



TERRATEST
MEDIOAMBIENTE

OBRAS DE SELLADO Y CLAUSURA DEL VERTEDERO DE EMERGENCIA DE SON REUS, PALMA DE MALLORCA

Javier Moreno

Director de División de Obras y Proyectos

- Construcción de Vertederos y Balsas de Agua
- Suelos Contaminados
- Drenajes y Rebajamientos de Niveles Freáticos.
- Hidrogeología Aplicada

VERSOS´10

Vertederos y Sostenibilidad

Alhóndiga – Bilbao

10, 11 y 12 de Noviembre de 2010



Índice de contenidos

- Antecedentes del Vertedero
- Alcance de las obras
- Retos del sellado
- Estudio de alternativas : Trisoplast
- Configuración de las capas de sellado
- Estabilidad de taludes
- Solución de anclaje en bermas
- Ejecución de las obras
 - Aspectos constructivos

ANTECEDENTES DEL VERTEDERO

Superficie del Vertedero : 310.000 m² (4,84 Mm³ de residuos)



Problemática:

- Taludes: 20 a 35 m
3H:2V (60%)
a
1H:1V (100%)
- Presencia de:
 - Biogás (40-60 %)
 - Lixiviados
- Inestabilidad de taludes:
 - Erosiones
 - Deslizamientos

ALCANCE DE LAS OBRAS

- Remodelación topográfica (adecuación de taludes) : 500.000 m³
 - Aporte capa de regularización: 75.000 m³
 - Pendiente de taludes: 2,5H:1V (40%)
 - Taludes de 8 a 14 m, con bermas de 4 m.
 - Pendiente de plataformas: > 2%
- Superficie de sellado: 310.000 m²
 - 50 cm de arcilla – permeabilidad (k) <10⁻⁹ m/s
 - Drenaje de aguas de infiltración (Geodren-Enkadrain)
 - Estabilización de las capas de sellado (Geoestera-Enkamat)
 - Cobertura en taludes de 60 cm y plataforma 100 cm (486.000 m³)
- Desgasificación mediante 49 chimeneas (20 m) conectadas a una antorcha
- Captación y tratamiento de lixiviados:
 - 13 pozos verticales (20 m), y
 - 5 drenes horizontales (60 m).
- Recogida y vertido de aguas pluviales: 11.790 m de canaletas

RETOS DEL SELLADO

- Localizar un préstamo de arcillas de 155.000 m³
- Extendido en tongadas < 15 cm:
 - Pendiente de taludes del 40%
 - Compactación 90-95% PM
 - Permeabilidad (K)<10⁻⁹ m/s
 - Evitar el deslizamiento de las capas de sellado

Dificultades:

- Puesta en obra (y trasiego camiones)
- Compactación
- Cantidad del préstamo

No se localiza un préstamo de cumpla las características técnicas requeridas

PRÉSTAMO DE ARCILLAS (Densidad PM)

Densidad seca (g/cm ³)	1,94	1,55
Densidad aparente (g/cm ³)	2,21	1,96
Humedad inicial (%)	13,61	26,51
Humedad final (%)	14,22	28,56
Permeabilidad (m/s)	9,83 10 ⁻⁹	2,60 10 ⁻⁸

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Parámetros	Trisoplast	GCL Manta Bentonita	Arcillas Compactadas		
			50	75	100
Espesor (cm)	7	0,6	50	75	100
Permeabilidad (m/s)	$3 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-11}$ $(10^{-10})_{(2)}$	10^{-8}	10^{-8}	10^{-8}
Gradiente hidráulico (i) (1)	8,1	84,3	2,0	1,7	1,5
Flujo hidráulico (q) (litros/día·m ²)	0,021	0,364 $(0,73)_{(2)}$	1,73	1,44	1,30
Caudal relativo	1	17,3 $(34,5)_{(2)}$	81,9	68,2	61,4

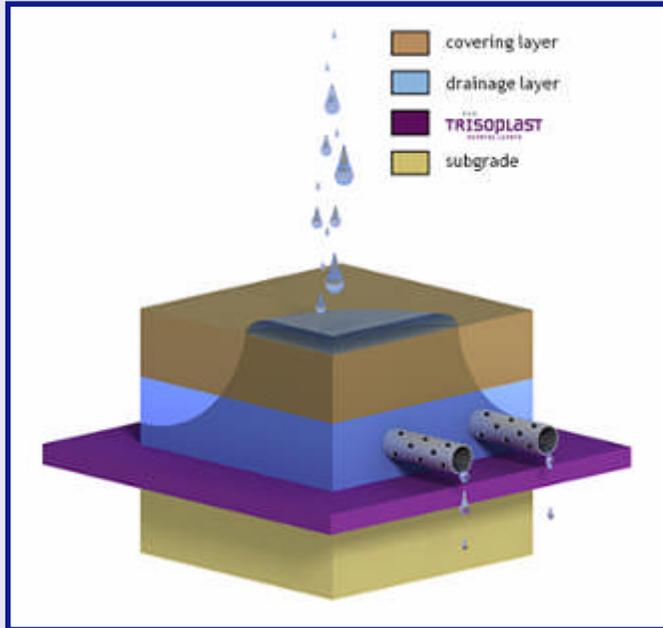
(1) Carga Hidráulica: 0,5 m

(2) Ensayos realizados por TERRATEST; $k = 10^{-10}$ m/s (un orden de magnitud inferior al establecido por el fabricante)

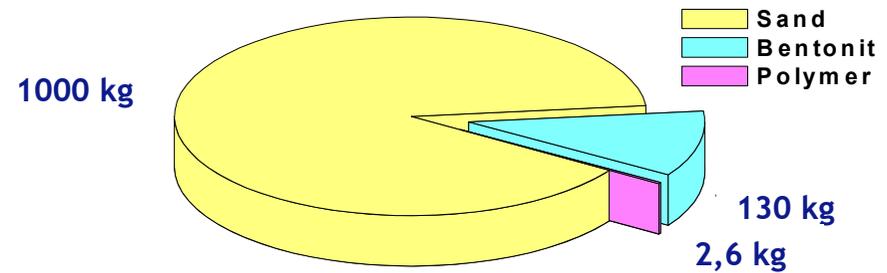
Se decide la instalación de 7 cm de TRISOPLAST

PROPIEDAD	TRISOPLAST	ARCILLA COMPACTADA	MANTA DE BENTONITA
Permeabilidad	Del orden de 10^{-11} m/s.	Del orden de 10^{-9} m/s.	Del orden de 10^{-11} m/s.
Flujo a su través/Control de lixiviados	Según Darcy, una capa de 7 cm de Trisoplast® equivale a 300 cm de arcilla, o a un conjunto de 5 mantas de bentonita.		
Sellado frente a gases	Siempre efectivo, pues mantiene su humedad.	Sólo efectivo <u>cuando está húmeda</u> . Si se desarrollan fisuras el fallo puede ser irreversible.	Sólo efectivo <u>cuando está húmeda</u> .
Durabilidad	Comprobada a largo plazo mediante estudios.	Problemas: <u>deseccación y fisuración</u> a medio plazo.	Problemas: permanencia de la bentonita en los taludes. Intercambio iónico.
Deseccación/Fisuración	No es un problema.	Aparece a veces incluso durante la puesta en obra en tiempo cálido.	No es un problema generalmente.
Intercambio iónico	No es un problema, gracias a la protección de la bentonita por el polímero	No es un problema.	Problema importante <u>a corto plazo</u> en presencia de aguas o sustancias agresivas
Agresiones puntuales	Muy resistente.	Muy resistente.	Problemas. El escaso espesor puede conducir a eliminaciones puntuales.
Asientos diferenciales	Muy tolerante. Material plástico.	<u>Poco tolerante</u> . Fisuras irreversibles.	Muy tolerante
Autoreparación	Muy buena	Inexistente, carece de hinchabilidad	Buena. Empeora con el intercambio iónico
Solapes/Paso de instalaciones	Capa continua. Sin problemas	Capa continua. Sin problemas	Complicados y muy sensibles a la calidad de ejecución
Instalación en taludes	Fácil. Hasta 2H:1V.	Muy difícil.	Fácil. Riesgo de permanencia de la bentonita (solifusión).
Puesta en obra: facilidad	Muy fácil. Equipo sencillo. Monocapa. Poco sensible a humedad/compactación	Fácil. Equipo sencillo. Necesidad de varias tongadas. Sensible a Humedad/compactación	Muy fácil, a menos que haya formas complicadas o muchas instalaciones. Equipo sencillo
Puesta en obra: rapidez	Muy rápido, más de 2.000 m ² /día	Mucho más lento	Muy rápido
Preparación previa	Subbase compactada. No son precisos geosintéticos	Subbase compactada. No son precisos geosintéticos	Precaución con partículas gruesas o punzonantes

¿qué es Trisoplast?

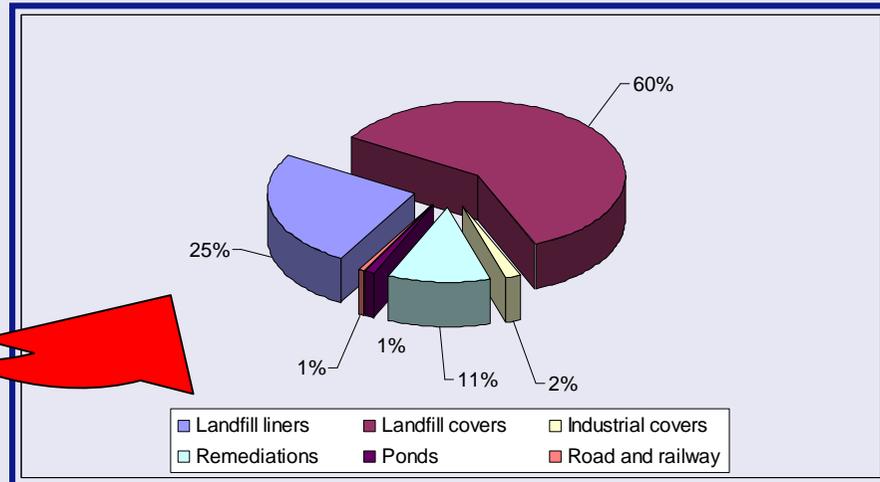


Barrera Mineral Artificial de tres componentes

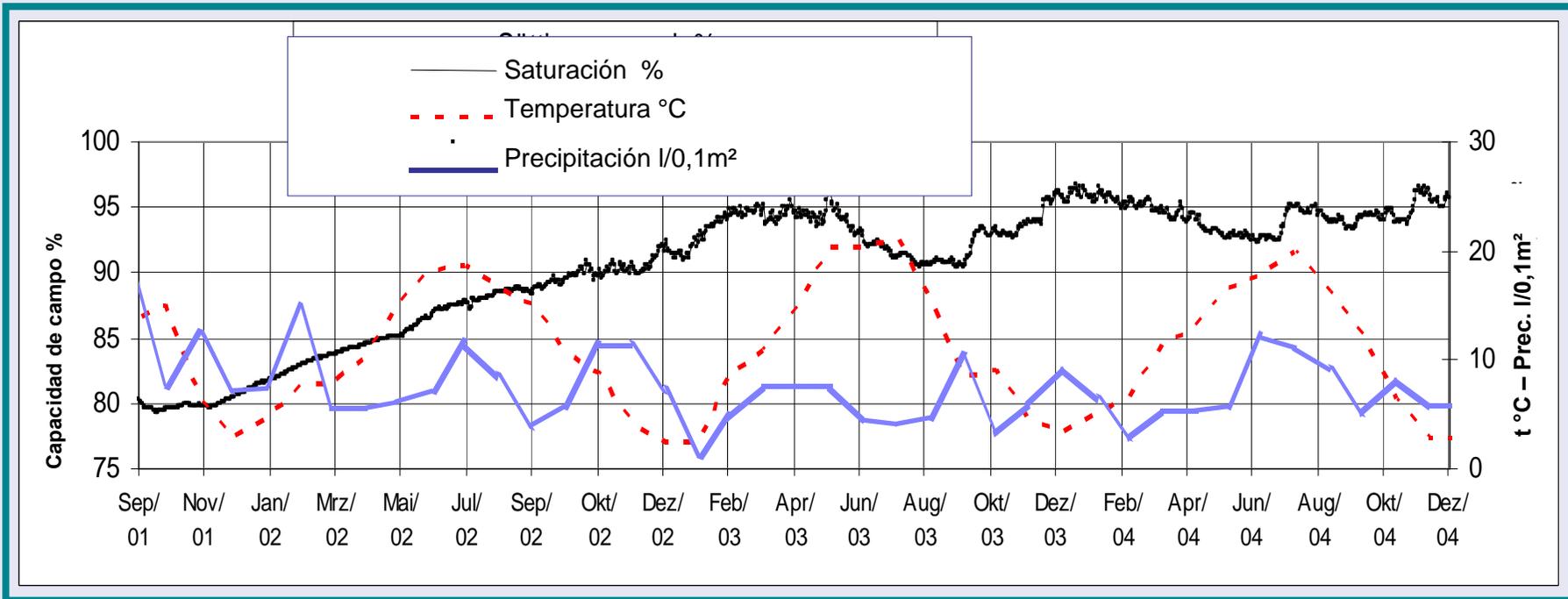


En Europa se han instalado más de 10.000.000 m²

GARANTÍA

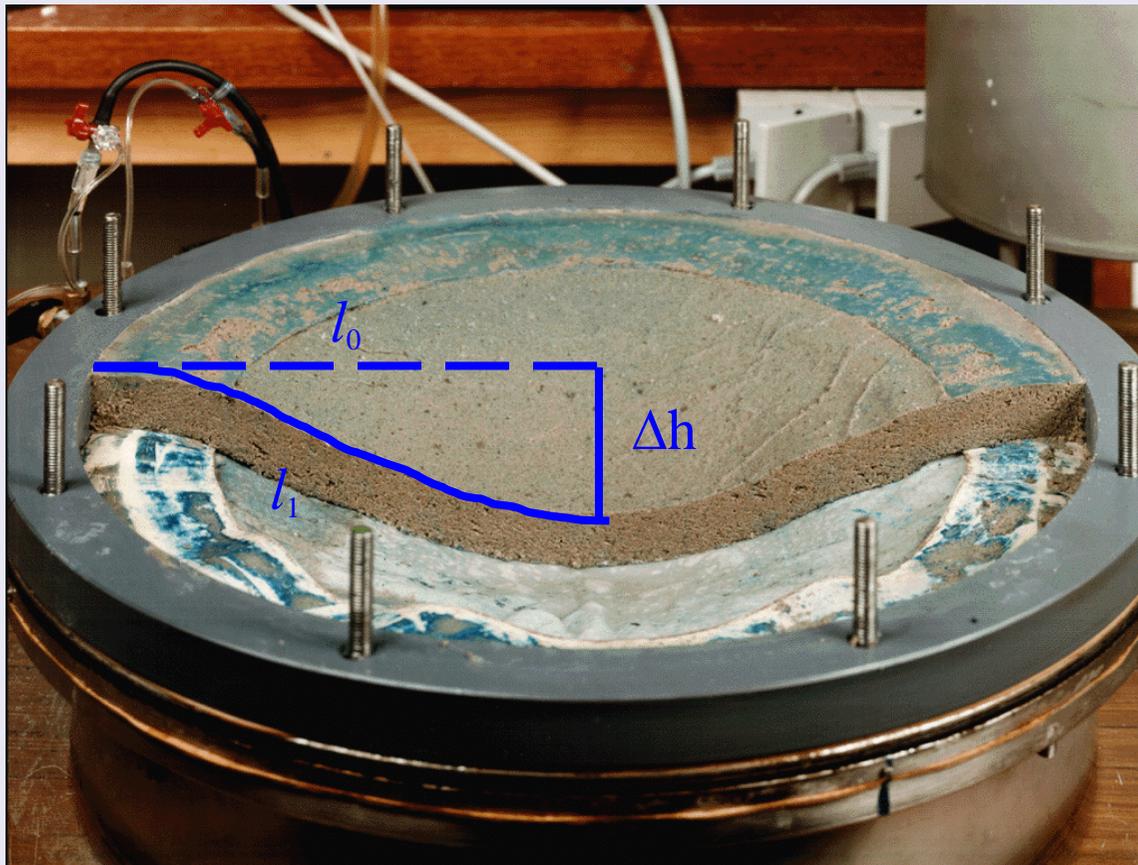


Evolución de la saturación “in situ”



Saturación no influenciada por la temperatura o la precipitación del agua de lluvia

Variación de la permeabilidad frente a la deformación



Deformation (%) $\left(\frac{l_1}{l_0} - 1\right) \times 100$	Permeabilidad ($\times 10^{-11}$ m/s)	
	Saturada	No Saturada
0	0,6	
1	0,9	
2	1,1	
3	1,6	
5	2,3	
7,5	2,1	6,0
10	2,1	3,7

Boels & Van Der Wal (1999)

DEFORMACIÓN SIN DAÑO

Evolución de la permeabilidad en capas de Trisoplast

Resultados de ensayos realizados en capas instaladas de Trisoplast, según Boels, D., Melchior, S., Steinert, B.

Vertedero	Antigüedad	Permeabilidad (m/s)
EUR 1	6 años	$2,6 \cdot 10^{-11}$
EUR 2	6 años	$1,3 \cdot 10^{-11}$
VOP 3	5 años	$1,6 \cdot 10^{-11}$
ALM 4	5 años	$1,5 \cdot 10^{-11}$
ALM 5	5 años	$4,3 \cdot 10^{-11}$
SOE 6	5 años	$2,1 \cdot 10^{-11}$
Trisoplast nuevo	0	$2,6 \cdot 10^{-11}$

TRISOPLAST: Parámetros Técnicos

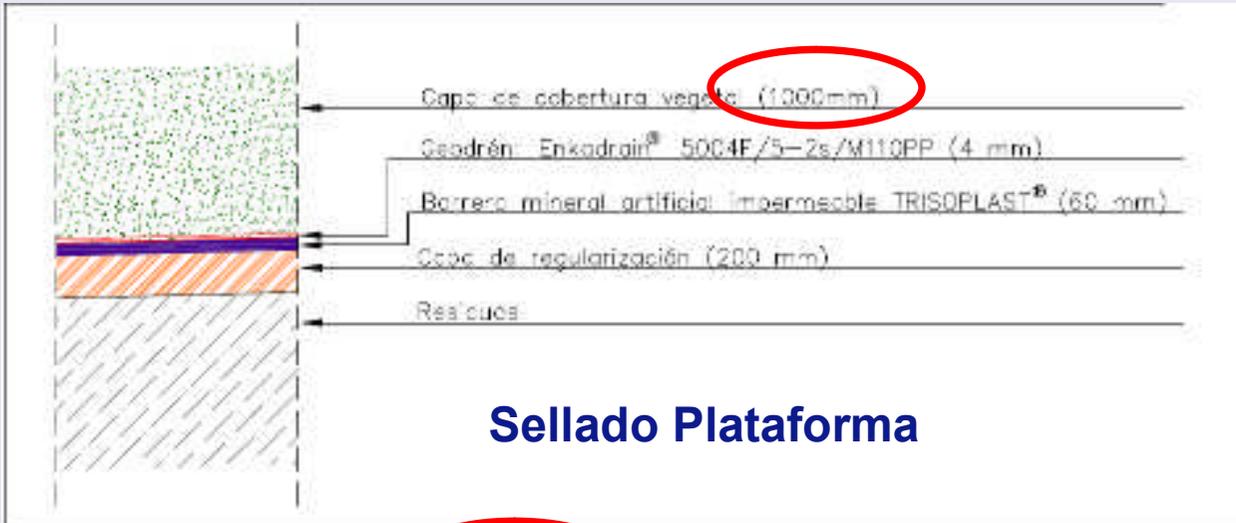
Espesor aprobado equivalente	7 cm para sellados* y 9 cm para impermeabilización de vasos*	
Densidad Proctor	1,6 - 1,8 g/cm ³	
Contenido óptimo de humedad	7 - 12%	
Permeabilidad normal al agua	K _{sat} de $5 \cdot 10^{-11}$ m/s hasta $1 \cdot 10^{-12}$ m/s	
Permeabilidad al aire	K _{sat} <math>< 6 \cdot 10^{-10}</math> m/s	
Permeabilidad tras ciclos de hielo/deshielo	K _{sat} ~ $1,8 \cdot 10^{-11}$ m/s	
Permeabilidad con deformación de 10%	K _{sat} <math>< 6 \cdot 10^{-11}</math> m/s	
Radio de curvatura admisible sin daños	r ≧ 6,0 m (con contenido de humedad 6%) r ≧ 2,5 m (con contenido de humedad 20%)	
Resistencia a la cizalla (no consolidado y con drenaje)		
Parámetros internos de cizalla	ángulo de cizalla	min φ' > 30°
	cohesión media	c' > 17 kN/m ²
Ángulo de rozamiento externo (contacto con geomembrana rugosa)	ángulo rozamiento	φ ≥ min φ' = 28°
	adherencia	a = 3 to 4,5 kN/m ²
Deformación causado por el hinchamiento	max ε ≧ 8% (at σ ≧ 10 kN/m ²) min ε ≧ 0% (at σ ≧ 130 kN/m ²)	

(*). Espesor que se refiere al equivalente de permeabilidad del estándar holandés para la impermeabilización con arcillas y arenas/bentonita, cuya permeabilidad máxima es de $2,3 \cdot 10^{-10}$ m/s para un espesor de 25 cm en sellados y 50 cm en impermeabilizaciones, considerando una permeabilidad máxima de Trisoplast de $5 \cdot 10^{-11}$ m/s .

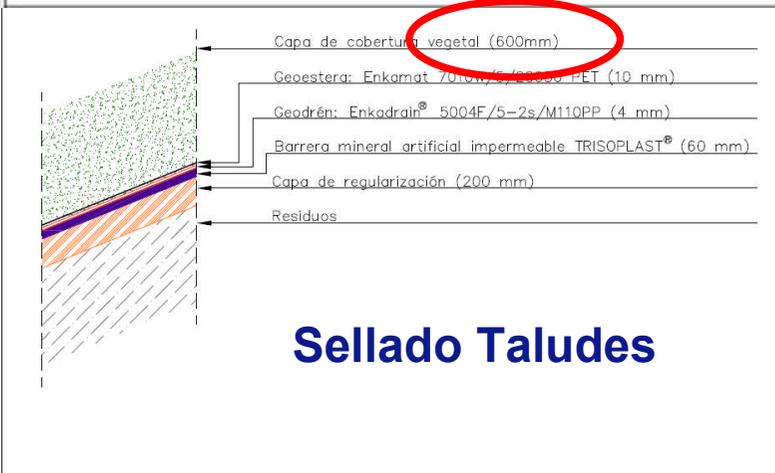
Propiedades del Trisoplast

- Capacidad de sellado: permeabilidad de 100 a 1000 veces mejor que la arcilla. ($k: 0,1 - 3 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ versus $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$)
- Resistencia mecánica: rozamiento como la arena y cohesión como la arcilla. Admite taludes hasta 2H:1V (50%).
- Deformabilidad: gran tolerancia a los asientos diferenciales por su gran plasticidad. Autoreparante.
- Durabilidad: frente a agresiones físicas, químicas y biológicas. Gran resistencia a la desecación y al intercambio iónico.

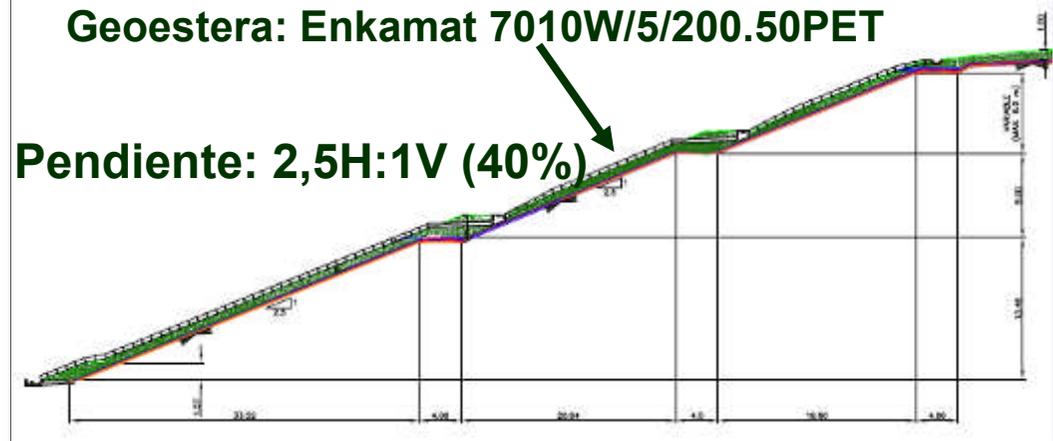
Capas de Sellado – Vertedero Son Reus



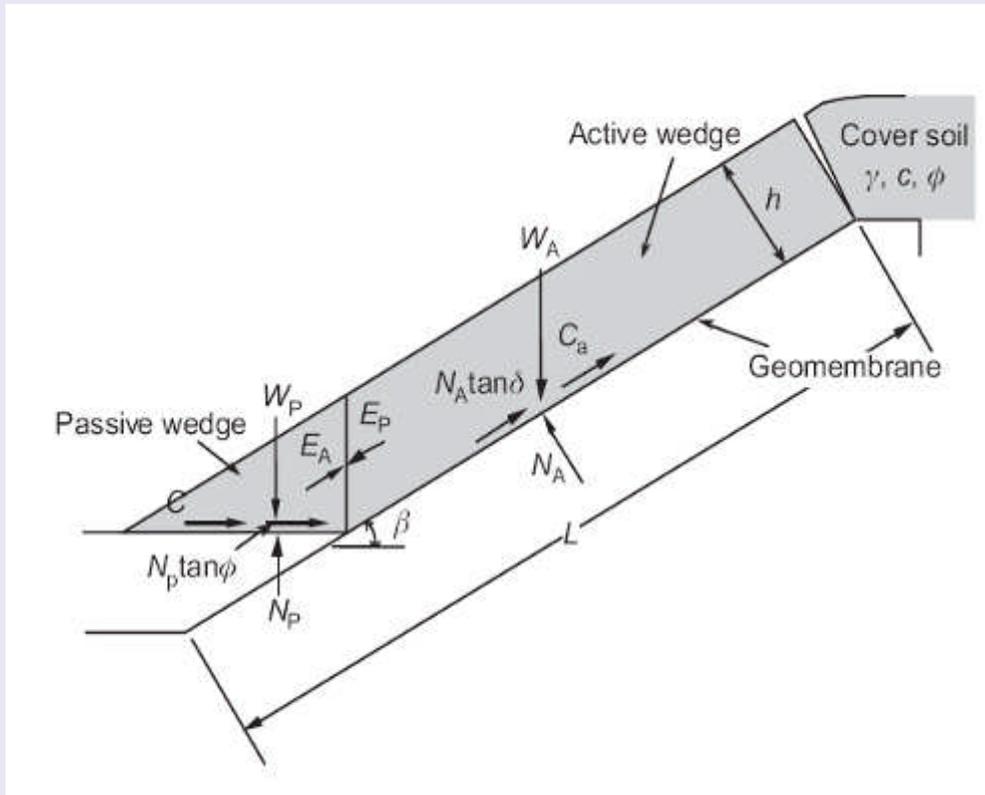
Sellado Plataforma



Sellado Taludes



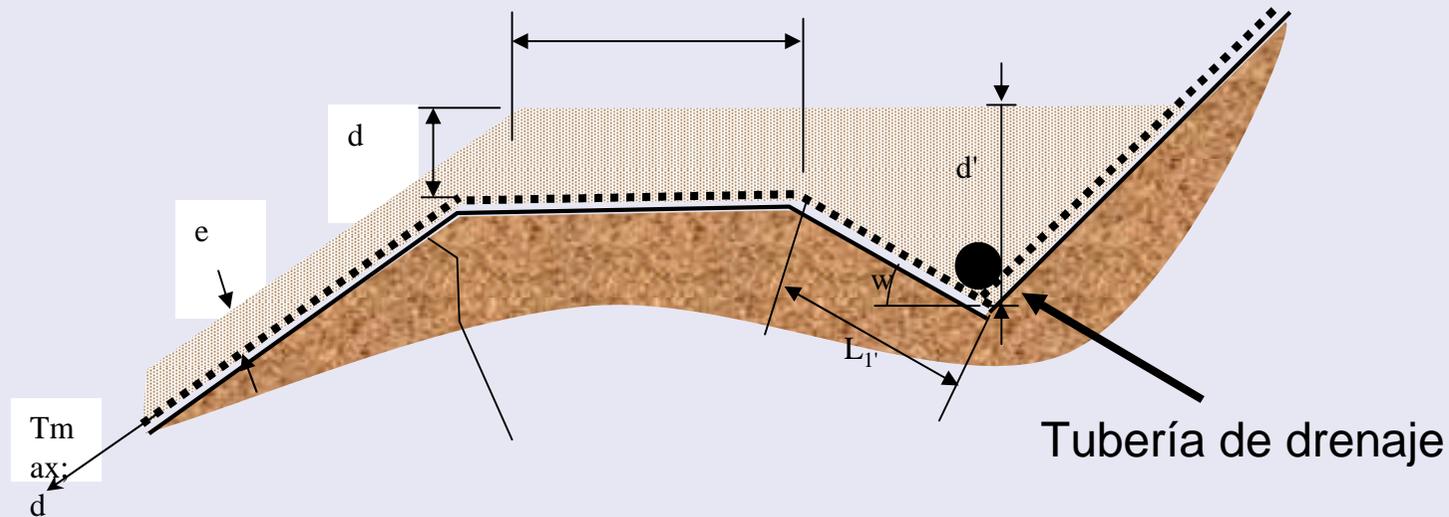
Estabilidad de taludes



Según Koerner and Soong (2005)

- **Tierras:**
 - Densidad (γ): 20 kN/m³
 - Cohesión (C): 36 kPa (0,36 kg/cm²)
 - Angulo de rozamiento interno (ϕ): 38°
 - Espesor:
 - 60 cm, en cabecera
 - 2,25 m en bermas (pasivo)
- **Geotextiles:**
 - Ángulo de rozamiento(ϕ): 19°
- **Drenaje de los taludes**
 - (Dar salida al drenaje en las bermas)
- **Resistencia de la geoestera: 200 kN/m**
Factores de Seguridad adicional, "Creep" por:
 - estructura de fabricación: 1,25
 - alteración biológica - química: 1,20
 - flujo del polímero (100 años): 1,46
 - daños en puesta en obra: 1,25
- **Factor de Seguridad: 1,54**

Solución de anclaje en bermas



- **Diseño de la Zanja de anclaje de las capas de sellado para taludes de 14 a 8 m de altura.**
- L_1 (Longitud 1 de la zanja de anclaje) = 0,5 m.
- L_1' (Longitud 2 de la zanja de anclaje) = 2,66 m
- w (Ángulo) = 10° m.
- e (Espesor de los materiales de cobertura vegetal = 0,6 m.
- d (Espesor de los materiales de cobertura vegetal en las bermas) = 2 m.
- d' (Espesor de los materiales en la zanja de anclaje) = 2,25 m de tierras compactas al 95% del Proctor modificado.













Remodelación topográfica

Excavación, carga y transporte de hasta 7.500 m³/día de residuos-tierras



Taludes conformados con pendientes 2,5H:1V (40%) y compactados al 95 % PN



Fabricación Trisoplast



Amasado en planta:
Capacidad 50 Tn/hora

Control de la fabricación



Control y seguimiento en continuo de la producción



Extendido del Trisoplast



Rendimientos:

- 3.000 m² en taludes
- 3.500 m² en plataforma

Compactación del Trisoplast



Proceso de compactación en taludes y plataforma

- Compactación 85-90% PN
- Espesor: > 7 cm
- Densidad (γ): 1,82 a 1,87 Tn/m³
- Humedad: 8% > W_{nat} < 11%
- Cohesión (C): 0,24 a 0,36 Kg/cm²
- Angulo de Rozamiento(ϕ) : 29 a 40°
- Permeabilidad: 3·10⁻¹¹ a 5·10⁻¹² m/s



Colocación de geosintéticos

Instalación y soldadura del Enkadren 5004F/5-2S/M110PP (6 mm)



Instalación y anclaje del Enkamat 7010W/5/200.50 PET (10 mm)



Cobertura de tierra vegetal



CAPTACIÓN DE GASES



CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS



TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Javier Moreno

javier-ms@terratest.es