

Estabilidad y drenaje del sellado de taludes de vertederos

Carlos Luengo

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

Departamento de Medio Ambiente
y Ordenación del Territorio

Ingurumen eta Lurralde
Antolamendu Saila



BEC-Bilbao Exhibition Centre
3-4 noviembre 2008

Situación a evitar: el deslizamiento de las capas que conforman el sellado de los taludes de un vertedero

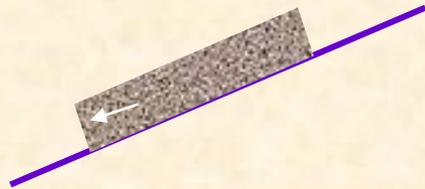


Solución tipo: se forman una serie de bermas en el talud del vertedero con una altura entre 10 - 20 m y una pendiente entre 3H:1V y 2H:1V

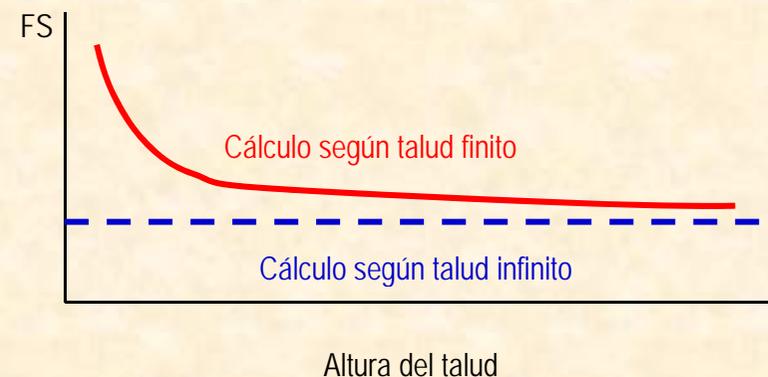
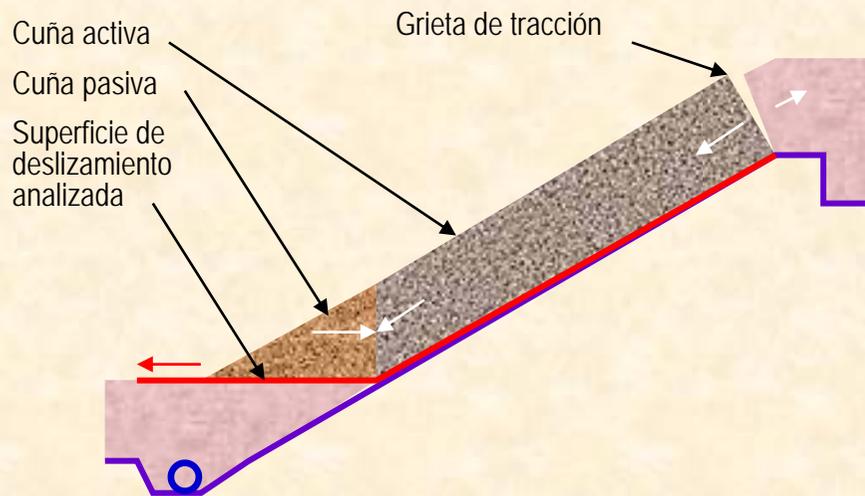
Métodos de análisis de la estabilidad (1)

1) Métodos analíticos:

- Talud infinito. Muy sencillo de calcular, pero los resultados son muy conservadores, por lo que la ejecución de la solución resulta onerosa.



- Talud finito. Considera el efecto estabilizador de una cuña pasiva al pie del talud y la existencia de una grieta de tracción en la coronación del talud. Cálculo mediante hoja electrónica de cálculo o a través de internet: www.landfilldesign.com). Resulta pedagógico y útil para comprender la situación y aproximar la solución. (Koerner & Hwu, 1991; Koerner & Soong, 1998; Qian et al. , 2003)

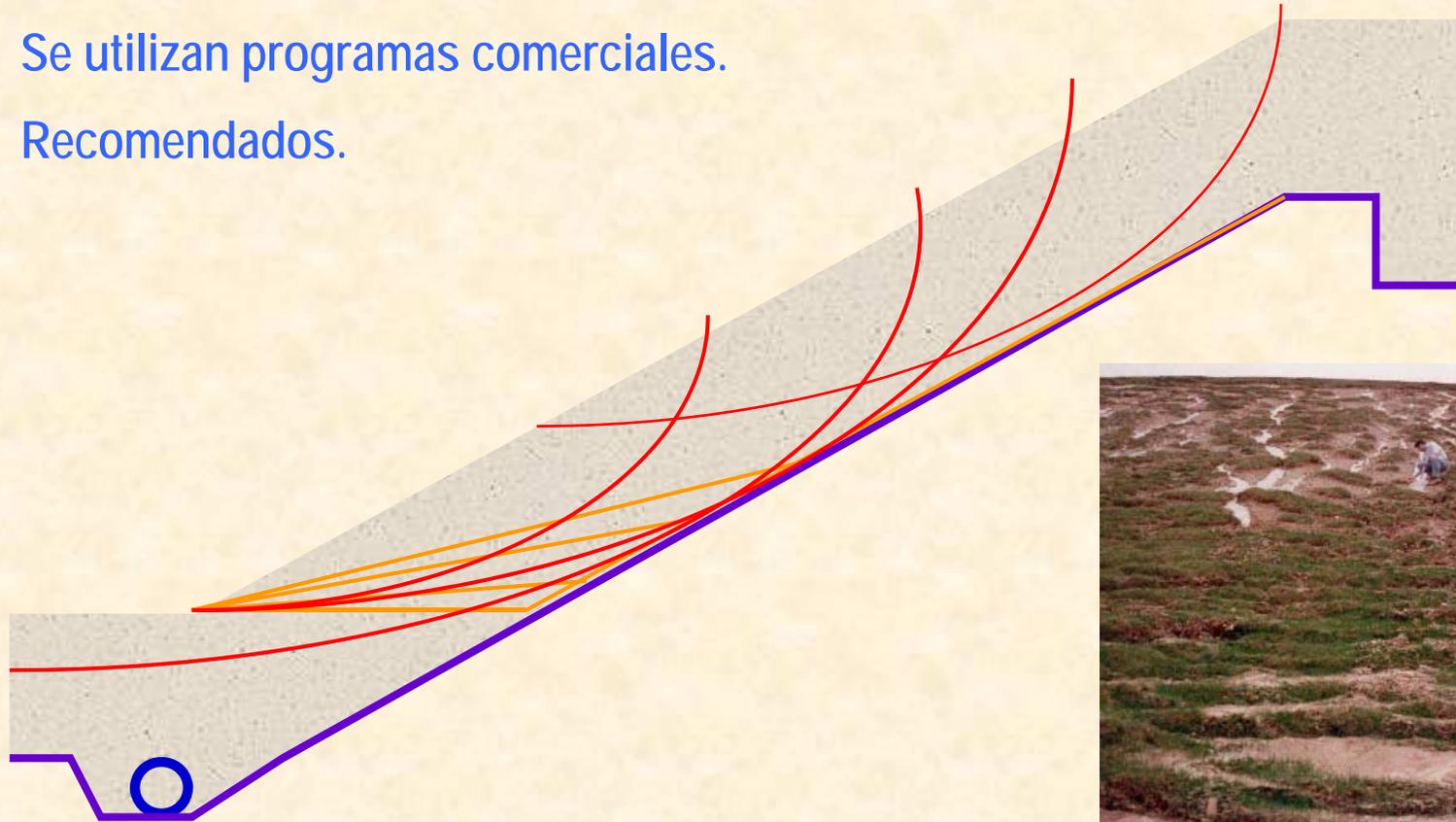


Métodos de análisis de la estabilidad (2)

- 2) Métodos numéricos. Los clásicos: Bishop, Janbu, Spencer, etc. Utilizar no solo los círculos de rotura, sino también las roturas a través de superficies predefinidas (correspondientes a interfaces entre geosintéticos o entre éstos y capas de suelos) y/o puntos (rotura que pase por el pie del talud).

Se utilizan programas comerciales.

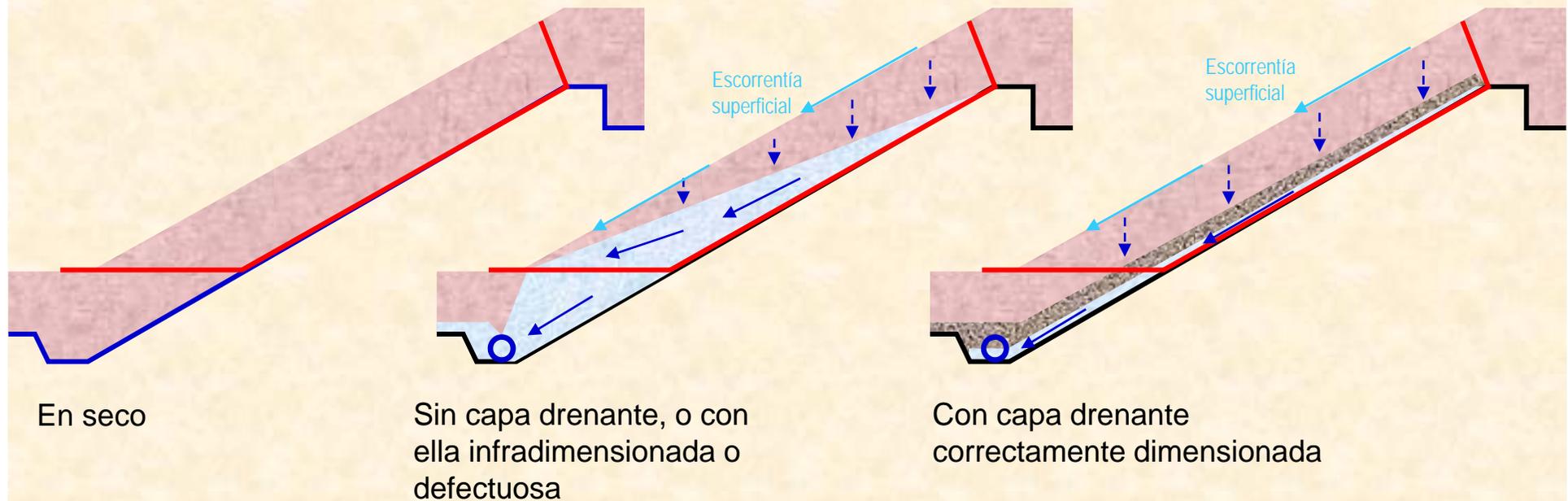
Recomendados.



Importancia del agua en la estabilidad del talud

Como en todo talud, debe evitarse que haya un flujo de agua por su interior paralelo a línea de máxima pendiente, ya que las fuerzas de filtración generadas contribuyen a reducir significativamente el factor de seguridad ante el deslizamiento.

Puesto que el agua se va infiltrar en la capa de tierras y por debajo de ésta se encuentra una capa de baja permeabilidad (geomembrana o barrera geológica), entre ambas debe instalarse una capa drenante, de modo que el flujo en la capa de suelo de cobertura sea vertical (en cuyo caso no contribuye a la inestabilidad), mientras que en la capa drenante será paralelo al talud, pero de poco espesor (máximo 30 cm o el espesor de la capa, lo que sea menor).



En seco

Sin capa drenante, o con ella infradimensionada o defectuosa

Con capa drenante correctamente dimensionada

Diseño de capas drenantes

En el sellado de taludes de vertederos se recomienda utilizar una capa continua formada por geocompuestos drenantes, ya que el espesor saturado que se obtiene es menor que con capas granulares: gravas o arenas (?).

Método de cálculo: Giroud & Houlihan (1995), analítico. Recomendado por Richardson et al (2000), Qian et al. (2002), Qian et al. (2004) frente a otros métodos propuestos, por su mayor precisión y simplicidad. La transmisividad (T , en m^2/s) de un geocompuesto drenante se obtiene, simplificado en el método de Giroud & Houlihan (1995), (Richardson et al (2000):

$$T = r L / \text{sen}(\alpha)$$

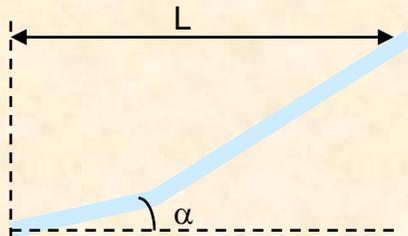
r = máxima cantidad total de agua que llega a la capa drenante o recarga (en m/s), en climas húmedos corresponde al valor más bajo de la permeabilidad saturada de las capas que tenga encima (k_s). En la fase de proyecto este valor se puede obtener de la bibliografía (para suelos naturales: Rawls & Brakensiek, 1982; para suelos compactados: NAFACENGCÓM (1986). No se utilizarán suelos que tengan una $k_s > 10^{-5} m/s$, como gravas y arenas. Los suelos más utilizados tiene una k_s entre $10^{-6} m/s$ (86,4 mm/día) y $10^{-7} m/s$ (8,6 mm/día).

L = longitud de la proyección horizontal del talud (en m).

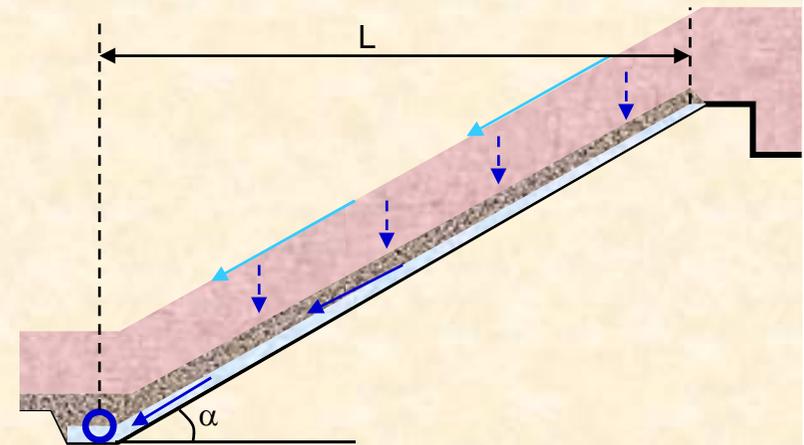
α = pendiente de la base de dicha capa (en $^\circ$).

Richardson & Zhao (1998) y Richardson et al. (2000) recominendan aplicar un factor de seguridad global $FS = 6$ al valor obtenido mediante la ecuación anterior.

Capas con dos pendientes, la inferior de menor inclinación:



Antes de iniciar la obra debe verificarse, mediante ensayos, el valor de k_s y T de los materiales a emplear.



Fallos a evitar en las capas drenantes

- Formación de hielo en climas fríos o en invierno. En esa situación el geocompuesto drenante debe desaguar a una tubería enterrada, mejor que una cuneta a cielo abierto.
- Colmatación por entrada de partículas finas (diseño de filtros),
- Precipitación química de compuestos presentes en el suelo de cobertura bien el geocompuesto drenante o bien en la tubería a la cual desaguan.
- Colmatación por raíces.
- Degradación por radiación UV del geotextil del geocompuesto drenante al haberse dejado expuesto demasiado tiempo al sol.



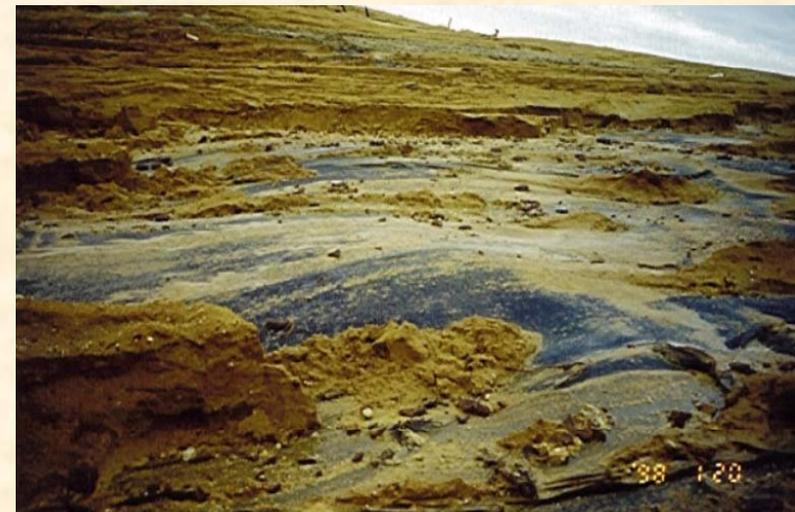
Geocompuesto drenante lleno de raíces. El espesor del suelo de cobertura era escaso

Fallos en otras capas

La barrera geológica artificial (mineral compactada o geocompuesto de bentonita) se moja durante la instalación y expulsa agua a la interfaz geomembrana - barrera geológica, o se congela.

La geomembrana texturizada se arrastra durante su instalación disminuyendo su ángulo de rozamiento respecto al obtenido en laboratorio.

Durante la instalación el aire húmedo bajo la geomembrana se condensa por el ciclo diario de temperatura del aire.



Subpresión por gases de vertedero

En los vertederos que generan gases debe tenerse en cuenta la subpresión que éstos van a aplicar sobre las capas drenantes.

Thiel (1999) presenta un método para calcular dicha subpresión.

Se ha producido roturas de taludes por:

- Humedecimiento de la capa drenante de gases durante su instalación o por condensación (el gas del vertedero suele estar saturado en agua a temperaturas elevadas 40-50°C). La presencia de agua en la capa disminuye la permeabilidad al gas respecto a esa misma capa seca.
- Por parada del sistema de extracción activo de gases durante una semana por mantenimiento.
- Durante la instalación de la capa de suelo de cobertura cuando ésta todavía no ha alcanzado el espesor del proyecto y no puede compensar la subpresión por el gas.



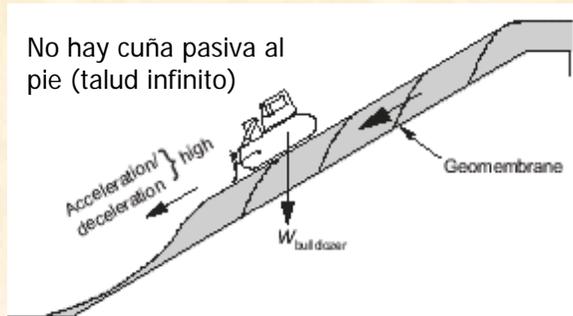
Deslizamiento causado por la subpresión del gas



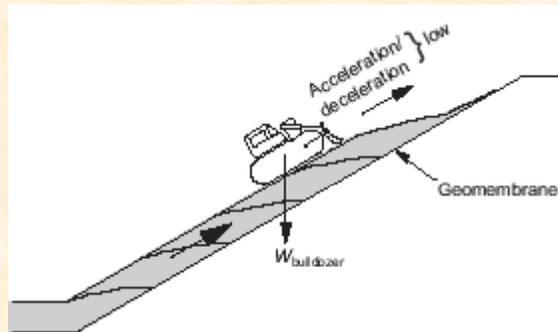
Geomembrana inflada por el gas (Richardson et al., 2008)

Situaciones transitorias

- Durante la ejecución del sellado (tránsito de la maquinaria, extensión de las capas de tierras, etc.)



La aceleración/deceleración pendiente abajo crea una fuerza desfavorable



Extensión de materiales mediante retroexcavadoras de brazo largo y compactación mediante rodillos remolcados



- Por sobrecargas (nieve, vegetación)
- Situaciones dinámicas (terremotos, voladuras en la inmediaciones, etc.)

Organizando el trabajo

Las diferentes capas se van cubriendo a medida que se instalan



Reperfilando el talud del vertedero

Berma intermedia

Talud de los
residuos reperfilado

Extensión del
suelo mediante
retroexcavadoras
de brazo largo

- Capa de tierras de cobertura
- Geocompuesto drenante
- Geomembrana
- Barrera geológica (suelo compactado)

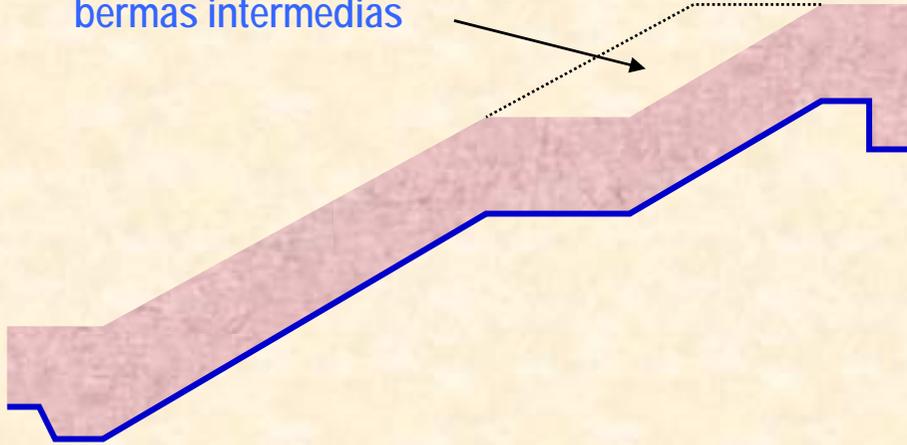
Compactación
mediante rodillo
remolcado

Contenedor para descargar el suelo traído
por los camiones, de donde es recogido por
el ancho cazo de la retroexcavadora sin
dañar al suelo infrayacente y sin que el suelo
aportado se contamine

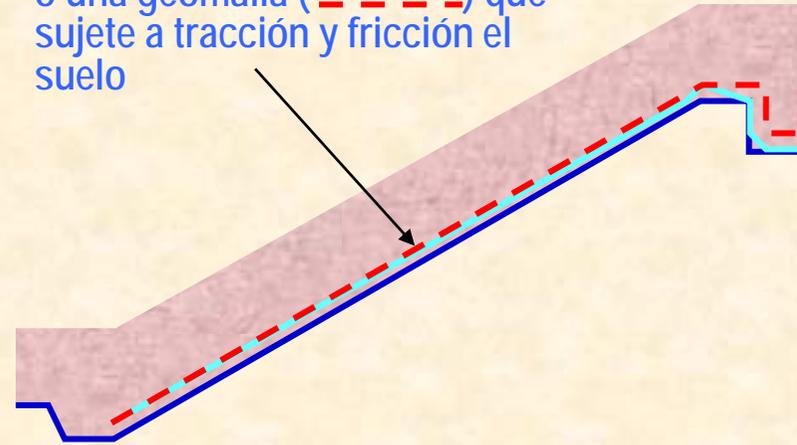
Foto: Trisoplast

Soluciones

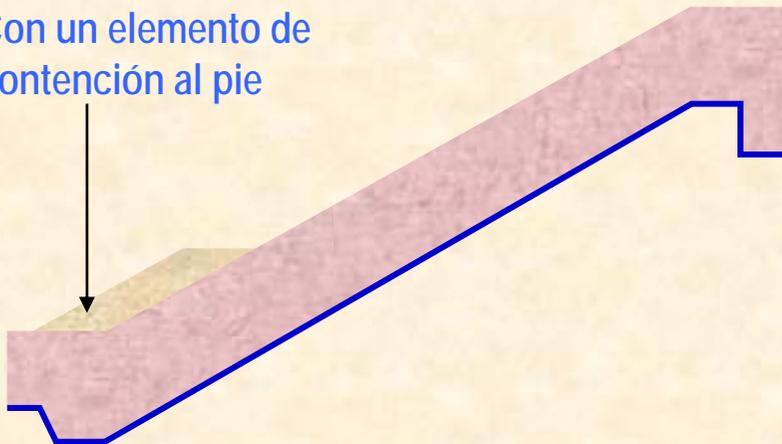
Reducir la altura del talud, instalando bermas intermedias



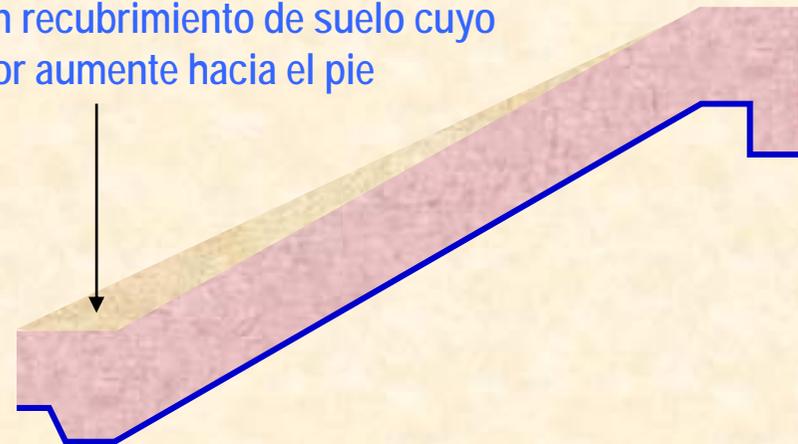
Instalar un geotextil de refuerzo o una geomalla (- - -) que sujete a tracción y fricción el suelo



Con un elemento de contención al pie



Con un recubrimiento de suelo cuyo espesor aumente hacia el pie



Ejemplo: soluciones mixtas

Problema: Talud del residuos de gran pendiente y altura

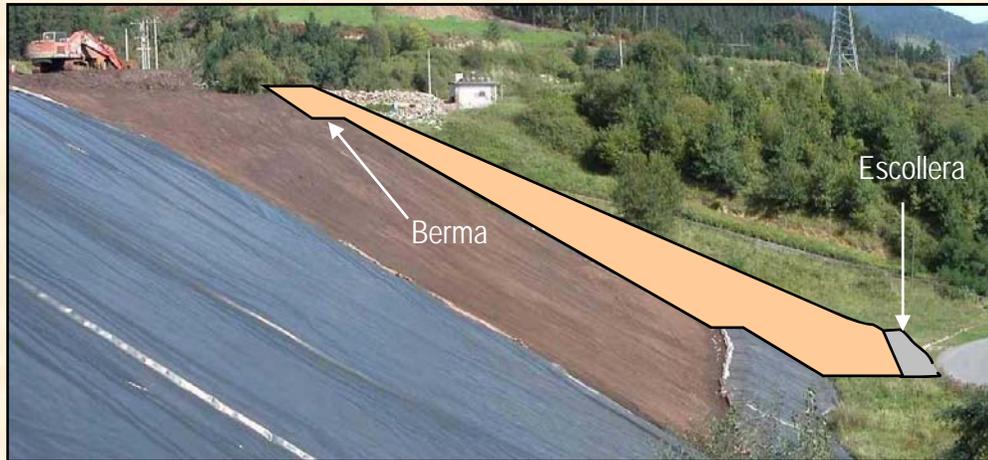


← Limitación de espacio al pie: hay una carretera

Berma

Ejemplo: soluciones mixtas

Problema: Talud del residuos de gran pendiente y altura



Limitación de espacio al pie: hay una carretera

Solución: escollera al pie, de modo que la pendiente final del talud con las tierras tenga menos pendiente ($FS \geq 1,50$)



Conclusiones y recomendaciones

Objetivo: diseñar y construir unos taludes estables del sellado de vertedero, con un factor de seguridad (FS) $\geq 1,50$ en condiciones normales y $\geq 1,30$ en situaciones transitorias.

A) Cálculos en el proyecto:

- Analizar la estabilidad del talud según todas las posibles superficies de rotura.
- Utilizar primero métodos analíticos y después métodos numéricos para ajustar la solución.
- Considerar en el análisis no solo la situación final, sino situaciones intermedias (durante la obra) y situaciones transitorias a largo plazo (> 30 años de periodo postclausura)
- Diseñar las capas drenantes de aguas limpias con un FS ≥ 6 .

B) Pliego de condiciones particulares:

- El pliego de condiciones debe establecer los parámetros, los métodos de ensayo, el número de muestras y los criterios de aceptación.
- Definir los métodos constructivos aceptables y los no aceptables.

C) En obra:

- Verificar mediante ensayos los parámetros resistentes de los materiales a utilizar antes de instalarlos.
- Verificar que los métodos constructivos empleados son los diseñados originalmente. En caso contrario, rehacer los cálculos.

D) Certificado fin de obra:

- Demostrar que la obra ejecutada presenta los FS requeridos.

Bibliografía (1/2)

- BONAPARTE, R.; DANIEL, D.E. & KOERNER, R.M. (2002): "Assessment and recommendations for improving the performance of waste containment systems". Ed. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-02/099.
- DANIEL, D.E.; KOERNER, R.M.; BONAPARTE, R.; LANDRETH, R.E; CARSON, D.A. & SCRANTON, H.B. (1998): "Slope stability of geosynthetic clay liner test plots". *Journal Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 124, nº 7, pp. 628-637.
- GIROUD, J.P. & HOULIHAN, M.F. (1995): "Design of leachate collection layers". En: *Proceedings of the 5th International Landfill Symposium* (Sardinia, Italy), vol. 2, pp. 613-640.
- GIROUD, J.P.; ZORNBERG, J.G. & BEECH, J.F. (2000): "Hydraulic design of geosynthetic and granular liquid collection layers comprising two different slopes". *Geosynthetic International*, vol. 7, nº 4-5, pp. 453-489.
- GIROUD, J.P.; ZORNBERG, J.G. & ZHAO, A. (2000): "Hydraulic design of geosynthetic and granular liquid collection layers". *Geosynthetic International*, vol. 7, nº 4-5, pp. 285-380.
- KOERNER, R.M. & HWU, B.L. (1991): "Stability and tension considerations regarding cover soils in geomembrane lined slopes". *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, vol. 10, nº 4, pp. 335-355.
- KOERNER, R.M. (1998): "Designing with geosynthetics". 5th edición, Ed. Prentice Hall (Englewood Cliffs, NJ).
- KOERNER, R.M., & DANIEL, D.E. (1997): "Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps". 256 pp., Ed. ASCE Press (Reston, VA).
- KOERNER, R.M. & SOONG, T.-Y. (1998): "Analysis and design of veneer cover soils". En: *6th International Geosynthetic Conference (Atlanta)*, pp. 1-23, Giroud Lecture, (ed.) R.K. Rowe, Ed. Industrial Fabrics Association International (IFAI), (St. Paul, Minnesota). [Reproducido en *Geosynthetics International*, vol 12, nº 1, pp. 28-49 (2005)]
- KOERNER, R.M. & BOWMAN, H.L. (2003): "A recommendation to use peak shear strengths for geosynthetic interface design". *GRF Magazine*, nº April, pp. 28-30.
- MARR, W.A. (2001): "Interface and internal shear testing procedures to obtain peak and residual values". En: *Proceedings of Geosynthetic Research Institute-15, Hot Topics in Geosynthetics II*, pp. 1-28, GSI Publ., (Folsom, Pa.).
- NAFACENCOM (1986): "DM 7.02 Foundations and Earth Structures". Design Manual 7.02, p. 7.3-79, Ed. Naval Facilities Engineering Command (Alexandria, VA).

Bibliografía (2/2)

- QIAN, X.; KOERNER, R.M. & GRAY, D.H. (2002): "*Geotechnical aspects of landfill design and construction*". pp 247-331, Ed. Prentice Hall Inc. (New Jersey).
- QIAN, X. KOERNER, R.M. & GRAY, D.H. (2003): "Translational failure analysis of landfills". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 129, nº 6, pp. 506-519.
- QIAN, X. & KOERNER, R.M. (2004): "Effect of apparent cohesion on translational failure analysis of landfills". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130, nº 1, pp. 71-80.
- QIAN, X.; GRAY, D.H. & KOERNER, R.M. (2004): "Estimation of maximum liquid head over landfill barriers". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130, nº 5, pp. 488-497.
- RAWLS, W.J. & BRAKENSIEK, D.L. (1982): "Estimating soil water retention from soil properties". *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, vol. 108, nº IR2, pp. 166-171.
- RICHARDSON, G.N. & ZHAO, A. (1998): "Lateral drainage systems over landfill barrier systems-flat slopes". *Geotechnical Fabrics Report*, nº Agosto, pp. 21-23.
- RICHARDSON, G.N.; GIROUD, J.P. & ZHAO, A. (2000): "Design of lateral drainage systems for landfills". 68 pp.
- RICHARDSON, G.N. & ZHAO, A. (2000): "Gas transmission in geocomposite systems". *Geotechnical Fabrics Report Magazine*, vol. 18, nº 2, pp. 20-23.
- RICHARDSON, G.N.; SMITH, S.A. & SCHEER, P.K. (2008): "Active LFG control: An unreliable aid to veneer stability". *Geosynthetics*, vol. 26, nº 3, pp. 10-19.
- STARK, T.D. & CHOI, H. (2004): "Peak versus residual interface strengths for landfill liner and cover design". *Geosynthetics International*, vol. 11, nº 6, pp. 491-498.
- THIEL, R.S. (1998): "Design methodology for a gas pressure relief layer below a geomembrane landfill cover to improve slope stability". *Geosynthetics International*, vol. 5, nº 6, pp. 589-616.
- THIEL, R.S. (1999): "Design of gas pressure relief layer below a geomembrane cover to improve slope stability". En: *Proceedings of Geosynthetics'99* (Boston, MA), pp. 235-252.
- THIEL, R.S. (2001): "Peak vs. residual shear strength for landfill bottom liner stability analyses". En: *Proceedings of the 15th Annual Geosynthetic Research Institute Conference on Hot Topics in Geosynthetics – II* (Houston, Tx), pp. 40-70, Ed. Geosynthetic Research Institute (Folsom, PA).