ l/m}\cdot\text{s}$$

Los geocompuestos drenantes INTERDRAIN deberán tener una Transmisividad a largo plazo superior a:

$$T_{\text{INTERDRAIN largo plazo}} > 0,11 \text{ l/m}\cdot\text{s}$$

## 7. CAPACIDAD DRENANTE A CORTO PLAZO DE INTERDRAIN

En la siguiente tabla se muestran las capacidades drenantes a corto plazo de INTERDRAIN sometidos a 20 kPa y distintos gradientes hidráulicos:

CARACTERÍSTICAS VERTDERO			CAPACIDAD DRENANTE DE INTERDRAIN ( $q_{\text{INTERDRAIN}}$ )					
gradiente	ángulo talud	presión	$q_{\text{GMG 412}}$	$q_{\text{GMG 512}}$	$q_{\text{GLG 612}}$	$q_{\text{GM 412}}$	$q_{\text{GM 512}}$	$q_{\text{GL 612}}$
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,02	1,15	20	0,06	0,11	0,17	0,13	0,15	0,23
0,05	2,87	20	0,09	0,16	0,27	0,21	0,23	0,36
0,1	5,74	20	0,13	0,28	0,38	0,30	0,33	0,51
0,2	11,54	20	0,22	0,42	0,58	0,52	0,59	0,81
0,3	17,46	20	0,27	0,51	0,71	0,64	0,73	1,00
0,4	23,58	20	0,31	0,60	0,82	0,74	0,84	1,15
0,5	30	20	0,35	0,67	0,92	0,83	0,94	1,28
0,6	36,87	20	0,48	0,90	1,16	0,98	1,27	1,48
0,7	44,43	20	0,52	0,97	1,25	1,05	1,37	1,60
0,8	53,13	20	0,55	1,04	1,34	1,13	1,47	1,71
0,9	64,16	20	0,59	1,10	1,43	1,19	1,56	1,81
1	90	20	0,62	1,16	1,50	1,26	1,64	1,91

Tabla 2. Capacidad drenante a corto plazo de los geocompuestos drenantes INTERDRAIN sometidos a 20 kPa (sellado de un Vertedero) y a distintos gradientes. Fuente: INTERMAS NETS S.A.

El cálculo de la capacidad drenante de INTERDRAIN a 20 kPa y a distintos gradientes se puede ver en el Estudio "Dimensionamiento del geocompuesto INTERDRAIN para el drenaje del agua de lluvia infiltrada en un sellado de un vertedero" (INTERMAS NETS S.A., 2005).

Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.

Seleccionando en la tabla 1 la columna correspondiente a  $i=0,05$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	presión	q GMG 412	q GMG 512	q GLG 612	q GM 412	q GM 512	q GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,05	2,87	20	0,09	0,16	0,27	0,21	0,23	0,36

Tabla 3. Capacidad drenante a corto plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
 Fuente: INTERMAS NETS S.A.

Seleccionando en la tabla 1 la columna correspondiente a  $i=0,4$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	presión	q GMG 412	q GMG 512	q GLG 612	q GM 412	q GM 512	q GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,4	23,58	20	0,31	0,60	0,82	0,74	0,84	1,15

Tabla 4. Capacidad drenante a corto plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
 Fuente: INTERMAS NETS S.A.

## 8. CAPACIDAD DRENANTE A LARGO PLAZO DE INTERDRAIN

La capacidad drenante a largo plazo de los geocompuestos no se corresponde con la obtenida en el Test de Transmisividad. Esta debe de minorarse mediante unos factores de reducción que tienen en cuenta la fluencia, la intrusión del geotextil en la georred, la colmatación química y biológica.

$$q_{\text{largo plazo}} = q_{\text{test}} / (RF_{in} \cdot RF_{cc} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cr}) \quad (\text{GRI Standard})$$

En la siguiente tabla se describen los factores reductores ([www.landfilldesign.com](http://www.landfilldesign.com)):

- $RF_{in}$ : factor de reducción por deformación elástica o intrusión de los geotextiles en la georred.
- $RF_{cc}$ : factor de reducción por colmatación química y/o precipitación de agentes químicos en el espacio ocupado por la georred de drenaje.
- $RF_{bc}$ : factor de reducción por colmatación biológica en el espacio ocupado por la georred
- $RF_{cr}$ : factor de reducción por efecto de la fluencia (creep).
- $q_{\text{largo plazo}}$ : capacidad de drenaje real del geocompuesto a largo plazo
- $q_{\text{test}}$ : capacidad de drenaje del geocompuesto obtenida a partir del Test de Transmisividad.

En una clausura de un Vertedero los factores de reducción de los geocompuestos drenantes utilizados para el drenaje del biogás son los siguientes ([www.landfilldesign.com](http://www.landfilldesign.com)):

- $RF_{in} = 1,0 - 1,2$
- $RF_{cr} = 1,19$  (caso de los geocompuestos INTERDRAIN)
- $RF_{cc} = 1,0 - 1,2$
- $RF_{bc} = 1,2 - 1,5$

Considerando valores medios de los factores reductores obtenemos:

$$RF_{in} \cdot RF_{cc} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cr} = 1,1 \cdot 1,19 \cdot 1,1 \cdot 1,4 = 2$$

*Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.*

- Para  $i=0,05$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	presión	q GMG 412	q GMG 512	q GLG 612	q GM 412	q GM 512	q GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,05	2,87	20	0,04	0,08	0,13	0,10	0,11	0,18

Tabla 5. Capacidad drenante a largo plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
Fuente: INTERMAS NETS S.A.

- Para  $i=0,4$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	Presión	q GMG 412	q GMG 512	q GLG 612	q GM 412	q GM 512	q GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,4	23,58	20	0,15	0,30	0,41	0,36	0,42	0,57

Tabla 6. Capacidad drenante a largo plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
Fuente: INTERMAS NETS S.A.

## 9. CÁLCULO DE LA TRANSMISIVIDAD A LARGO PLAZO DE INTERDRAIN Y CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

La relación entre Transmisividad (T) y capacidad drenante (q) es:

$$q_{\text{INTERDRAIN}} (\text{m}^2/\text{s}) = T_{\text{INTERDRAIN}} (\text{m}^2/\text{s}) \cdot i$$

Dónde:

- $i$  = gradiente hidráulico
- Para  $i=0,05$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	Presión	T GMG 412	T GMG 512	T GLG 612	T GM 412	T GM 512	T GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,05	2,87	20	0,80	1,60	2,60	2,00	2,20	3,60

Tabla 5. Transmisividad a largo plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
Fuente: INTERMAS NETS S.A.

Todos la gama de INTERDRAIN tiene una Transmisividad a largo plazo superior a 0,11 l/m·s, con factores de seguridad que varían desde 7,2 (GMG 412) a 32,7 (GL 612).

- Para  $i=0,4$  obtenemos:

gradiente	ángulo talud	Presión	T GMG 412	T GMG 512	T GLG 612	T GM 412	T GM 512	T GL 612
-	°	kPa	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m	l/s/m
0,4	23,58	20	0,35	0,75	1,02	0,90	1,05	1,42

Tabla 6. Transmisividad a largo plazo de INTERDRAIN sometido a  $i=0,05$  y  $\sigma=20$  kPa.  
Fuente: INTERMAS NETS S.A.

Todos la gama de INTERDRAIN tiene una Transmisividad a largo plazo superior a 0,11 l/m·s, con factores de seguridad que varían desde 3,1 (GMG 412) a 12,9 (GL 612).

Este cálculo es producto de nuestros conocimientos revisados y corregidos. INTERMAS declina toda responsabilidad derivada de su uso en proyectos obras, y se entrega sólo a título informativo.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- EPA (1998) Lining of Waste Containements and other Impoundment Facilities. Cincinnati, Ohio,
- Eseverri, A (2004) Soluciones drenantes con georredes. Revista Subsuelo y Obra Urbana nº 9. Junio 2004
- Eseverri, A (2005) Sellado del Vertedero de Serrallarga. Revista Infoenviro.nº7. Agosto 2005
- Koerner, R. M. (1998) Designing with Geosynthetics. 4th Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA
- Giroud, J.P., Zhao, A, and Richarson, G.N (2000) Effect of Thickness reduction on Geosynthetic Hidraulic Transmissivity. *Geosynthetic International, Vol.7 Nos. 4-5, pp.*
- Giroud, J.P., Zhao, A, (2000) Design of Liquid Collection Layers with Radial Flor. *Geosynthetic International, Vol.7 Nos. 4-5, pp.*
- Giroud, J.P., Zornberg, J.G., and Zhao,A. (2000) Hydraulic Desing of Geosynthetic and Granular Liquid Collection Layers. *Geosynthetic International, Vol.7 Nos. 4-5, pp.*
- Richardson, G.N., Giroud, J.P and Zhao, A. (2000) Design Manual of Lateral Drainage Systems for Landfills.
- Richardson, G.N. and Zhao, A., (2000) Gas Transmission in Geocomposite Systems", *Geotechnical Fabrics Report, March, pp. 20-23.*
- Rimoldi, P (1989) Transmissivity and flow-rate of geosynthetic drainage products. *Tenax Technical Report.*
- Thiel, R.S. (1998) Design Methodology for a Gas Pressure Relief Layer Below a Geomembrane Landfill Cover to Improve Slope Stability", *Geosynthetic International, Vol. 5, No. 6 pp. 589-617.*
- UNE 104425 Materiales sintéticos. Puesta en Obra. Sistemas de impermeabilización de Vertederos de residuos con láminas de polietileno de alta densidad.
- GRI Standard–GC8 (2001) Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite.
- AASHTO (1996) Standard Specification for Geotextiles, Designation: M288-96. *American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D.C.*
- ENV 1897 Geotextiles y productos relacionados. Determinación de las propiedades de fluencia en la compresión.
- ENV 12225 Geotextiles y productos relacionados. Método para determinar la resistencia microbiológica mediante un ensayo de enterramiento en el suelo.
- UNE-EN ISO 12958 Geotextiles y productos relacionados. Determinación de la capacidad de flujo en su plano.
- ISO/TR 12960 Geotextiles y productos relacionados. Método de ensayo de protección para la determinación de la resistencia a los líquidos.
- UNE CR ISO 13434 Guía para la durabilidad de los geotextiles y los productos relacionados con geotextiles
- ASTM D1621-00 Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics
- [www.landfillsdesign.com](http://www.landfillsdesign.com) Página web dedicada al dimensionamiento con geosintéticos en Vertederos.