

“Gestión de materiales en el diseño y construcción de vertederos”

- Guillermo Bernal -



vertederos y **sos**tenibilidad '08

Mejores **T**ecnologías **D**isponibles



Euskadiko Geologoen Elkargo Ofiziala
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos del País Vasco

Bilbao, 3 y 4 de noviembre de 2008



Ingeniería geológica
Geotecnia
Hidrogeología
Suelos Contaminados

0. "Gestión de materiales en el diseño y construcción de vertederos"

Indice

I. Balance excedentario: gestión de materiales naturales.

1. El proyecto: VRNP de Betearte.
2. La obra en números.
3. ¿Quién se atreve con el Muro Verde?
4. Vocación geotécnica del material de préstamo
- 5.a-b. Control constructivo del Muro Verde.

II. Balance deficitario: búsqueda de préstamos.

1. El proyecto: VRI y RNP de Igorre.
2. Alternativa de préstamo: el árido de reciclaje.
3. Muro Verde.
4. Viales.

III. Aprovechamiento de materiales: construcción de una GCL

1. Proyecto: GCL para el VRI de Oyon-Oion.
- 2.a-b. Construcción de una parcela experimental.
3. Plan de Control de garantía de calidad constructiva.

IV. Conclusiones.

1. El proyecto: VRNP de Betearte.

Antiguo vertedero de RI de BETEARTE



Obra nuevo vertedero de RNP (agosto-08)



Coste m³ excavación en tierras =

Canon por t de RNP =



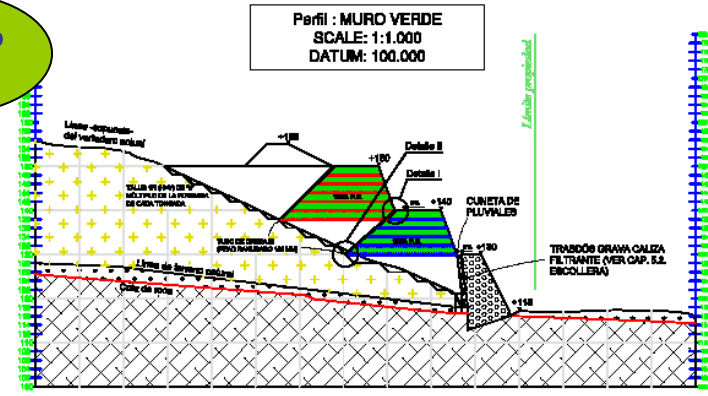
Ganar espacio excavando!

" I. Balance excedentario: gestión de materiales naturales"

2. La obra en números.

Generación de préstamos vs. consumos:

BALANCE DE TIERRAS (en m3)			
	EXCAVACION		RELLENO
	Cazo	Martillo	
Conformado de vaso	130000,00	15000,00	10000,00
Viales	13600,00	700,00	8000,00
Acopio tierra vegetal			18900,00
Plataforma +130			7000,00
Regularización fondo vaso			5120,00
Caballón central			2800,00
Muro verde (I+II)			67500,00
Totales	159300,00		119320,00
Excedente		39980,00	

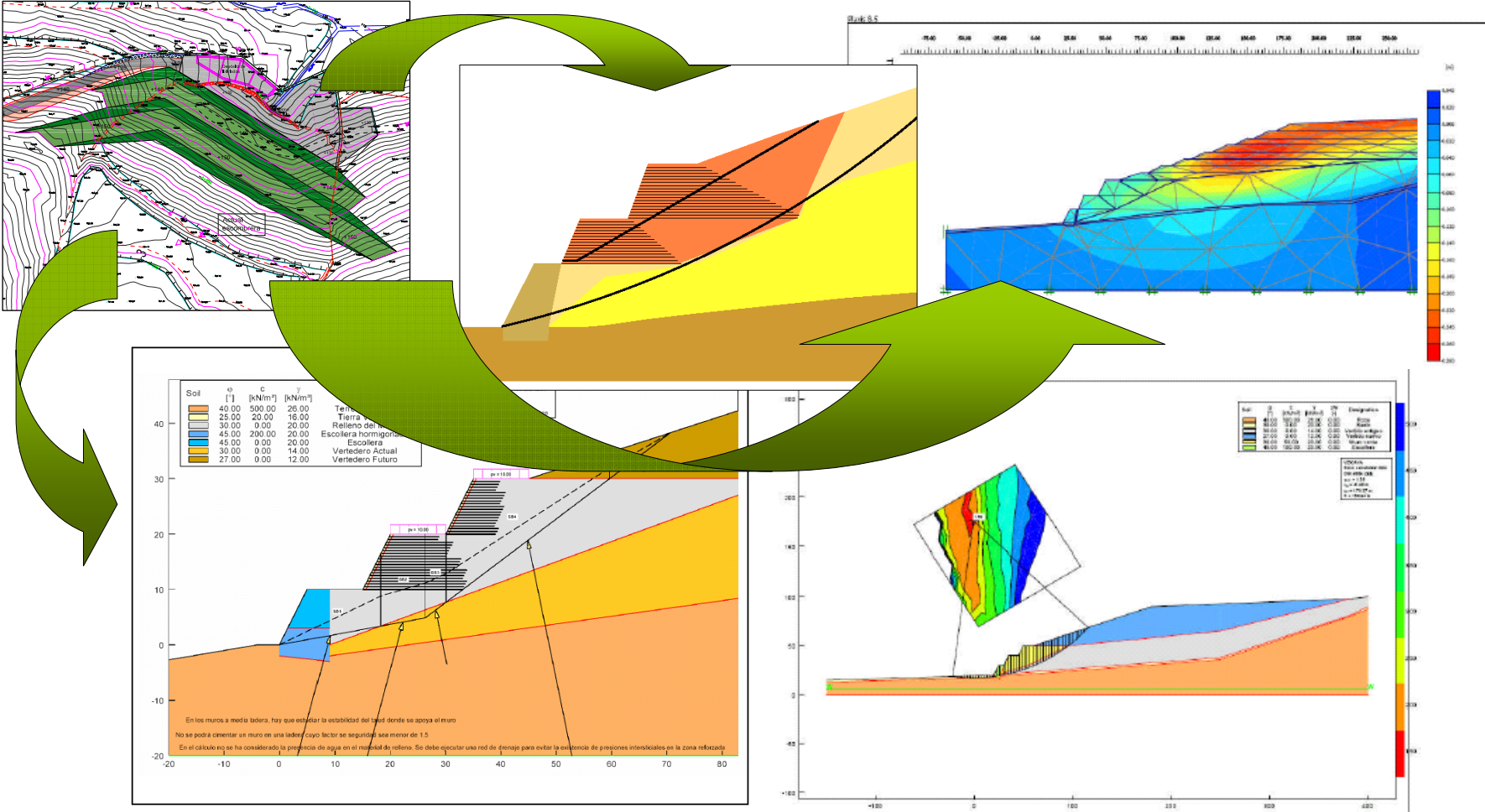


DISTANCIA - AL ORIGEN	0+00	0+05	0+10	0+15	0+20	0+25	0+30	0+35	0+40	0+45	0+50	0+55	0+60	0+65	0+70	0+75	0+80	0+85	0+90	0+95	1+00	
COTA - TERMINO	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00	204,00
ALCANCES VERTICALES PK / COTA																						

3. ¿Quién se atreve con el Muro Verde?

Un terraplén de más de 30 m de altura cimentado sobre un vertedero.

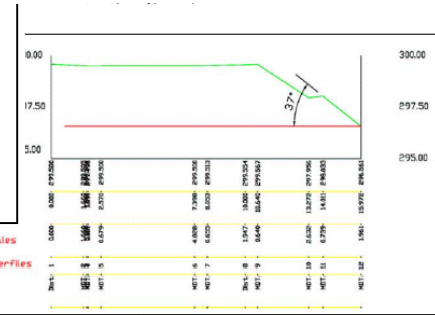
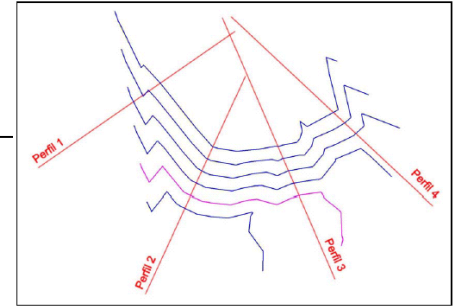
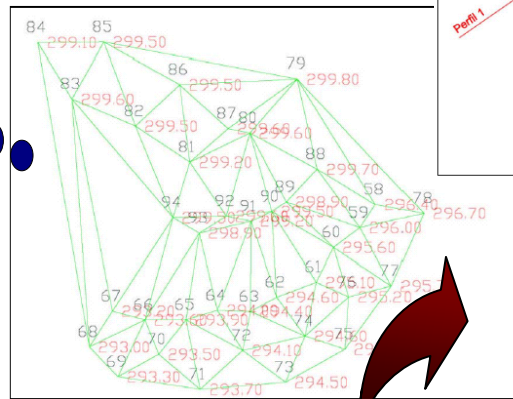
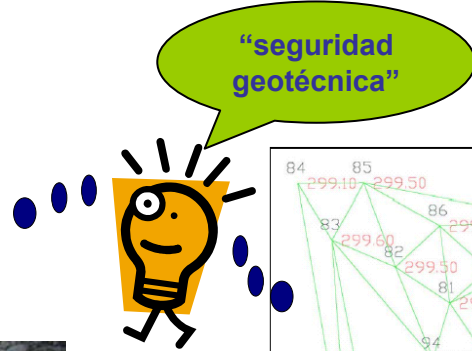
Muro Verde: solución singular ligada a las características específicas del suministrador.



" I. Balance excedentario: gestión de materiales naturales"

4. Vocación geotécnica del material de préstamo

CG del material de préstamo: ensayos de laboratorio y campo.



Distancias Parciales	0.00	3.00	6.00	9.00	10.00
Numeración de Perfiles	PERF 1	PERF 2	PERF 3	PERF 4	PERF 5
Coilgos	0.00	3.00	6.00	9.00	10.00



Mue. unida	20 UNE %	P.M. ⁽¹⁾ t/m ³	P.N. ⁽²⁾ t/m ³	CBR t/m ²	M.O. %	c' kPa	Φ (°)
M-1	43,7	2,031/ 10%	1,916/ 13,4%	16,9	0,62	77,3	35,4°
M-2	---	---	---	---	---	73,1	29,7°
M-3	59,4	2,143/ 8,3%	2,013/ 11,7%	30,9	0,81	100,2	30,6°
M-4	---	---	---	---	---	69,0	28,0°
M-5	---	---	---	---	---	89,2	26,3°
M-6	52,5	2,083/ 9,3%	1,957/ 12,8%	33,3	---	41,8	33°

5a. Control constructivo del Muro Verde.

Control a tiempo completo durante todo el proceso de edificación del Muro.

Control geométrico y de ejecución:

- Tensión, longitud, solapes y anclajes de las geomallas.
- Potencia, pendientes y geometría de las tongadas.
- Correcta ejecución del drenaje perimetral y del trasdós.
- Geometría, atirantado y encofrado de tierra vegetal.



Ensayos normalizados in situ:

- Humedad y densidad métodos radioactivos.
- Ensayos de carga en placa.

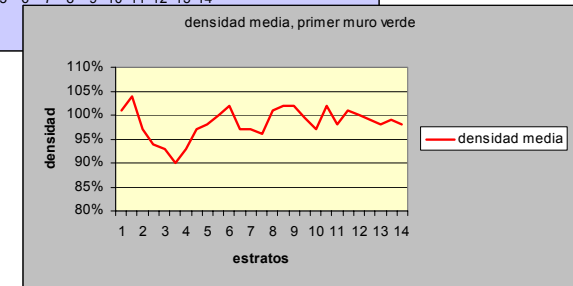
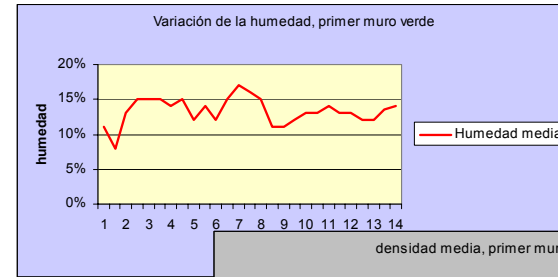


5b. Control constructivo del Muro Verde.

Validación de la metodología constructiva definitiva de los Muros:

Valores finales:

- Dos (2) tongadas de 0,37-0,40 m por estrato de 0,75 m.
- Humedad $W_{nat} < 15\%$.
- $\rho \geq 1,82 \text{ t/m}^3$ (95% del P.M.)
- Solapes $> 0,20 \text{ m}$, con grapado cada 5 m.l.
- Espaciado entre tirantes de las parrillas = 1 m.
- Pendiente transversal = 4%, hacia el trasdós.



" II. Balance deficitario: búsqueda de préstamos"

1. El proyecto: VRI y RNP de Igorre.

Un valle con pendientes naturales del 66% !! -3(H)/ 2(V)-

Labores de desbroce:

Conformado de vaso:

Infraestructuras e impermeabilización



Iurgintza
ingeniería geológica s.l.

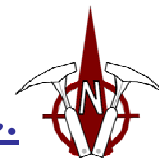


Situación de obra octubre 2008:



" II. Balance deficitario: búsqueda de préstamos"

2. Alternativa de préstamo: el árido de reciclaje.



Lurgintza
ingeniería geológica s.l.

Generación de préstamos vs. consumos:

BALANCE DE TIERRAS (en m3)			
	EXCAVACION		RELLENO
	Cazo	Martillo	
Conformado de vaso	21000,00	4700,00	9100,00
Viales	2000,00	600,00	28000,00
Regularización fondo vaso	2900,00	1200,00	300,00
Depósito de lixiviados	2900,00	2800,00	0,00
Muro verde (I+II)			12600,00
Totales	38100,00		50000,00
Déficit de material		-11900,00	



Árido de reciclaje !!



Experiencias previas: parcelas experimentales con árido de reciclaje.

- $\rho = 1,89 \text{ t/m}^3$
- Humedad óptima $W_{\text{opt}} = 13,5\%$.

Nuevos valores:

- $\rho = 1,79 \text{ t/m}^3$
- Humedad óptima $W_{\text{opt}} = 14,0\%$.
- Control de parámetros en cada tongada.

" II. Balance deficitario: búsqueda de préstamos"

3. Muro Verde.

Características geométricas del Muro:

Altura= 10.5 m

Longitud (coronación): 58 m

Ancho de cimentación= 19 m

Pendiente cara vista (tradsós e intradós): 70°



Lurgintza
ingeniería geológica s.l.



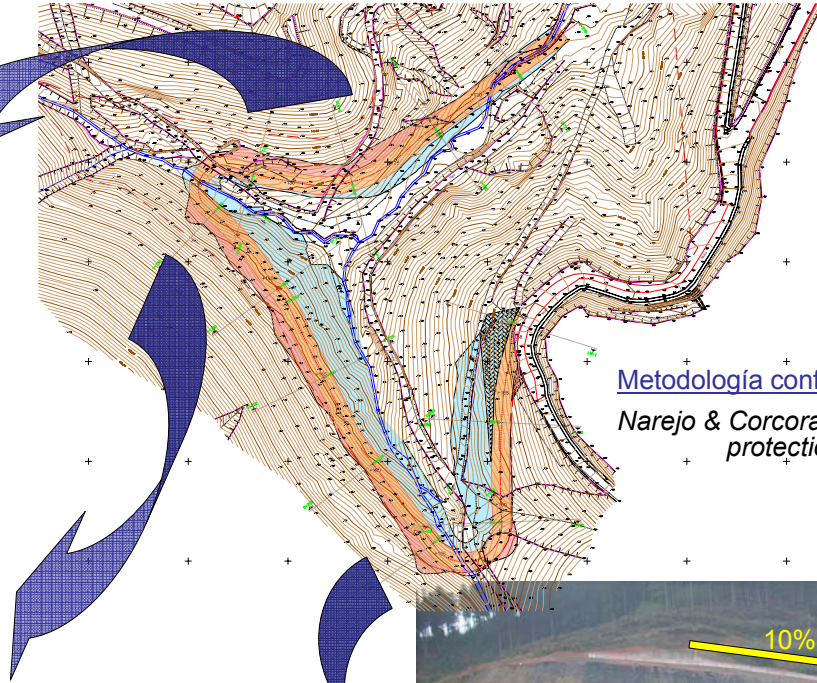
" II. Balance deficitario: búsqueda de préstamos"

4. Viales.

Firme de rodadura del vial a fondo de vaso:



Iurgintza
ingeniería geológica s.l.



Metodología conforme a:

Narejo & Corcoran (1996): Geomembrane
protection design manual.



" III. Aprovechamiento de materiales: construcción de una GCL"

1. Proyecto: GCL para el VRI de Oyon-Oion.

Antecedentes:

- Barrera geológica artificial, $k \leq 10^{-7}$ m/s, $e \geq 15$ m.
- Plan de Control de garantía de calidad constructiva.
- Existencia de yacimientos de arcillas naturales de K desconocida

Metodología:

- Caracterización geotécnica material de préstamo
- Recomendaciones composicionales y constructivas.
- Validación de las condiciones constructivas: Parcela experimental
- Control constructivo de la capa mineral compactada.



" III. Aprovechamiento de materiales: construcción de una GCL "

2a. Construcción de una parcela experimental.

Validación de la metodología constructiva:

1º Cimentación del terraplén:



2º Cribado y aportación de los materiales de préstamo:



Lurgintza
ingeniería geológica s.l.

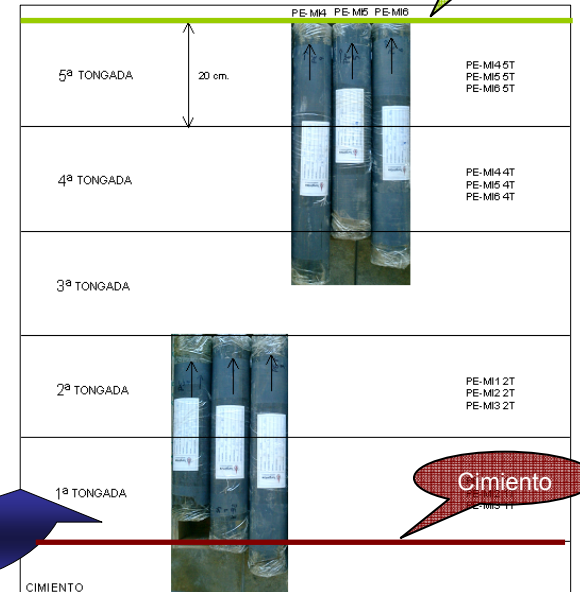
" III. Aprovechamiento de materiales: construcción de una GCL "

2b. Construcción de una parcela experimental.

3º Control del extendido y compactación de las tongadas:



4º Toma de muestras inalteradas "in situ":



3. Plan de Control de garantía de calidad constructiva.



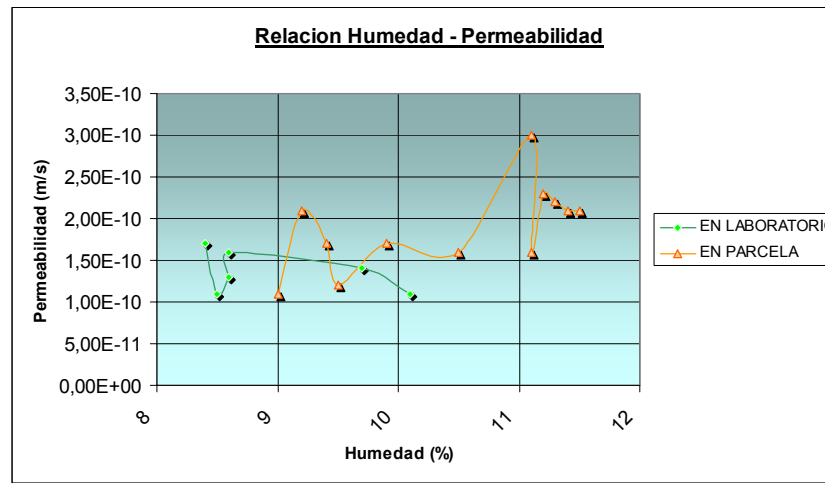
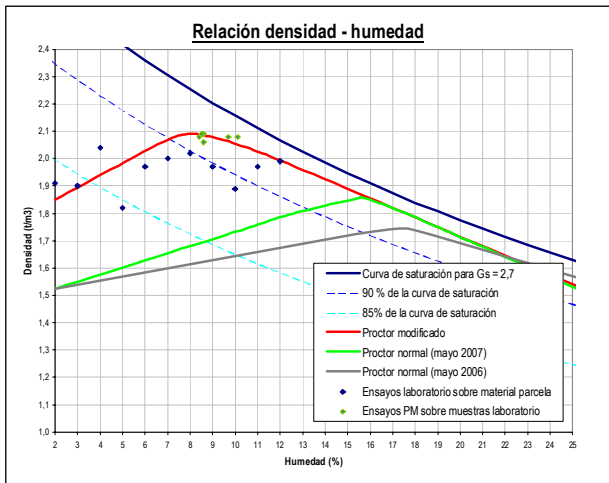
Diseño a partir de la parcela experimental:

- Humedad: $8\% < W_{nat} < 12\%$.
- $\rho \geq 90\%$ de la densidad máxima para esa W_{nat} (no de la ρ máx)
- Permeabilidad equivalente: $e = 0,15$ m.

[Metodología conforme a:](#)

Benson & Daniel, 1994.

Qina, Koerner & Gray, 2002.



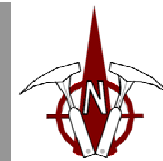
Valores constructivos finales de la GCL:

- Cuatro (4) tongadas de 0,15 m después de compactación.
- 6 pasadas -por tongada- de rodillo de 20 t de peso en posición estática.
- Humedad: $8\% < W_{nat} < 12\%$.
- $\rho \geq 90\%$ de la densidad máxima para esa W_{nat} (no de la ρ máx).
- Control de humedad y densidad en cada tongada (12 ud/ ha).
- Permeabilidad garantizada $k < 3.10^{-10}$ m/s.



IV. Conclusiones.

- La construcción de vertederos son obras que suelen implicar un importante movimiento de tierras, por lo que una previsión seria y realista de la **gestión de materiales de obra** es fundamental para no desviarse del modelo económico.
- El **cuadro de Dirección de Obra**, ha de disponer de Técnicos con “seguridad geotécnica”, ya que una caracterización geotécnica detallada y con criterio experto es clave de cara al nuevo uso que se pretenda en el reaprovechamiento de materiales.
- La selección del **Contratista** es, así mismo, aspecto fundamental para el éxito de la obra en la ejecución de labores tan especializadas como se desprenden de instalaciones de este tipo.
- Los **muros de tierra** son, en principio, soluciones singulares, por lo que deben proyectarse con precaución en aquellos parámetros que estén ligados necesariamente a un único suministrador.
- El uso de **áridos de reciclaje** es una buena alternativa para la construcción de terraplenes y Muros Verdes.
- La construcción de barreras geológicas artificiales a base de materiales naturales compactados exige un **Control de garantía de calidad constructiva a tiempo completo**.
- Las **parcelas experimentales** son una buena herramienta para aclarar dudas de comportamiento o instalación.



vertederos y sostenibilidad '08

Bilbao, 2 y 4 de noviembre de 2008

Gracias por su atención