



# Aplicaciones de los Geosintéticos en Obras Geotécnicas y Geoambientales

Prof. Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília

[www.geotecnia.unb.br/geossinteticos](http://www.geotecnia.unb.br/geossinteticos)

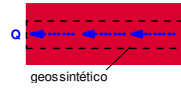
Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## Geosintéticos

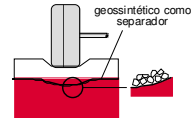
- Geotextiles (Tejidos y No Tejidos)
- Geomallas
- Geoceldas
- Geomantas
- Geodrenes
- Geoespaciadores
- Geoexpandidos
- Geotiras
- Geofibras
- Geomembranas
- Geocompuestos

## Funciones de los Geosintéticos

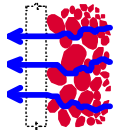
- Drenaje



- Separación



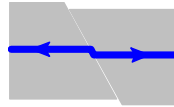
- Filtración



- Barrera



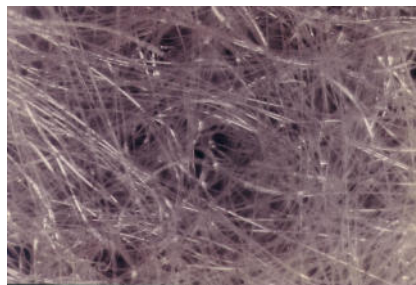
- Refuerzo



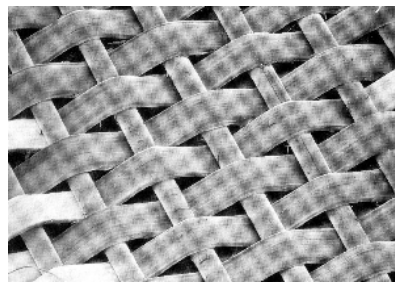
- Protección



## Geotextiles



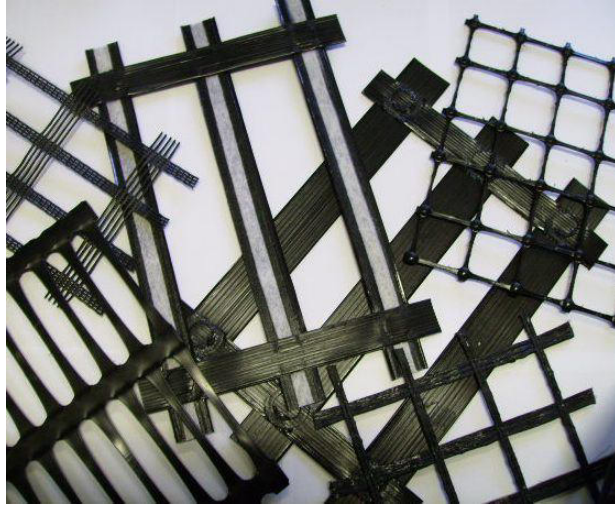
No Tejido



Tejido

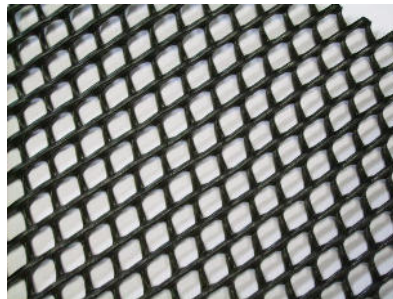
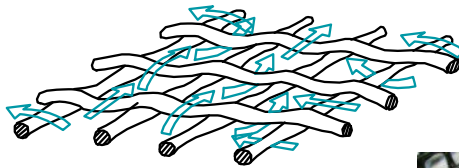
## Geomallas

---



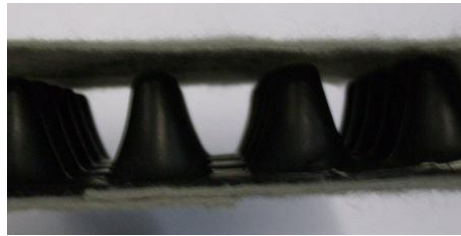
## Georredes

---



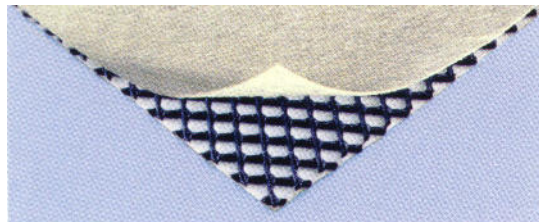
## Geoespaciadores

---



## Geocompuestos para Drenaje

---

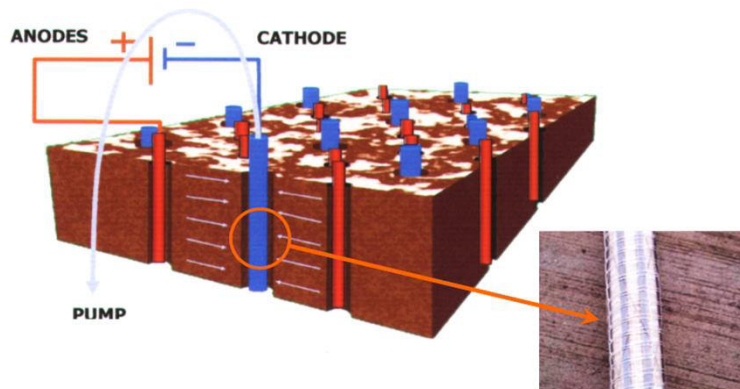




## Geocompuestos para Drenaje Vertical



## EKG - Drenes Electro-cinéticos



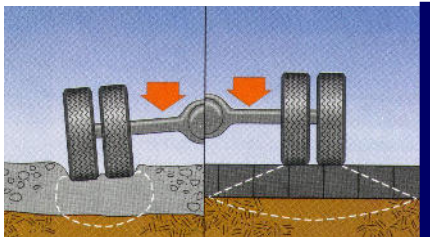
# Geoceldas

---



# Geoceldas Pavimentos

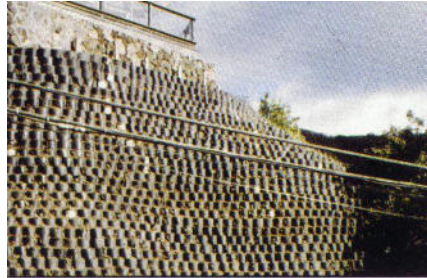
---



# Geoceldas

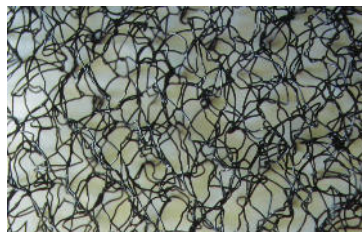
## Muros de Contención

---

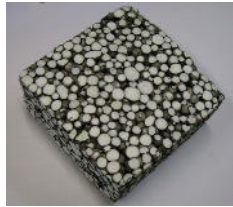


# Geomantas

---

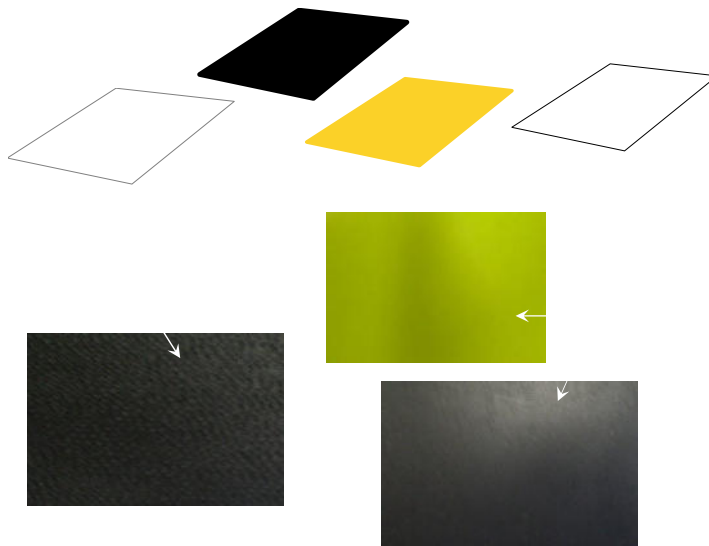


## Geoexpandidos

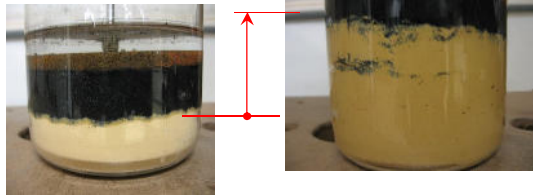


suelo blando

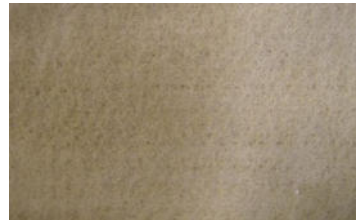
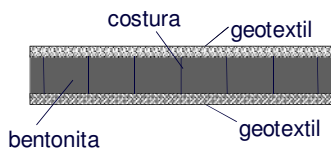
## Geomembranas



## Geocompuesto Arcilloso (GCL)



Bentonita después de algún tiempo de humedecimiento



## Geotubos

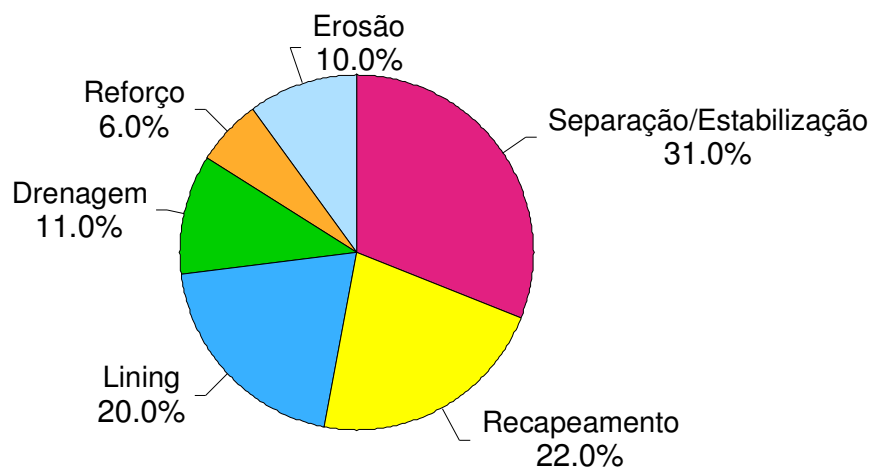




## Geofibras



## Uso de Geotextiles en América del Norte (IFAI, 1998)



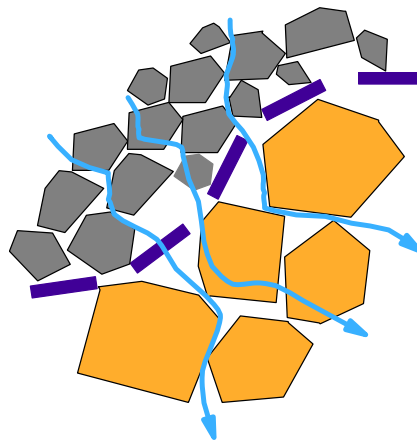
## Características Relevantes

---

- Resistencia a la tracción
- Rigidez a la tracción
- Permeabilidad
- Resistencia a Daños Mecánicos
- Durabilidad
- Susceptibilidad a la fluencia

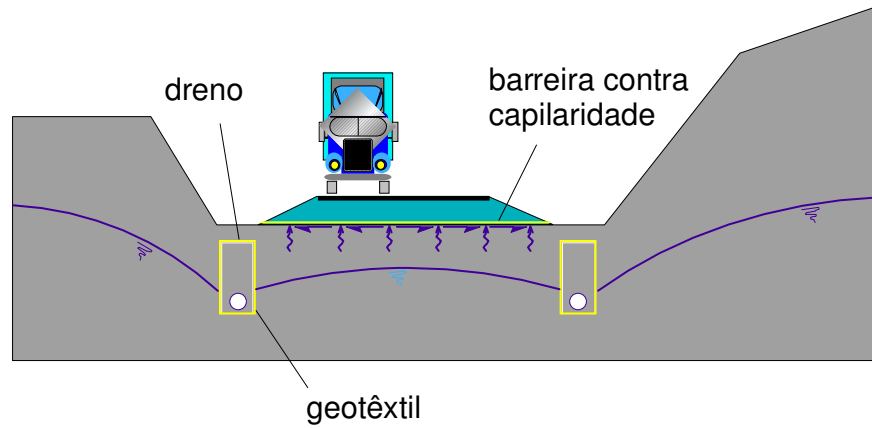
## Geosintéticos en Drenaje y Filtración

---





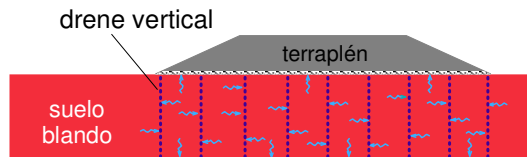
## Drenaje en Carreteras



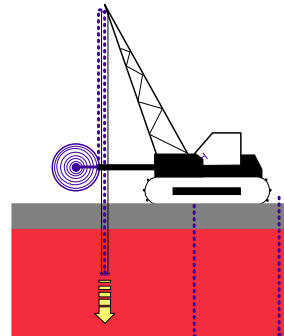
## Geosintéticos en Drenaje e Filtración



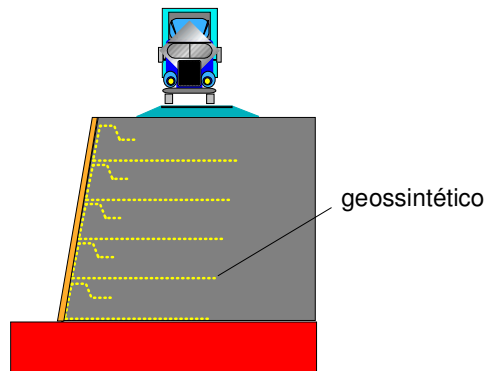
## Drenaje Vertical



- Aceleración de asentamientos por consolidación
- Acelera el aumento de la resistencia del suelo blando



## Muros de Contención



## Muros de Contención

### Casos de Obras (Cont.)



Face com partes pré-moldeadas de hormigón

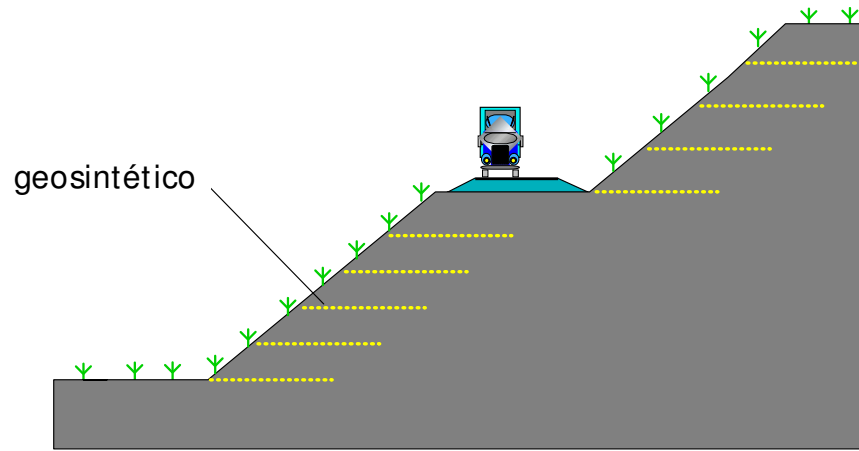


## Muros de Contención

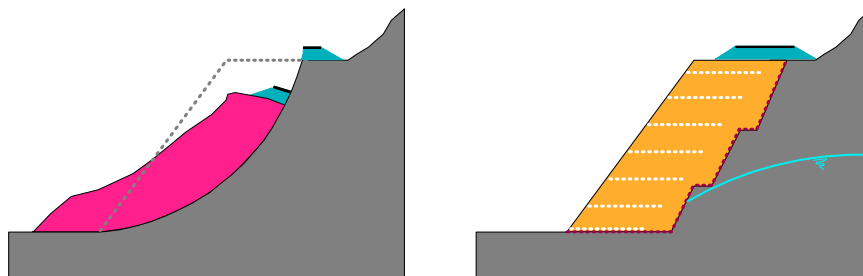
### Segmental Retaining Walls (Cont.)



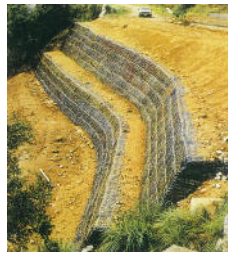
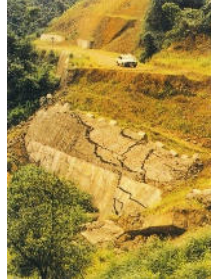
## Pendientes Encarpadas



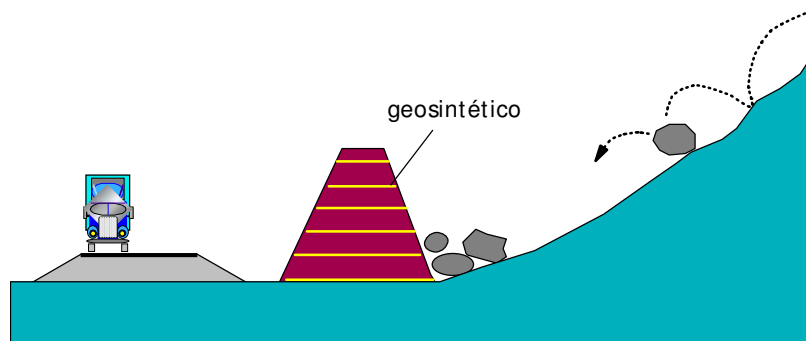
## Recuperación de Pendientes



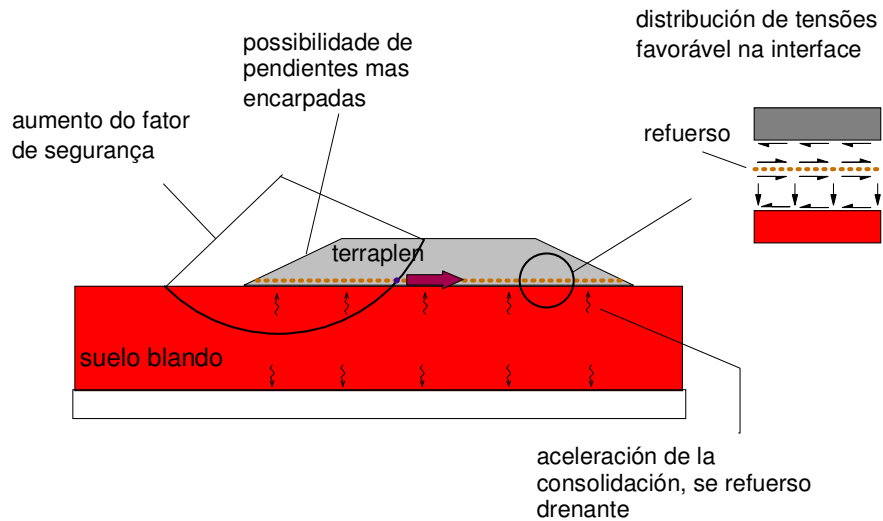
## Recuperación de Pendientes



## Barreras de Impacto



## Terraplenes en Suelos Blandos

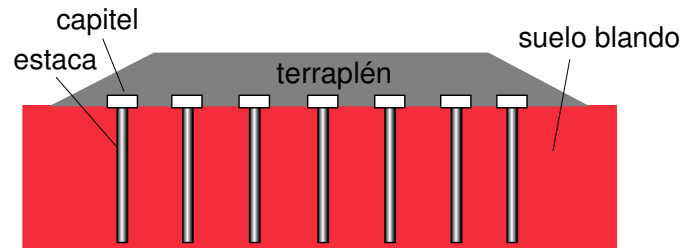


## Terraplenes en Suelos Blandos

### Casos de Obras



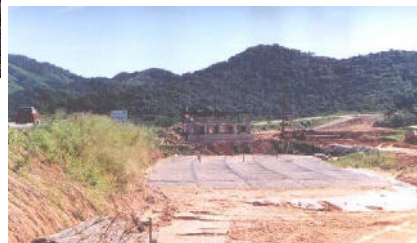
## Terraplenes sobre Estacas



## Encontros de Puentes Reforzados sobre Suelos Blandos

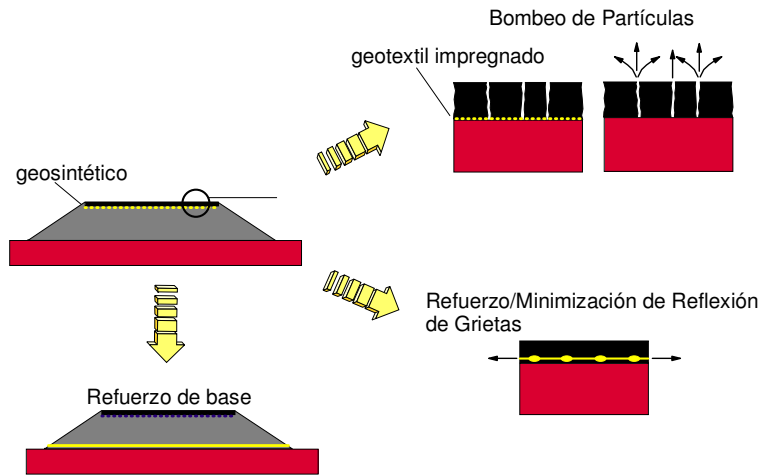


BR-101, Brasil





# Repavimentación y Refuerzo de Pavimentos



# Repavimentación



## Geosintéticos en Repavimentación

Experiencia de lo DER-DF en la DF-003



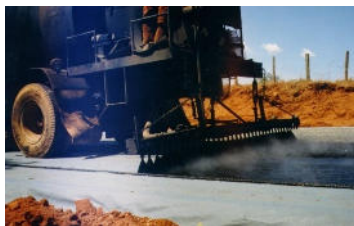
Repavimentación sin geotextile



Repavimentación con geotextile

## Repavimentación

Pesquisa UnB-DER/DF (Rezende & Carvalho 2001)



# Repavimentación

## UnB-NOVACAP

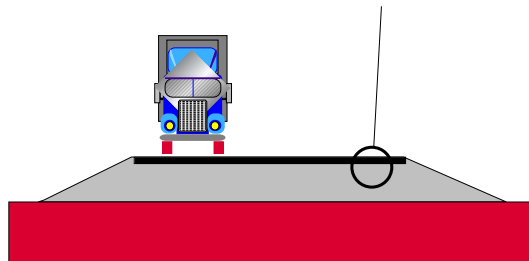


# Geofibras en Pavimentos

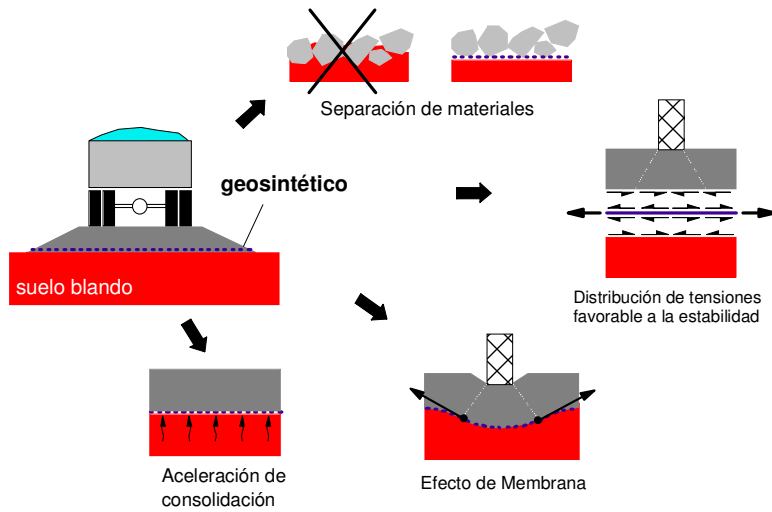
pedazos de hilos, fibras  
o mallas + suelo



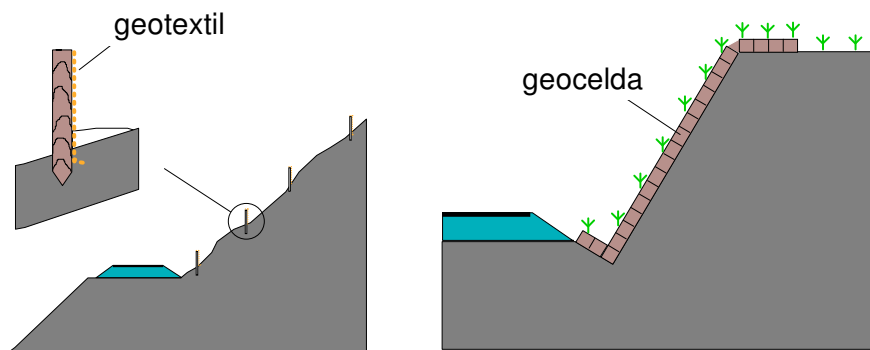
hilo continuo + suelo



## Geosintéticos en Estradas No Pavimentadas



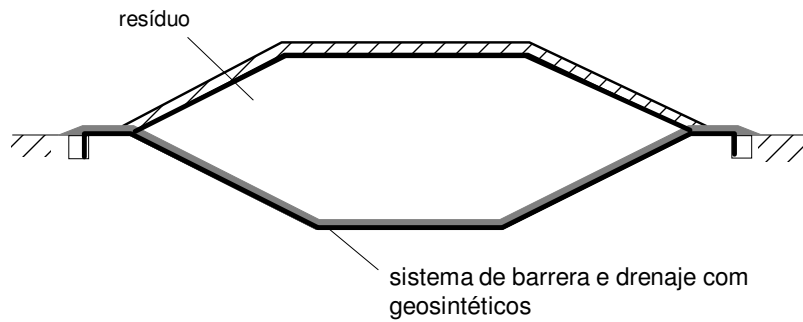
## Control de las Erosiones



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones

---



Confinamiento de residuos

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones

---



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Geomembranas - Aplicaciones



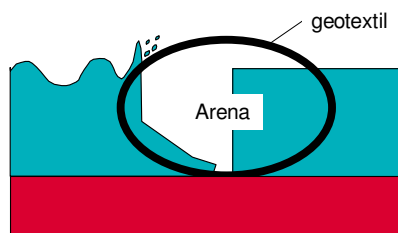
Canal de aducción – Presa AHE Itiquira, MT (4,8 km - 250.000 m<sup>2</sup>) Colmanetti (2006)



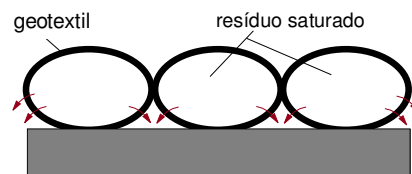
Aplicaciones en Obras Hidráulicas

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Tubos de Geotextiles



También se utilizan para el desagüe de residuos resíduos



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Geomembranas – Presas

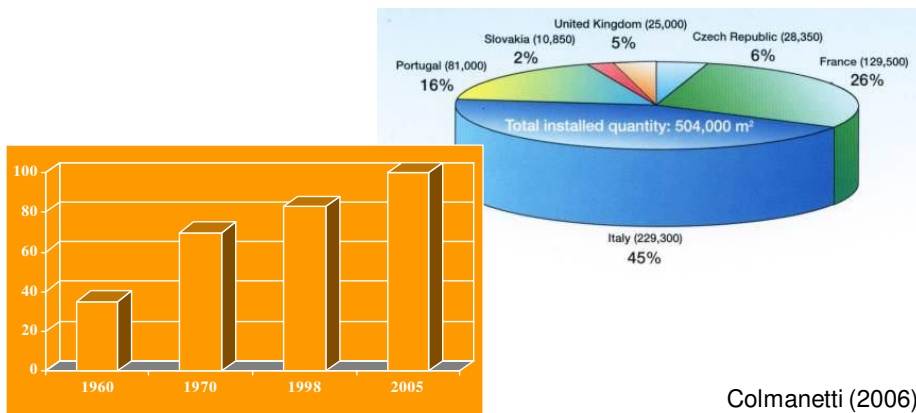


Aplicaciones en Obras Hidráulicas

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Geomembranas - Aplicaciones

Presas Impermeabilizadas con Geomembranas



Colmanetti (2006)



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Geomembranas – Presas

---



Impermeabilización de Presas Antiguas

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Geomembranas – Presas

---



Presas de Bovilla, Albânia (H ~90m)

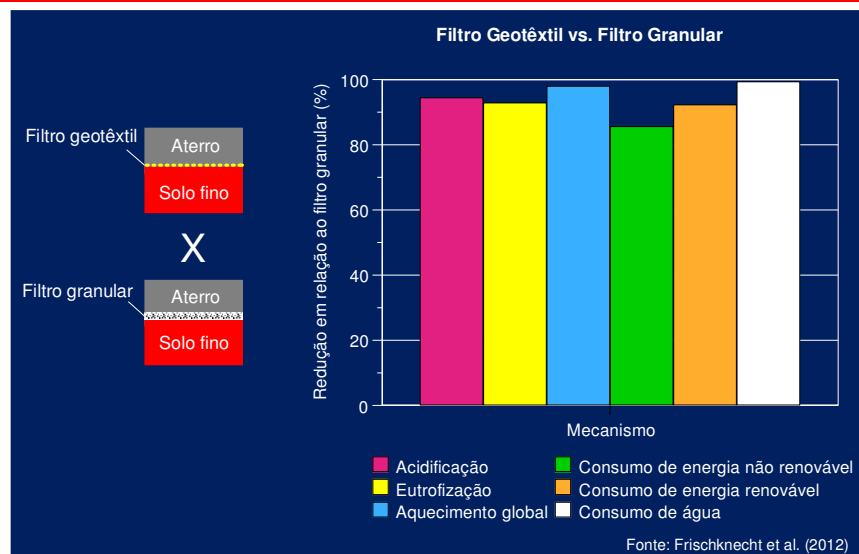
# Geosintéticos en Otras Aplicaciones

## GeosCasa!



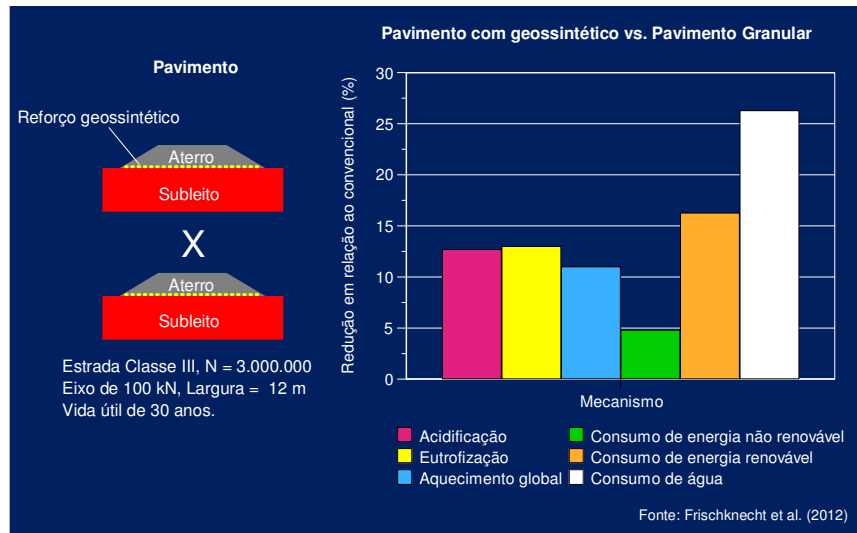
# Geosintéticos y Sostenibilidad

## Filtro Geotextil vs. Filtro Convencional



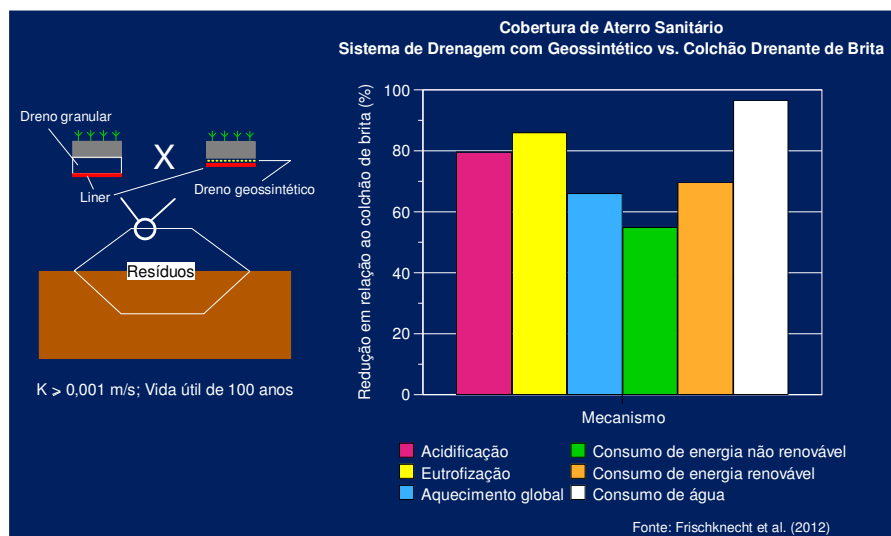
# Geosintéticos y Sostenibilidad

## Pavimento Reforzado vs. Pavimento s/ Refuerzo



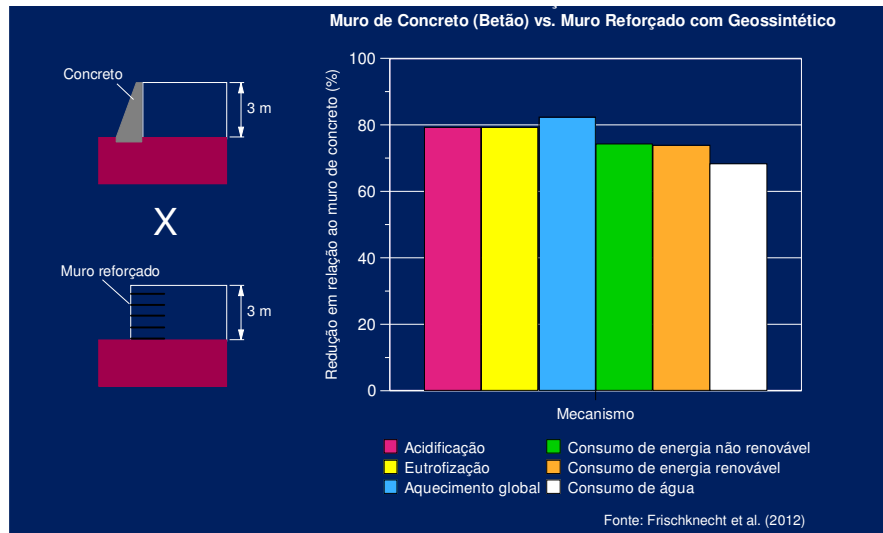
# Geosintéticos y Sostenibilidad

## Drenaje con Geosintético vs. Drenaje Granular



# Geosintéticos y Sostenibilidad

## Muro Reforzado vs. Muro de Hormigón



## Outras Aplicaciones de Geosintéticos

### Fotografias de la IGS Photo Competition 2010

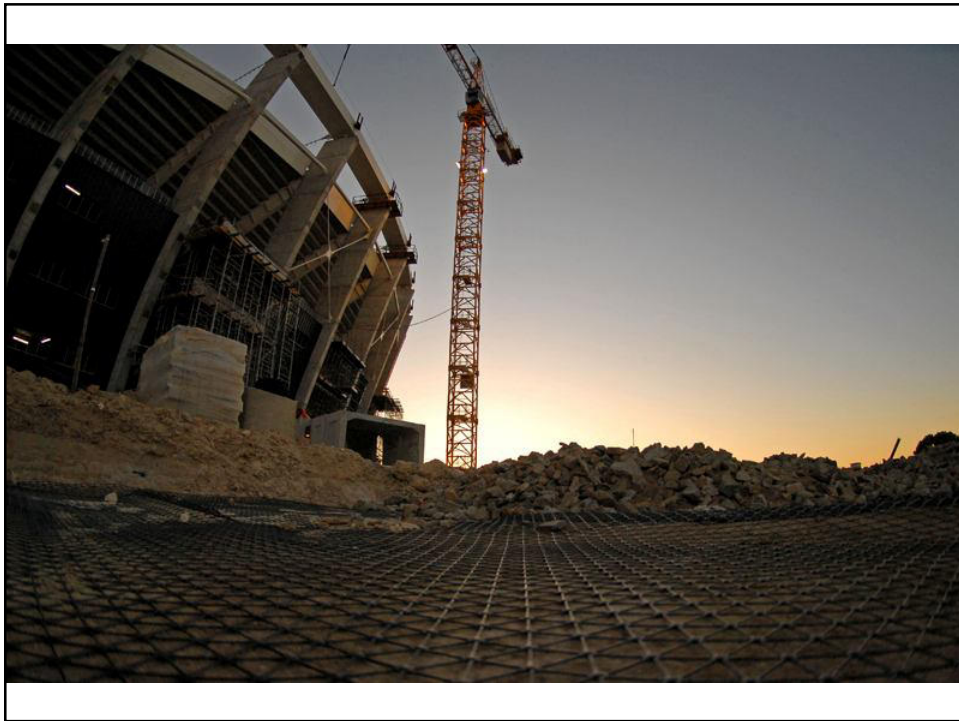


























Foto vencedora da competição em 2010





















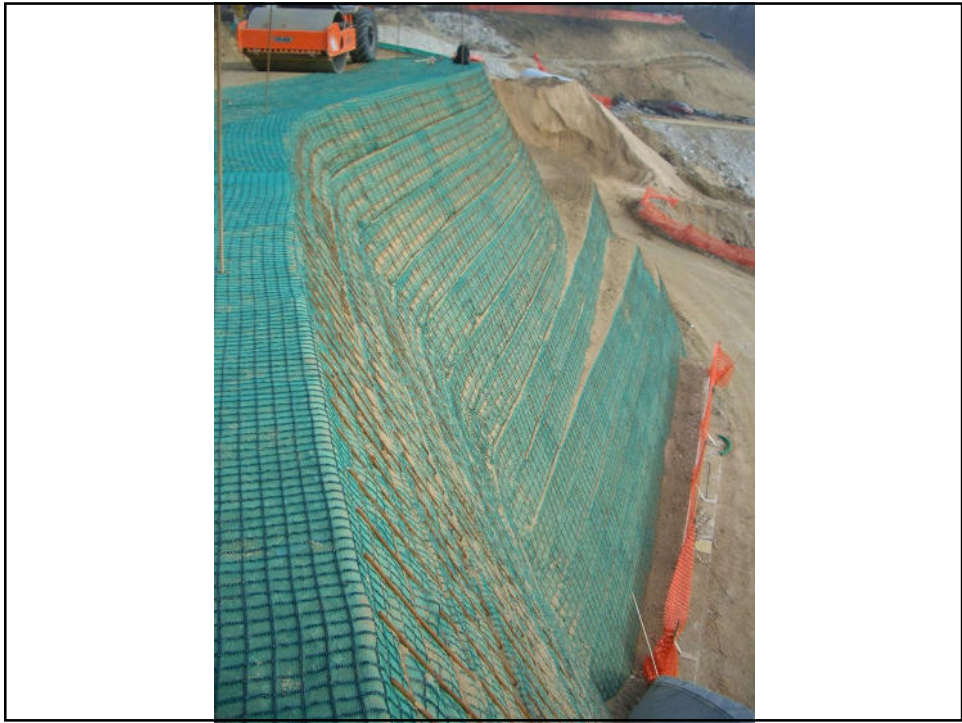


















## **Informaciones sobre Investigaciones Sobre Geosintéticos en la UnB**

---

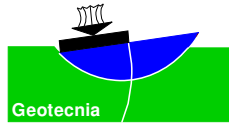
Site del Grupo de Investigaciones em Geosintéticos de  
la Universidad de Brasília (UnB):

***[www.geotecnia.unb.br/geossinteticos](http://www.geotecnia.unb.br/geossinteticos)***

---

***Fin***

***[www.geotecnia.unb.br/geossinteticos](http://www.geotecnia.unb.br/geossinteticos)***



Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# Introducción a los Polímeros

Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília



UnB

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## Introducción a los Polímeros

Polímero = “Polys” + “mero”

Polys = muchas

Mero = partes

Polímero es una sucesión de partes que forman un todo.

El monómero es una parte individual.

## Introducción a los Polímeros

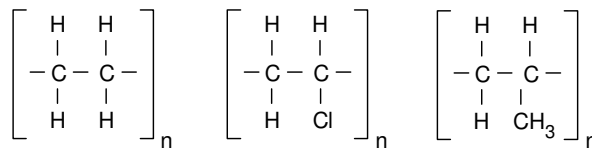
Grado de Polimerización es el número de repeticiones de la molécula del manómetro.

El peso molecular del polímero es el peso molecular de la Unidad multiplicada por el grado de polimerización.

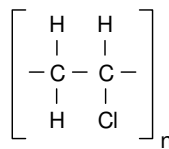
Peso Molecular  $\nearrow$   $\Rightarrow$  resistencia mecánica  $\nearrow$   
 resistencia a trincamiento  $\nearrow$   
 resistencia al calor  $\nearrow$   
 fluencia  $\searrow$   
 procesabilidad  $\searrow$

## Introducción a los Polímeros

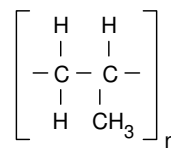
### Unidades de repetición de algunos polímeros



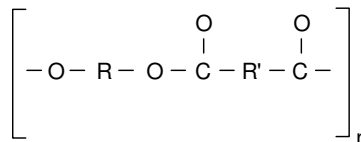
polietileno



PVC



polipropileno



poliéster saturado



## Introducción a los Polímeros

---

Polímero es el material puro y en ese estado es raramente utilizado.

Plástico = polímero + aditivos

## Introducción a los Polímeros

### Algunos Tipos de Aditivos

---

**Agentes antiestáticos:** para atraer la humedad del aire hacia la superficie del plástico, para aumentar su conductividad y reducir las posibilidades de chispa o descarga.

**Agentes de conexión:** se trata de mejorar la conexión entre plásticos y materiales de relleno inorgánicos (fibras de vidrio, por ejemplo).

**Agentes de llenado:** permiten que un volumen grande de plástico sea producido con la utilización de poca resina polimérica y aumentan las propiedades mecánicas de los plásticos. Es el caso de uso de fibras cortas y copos de materiales inorgánicos en la fabricación de plásticos.

**Agentes Retardadores de Combustión:** para disminuir la posibilidad de combustión del plástico.

## Introducción a los Polímeros

### Algunos Tipos de Aditivos

**Lubricantes:** visan la reducción de viscosidad del plástico para facilitar su moldeo.

**Pigmentos:** pretenden producir colores en los plásticos.

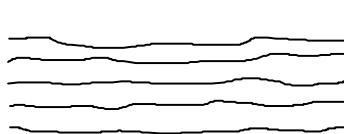
**Plastificantes:** son materiales de bajo peso molecular que apuntan a alterar las propiedades del plástico confiriéndole una mayor maleabilidad y flexibilidad.

**Refuerzo:** la utilización de elementos de refuerzo tiende a aumentar la resistencia y rigidez del plástico.

**Estabilizantes:** tienen como objetivo evitar o reducir el deterioro del plástico bajo la acción de agentes ambientales. Es el caso de anti-oxidantes, estabilizantes contra el calor o contra el deterioro del plástico bajo la acción de rayos ultravioleta.

## Introducción a los Polímeros

### Cadenas Moleculares



(a) Cadena lineal



(b) Cadena ramificada



(c) Cadena con conexiones cruzadas

## Introducción a los Polímeros

### Tipos de Polímeros

**Polímeros Termoplásticos:** pueden sufrir repetidos períodos de tiempo Calentamiento y enfriamiento sin perder sus características. Ejemplos: polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliéster (PT).

Termoplástico amorfo: PVC duro

Grado de Cristalinidad: PVC: 30%

Polietileno de alta densidad (PAD ou HDPE): 75%

Cristalinidad ↗ → Resistencia à la tracción ↗  
 Rigidez y dureza ↗  
 Resistencia química e al calor ↗  
 Permeabilidad ↘  
 Deformación en la ruptura ↘  
 Resistencia al impacto y la fisuración ↘  
 Flexibilidad ↘

## Introducción a los Polímeros

### Tipos de Polímeros

#### Polímeros Termoformados o Termorígidos:

No podrán someterse a repeticiones de calentamiento y enfriamiento. Los calentamientos adicionales después de la formación del polímero provocan su degradación (razón de las conexiones cruzadas intermoleculares)

## Introducción a los Polímeros

### Temperatura de transición vítrea (vidrio) $T_g$ :

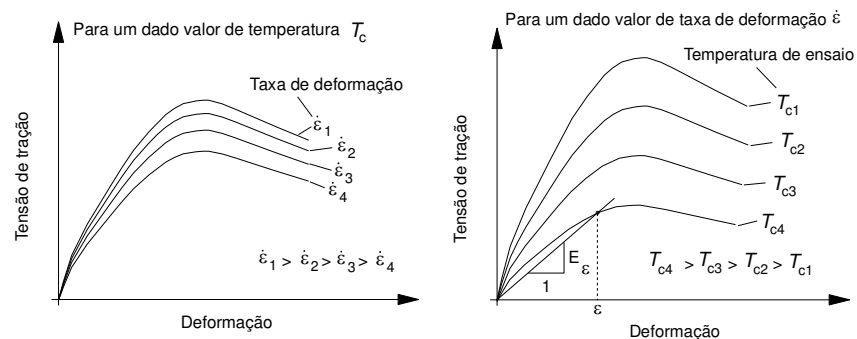
Temperatura en que aumenta la movilidad de las cadenas moleculares bajo la acción de esfuerzos externos, debido a la reducción de las fuerzas intermoleculares.

Si  $T > T_g \rightarrow$  Material más deformable

Si  $T < T_g \rightarrow$  Material más rígido

## Introducción a los Polímeros

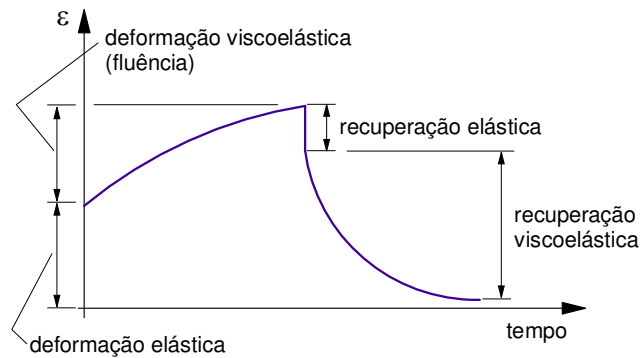
### Dependencia de la temperatura y la tasa de Deformación





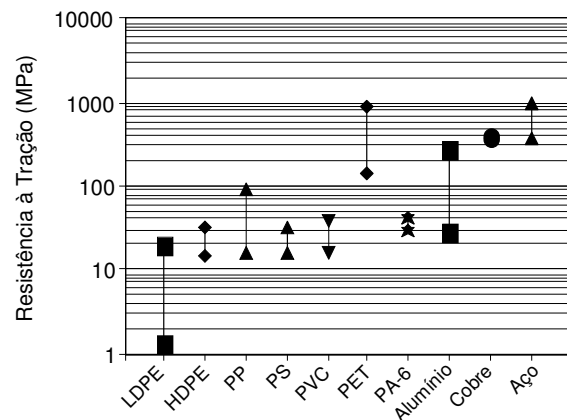
## Introducción a los Polímeros

### Comportamiento Viscoelástico



## Introducción a los Polímeros

### Resistencia a la Tracción



Notas: LDPE = polietileno de baixa densidade, HDPE = polietileno de alta densidade, PP = polipropileno, PS = poliestireno, PVC = policloreto de vinila, PET = poliéster, PA-6 = poliamida 6

## Introducción a los Polímeros

### Resistencia a las Sustancias Diferentes

Resistencias típicas de algunos polímeros a diferentes sustancias (Ingold, 1982)

Agente	PET	PA	PE	PP	PVC
Fungos	P	B	E	B	B
Insetos	M	M	E	M	B
Vermes	M	M	E	M	B
Ácidos Minerales	B	M	E	E	B
Substancias Alcalinas	M	B	E	E	B
Calor Seco	B	M	M	M	M
Calor Úmido	M	B	M	M	M
Oxidantes	B	M	P	B	---
Abrasão	E	E	B	B	E
Ultra-Violeta	E	B	P	B	E

Notas: (1) P = pouca resistência, M = resistência média, B = boa resistência, E = Excelente resistência; (2) PET = poliéster, PA = poliamida, PE = polietileno, PP = polipropileno e PVC = policloreto de vinila.

## Introducción a los Polímeros

### Degradación de Polímeros

**Radiación ultravioleta (UV):** provoca la ruptura de las cadenas poliméricas.

**Oxidación:** puede ser causada por contacto con oxidantes, exposición a UV, elevadas temperaturas por mucho tiempo, exposición a la intemperie.

Oxidación →  pérdida de propiedades mecánicas  
aumento de la fragilidad  
*stress cracking*

**Grieta bajo Tensión en Ambiente (*Environmental Stress Cracking*):** puede ocurrir en algunos plásticos bajo tensión en contacto con ciertas sustancias. El mecanismo está relacionado con la penetración de sustancias por defectos superficiales que pueden provocar la fractura del material. El polietileno y el poliestireno son sensibles a este fenómeno.

## Introducción a los Polímeros

### Degradación de Polímeros

**Degradación biológica:** remota

**Ozono:** puede provocar la degradación de algunos plásticos.

**Hidrólisis:** ocurre cuando las moléculas de agua reaccionan con moléculas del polímero, resultando en quiebras de cadenas moleculares y pérdidas de peso molecular y de resistencia. No es necesario que el polímero esté sumergido para se producir el fenómeno. Las resinas de poliéster son sensibles, particularmente cuando en medios con alto pH (en hormigón fresco, por ejemplo).

## Introducción a los Polímeros

### Resistencia a la Hidrólisis

Perdas de resistência de alguns geotêxteis após 120 dias devido a hidrólise sob diferentes valores de pH e a 20. C (Modificado de Halse et al., 1987(a) e (b) e Koerner, 1998).

Tipo	Solução	M <sub>A</sub> (g/m <sup>2</sup> )	pH				
			2	4	7	10	12
PP- tecido, monofilamento	Ca(OH) <sub>2</sub>	220	---	---	SA	SA	SA
PP- não-tecido agulhado	Ca(OH) <sub>2</sub>	770	---	---	SA	SA	SA
PP- não-tecido, termoligado	Ca(OH) <sub>2</sub>	100	---	---	SA	SA	NC
PVC- não-tecido, monofilamento	Ca(OH) <sub>2</sub>	95	---	---	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, entrelaçado, fibras brancas	Ca(OH) <sub>2</sub>	550	---	---	SA	SA	SA
PET- não-tecido, termoligado	Ca(OH) <sub>2</sub>	100	---	---	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, entrelaçado, mistura de fibras brancas e negras	Na(OH)	450	---	---	SA	-33%	-53%
PET- não-tecido, termoligado	Na(OH)	100	---	---	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, entrelaçado, mistura de fibras brancas e negras	Na(OH)	150	-18%+	SA	SA	-27%	-32%
PET- não-tecido agulhado, entrelaçado, mistura de fibras brancas e negras	Na(OH)	150	SA	SA	SA	-13%	-16%
PET- não-tecido agulhado, entrelaçado, fibras brancas	Na(OH)	150	SA	SA	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, carbono negro, mistura de fibras	Na(OH)	134	-12%	-15%	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, carbono negro, mistura de fibras	Na(OH)	134	SA	SA	SA	SA	SA
PET- não-tecido agulhado, resinado	Na(OH)	264	SA	SA	SA	SA	AS

Notas: (1) Produtos de diferentes fabricantes; (2) PP = polipropileno, PET = poliéster; (3) M<sub>A</sub> = gramatura (massa por unidade de área), SA = sem alteração de resistência, NC = ensaios não conclusivos devido à grande dispersão de resultados e + indica que ensaios com maior duração são necessários para melhores conclusões.

## **Introducción a los Polímeros**

### **Polímeros Usualmente Empleados em Fabricación de Geosintéticos**

---

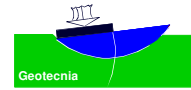
- Polietileno (PE)
- Poliéster (PT)
- Polipropileno (PP)
- Policloreto de Vinila (PVC)
- Poliamida (Nylon) (PA)
- Poliestireno (PS)
- Elastómero de Dieno-Propileno-Etileno (EPDM)
- Polietileno Cloro-Sulfonado (CSPE)

***FIN***





UnB



Programa de Pós-Graduação  
em Geotecnia - UnB

# Pruebas en Geosintéticos

**Ennio Marques Palmeira**  
Universidade de Brasília

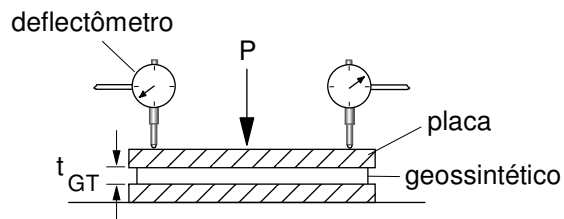
Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

# Pruebas en Geosintéticos

**Determinación de Propiedades  
Físicas**

# Pruebas en Geosintéticos

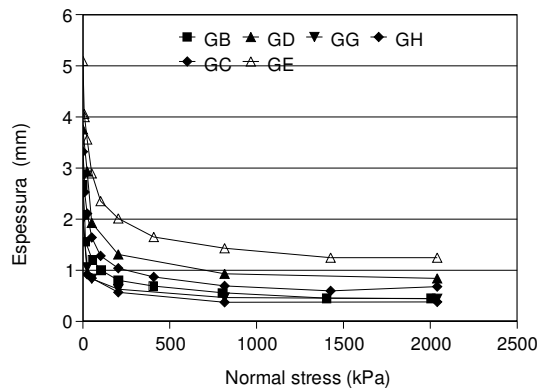
## Determinación de Espesor



# Pruebas en Geosintéticos

## Variación de Espesor con la Tension Normal

Ensayos em Geotexteis No Tejidos

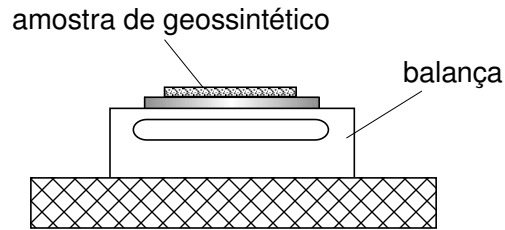


Palmeira & Gardoni (2000)

## Pruebas en Geosintéticos

### Deteminación de masa por unidad de área

Masa por unidad de área (Gramatura) =  $M_A$  = masa/área



Norma de referência: NBR 12568

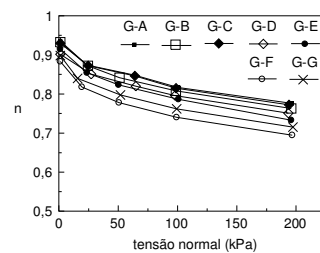
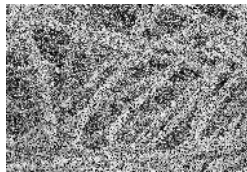
## Pruebas en Geosintéticos

### Determinación de la Porosidad de Geotextiles

Porosidad =  $n$  = volume de vacíos/volume total

$$n = 1 - M_A / ( \rho_f t_G )$$

Onde:  $M_A$  = masa/área (gramatura) del geotextile  
 $\rho_f$  = masa específica de las fibras del geotextile  
 $t_G$  = espesor del geotextile



# Pruebas en Geosintéticos

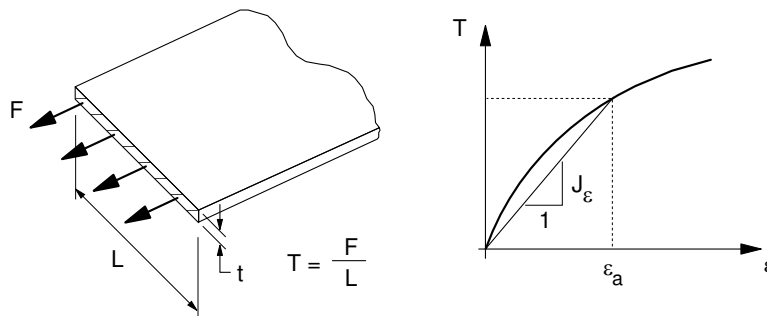
---

## Determinación de las Propiedades Mecánicas – Resistencia a la Tracción

# Pruebas en Geosintéticos

---

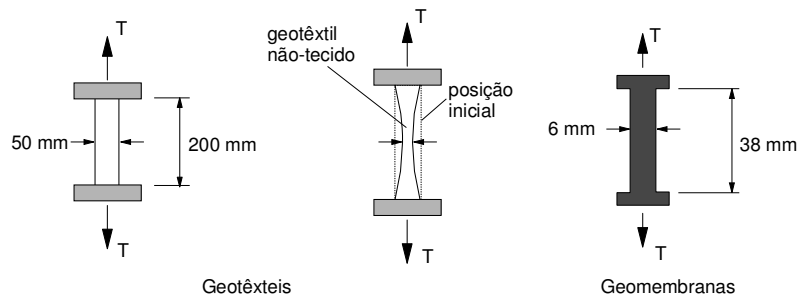
## Prueba de Tracción





## Pruebas en Geosintéticos

### Prueba de Tracción en Banda Estrecha



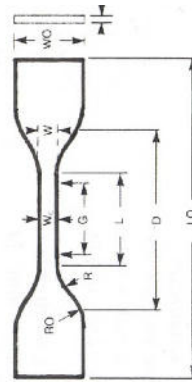
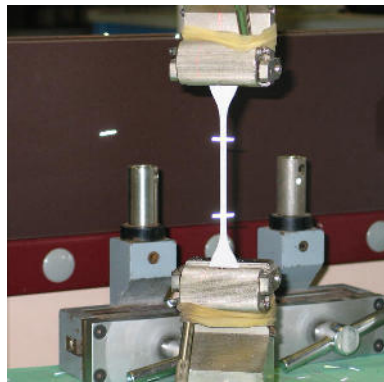
Ensayo para control de calidad.

## Pruebas en Geosintéticos

### Prueba de Tracción em Banda Estrecha

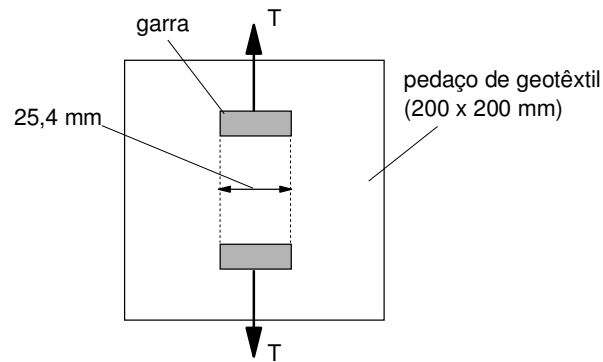
#### Prueba em Muestra de Geomembrana

Equipo – Cesi, Itália (Colmanetti, 2005)



## Pruebas em Geosinteticos

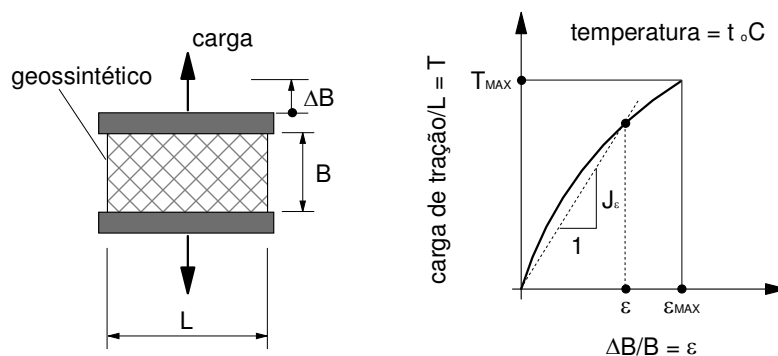
### Prueba de Tracción Localizada (*Grab Test*)



Norma de referência: ASTM 4632

## Pruebas em Geosinteticos

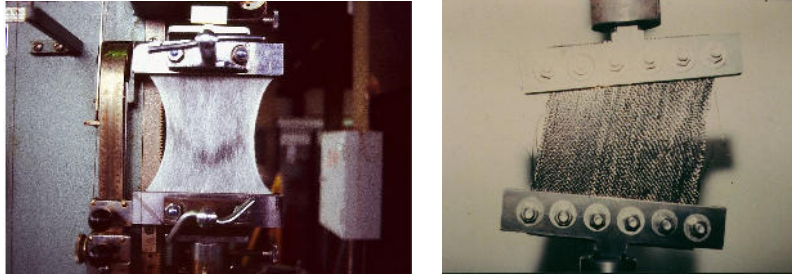
### Prueba de Tracción en Banda Ancha



Normas de referência: NBR 12824, ASTM 4885, ASTM 4884, ASTM 4595

## Pruebas en Geosintéticos

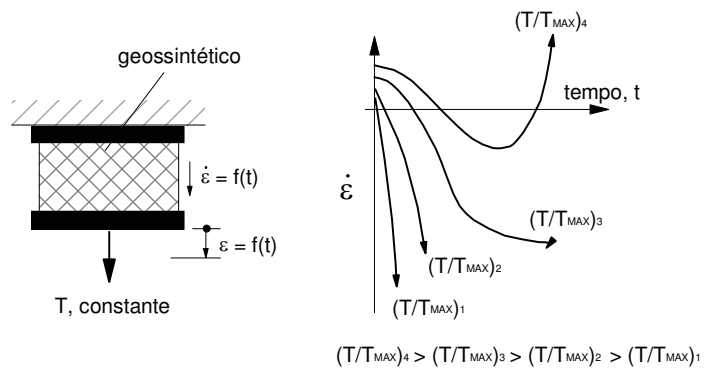
### Prueba de Tracción en Banda Ancha



## Pruebas en Geosintéticos

### Prueba de Tracción

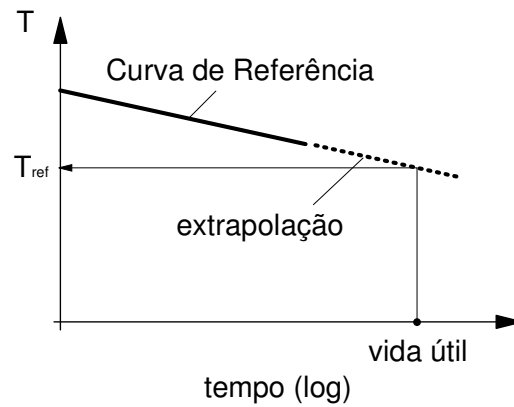
### Prueba de Fluência



## Pruebas em Geosinteticos

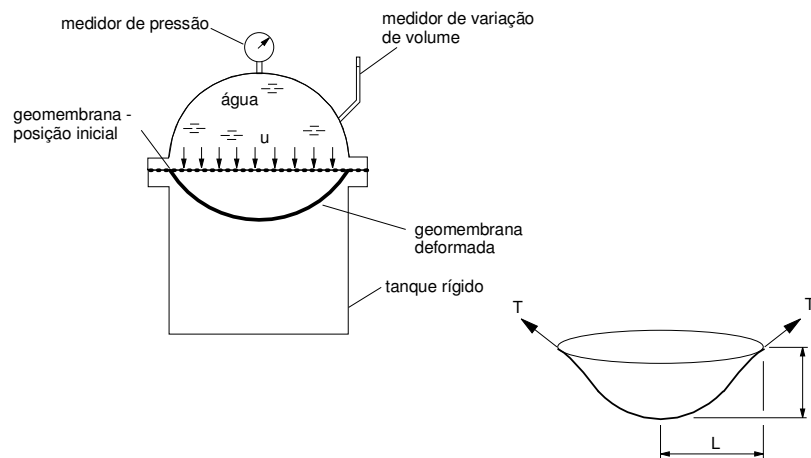
### Prueba de Tracción

#### Prueba de Fluência- Curva de Referencia



## Pruebas em Geosinteticos

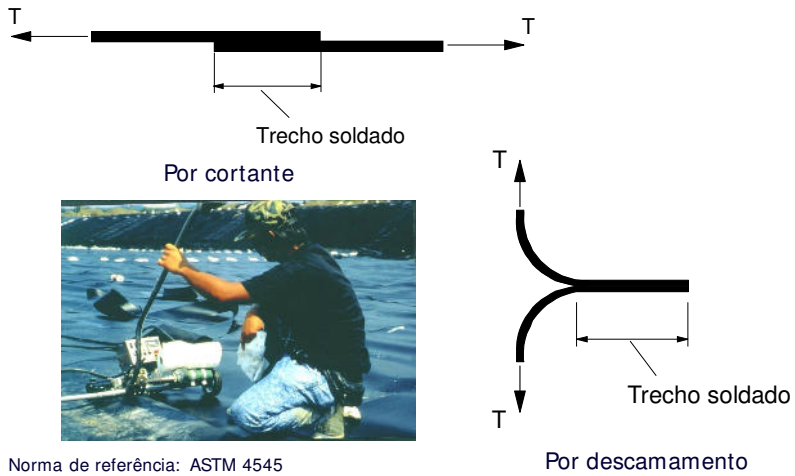
### Pruba de Tracción Axisimétrica





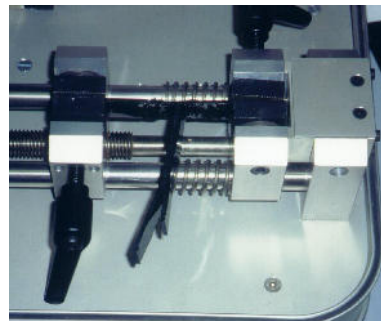
## Pruebas en Geosinteticos

### Pruebas de Tracción en Soldaduras en Geomembranas



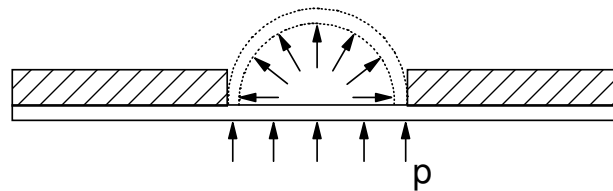
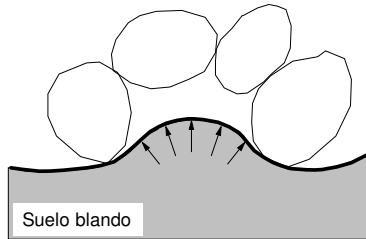
## Pruebas en Geosinteticos

### Pruebas de Tracción en Soldaduras en Geomembranas



## Pruebas en Geosinteticos

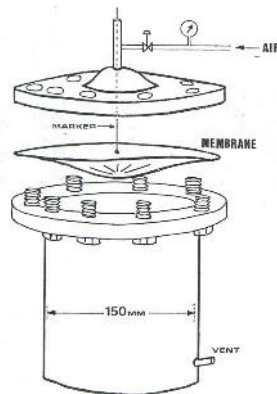
### Resistência ao Estouro (*Burst Test*)



## Pruebas en Geosinteticos

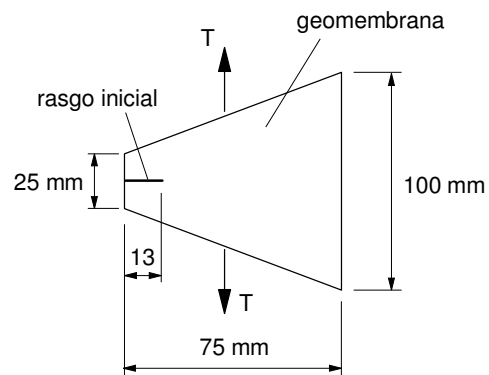
### Resistência ao Estouro (*Burst Test*)

Equipo (Colmanetti, 2005)



## Pruebas en Geosinteticos

### Resistencia ao Rasgamento



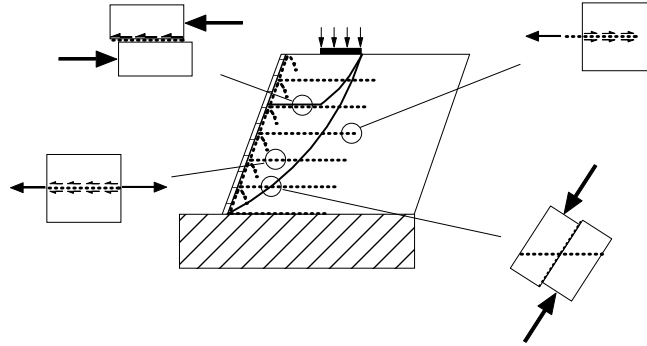
Norma de referência: ASTM 4633, ASTM 4533

## Pruebas en Geosinteticos

### Interacción Suelo-Geosintetico

## Pruebas en Geosintéticos

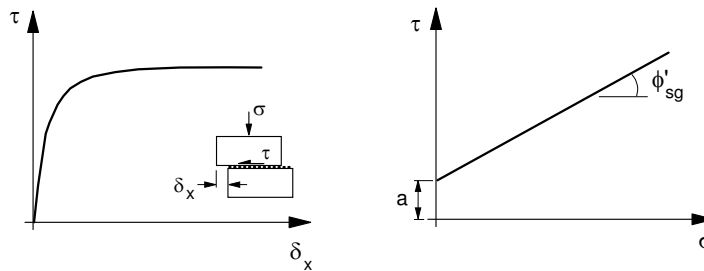
### Interacción Suelo-Geosintético



## Pruebas en Geosintéticos

### Interacción Suelo-Geosintético

#### Pruebas de Corte Directo

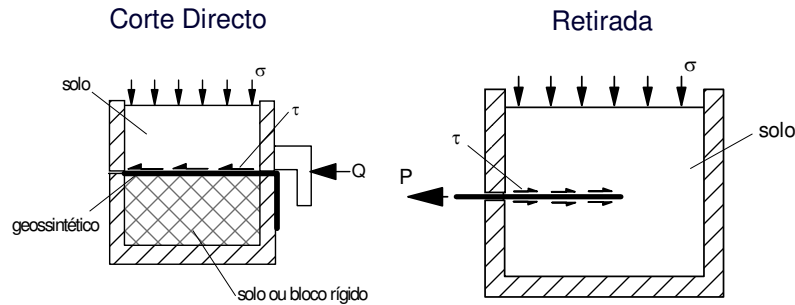




## Pruebas en Geosintéticos

### Interacción Suelo-Geosintético

#### Pruebas de Adherencia



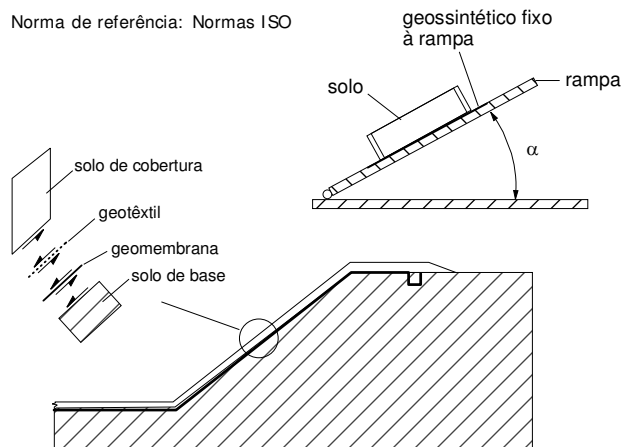
$$\text{Factores de Adherencia: } f \text{ (ou } E_{\phi}) = \frac{\tan \phi_{sg}}{\tan \phi} \quad \lambda \text{ (ou } E_c) = \frac{a}{c}$$

## Pruebas en Geosintéticos

### Interacción Suelo-Geosintético

#### Prueba de Inclinación (ranpa)

Norma de referência: Normas ISO



## Pruebas en Geosintéticos

### Interacción Suelo-Geosintético

#### Prueba de Inclinación (ranpa)

---



Lima Jr.(2000)-UnB

## Pruebas en Geosintéticos

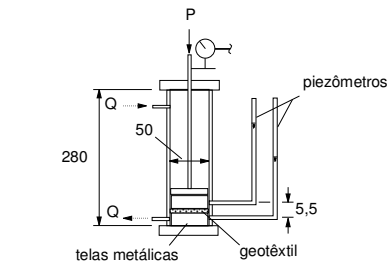
---

### Determinación de las Propiedades Hidráulicas y de Filtración

# Pruebas en Geosintéticos

## Propiedades Hidráulicas

### Permisividad



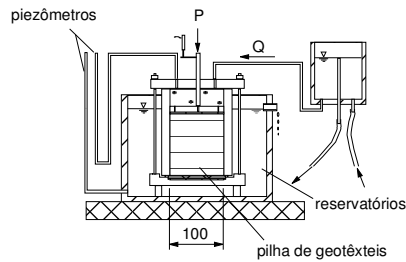
Dimensões em mm.

Espécime individual

Norma de referência: ASTM 4491

$$\text{Permisividad} = \frac{Q}{A \cdot h} = k_n / t$$

donde  $k_n$  = permeabilidad normal a lo plano



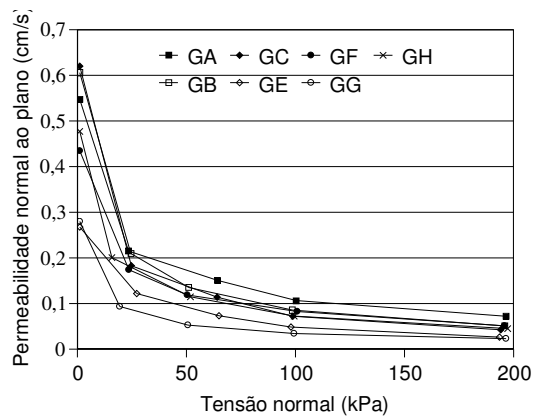
Dimensões em mm.

Pilha de espécimes

# Pruebas en Geosintéticos

## Propiedades Hidráulicas

### Permeabilidade Normal vs. Tensão Normal

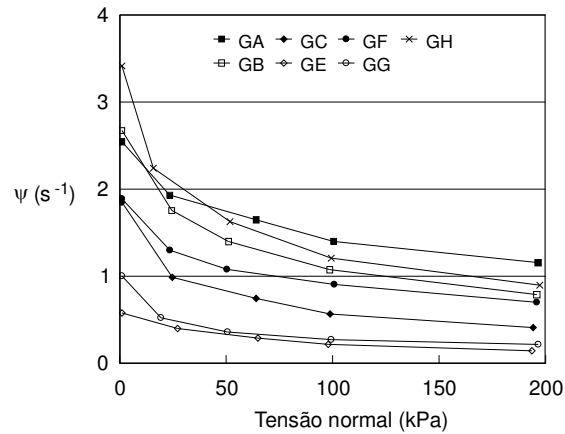


Palmeira (1997)

## Pruebas en Geosintéticos

### Propiedades Hidráulicas

#### Permeabilidad Normal vs. Tensión Normal

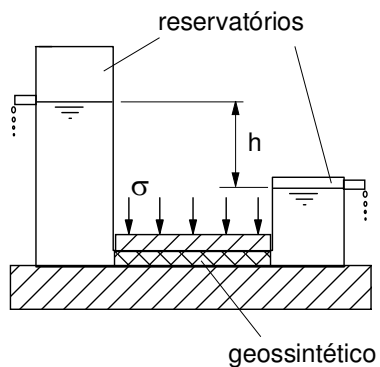


Palmeira (1997)

## Pruebas en Geosintéticos

### Propiedades Hidráulicas

#### Ensaio de Transmissividade



$$\text{Transmisividade} = \frac{Q}{A} = k_l t$$

onde  $k_l$  = permeabilidade lo largo del plano

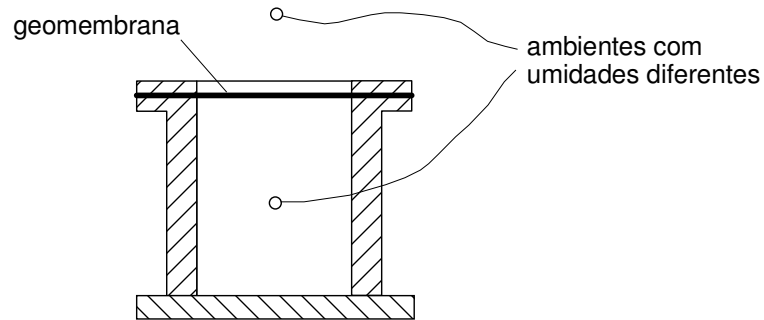
Norma de referência: ASTM 4716





## Pruebas en Geosinteticos

### Prueba de Transmisión de Vapor Permeabilidad de Geomembranas

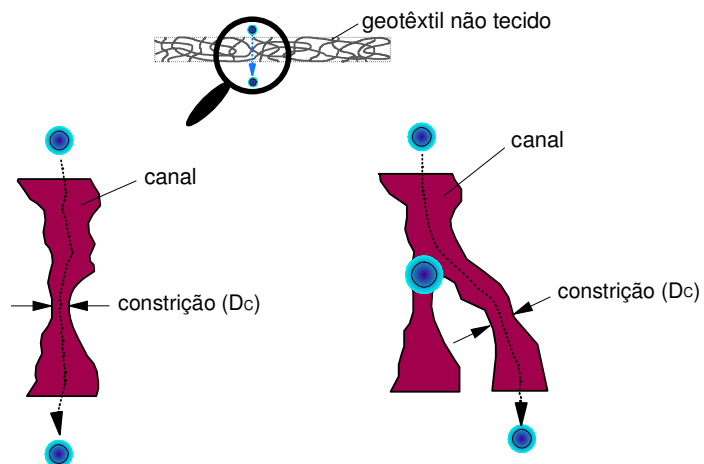


variação de peso e transmissão de vapor e permeabilidade

## Pruebas en Geosinteticos

### Propriedades de Filtração

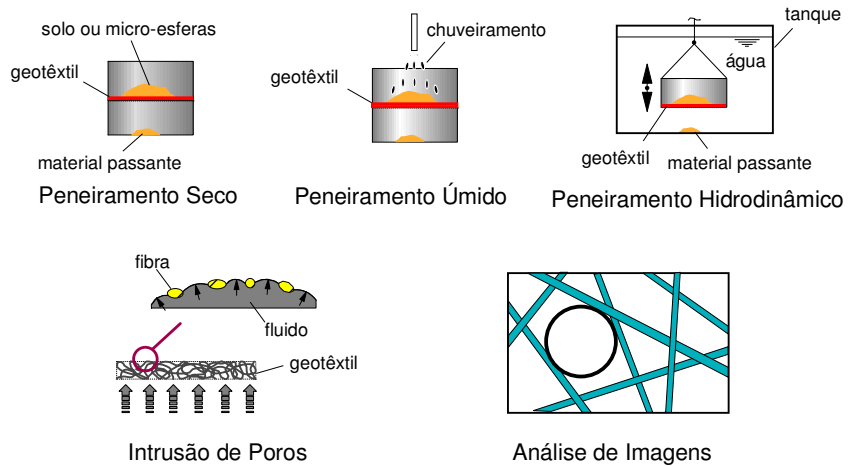
#### Determinação de la Apertura de Filtração de Geotextiles



# Pruebas en Geosinteticos

## Propiedades de Filtración

### Determinación de la Apertura de Filtración de Geotextiles

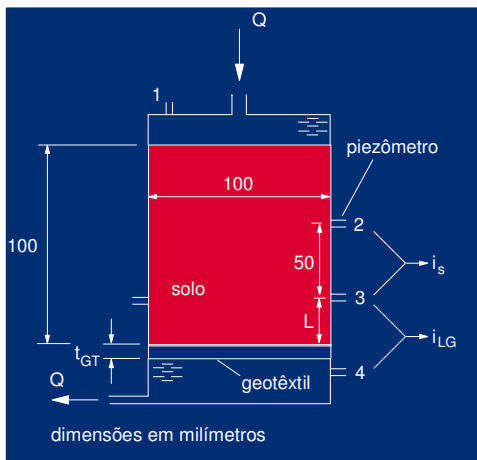


Normas de referência: Normas ISSO, ASTM 4751

# Pruebas en Geosinteticos

## Propiedades de Filtración

### Prueba de Relación de Gradientes (GR)



Relación entre Gradientes:

$$GR = i_{LG} / i_s$$

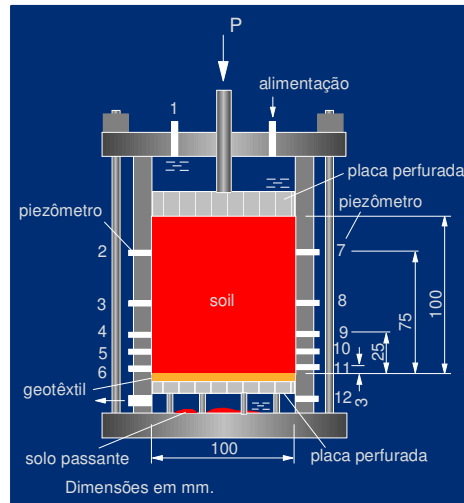
ASTM:  $L = 25\text{mm}$

Norma de referência: ASTM 5101

## Pruebas en Geosintéticos

### Propiedades de Filtración

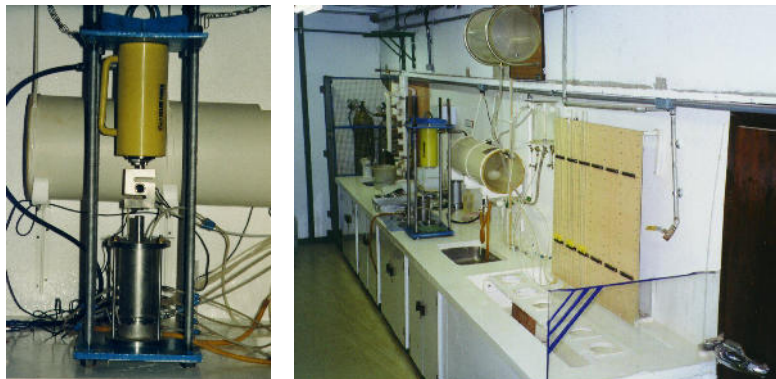
#### Prueba de Relación de Gradientes sob Compresión (GR)



## Pruebas en Geosintéticos

### Propiedades de Filtración

#### Prueba de Relación de Gradientes sob Compresión - UnB



# Pruebas en Geosinteticos

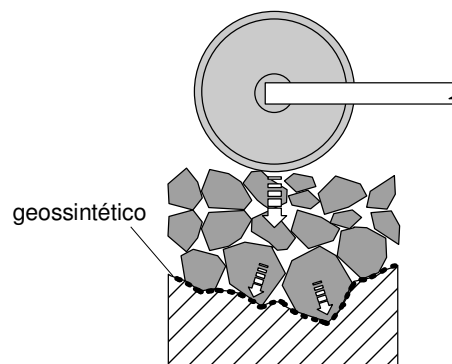
---

## Determinación de las Propiedades de Resistencia a la Degradación y a los Daños

# Pruebas en Geosinteticos

---

## Perforación



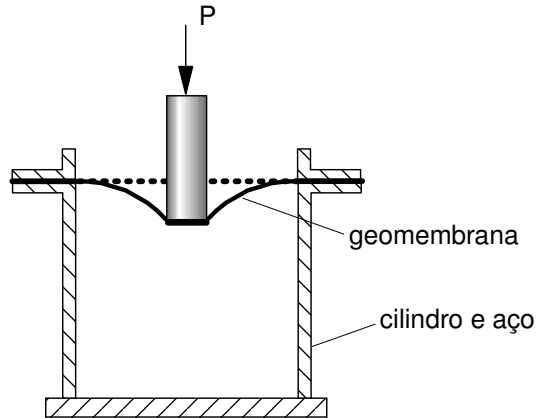
Norma de referència: ASTM 4833



## Pruebas en Geosinteticos

### Resistencia a la Perforación

#### Prueba en Cilindro de CBR



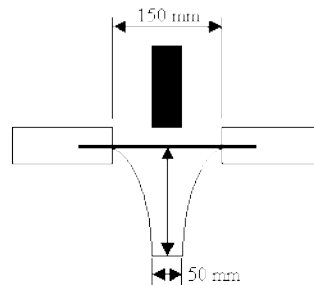
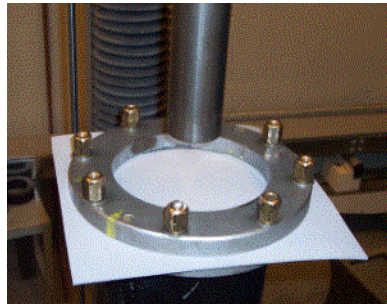
Norma de referência: ABNT

## Pruebas en Geosinteticos

### Resistencia a la Perforación

#### Prueba en Cilindro de CBR

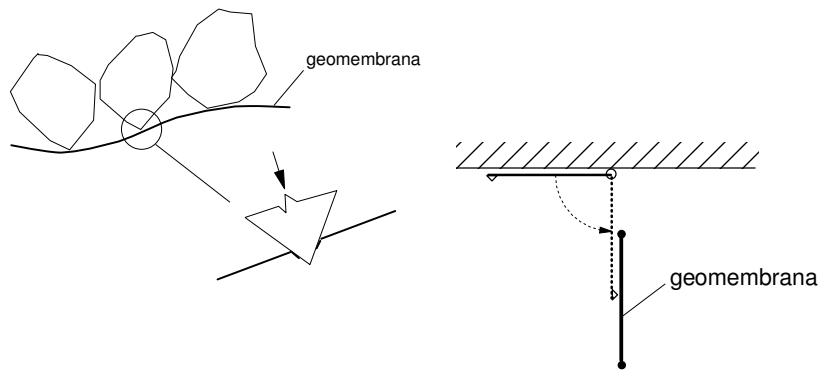
Equipo – Cesi, Itália (Colmanetti, 2005)



## Pruebas en Geosinteticos

### Resistencia al Impacto

#### Prueba de Péndulo

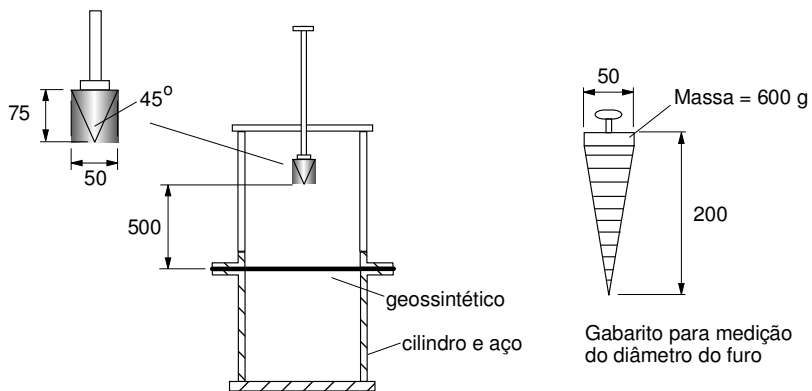


Norma de referência: Normas ASTM

## Pruebas en Geosinteticos

### Perfuración

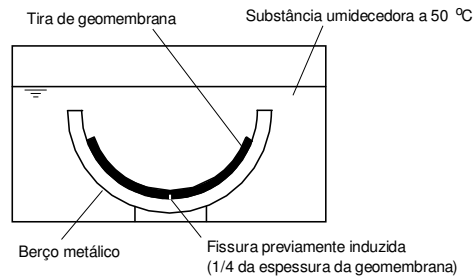
#### Prueba de Caída del Cono



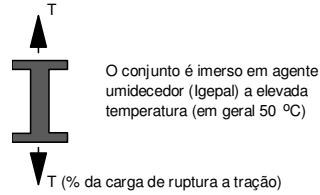
Dimensões em mm

## Pruebas en Geosinteticos

### Stress Cracking



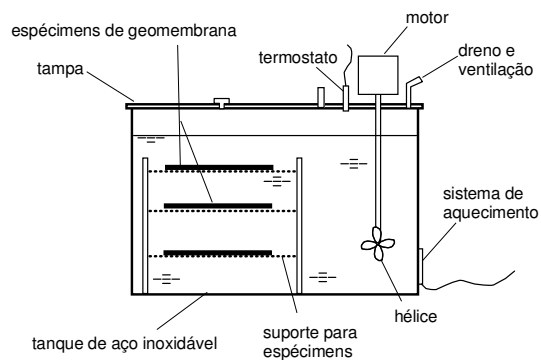
Ensayo en Tira Doblada



Ensayo con Carga Constante

## Pruebas en Geosinteticos

### Pruebas de Degradación



Resistencia a la hinchazón  
Resistencia química

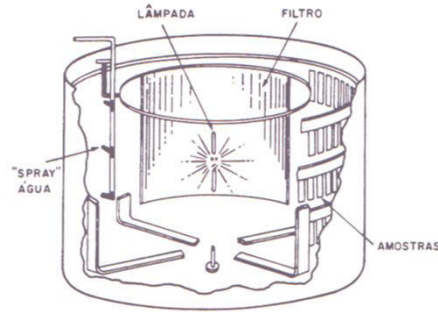
Norma de referência: ASTM 4594, Normas ISO

La pérdida de resistencia mecánica  
Pérdida de masa  
Los cambios químicos  
Etc.

# Pruebas en Geosintéticos

## Pruebas de Degradación

### Acción de la Radiación Ultravioleta

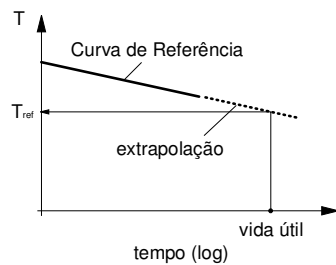


Arco de Xenônio

Norma de referência: ASTM 4355

## Factores de Reducción

Factores de reducción son números que dividen a los valores de propiedad geosintéticos con el fin de tener en cuenta los mecanismos que pueden reducir tales valores. Por ejemplo:



$$T_d = T_{ref} / (f_{dm} f_{amb} f_m)$$

onde:

$T_d$  = resistencia de projeto

$T_{ref}$  = resistencia de referencia (incluye el efecto de la fluencia)

$f_{dm}$  = factor de reducción de daños mecánicos

$f_{amb}$  = factor de reducción para ataques

$f$  causados por el ambiente

$f_m$  = factor de reducción de incertidumbre en el material que está siendo utilizado.

Cuando no se tiene la curva de referencia:  $T_{ref} = T_{indice} / f_{fluencia}$ , donde  $f_{fluencia}$  = fator de reducción para fluência (depende del tipo de geosintético, vida útil da obra, etc) y  $T_{indice}$  = resistencia obtenida en ensayo índice (banda ancha)

## Factores de Reducción

### Valores Mínimos/Típicos de $f_{fluencia}$

Polímero	$f_{fluencia}$ (1)	$f_{fluencia}$ (2)	$f_{fluencia}$ (3)
Poliéster	2,0	2,0 a 2,5	2,5
Poliamida	2,5	2,0 a 2,5	2,9
Poliétileno	4,0	3,0 a 4,0	5,0
Polipropileno	4,0	3,0 a 4,0	5,0

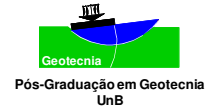
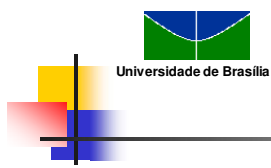
(1) den Hoedt (1986)

(2) Koerner (1998)

(3) Task Force # 27 (1991)

**FIN**





# Drenaje con Geosintéticos

Ennio M. Palmeira  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.



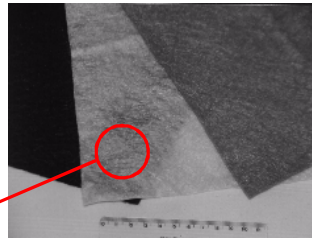
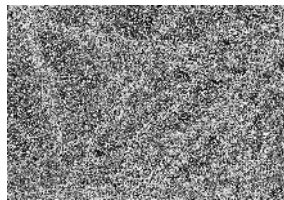
## Geosintéticos Típicos en Drenaje

- Geotextiles
- Georedes
- Geocompuestos para Drenaje
- Geoespaciadores
- Geotubos
- Geodrenos (p/adensamento de solos moles)
- EKG (geosintéticos electro-cinéticos)



## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Geotextiles No-Tejidos



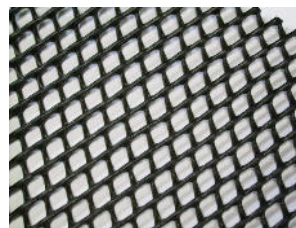
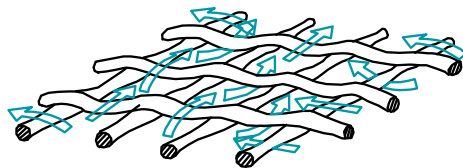
Geotextiles agujados

3



## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Georredes

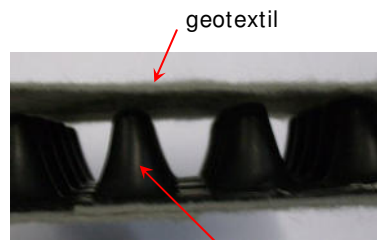


4

## Geosintéticos Típicos en Drenaje Geoespaciadores



Geocompuesto para Drenaje con Geoespaciador

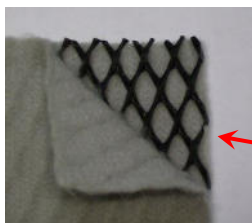


geotextil

geoespaciador

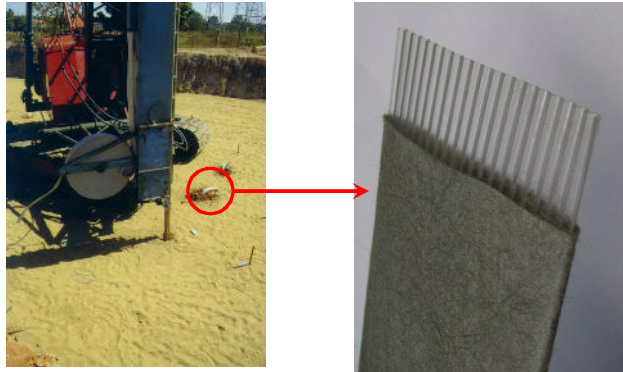
5

## Geosintéticos Típicos en Drenaje Geocompuestos para Drenaje



6

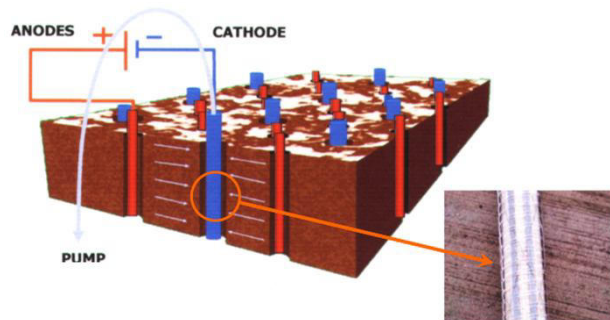
## Geosintéticos Típicos en Drenaje Geocompuestos para Drenaje Vertical



7

## Geosintéticos Típicos en Drenaje Geosintéticos Eletro-Cinéticos (EKG)

**Geosintéticos Eletro-Cinéticos** son materiales que incorporan un drenaje geosintético conductor de la electricidad que hace la consolidación del suelo blando por electro-ósmosis.

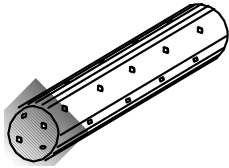


Jones et al. (2005)

8

## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Geotubos

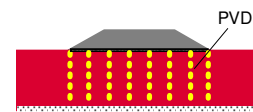
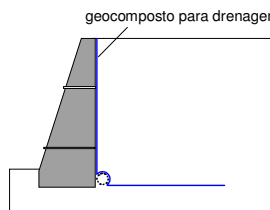
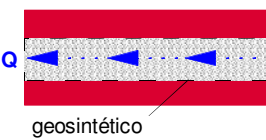
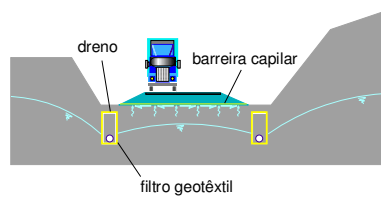
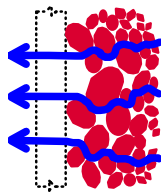


9

## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Ejemplos de Aplicaciones en Drenaje

En sustitución o en combinación con materiales naturales de drenaje



Gourc & Palmeira (2005)  
10

## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Ejemplos de Aplicaciones en Drenaje



Geocompuesto detrás de muro de contención  
(Foto: Cortesía de J.P. Gourc)

11

## Geosintéticos Típicos en Drenaje

### Ejemplos de Aplicaciones en Drenaje



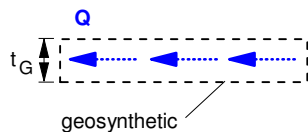
12



## Geosintéticos Típicos en Drenaje

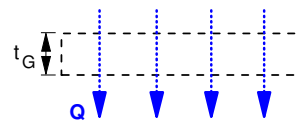
### Definiciones Importantes

Flujo lo largo del plano



Transmisividad:  $\theta = k_p t_G$

Flujo normal al plano



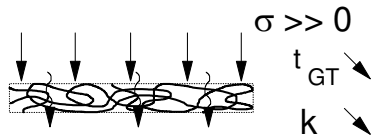
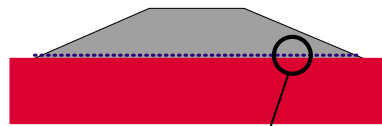
Permisividad:  $\psi = \frac{k_n}{t_G}$

13

## Propiedades Hidráulicas

### Influencia de lo Nivel de Presiones

Influencia del nivel de presiones



Generalmente mas relevante para geotextiles

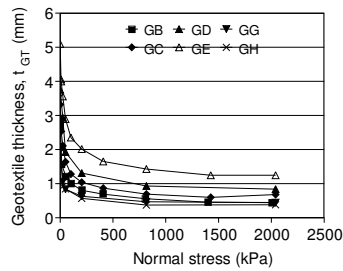
14



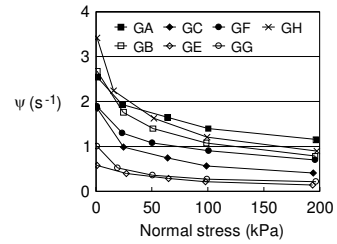
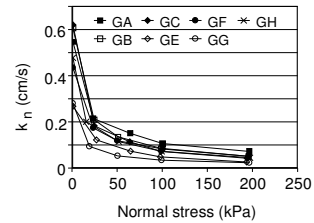
## Propiedades Hidráulicas Influencia de lo Nivel de Presiones

Influencia sobre  $k_n$  e

Resultados de Pruebas en Geotextiles  
No Tejidos (Palmeira & Gardoni, 2000)



Espesor vs. presión normal



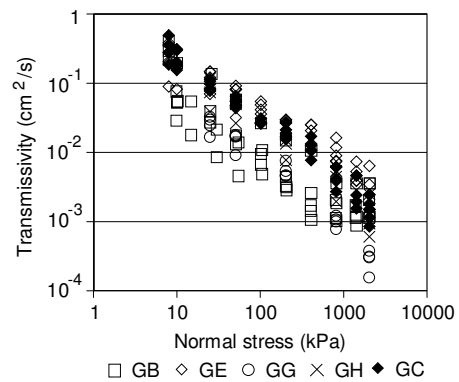
$k_n$  e vs. presión normal

15



## Propiedades Hidráulicas Influencia de lo Nivel de Presiones

Influencia en la Transmissividad (Palmeira & Gardoni, 2000)

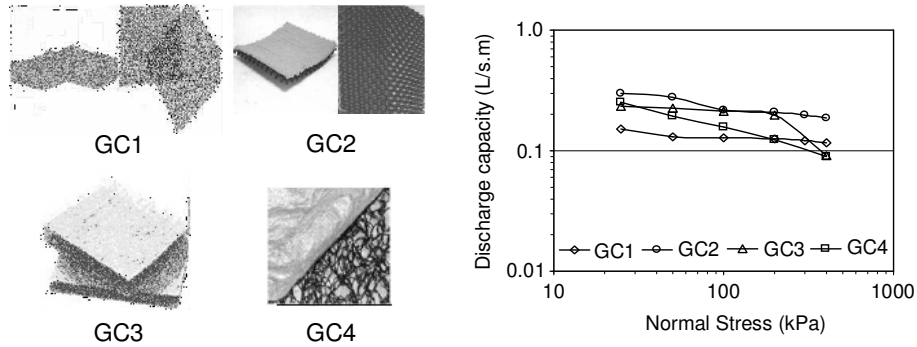


16



## Propiedades Hidráulicas Influencia de lo Nivel de Presiones

Ensaio com Geocompostos (Silva & Palmeira, 2008)



17



## Propiedades Hidráulicas Estimación de Permeabilidad de Geotextiles

Giroud (1996):

$$k = \frac{\beta \rho_w g}{16 \eta_w} \frac{n^3}{(1-n)^2} d_f^2$$

- k = coeficiente de permeabilidad del geotextil
- $\beta$  = coeficiente empírico (0.11 to 0.14 para no tejidos)
- $\rho_w$  = densidad del fluido
- g = aceleración de la gravedad
- $\eta_w$  = viscosidad dinámica del fluido
- n = porosidad de lo geotextil
- $d_f$  = diámetro de las fibras del geotextil

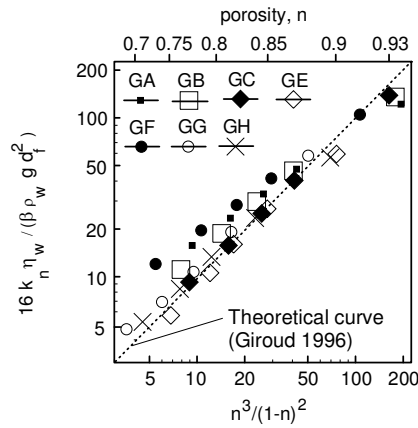
18

## Propiedades Hidráulicas

### Estimación de Permeabilidad de Geotextiles

Comparaciones entre Mediciones y Previsiones de  $k_n$  (Palmeira & Gardoni, 2000)

$$k = \frac{\beta \rho_w g}{16 \eta_w} \frac{n^3}{(1-n)^2} d_f^2$$

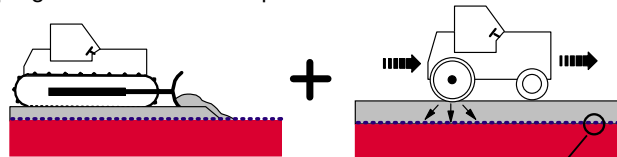


19

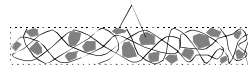
## Propiedades Hidráulicas

### Influencia de la Impregnación del Geotextil

Impregnación del Geotextil por Partículas de Suelo



partículas de suelo



$t_{GT}$ ,  $k_n$  e  $k_p$

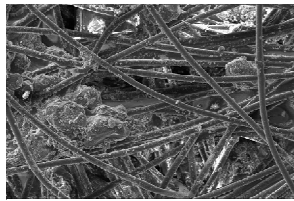
20



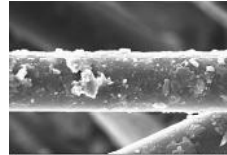
## Propiedades Hidráulicas Influência de la Impregnación del Geotextil

Geotextiles Impregnados

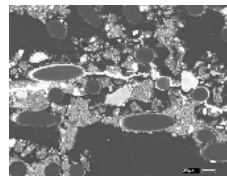
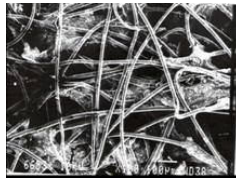
Partículas en los vacíos



Partículas adheridas a los filamentos



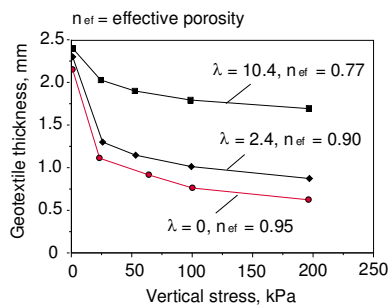
Películas de bacterias



21

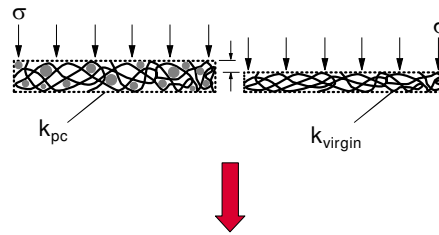


## Propiedades Hidráulicas Influência de la Impregnación del Geotextil



Geotextile thickness vs. stress

$$= \frac{\text{Masa de partículas}}{\text{Masa de fibras}}$$

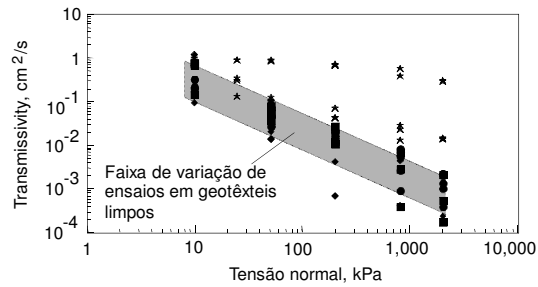


$k_{pc}$  no necesariamente  $<$   $k_{virgin}$

22

## Propiedades Hidráulicas Influência de la Impregnación del Geotextil

Transmissividade de Geotexteis Limpios y Impregnados



Geotêxtil-Solo-Condição:

- GB-SC-compactado no campo      ◆ GB-SC-compactado no laboratório
- GC-SC-compactado no campo      ★ GE-SD and SE-vibração no laboratório
- GE-SC-compactado no campo

Palmeira & Fannin (2002)

23

## Propiedades Hidráulicas Influência de la Impregnación del Geotextil

Geotexteis Impregnados – Partículas en los vacíos  
(Modificado de Giroud, 1996, Palmeira & Gardoni 2000)

$$k^* = \frac{\beta \rho_w g}{\eta_w} \cdot \frac{[n - \lambda \cdot \frac{\rho_f}{\rho_s} \cdot (1-n)]^3}{\left(\frac{4}{d_f} + \lambda \cdot \frac{\rho_f}{\rho_s} \cdot \frac{6}{d_s}\right)^2 (1-n)^2} \quad \text{con:} \quad \lambda = \frac{M_s}{M_f}$$

$$\frac{d_s}{d_f} = \sqrt{\frac{\pi t_{GT} \rho_f}{M_A}} - 1 = \sqrt{\frac{\pi}{1-n}} - 1$$

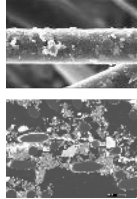
Onde:  $k^*$  = permeabilidade do geotêxtil impregnado,  $d_s$  = diâmetro das partículas de solo (assumidas esféricas) dentro do geotêxtil,  $\rho_f$  = densidade das fibras do geotêxtil,  $\rho_s$  = densidade das partículas de solo,  $M_s$  e  $M_f$  = massas totais de partículas e de fibras por unidade de área,  $M_A$  = gramatura do geotêxtil,  $t_{GT}$  = espessura do geotêxtil e  $n$  = porosidade do geotêxtil desconsiderando-se a presença das partículas de solo nos vazios.

24



## Propiedades Hidráulicas Influência de la Impregnación del Geotextil

Geotextiles Impregnados – Partículas adheridas a los filamentos  
(Modificado de Giroud, 1996)



$$k' = \frac{\beta \rho_w g}{16 \eta_w} \frac{\left(\frac{d_f}{4}\right)^2 \left(n - \frac{\mu_p}{t_{GT} \rho_p (1-n')}\right)^3}{(1-n) \left(1 - n + \frac{\mu_p}{t_{GT} \rho_p (1-n')}\right)}$$

Onde :  $k^*$  = coeficiente de permeabilidade do geotêxtil impregnado,  $\beta$  = coeficiente empírico,  $\rho_w$  = densidade do fluido,  $g$  = aceleração da gravidade,  $\eta_w$  = viscosidade dinâmica do fluido,  $d_f$  = diâmetro do filamento do geotêxtil,  $n$  = porosidade do geotêxtil,  $\mu_p$  = massa de partículas aderidas aos filamentos por unidade de área,  $t_{GT}$  = espessura do geotêxtil,  $\rho_p$  = densidade das partículas,  $n'$  = porosidade dos grumos de partículas aderidas aos filamentos de geotêxtil.

25

## Propiedades Hidráulicas Colmatación Biológica

Es posible que ocurra en ambientes con actividades biológicas

Lixiviado



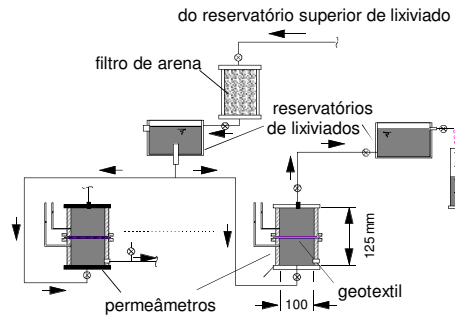
Drene granular colmatado en laboratorio  
(Rowe et al. 2000)



Muestra de drenaje granular exhumado de un sistema de recolección de lixiviado después de 4 años en servicio (Fleming et al. 1999)

26

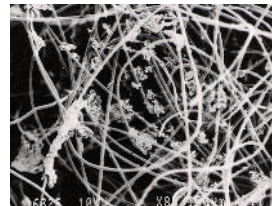
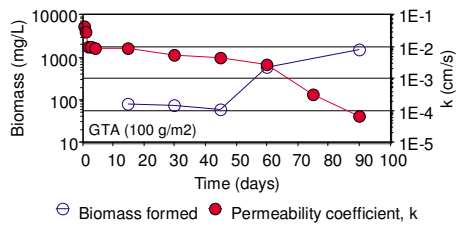
## Propiedades Hidráulicas Colmatación Biológica



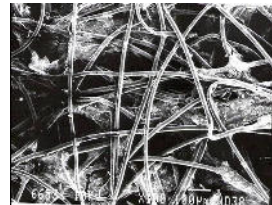
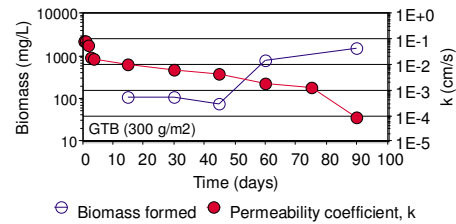
Remigio (2006)  
27

## Propiedades Hidráulicas Colmatación Biológica

Palmeira et al. (2007)

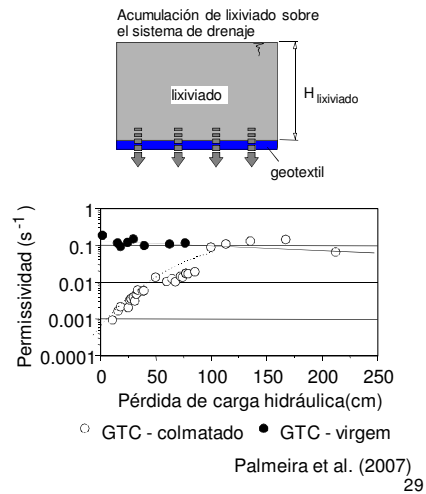
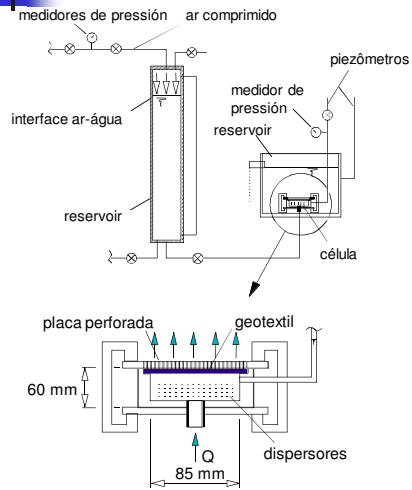


GTA – Después de 45 días



GTA – Después de 90 días

## Propiedades Hidráulicas Colmatación Biológica



## Geosintéticos en Drenaje Naturaleza Crítica y Gravedad de la Aplicación

Guía para la evaluación de la naturaleza y gravedad aplicaciones críticas en Drenaje y Control de Erosión (Carroll, 1983)

A. Naturaleza Crítica del Proyecto		
Item	Crítica	Menos Crítica
1. Riesgo de pérdida de vidas y/o daño estructural debido a lo fracaso del drenaje	Alto	No
2. Costos de reparación frente a los costos de la instalación del drenaje	>>>	= or <
3. Evidencia de la obstrucción del drenaje antes de potencial fracaso catastrófico	No	Si
B. Gravedad		
Item	Grave	No Grave
1. Suelo a ser drenado:	Suelos discontinuos, sujeto a piping o dispersivos	Suelos bien graduados o uniformes
2. Gradiente hidráulico:	Alto	Bajo
3. Condiciones de flujo:	Dinámico, cíclico o pulsos	Flujo constante

30

## Drenaje con Geosintéticos

### Criterios de Permeabilidad/Permissividad

Referencia	Criterio	Comentarios
Calhoun (1972); Schober and Treindl(1979); Wates (1980); Carroll (1983); Haliburton et al. (1982); Christopher & Holtz (1985); and others	$k_f \geq k_s$	Flujo constante, aplicaciones no críticas y no severas
Carroll (1983) y Christopher & Holtz (1985)	$k_f \geq 10 k_s$	Aplicaciones críticas y condiciones hidráulicas y de suelo severas
Giroud (1982)	$k_f \geq k_s$	Sin factor de seguridad
French Committe on Geotextiles and Geomembranes (1986)	Baseado em , com $\geq 10^3$ a $5 k_s$	Condiciones críticas $10^5$ , menos críticas $10^4$ , arena limpia $10^3$

Notas:  $k_f$  = coeficiente de permeabilidad del filtro,  $k_s$  = permeabilidad del suelo.

Criterio de Permisividad (Holtz et al., 1997)

$\psi \geq 0.5 \text{ s}^{-1}$ para suelos con < 15% de granos mas pequeños que 0,075 mm
$\psi \geq 0.2 \text{ s}^{-1}$ para suelos con 15% a 50% de granos mas pequeños 0,075 mm
$\psi \geq 0.1 \text{ s}^{-1}$ para suelos con > 50% de granos mas pequeños 0,075 mm

31

## Geosintéticos en Drenaje

### Factores de Reducción

Koerner (1998):

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{RF_{SCB} RF_{CR} RF_{IN} RF_{CC} RF_{BC}}$$

Dónde:  $q_{adm}$  = caudal admisible,  $q_{ult}$  = caudal último (máxima),  $RF_{SCB}$  = factor de reducción para obstrucción o cegamiento,  $RF_{CR}$  = factor de reducción para reducción de los vacíos debido a la fluencia,  $RF_{IN}$  = factor de reducción para la impregnación de los vacíos del geotextil,  $RF_{CC}$  = factor de reducción para obstrucción química,  $RF_{BC}$  = factor de reducción para obstrucción biológica.

32



## Geosintéticos en Drenaje

### Factores de Reducción Recomendados

Koerner (1998):

Aplicación	Rango de valores de los factores de reducción				
	Obstrucción o cegamiento <sup>(1)</sup>	Reducción de vacíos por fluencia	Impregnación de los vacíos	Obstrucción química <sup>(2)</sup>	Obstrucción biológica
Filtros de muros	2 a 4	1,5 a 2	1 a 1,2	1 a 1,2	1 a 1,3
Filtros enterrados (under-drain)	5 a 10	1 a 1,5	1 a 1,2	1,2 a 1,5	2 a 4
Filtros para controlar la erosión	2 a 10	1 a 1,5	1 a 1,2	1 a 1,2	2 a 4
Filtros de rellenos sanitarios	5 a 10	1,5 a 2	1 a 1,2	1,2 a 1,5	5 a 10 <sup>(3)</sup>
Drenaje gravitacional	2 a 4	2 a 3	1 a 1,2	1,2 a 1,5	1,2 a 1,5
Drenaje bajo presión	2 a 3	2 a 3	1 a 1,2	1,1 a 1,3	1,1 a 1,3

Notas: (1) (1) Si la superficie del geotextil se cubre con riprap o bloques de hormigón, utilizar los valores máximos o incluir el factor de reducción adicional;(2) Los valores pueden ser más altos, en particular para las aguas subterráneas con alta alcalinidad, (3) Los valores pueden ser mayores para la turbidez y/o la cantidad de microorganismos de más de 5000 mg/L.

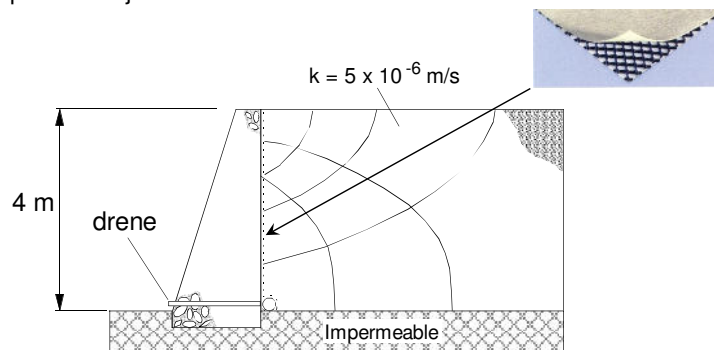
33



## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

Estimar las propiedades hidráulicas requeridas para la capa de drenaje del muro de arrimo (suelo isotrópico y homogéneo) presentado en la figura siguiente. Compruebe la posibilidad de usar una capa de geocompuesto para drenaje.



34



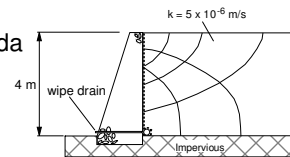
## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

Caudal chegando ao dreno:

Caudal por unidade de comprimento chegando à camada drenante:

$$q = \frac{n_c}{n_d} k_s H$$



onde:  $q$  = caudal por unidade de comprimento normal ao plano do desenho,  $n_c$  = número de canais de fluxo,  $n_d$  = número de quedas de carga hidráulica,  $k_s$  = coeficiente de permeabilidade do solo,  $H$  = perda de carga hidráulica total.

Conservadoramente, pode-se assumir que:

$$q = \frac{4}{3} \times 5 \times 10^{-6} \times 4 \Rightarrow q = 26,7 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

35



## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

Permissividade requerida do filtro geotêxtil do geocomposto :

$$q = k_n \cdot i \cdot A = k_n \frac{H_{GT}}{t_{GT}} A = \frac{k_n}{t_{GT}} \cdot H_{GT} \cdot A = \text{req} \cdot H_{GT} \cdot A \Rightarrow \text{req} = \frac{q}{H_{GT} \cdot A}$$

Onde:  $\text{req}$  = permissividade requerida,  $k_n$  = coeficiente de permeabilidade normal,  $t_{GT}$  = espessura do geotêxtil,  $i$  = gradiente hidráulico (normal ao geotêxtil),  $A$  = área do geotêxtil em contato com água e  $H_{GT}$  = perda de carga no do geotêxtil.

$H_{GT}$  não é fácil de ser obtido sem ensaios de laboratório específicos. Assumindo-se conservadoramente  $H_{GT} = 4\text{m}$  (= perda de carga máxima no sistema):

$$\text{req} = \frac{26,7 \times 10^{-6}}{4,0 \times (4,0 \times 1)} \Rightarrow \text{req} = 1,7 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

36





## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

Fatores de Redução (específicos para o presente problema):

- Colmatação e cegamento = 3
- Redução de vazios por creep = 1,5
- Impregnação dos vazios = 2
- Colmatação química = 1
- Colmatação biológica = 1

Permissividade do geotêxtil:

$$= 1,7 \times 10^{-6} \times 3 \times 1,5 \times 2 \times 1 \times 1$$

$$= 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Aplicação	Faixas de variação de fatores de redução				
	Colmatação ou cegamento <sup>(1)</sup>	Redução de vazios por creep	Impregnação dos vazios	Colmatação química <sup>(2)</sup>	Colmatação biológica
Filtros de muros	2 a 4	1,5 a 2	1 a 1,2	1 a 1,2	1 a 1,3
Filtros enterrados (under-drain)	5 a 10	1 a 1,5	1 a 1,2	1,2 a 1,5	2 a 4
Filtros de controle de erosões	2 a 10	1 a 1,5	1 a 1,2	1 a 1,2	2 a 4
Filtros de aterros sanitários	5 a 10	1,5 a 2	1 a 1,2	1,2 a 1,5	5 a 10 <sup>(3)</sup>
Drenagem gravitacional	2 a 4	2 a 3	1 a 1,2	1,2 a 1,5	1,2 a 1,5
Drenagem sob pressão	2 a 3	2 a 3	1 a 1,2	1,1 a 1,3	1,1 a 1,3

Esse valor de permissividade deve ser garantido tanto para a solução com uma camada de geotêxtil quanto para o geotêxtil constituinte do geocomposto (no caso de solução com geocomposto para drenagem).

37



## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

#### Cálculo da Capacidade de Descarga do Geocomposto

Capacidade de Descarga Admissível:

Adotando-se um mesmo produto de fatores de redução utilizado no cálculo da permissividade (redução dos vazios por compressão por fluência, precipitação de substâncias químicas, etc):

$$q_{cd-adm} = 9q = 9 \times 26,7 \times 10^{-6}$$

$$q_{cd-adm} = 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

38



## Geosintéticos en Drenaje

### Ejemplo

#### Resumo

Para as condições de confinamento (tensão normal) a que o geocomposto se encontra, seleccionar produto com:

$$q_{adm} \geq 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ (para o filtro geotêxtil do geocomposto)}$$

$$q_{cd-adm} \geq 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s/m}$$

Importante: as condições de filtro do geotêxtil também têm que ser verificadas!

39



## Geosintéticos en Drenaje

### Referencias

- Carroll, R.G. (1983). Geotextile Filter Criteria. Engineering Fabrics in Transportation Construction. Transportation Research Record 916, Transportation Research Board, Washington, D.C., pp. 46-53
- Gardoni, M. G. and Palmeira, E. M. (1999). Transmissivity of Geosynthetics under High Normal Stresses. *Geosynthetics'99 - Specifying Geosynthetics and Developing Design Details*, Boston, MA, USA, Vol. 2, pp. 769-782.
- Giroud, J.P. (1981). Designing with geotextiles. *Mater. Constr.*, 14(82), Paris, France, 257-272.
- Giroud, J.P. (1996). Granular filters and geotextile filters. *GeoFilters'96*, Montreal, J. Lafleur and A.L. Rollin Eds., Vol. 1, pp. 565-680.
- Gourc, J.P. and Palmeira, E.M. (2005). Geosynthetics in Drainage and Filtration. IGS Leaflets on Geosynthetics Applications. Available at <http://www.geosyntheticssociety.org/proceedings.htm>.
- Holtz, R.D., Christopher, B.R. and Berg, R.R. (1997). Geosynthetic Engineering. Bitech Publishers Ltd., Canada, 451 p.
- Jones, C.J.F.P., Lamont-Black, J., Glendinning, S. and Pugh, R.C. (2005). New Applications for Smart Geosynthetics. *Geo-Frontiers 2005*, ASCE Special Publications, pp. 130-142.
- Koerner, R.M. (1998). *Designing with Geosynthetics*. 4th Edition, Prentice-Hall, 761 p.
- Palmeira, E.M. and Fannin, R.J. (2002). Soil-Geotextile Compatibility in Filtration - Keynote Lecture. *7th International Conference on Geosynthetics*, Nice, France, Vol. 3., pp. 853-872.


40




## Geosintéticos en Drenaje

### Referencias

- Palmeira, E.M. and Gardoni, M.G. (2000). The influence of partial clogging and pressure on the behaviour of geotextiles in drainage systems. *Geosynthetics International*, Vol. 7, No. 4-6, p. 406-431.
- Palmeira, E.M. and Gardoni, M.G. (2002). Drainage and Filtration Properties of Non-Woven Geotextiles Under Confinement Using Different Experimental Techniques. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 20, No. 2, p. 97-115.
- Palmeira, E.M., Gardoni, M.G. and Luz, D.W.B. (2005). Soil-Geotextile Filter Interaction under High Stress Levels in the Gradient Ratio Test. *Geosynthetics International*, London – Thomas Telford, Vol. 12, No. 4, pp. 162-175.
- Palmeira, E.M., Remigio, A.F.N., Ramos, M.L.G. and Bernardes, R.S. (2008). A study on biological clogging of nonwoven geotextiles under leachate flow. *Geotextiles and Geomembranes*, in press.
- Remigio, A.F.N. (2006). Study of biologic clogging of synthetic drainage systems of waste disposal areas under anaerobic conditions. *PhD. Thesis*, University of Brasilia, Brasilia, Brazil, 134 p. (in Portuguese).
- Silva, C.A. and Palmeira, E.M. (2008). Transmissivity Tests on Geocomposites for Drainage under High Normal Stresses. *1st Panamerican Conference on Geosynthetics - GeoAmericas 2008*, Cancun, Mexico.
- van Impe, W.F. (1989). *Soil Improvement Techniques and Their Evolution*. Balkema, Rotterdam, 125 p.



Universidade de Brasília




Geotecnia  
Pós-Graduação em Geotecnia  
UnB

---


# Filtros Geotextiles

Ennio M. Palmeira  
Universidade de Brasília, Brasil

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
 Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

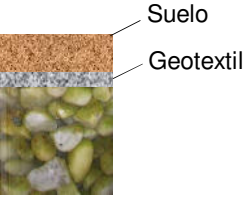


## Filtro Granular vs. Filtro Geotextil



Suelo Base

Transición



Suelo

Geotextil

**Filtro Geotextil**

- Fácil y rápido de instalar;
- El filtro ocupa menos volumen;
- El filtro de geotextil debe cumplir con ciertos requisitos para que funcione correctamente.

2

## Mecanismos de Colmatación Típicos

Camada de baja permeabilidad

geotextil no tejido

**Cegamiento**

**Bloqueamiento**


**Colmatações (obstruções) Física, Química o Biológica**

3

## Formación de Puentes de Granos de Suelo

Puentes (arcos) de granos

4



## Criterios de Filtro

---

- ✓ Criterio de retención de los granos del suelo
- ✓ Criterio de permeabilidad del filtro
- ✓ Criterio contra la colmatación del filtro
- ✓ Criterio de la supervivencia y durabilidad

5



## Criterios de Filtro

### Criterio de Retención

---

Algunos criterios de retención disponibles em la literatura:

• Calhoun (1972)	• Lawson (1986)
• Zitcher (1974)	• John (1987)
• Ogink (1975)	• FHWA/Christopher and Holtz (1985)
• Sweetland (1977)	• CFGG (1986)
• US Corps of Engineers (1977)	• Fischer et al. (1990)
• Schober and Teindl (1979)	• Luetlich et al. (1992)
• Millar et al. (1980)	• Canadian Geotech. Society (1992)
• Rankilor (1981)	• Ontario Ministry of Transp. (1992)
• Giroud (1982)	• UK DTp/Murray and McGown (1992)
• Carrol (1983)	• Fannin et al. (1994)
• Mlynarek (1985)	• Bhatia and Huang (1995)
• AASHTO Task Force#25 (1986)	• Lafleur (1999)

6



## Criterios de Filtro

### Criterio de Retención

Típicamente:

$$\frac{O_f}{D} < a$$

$O_f$  = medida de la apertura de filtración del geotextil  
( $O_{95}$ ,  $O_{90}$ ,  $O_{50}$  e/ou  $O_{15}$ )

$D$  = medida del tamaño de granos ( $D_{90}$ ,  $D_{85}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{30}$   
e/ou  $D_{15}$ )

$a = f(n, C_c, C_u, C'_u, D, I_D, \text{tipo de suelo y de geotextil})$

7


## Criterio de Retención

### Algunos Criterios en la Literatura

Source	Criterion	Remarks
Calhoun (1972)	$O_{95}/D_{85} \leq 1$	Wovens, soils with $\leq 50\%$ passing No. 200 Sieve
U.S. Corps of Engineers (1977)	$O_{95} \leq 0.2 \text{ mm}$ $0.149 \text{ mm} \leq O_{95} \leq 0.211 \text{ mm}$ $0.149 \text{ mm} \leq O_{95} \leq D_{85}$	Wovens, cohesive soils $D_{50} > 0.074 \text{ mm}$ $D_{50} \leq 0.074 \text{ mm}$ Geotextiles should not be used if $D_{85} < 0.074 \text{ mm}$
Zitscher, 1974 (from Rankilor, 1981)	$O_{50}/D_{50} \leq 1.7-2.7$ $O_{50}/D_{50} \leq 2.5-3.7$	Wovens, soils with $C_u \leq 2$ , $D_{50} = 0.1$ to $0.2 \text{ mm}$
Ogink (1975)	$O_{90}/D_{90} \leq 1$ $O_{95}/D_{85} \leq 1.8$	Non wovens, cohesive soils Wovens Non wovens
Sweetland (1977)	$O_{15}/D_{85} \leq 1$ $O_{15}/D_{15} \leq 1$	Non wovens, soils with $C_u = 1.5$ Non woven, soils with $C_u = 4$
Schober & Teindl (1979) (with no factor of safety)	$O_{90}/D_{50} \leq 2.5-4.5$ $O_{90}/D_{50} \leq 4.5-7.5$	Woven and thin non wovens, dependent of $C_u$ Thick non wovens, dependent of $C_u$ , silts and sand soils
Millar, Ho & Turnbull (1980)	$O_{50}/D_{85} \leq 1$	Wovens and non wovens.
Rankilor (1981)	$O_{50}/D_{85} \leq 1$ $O_{15}/D_{15} \leq 1$	Non wovens, soils with $0.02 \leq D_{85} \leq 0.25 \text{ mm}$ Non wovens, soils with $D_{85} > 0.25 \text{ mm}$
Giroud (1982)	$O_{95}/D_{50} < C_u^+$ $O_{95}/D_{50} < 9/C_u$ $O_{95}/D_{50} < 1.5C_u^+$ $O_{95}/D_{50} < 13.5/C_u^+$ $O_{95}/D_{50} < 2C_u^+$ $O_{95}/D_{50} < 18/C_u^+$	$I_D < 35\%$ , $1 < C_u < 3$ $I_D < 35\%$ , $C_u > 3$ $35\% < I_D < 65\%$ , $1 < C_u < 3$ $35\% < I_D < 65\%$ , $C_u > 3$ $I_D > 65\%$ , $1 < C_u < 3$ $I_D > 65\%$ , $C_u > 3$
Carroll (1983)	$O_{95}/D_{85} \leq 2-3$	Assumes fines in soil migrating for large $C_u$ Wovens and non wovens

Gardoni & Palmeira (2002) <sup>8</sup>






## Criterio de Filtro

### Criterios de Permeabilidad

Referencia	Criterio	Comentarios
Calhoun (1972); Schober and Treindl(1979); Wates (1980); Carroll (1983); Haliburton et al. (1982); Christopher & Holtz (1985); and others	$k_f \geq k_s$	Flujo constante, aplicaciones no críticas y no severas
Carroll (1983) y Christopher & Holtz (1985)	$k_f \geq 10 k_s$	Aplicaciones críticas y condiciones hidráulicas y de suelo severas
Giroud (1982)	$k_f \geq k_s$	Sin factor de seguridad
French Committee on Geotextiles and Geomembranes (1986)	Baseado en $\frac{k_f}{k_s} \geq 10^3$ a $10^5$	Condiciones críticas $10^5$ , menos críticas $10^4$ , arena limpia $10^3$

Notas:  $k_f$  = coeficiente de permeabilidad del filtro,  $k_s$  = permeabilidad del suelo.

11



## Criterio de Filtro

### Christopher and Holtz (1985)

#### Criterio de Retención de Granos del Suelo

#### Condiciones de Flujo Constante (Flujo Permanente)

$O_{95} < BD_{85}$

Donde:  $O_{95}$  = apertura de filtración del geotextil,  $D_{85}$  = diámetro de granos del suelo correspondiente a 85% pasando, B = depende de las características del suelo

Para arenas, arenas con gravas, arenas limosas e arenias arcillosas (menos de 50% < 0,075 mm):

- $C_u \leq 2$  ou  $C_u \geq 8 \Rightarrow B = 1$       donde  $C_u = D_{60}/D_{10}$
- $2 < C_u \leq 4 \Rightarrow B = 0,5/C_u$
- $4 < C_u < 8 \Rightarrow B = 8/C_u$

Suelos con finos: use solamente la fracción < 4,75 mm para seleccionar el geotextil



## Criterio de Filtro Christopher and Holtz (1985)

Para limos e arcilas com mais de 50% menor que 0,075 mm, B depende del tipo de geotextil:

- Para geotextiles tejidos  $\Rightarrow B = 1$  e  $O_{95} \leq 0,3\text{mm}$
- Para geotextiles no tejidos  $\Rightarrow B = 1,8$  e  $O_{95} \leq 0,3\text{mm}$

13



## Criterio de Filtro Christopher and Holtz (1985)

Para Condiciones Dinámicas de Flujo

$$O_{95} < 0.5 D_{85}$$

Suelos Inestables Internamente

Para  $C_u > 20$  y la curva de distribución del tamaño de partículas con concavidad orientada hacia arriba o falta rango de tamaño de granos del suelo, utilizar las dimensiones de las partículas del suelo que representan la parte del suelo que pueden moverse (Suffusion) en la dirección del filtro geotextil.

14



## Criterio de Filtro Christopher and Holtz (1985)

### Criterio de Permeabilidad del Filtro

- Para condiciones no críticas y menos severas:  $k_{GT} > k_s$
- Para condiciones críticas y severas:  $k_{GT} > 10 k_s$
- Para la posibilidad de colmatación biológica:  $k_{GT} > 100 k_s$

### Criterio de Permissividad

- $\psi \geq 0.5 \text{ s}^{-1}$  para suelos con < 15% de granos mas pequeños que 0,075 mm
- $\psi \geq 0.2 \text{ s}^{-1}$  para suelos con 15% a 50% de granos mas pequeños 0,075 mm
- $\psi \geq 0.1 \text{ s}^{-1}$  para suelos con > 50% de granos mas pequeños 0,075 mm

La capacidad de descarga del geotextil puede ser también importante.

15



## Criterio de Filtro Christopher and Holtz (1985)

### Criterio Contra la Colmatación


Condiciones Menos Críticas/Menos Severas:

- Para  $C_u > 3 \Rightarrow O_{95} \geq 3D_{15}$
- Para  $C_u \leq 3 \Rightarrow$  Seleccione el geotextil con mayor valor de  $O_{95}$  que cumpla con los criterios para la retención

Calificadores opcionales cuando la colmatación es posible (por ejemplo, suelos inestables internamente, suelos limosos)

- Para no tejidos  $\Rightarrow$  porosidad del geotextil ( $n$ )  $\geq 50\%$
- Para tejidos de monofilamentos y tejidos em cintas  $\Rightarrow POA \geq 4\%$  donde POA = porcentaje de área abierta del geotextil

16



## Criterio de Filtro Christopher and Holtz (1985)

Criterio Contra la Colmatación (Cont.)


Condiciones Severas/Críticas:

Seleccionar el geotéxtil que cumple los criterios de retención y de permeabilidad. Después ejecutar ensayos de filtración usando las pruebas de suelo y las condiciones hidráulicas que ocurren en el trabajo.

- Ensayo de Relación entre Gradientes (GR Test): Para arenas y suelos limosos ( $k_s \geq 10^{-7}$  m/s)
- Ensayo de Relación entre Conductividad Hidráulicas (HCR Test): para suelos con  $k_s < 10^{-7}$  m/s

Ensayos de filtración de larga duración por lo general se requieren.

17



## Criterio de Filtro Criterio para la Supervivencia

Physical Requirements<sup>1,2</sup> for Drainage Geotextiles  
(Modified from AASHTO, 1990 and 1996) Holtz et al. (1997)

Property	Drainage <sup>3</sup>		Test Method
	High Survivability <sup>4</sup> (Class 2) <sup>5</sup>	Moderate Survivability <sup>4</sup> (Class 3) <sup>5</sup>	
Grab Strength (N)	700	500	ASTM D 4632
Elongation (%)	n/a	n/a	ASTM D 4632
Seam Strength <sup>6</sup> (N)	630	450	ASTM D 4630
Puncture Strength (N)	250	180	ASTM D 4833
Trapezoidal Tear (N)	250	180	ASTM D 4833
Burst Strength (kN/m <sup>2</sup> )	1300	950	ASTM D 3765
Ultraviolet Degradation	50% strength retained at 500 hrs	50% strength retained at 500 hrs	ASTM D 4355

**NOTES:**

1. Acceptance of geotextile material shall be based on ASTM D 4759.
2. Contracting agency may require a letter from the supplier certifying that its geotextile meets specification requirements. Note: Woven slit film geotextiles should not be allowed.
3. Minimum, use value in weaker principal direction. All numerical values represent minimum average roll value (i.e., test results from any sampled roll in a lot shall meet or exceed the minimum values in this table). Stated values are for less critical/less severe applications. Lot samples according to ASTM D 4354.
4. High-survivability drainage applications for geotextiles are where installation stresses are more severe than moderate applications, i.e., very coarse, sharp, angular aggregate is used, a heavy degree of compaction (>95% AASHTO T99) is specified, or depth of trench is greater than 3 m.
5. Moderate-survivability drainage applications are those where geotextiles are used with smooth-graded surfaces having no sharp, angular projections, no sharp, angular aggregate is used, compaction requirements are light (<95% AASHTO T99), and trenches are less than 3 m in depth.
6. Values apply to both field and manufactured seams.
7. AASHTO (1996) classification.

18



## Filtros Geotextiles

### Naturaleza Crítica o de Gravedad de la Aplicación

Guía para la evaluación de la naturaleza y gravedad aplicaciones críticas en Drenaje y Control de Erosión (Carroll, 1983)

A. Naturaleza Crítica del Proyecto		
Item	Crítica	Menos Crítica
1. Riesgo de pérdida de vidas y/o daño estructural debido a lo fracaso del drenaje	Alto	No
2. Costos de reparación frente a los costos de la instalación del drenaje	>>>	= or <
3. Evidencia de la obstrucción del drenaje antes de potencial fracaso catastrófico	No	Si
B. Gravedad		
Item	Grave	No Grave
1. Suelo a ser drenado:	Suelos discontinuos, sujeto a piping o dispersivos	Suelos bien graduados o uniformes
2. Gradiente hidráulico:	Alto	Bajo
3. Condiciones de flujo:	Dinámico, cíclico o pulsos	Flujo constante

19

## Situaciones Complejas

### Colmatación Biológica

Probabilidad de que ocurra en entornos con actividades biológicas

Lixiviados





Dreno granular colmatado em laboratorio (Rowe *et al.* 2000)



Muestra de drenaje exhumado de un sistema de recolección de lixiviados después de 4 años de servicio (Fleming *et al.* 1999)

20

## Situaciones Complejas Colmatación Biológica

Remigio (2006)  
21

## Situaciones Complejas Colmatación Biológica

Palmeira et al. (2007)

**GTA (100 g/m<sup>2</sup>)**

Time (days)	Biomass formed (mg/L)	Permeability coefficient, k (cm/s)
0	100	10000
10	100	1000
20	100	1000
30	100	1000
40	100	1000
50	100	1000
60	100	1000
70	100	1000
80	100	1000
90	100	1000

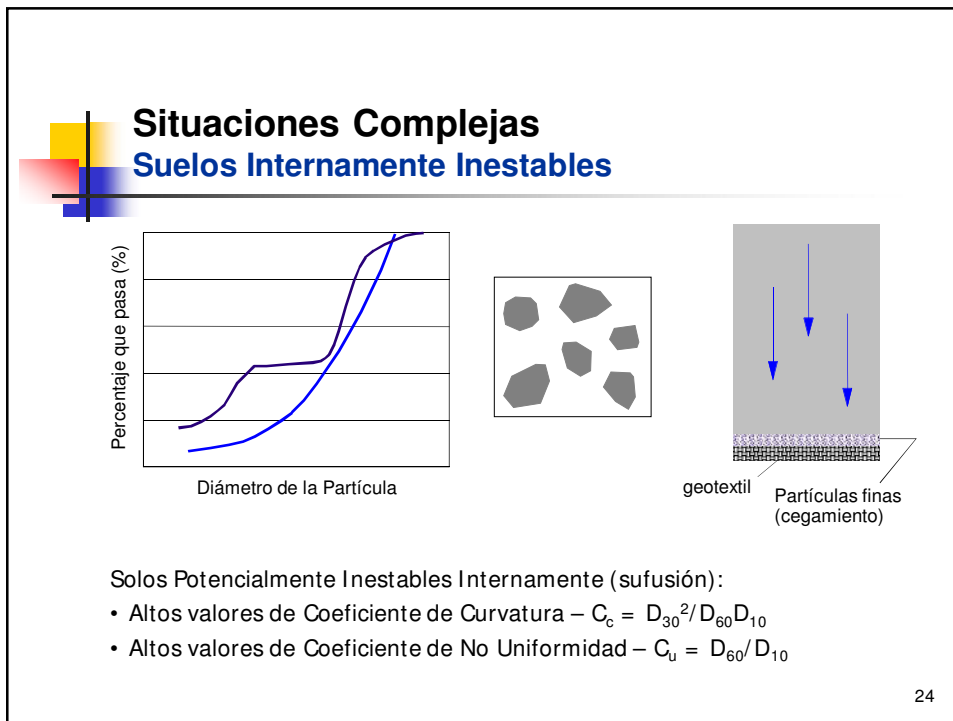
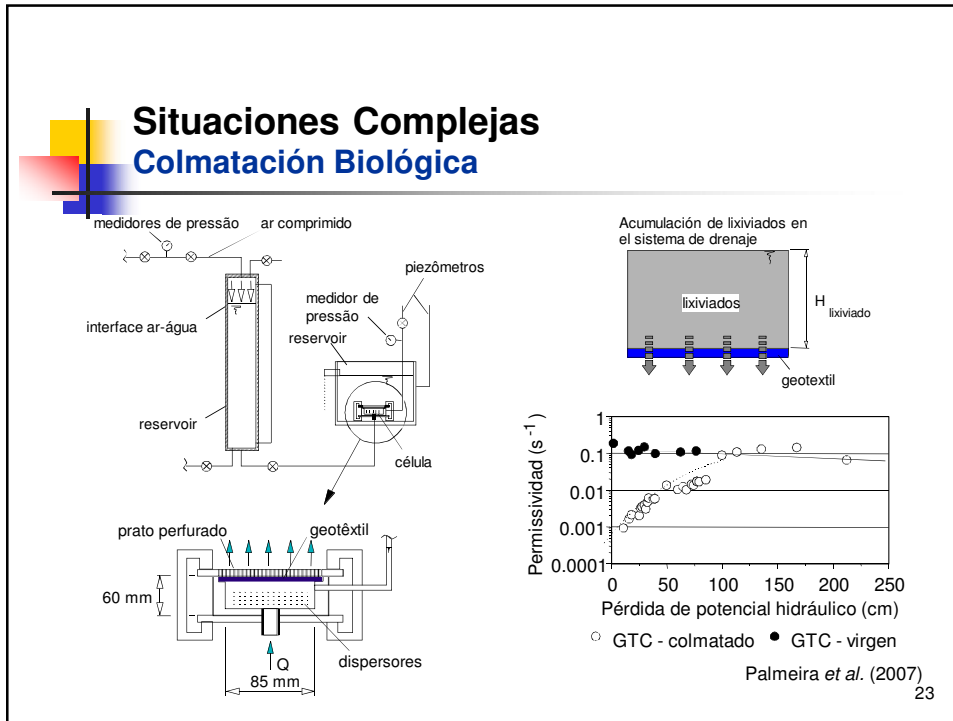
**GTB (300 g/m<sup>2</sup>)**

Time (days)	Biomass formed (mg/L)	Permeability coefficient, k (cm/s)
0	100	10000
10	100	1000
20	100	1000
30	100	1000
40	100	1000
50	100	1000
60	100	1000
70	100	1000
80	100	1000
90	100	1000

GTA – Después de 45 días

GTA – Después de 90 días

22



## Situaciones Complejas

### Suelos Internamente Inestables

Kenney & Lau (1985):

Un suelo es internamente inestable si su fracción más fina (30%) no satisface la condición  $W_{4D} > 2.3 W_D$ , donde  $W_{4D}$  e  $W_D$  son los porcentajes (en peso) de partículas más pequeñas que 4D e D, respectivamente.

Bhatia & Huang (1995):

El suelo es internamente inestable si  $C_c > 7$ .

25

## Filtros Geotextiles

### Escenarios que Podrían Causar Problemas



Impregnación del geotextil...

26

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas






Vehículo que pasa sobre el geotextil

27

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas



28

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Piedras sobre el geotextil - Material inadecuado para terraplén




The first photograph on the left shows a yellow excavator working on a steep, rocky slope. A white geotextile filter is visible at the base of the slope. The second photograph on the right is a close-up view of a white geotextile filter with several large, dark rocks resting on top of it, illustrating the problem of using inappropriate material for the embankment.

29

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Daños causados por las prácticas constructivas inadecuadas



The top-left photograph shows a heavy machinery tire on a white geotextile filter. The top-right photograph shows a white geotextile filter being pulled or damaged by a chain-link fence. The bottom-left photograph is a close-up of a white geotextile filter with significant brown staining and physical damage. The bottom-right photograph shows a white geotextile filter with a large, irregular hole and significant staining, likely caused by heavy machinery or improper construction practices.

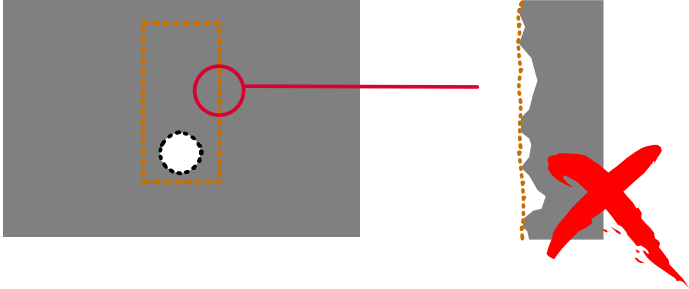
30



### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Evitar vacíos entre el suelo y el filtro geotextil

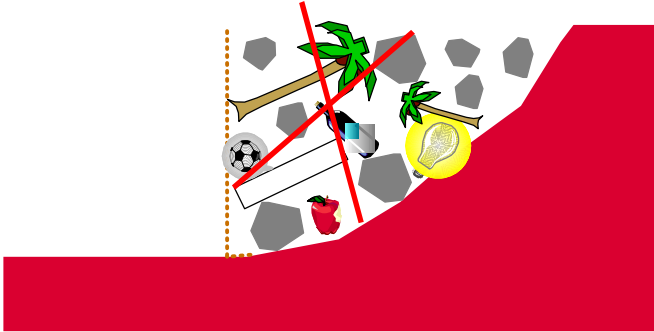


31

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Seleccione materiales adecuados de terraplén



32

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Instale el filtro de geotextil correctamente

Erróneo

33

### Filtros Geotextiles

#### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Suelo fino

grava

geotextil

tubo perforado


Filtro de geotextil fuera de lugar - debe haber sido instalado entre el suelo y la grava.

34

## Filtros Geotextiles

### Escenarios que Podrían Causar Problemas

Diferentes geotextiles utilizados para el mismo suelo ...

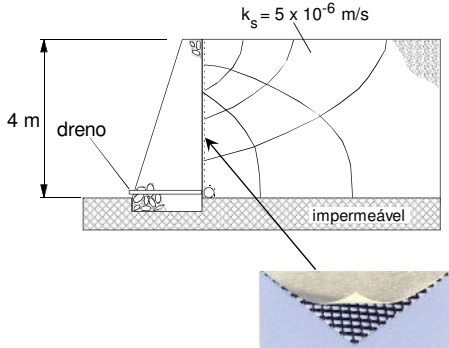


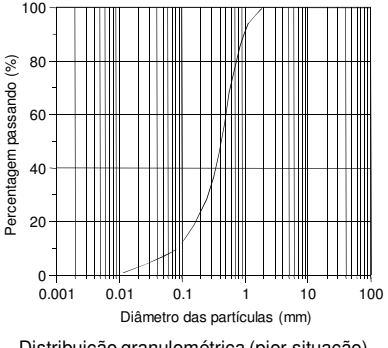
35

## Filtros Geotextiles

### Ejemplo

Especificar el filtro del geotextil del geocompuesto para drenaje para ser utilizado en el muro de arrimo del dibujo abajo, según la metodología de Christopher & Holtz (1985).





36

## Filtros Geotextiles

### Ejemplo

Dados granulométricos relevantes:

$$D_{85} = 0,81\text{mm}$$

$$D_{60} = 0,48\text{mm}$$

$$D_{10} = 0,081\text{mm}$$

$$D_{30} = 0,24\text{mm}$$

$$C_u = D_{60}/D_{10} = 0,48/0,081 = 5,93$$

$$D_{15} = 0,12\text{mm}$$

$$C_c = D_{30}^2/D_{60}D_{10} = 6,1$$

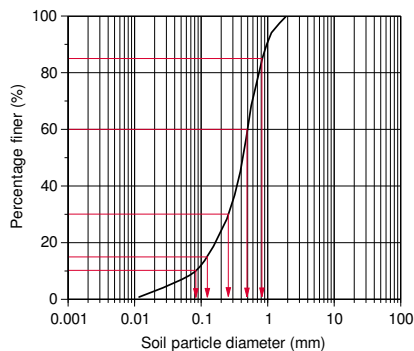
#### Critério de Retenção

Less than 50% < 0,075mm

$$4 < C_u < 8$$

$$\Rightarrow B = 8/C_u = 8/5,93 \Rightarrow B = 1,35$$

$$O_{95} \leq B D_{85} = 1,35 \times 0,81 \Rightarrow O_{95} \leq 1,09\text{mm}$$



37

## Filtros Geotextiles

### Ejemplo

#### Critério de Permeabilidade

Estrutura de contenção  $\Rightarrow$  Condições Críticas/Severas

$$k_G \geq 10k_s = 10 \times k_s = 10 \times 5 \times 10^{-6}$$

$$k_G \geq 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

#### Critério de Permissividade

Menos de 15% menor que 0,075mm  $\Rightarrow \psi \geq 0,5 \text{ s}^{-1}$

O coeficiente de permeabilidade e a permissividade do geotêxtil acima devem atender aos critérios acima sob as condições de tensões a que o geotêxtil estará submetido na estrutura (tensões são maiores junto à base do muro).

38



## Filtros Geotextiles

### Ejemplo

---

#### Critério contra a Colmatação

Para condições críticas/severas  $\Rightarrow$  realizar ensaios de filtração

Como  $k_s \geq 10^{-7}$  m/s  $\Rightarrow$  Ensaio de Razão entre Gradientes  
(Recomendação da ASTM:  $GR \leq 3$ )

39



## Filtros Geotextiles

### Ejemplo

---

#### Especificação para Drenagem

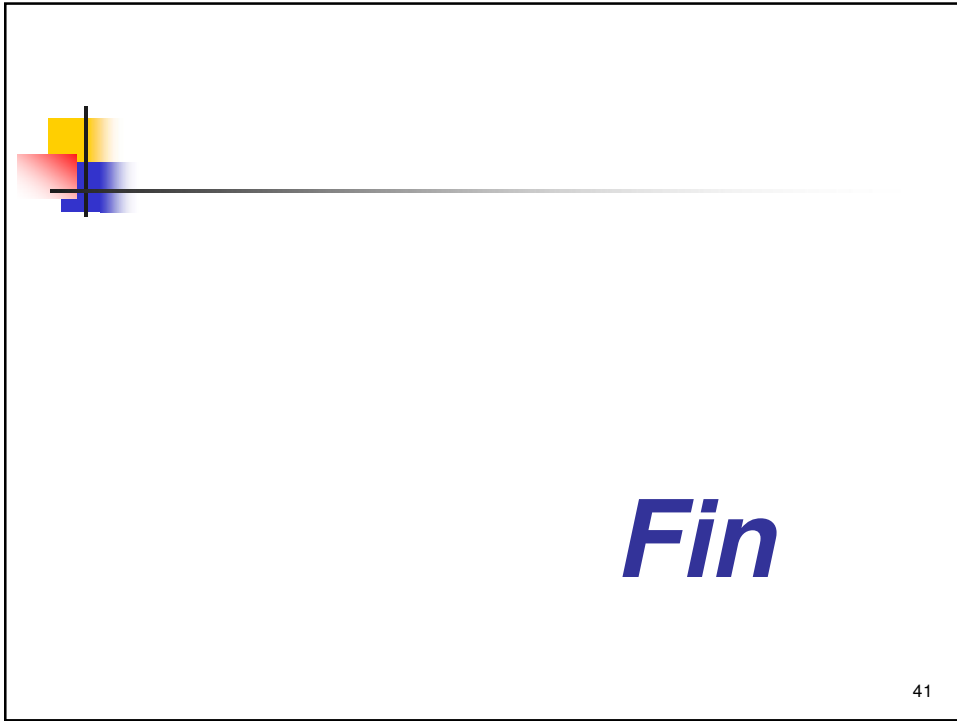
Notar que o exercício de especificação do geocomposto para drenagem para o muro em questão exigiu que:

Para as condições de tensões sobre o geocomposto:

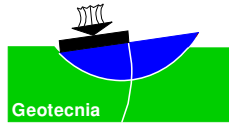
$$k_{adm} \geq 1,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \quad (\text{para o filtro geotêxtil do geocomposto})$$

$$q_{dc-\text{allow}} \geq 2,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m} \quad (\text{para o geocomposto})$$

40







Universidade de Brasília  
Programa de Pós-Graduação em Geotecnia

# Refuerzo de Base: Carreteras No Pavimentadas y Plataformas de Servicio

Ennio Marques Palmeira  
Eng. Civil, MSc., PhD.  
Universidade de Brasília

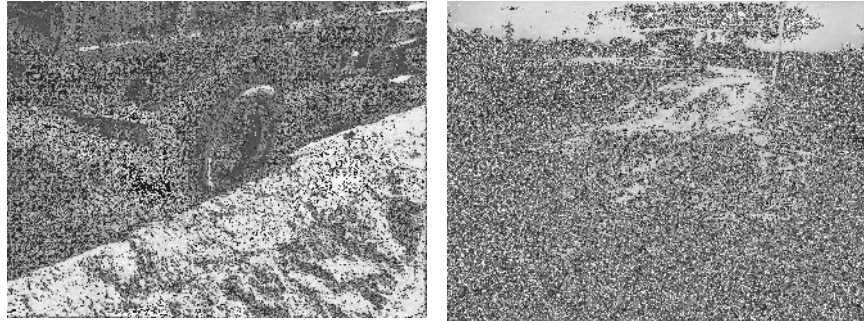
Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## Carreteras (Caminos) No Pavimentadas Problemas con Suelos Blandos



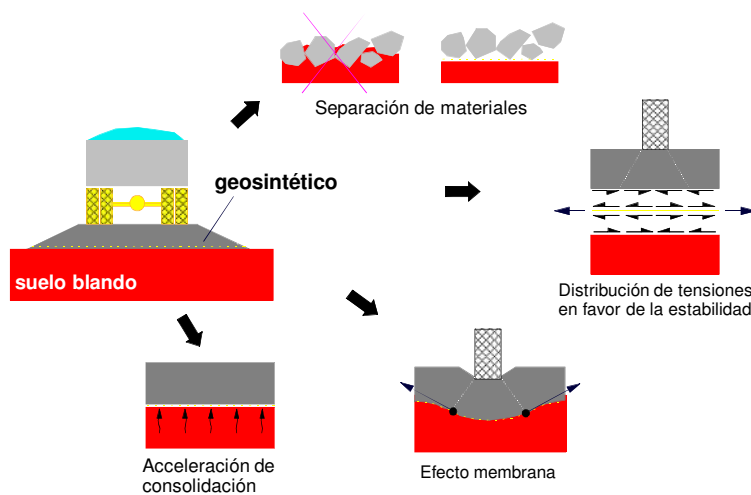
Cortesía J.P. Gourc

## Carreteras (Caminos) No Pavimentadas



## Carreteras No Pavimentadas

### Beneficios de la Presencia de Geosintético



## Carreteras No Pavimentadas

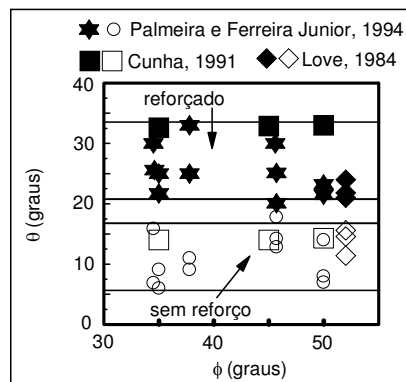
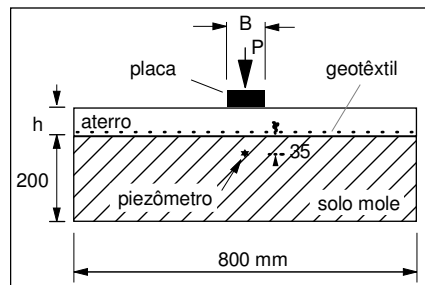
### Benefícios de la Presencia de Geosintetico

- Provê uma fronteira rugosa entre o aterro e a fundação  $\Rightarrow$  aumento na capacidade de carga do conjunto;
- Diminui as deformações superficiais da via e da fundação;
- Se em forma de manta (geotêxtil)  $\Rightarrow$  separação entre os materiais,  $\Rightarrow$  minimiza a impregnação do aterro pelos finos do solo de fundação;
- Reforço drenante  $\Rightarrow$  aceleração de recalques por adensamento e ganho de resistência;
- Aumenta a vida útil da estrada e aumenta o período entre manutenções necessárias;
- Permite a construção da via com maior rapidez;
- Facilita o posterior trabalho de pavimentação e minimizando futuras manutenções no pavimento.

## Carreteras No Pavimentadas

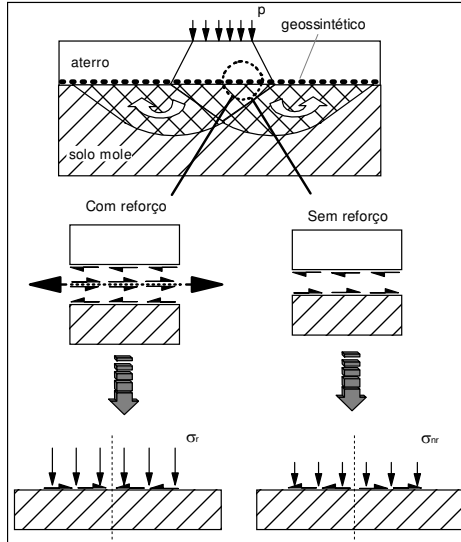
### Distribución de Tensiones en el Terraplen ( )

Palmeira & Ferreira Junior (1994)



# Carreteras No Pavimentadas

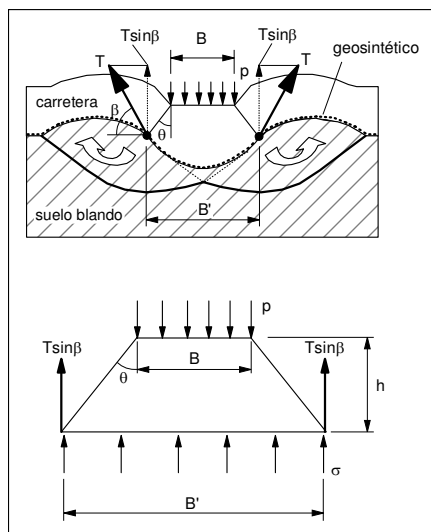
## Mecanismos de Interacción



$$\sigma_r > \sigma_{nr}$$

# Carreteras No Pavimentadas

## Efecto Membrana



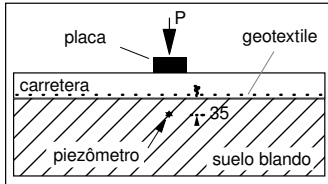
$$pB = \sigma B' + 2T \sin \beta \Rightarrow p = \frac{B'}{B} \sigma + \frac{2T \sin \beta}{B}$$

$$B' = B + 2h \tan \theta \text{ e } T = f(\epsilon, J)$$

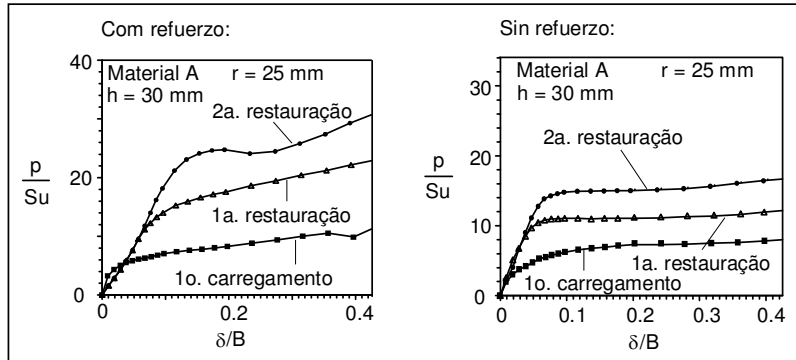
onde  $\epsilon$  e  $J$  = deformação e rigidez à tração do reforço, respectivamente.

# Carreteras No Pavimentadas

## Influencia en el Mantenimiento Superficial

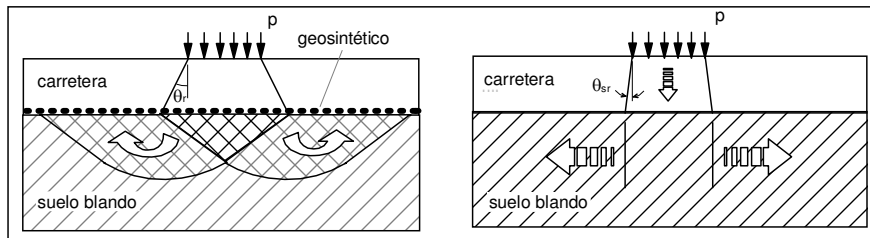


Ferreira Junior (1995)



# Carreteras No Pavimentadas

## Mecanismos de Ruptura

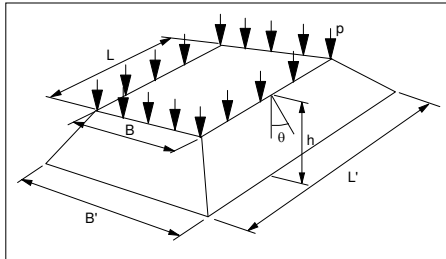


Con refuerzo

Sin refuerzo

## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Giroud & Noiray (1981)



$$pBL = \sigma B'L'$$

$$B' = B + 2h \tan \theta \quad L' = L + 2h \tan \theta$$

Camiones Normales:

$$B = \sqrt{\frac{P}{p_c}} \quad L = \frac{B}{1.41}$$

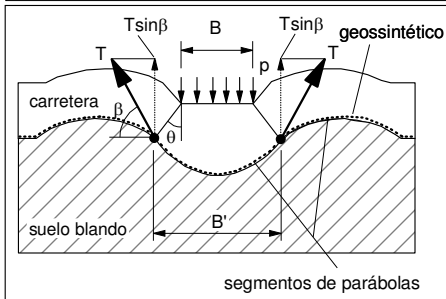
Camiones Fuera de Carretera (pesados):

$$B = \sqrt{\frac{P\sqrt{2}}{p_c}} \quad L = \frac{B}{2}$$

Donde P = carga del eje y  $p_c$  = presión en neumáticos.

Capacidad de carga del suelo de fundación:

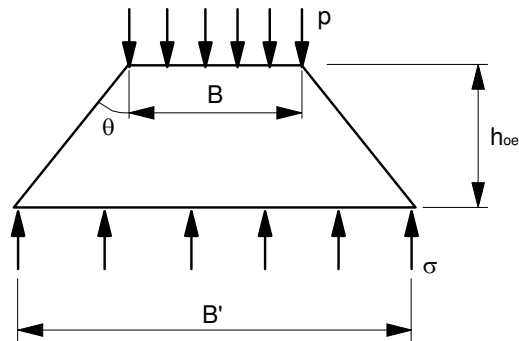
$$\sigma = N_c S_u + \gamma h$$



## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Giroud & Noiray (1981)

#### Sin Refuerzo – Situación Estática

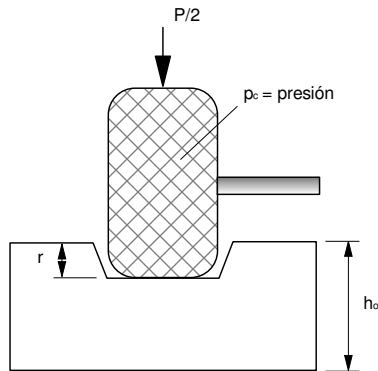


$$pBL = \sigma B'L' = \pi S_u B'L' \Rightarrow p = \frac{\pi(B + 2h_{oe} \tan \theta)(L + 2h_{oe} \tan \theta)}{BL} S_u \Rightarrow h_{oe}$$

## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Giroud & Noiray (1981)

#### Sin Refuerzo - Influencia de Tráfico



Webster & Alford (1978):

$$h_o = \frac{0.19 \log(N)}{CBR^{0.63}}$$

$h_o$  = altura de la carretera para un asentamiento  $r = 75$  mm na superficie  
Carga por eje = 80 kN

Giroud & Noiray (1981):

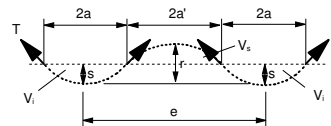
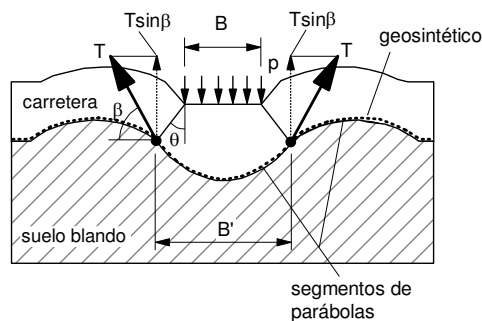
$$S_u \cong 30 CBR \quad (\text{CBR em \%}, S_u \text{ em kPa})$$

$$h_o = \frac{1.6193 \log(N) + 6.3964 \log(P) - 3.7892r - 11.8887}{CBR^{0.63}}$$

## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Giroud & Noiray (1981)

#### Con Refuerzo – Situación Estática



Terraplen:  $CBR \geq 80\%$   
 $\theta = \tan^{-1}(0.6) \cong 31^\circ$

$$\sigma = \frac{pBL}{B'L} = \frac{pBL}{(B + 2h_{re} \tan \theta)(L + 2h_{re} \tan \theta)} = (\pi + 2)S_u + \gamma h_{re} + \frac{J\varepsilon}{a \sqrt{1 + \left(\frac{a}{2s}\right)^2}}$$

$\Rightarrow$  Solución iterativa para  $h_{re}$



## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Giroud & Noiray (1981)

#### Con Refuerzo – Influencia de Tráfico

Reducción de la altura de terraplén en el caso estático debido  
Presencia del refuerzo :

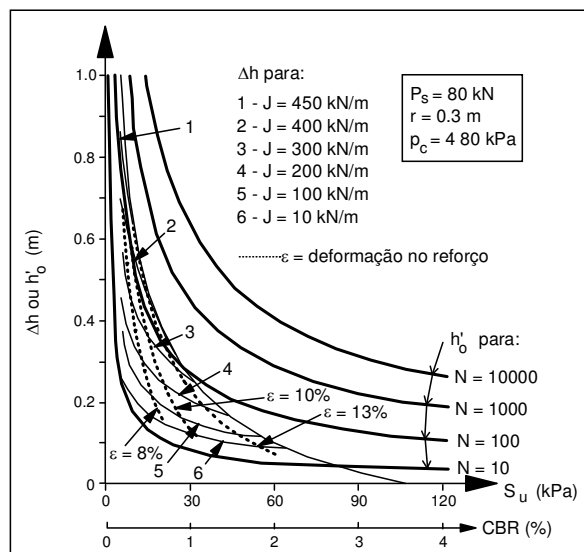
$$\Delta h = h_{oe} - h_{re}$$

Admitiendo la misma reducción para el caso reforzado en la  
situación con tráfico :

$$\Delta h = h_o - h_r \Rightarrow h_r = h_o - \Delta h$$

## Carreteras No Pavimentadas

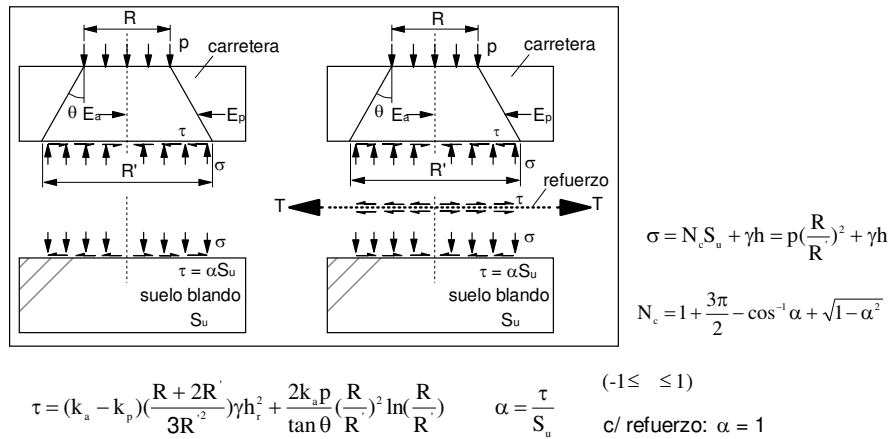
### Método de Giroud & Noiray (1981)



## Carreteras No Pavimentadas

### Método de Housby & Jewell (1994)

- No tiene en cuenta el efecto membrana
- Refuerzo con elevada rigidez a tracción



## Estradas No Pavimentadas

### Método de Housby & Jewell (1994)

#### Efecto de Tráfico

De Groot (1986):  $P_s = P_N N^{0.16}$

Jewell (1996):  $\frac{(p/S_u)_N}{(p/S_u)_s} = \left(\frac{5}{N}\right)^{\text{exp}}$

s/refuerzo:  $\text{exp} = 0.3$

c/refuerzo:  $\text{exp} = 0.16$

Donde  $(p/S_s)$  Es la presión normalizada en la superficie que se aplica estáticamente provocaría el mismo daño que la presión  $(p/S_N)$  aplicada N veces.

Lo valor  $p/S_s$  es utilizado en los calculos.

## Carreteras No Pavimentadas

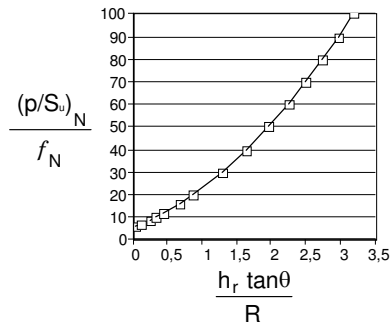
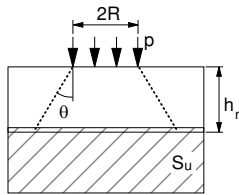
### Método de Houslby & Jewell (1994)

#### Cálculos

- Caso de sin refuerzo: resolución iterativa de las ecuaciones anteriores..
- Caso reforzado:

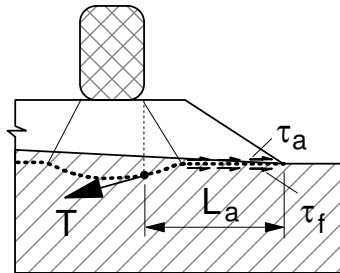
$$\frac{h_r}{R} = \frac{1}{\tan\theta} \left( \sqrt{\frac{(p/S_u)_N}{5.69 f_N}} - 1 \right)$$

$$f_N = \left( \frac{5}{N} \right)^{\text{exp}}$$



## Carreteras No Pavimentadas

### Anclaje del Refuerzo



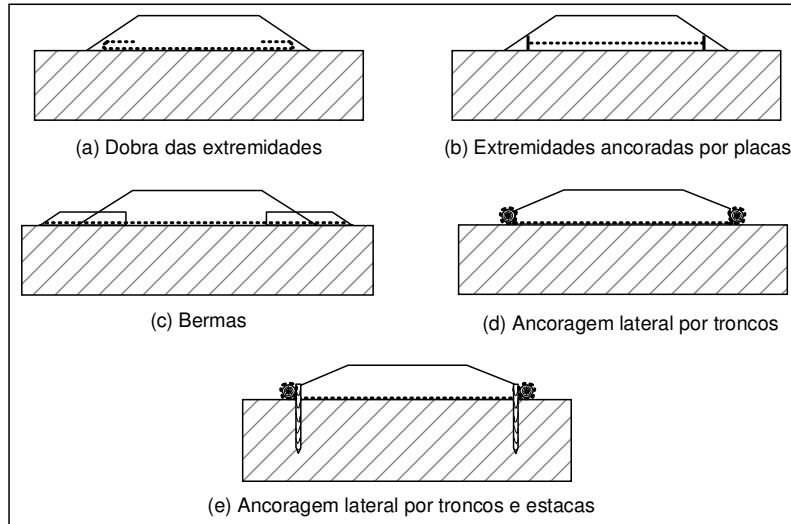
$$\tau_f = \alpha S_u \quad 0 < \alpha \leq 1$$

$$\tau_a = \frac{W_a}{L_a} \tan \delta$$

$$T \approx (\tau_a + \tau_f) L_a / FS \Rightarrow L_a = \frac{FS T}{(\tau_a + \tau_f)}$$

## Carreteras No Pavimentadas

### Formas de Aumentar el Anclaje del Refuerzo

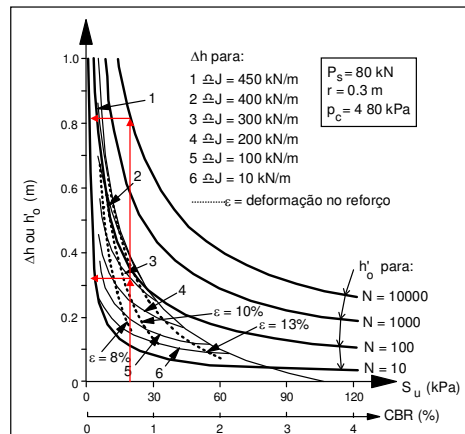


## Estradas No Pavimentadas

### Ejemplo de Cálculo - Método de Giroud & Noiray (1981)

Dimensionar uma estrada não-pavimentada para uma rodeira de 0,3 m após 10000 passagens de veículo com carga por eixo (simples) de 80 kN e pressão de calibragem de 480 kPa. Solo de fundação com  $S_u = 20$  kPa.

Aterro competente.



**Resolução:**

Adotando-se um reforço com  $J = 300$  kN/m (Curva No. 3).

• Caso sem reforço:  $h_0 = 0,81$  m

• Com reforço:  $\Delta h = 0,32$  m

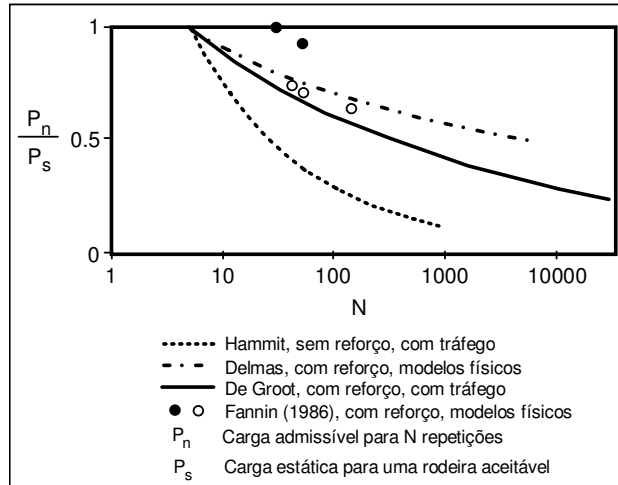
$h_r = 0,81 - 0,32 \Rightarrow h_r = 0,49$  m

Deformação prevista no reforço:

$\varepsilon = 11,5$  %

## Carreteras No Pavimentadas

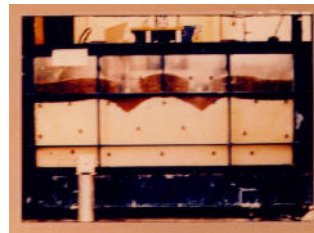
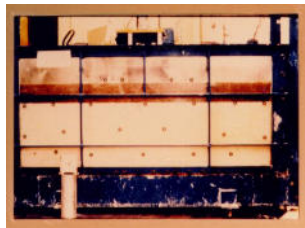
### Efecto de Tráfico – Carregamento Dinámico



## Carreteras No Pavimentadas

### Ensayos de Modelos (Fannin, 1987)

Sin Refuerzo - N = 32



Con Refuerzo - N = 105



## Carreteras No Pavimentadas

Investigaciones en el IPR/DNER - Palmeira (1981)

◆ Seção S1



● Seção S2



● Seção S6



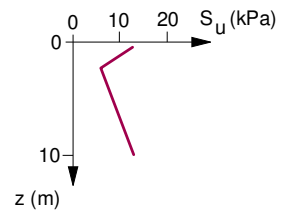
× Seção S4



■ Seção S5



Arcila Blanda



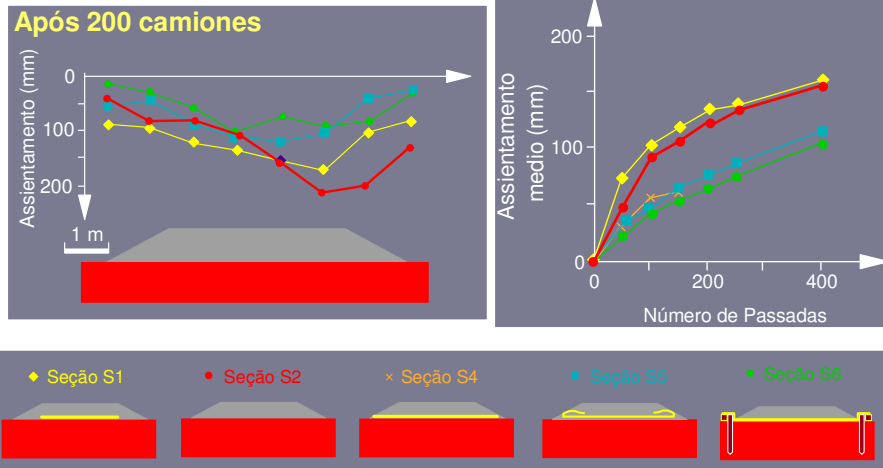
## Carreteras No Pavimentadas

Investigaciones en el IPR/DNER - Palmeira (1981)



## Carreteras No Pavimentadas

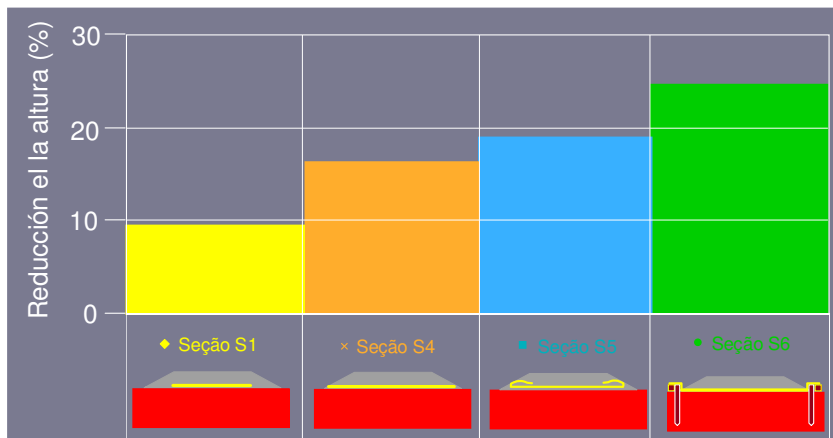
Investigaciones en el IPR/DNER - Palmeira (1981)



## Carreteras No Pavimentadas

Investigaciones en el IPR/DNER - Palmeira (1981)

### Reducción en la Altura de la Carretera

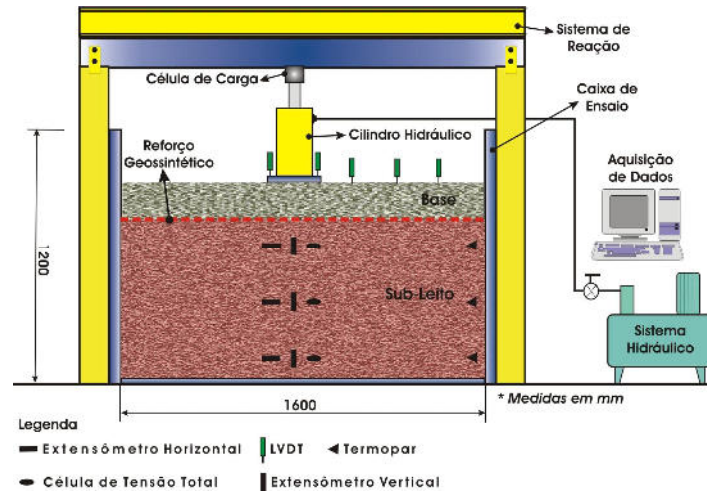


- Suelo del terraplen con 66% passando na # 200



# Carreteras No Pavimentadas

Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)



Antunes (2008)

# Carreteras No Pavimentadas

Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)



# Carreteras No Pavimentadas

Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)

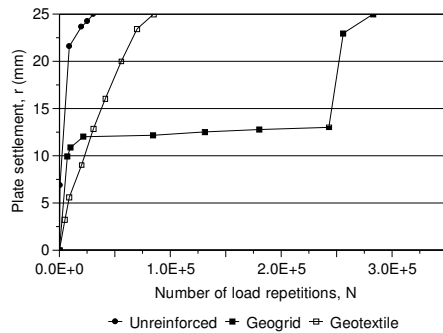
Geosintéticos Usados



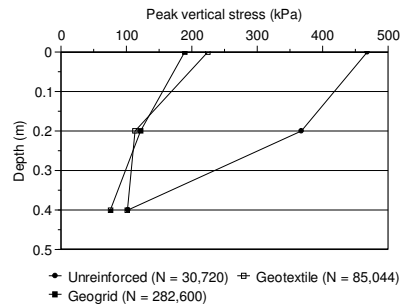
# Carreteras No Pavimentadas

Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)

Algunos Resultados Obtidos



Afundamento superficial vs. No. de repetições de carga



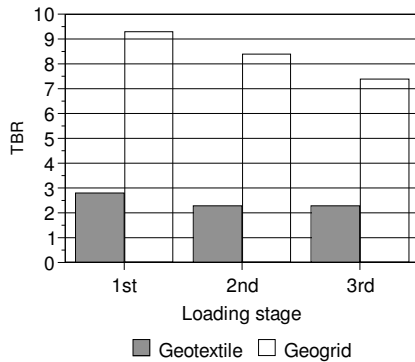
Tensões totais vs. profundidade ao final dos ensaios

Palmeira & Antunes (2010)

# Carreteras No Pavimentadas

## Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)

Traffic Benefit Ratio (TBR) para cada estágio de carga



Traffic Benefit Ratio (TBR):

$$TBR = N_r / N_u$$

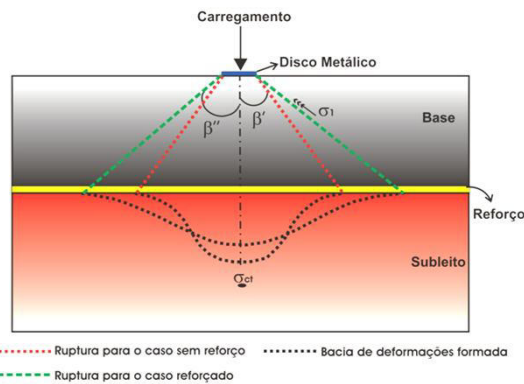
$N_r$  e  $N_u$  são os números de repetições de carga para um afundamento pré-estabelecido na superfície para os casos com reforço e sem reforço, respectivamente.

Palmeira & Antunes (2010)

# Carreteras No Pavimentadas

## Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)

Distribución de Tensiones en la Carretera



Ensaio	Ângulo de Espraiamento (°)
Sin Refuerzo	25,2
Geogrelha	47,6
Geotextile	42,5

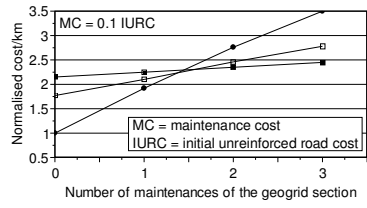
Mejor distribución de tensiones en la carretera con refuerzo.

Antunes (2008)

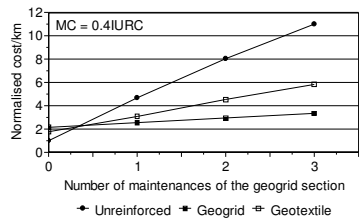
# Carreteras No Pavimentadas

## Ensayos a Gran Dimensiones (Antunes 2008, UnB)

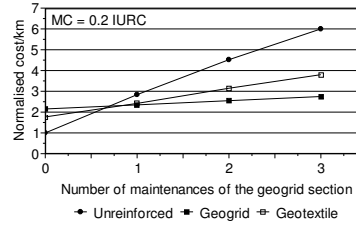
### Comparación de los Costos



Custo de manutenção = 10% do custo inicial da estrada sem reforço



Custo de manutenção = 40% do custo inicial da estrada sem reforço



Custo de manutenção = 20% do custo inicial da estrada sem reforço

Palmeira & Antunes (2010)

**Fin**



UnB



Geotecnia  
Programa de Pós-Graduação  
em Geotecnia - UnB

# Terraplenes Reforzados con Geosintéticos sobre Suelos Blandos

Prof. Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Rupturas



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

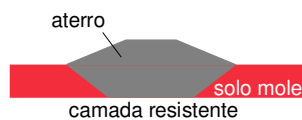
### Rupturas



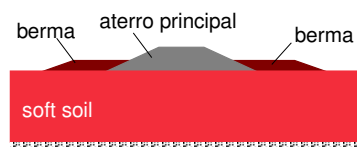
## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Soluciones Convencionales

Remoción del suelo blando



Bermas de equilibrio



### Comentarios/Lecciones

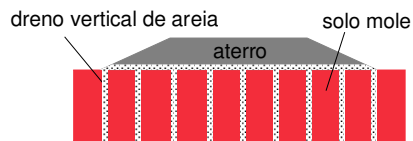
- Económica y práctica para pequeños espesores de suelo blando (< ~ 4 m)
- Mayor consumo de terraplén
- Problemas ambientales asociados con desecho del suelo blando y consumo de suelo de terraplén

- Aumento significativo de consumo de terraplén
- Mayor tiempo de construcción
- Problemas ambientales asociados a consumo de terraplén
- Mayor ocupación de espacio
- Raramente utilizadas hoy en día

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Soluciones Convencionales

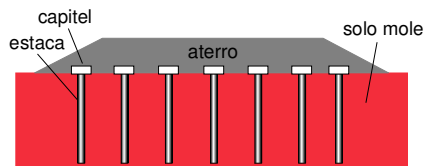
#### Drenes verticales de arena



#### Comentarios/Lecciones

- Tiempo (ejecución de los drenes y tiempo de consolidación del suelo blando)
- Problemas ambientales asociados a lo uso de arena
- Actualmente, prácticamente abandonados debido a las ventajas de los drenes sintéticos

#### Pilotes

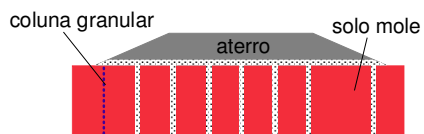


- Alto costo
- Instalación rápida
- Generalmente utilizadas cuando los asentamientos deben ser pequeños
- Se puede utilizar capa de geosintético en el relleno para optimizar el diseño de los pilotes e mejorar el rendimiento

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

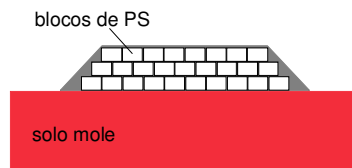
### Otras Soluciones

#### Columnas granulares (convencionales o con camisa de geosintético)



Columna de arena encamisada por geotextil para minimizar embargue de la columna

#### Terraplenes leves (Suelos leves o blocos de EPS)



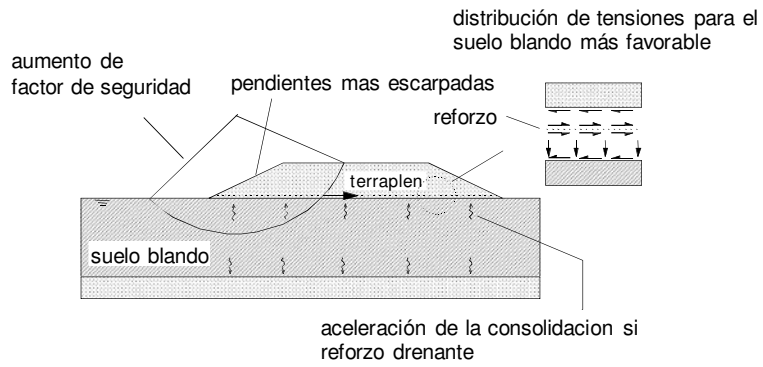
- Elevado costo
- Instalación muy rápida e facil de los blocos de EPS

Otras soluciones: tratamientos químicos, térmico, eléctrico (electrosmosis), etc.



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Terraplenes Reforzados



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Terraplenes Reforzados



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Terraplenes Reforzados

Refuerzo Geosintético – Viaducto de Acceso a Águas Claras, DF, Brasil



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Terraplenes Reforzados



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

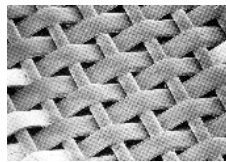
### Terraplenes Reforzados



## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Terraplenes Reforzados

#### Tipos Comunes de Refuerzos



Geotéxtil Tejido



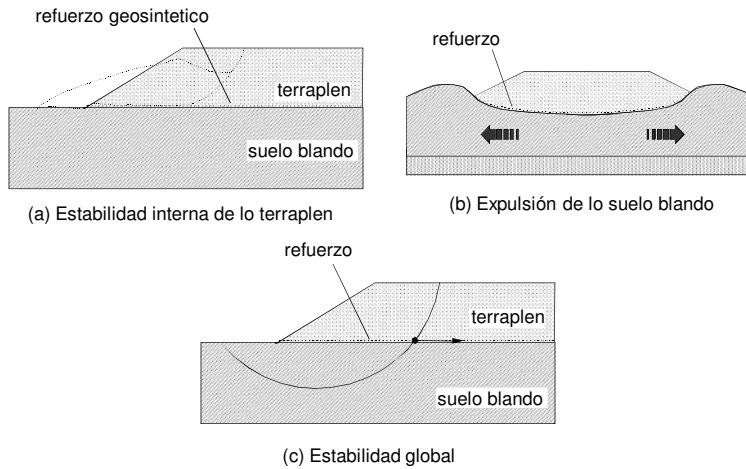
Geotéxtil No Tejido



Geomallas

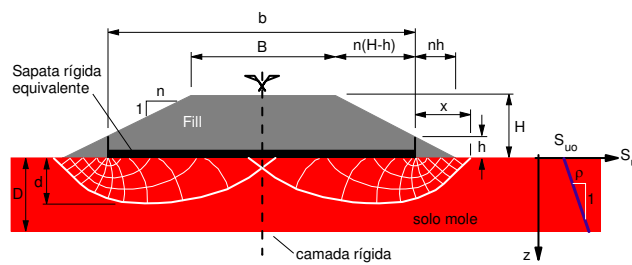
# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Mecanismos de Inestabilidad



# Terraplenes Sobre Suelos Blandos

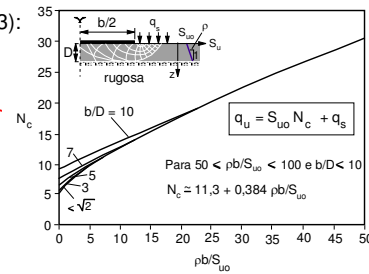
## Altura Máxima Posible del terraplén reforzado



Terraplén reforzado ideal (Rowe & Mylleville, 1993):

Capacidad portante del suelo blando:  $q_u = S_{uo} N_c + q_s$

$q_s$  e  $b = f(h, d) \Rightarrow$  (iterativamente)  $\Rightarrow H_{max}$

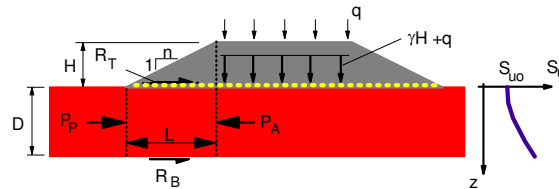


## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Altura Máxima Posible del terraplén reforzado

Enfoque Simplificado para Análisis Preliminares (Expulsión de lo Suelo Blando):

Expulsión de lo suelo blando:



Factor de seguridad contra la expulsión del suelo blando:

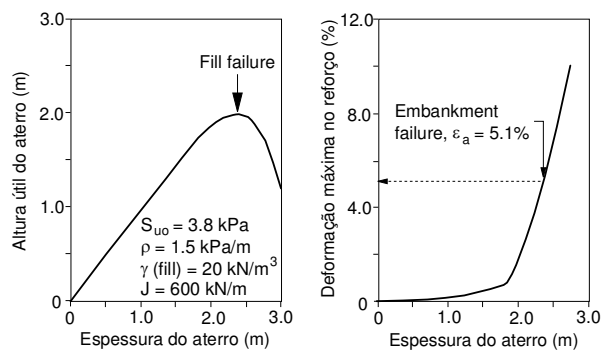
$$F_e = \frac{P_p + R_B + R_T}{P_a}$$

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Deformación de Compatibilidad del Refuerzo

Rowe & Soderman (1984) e Hinchberger & Rowe (2003):

Los suelos y el refuerzo rompen a diferentes deformaciones  $\Rightarrow$  En la ruptura del terraplén la fuerza en el refuerzo puede ser menor que  $T_{ult}$  (resistencia a la tracción).



Hinchberger & Rowe (2003)

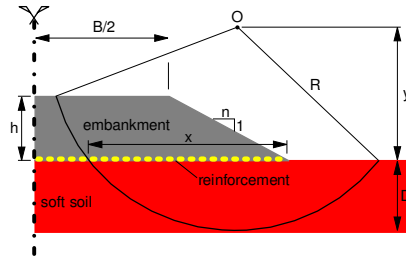
Altura útil del terraplén = altura remanente del terraplén sobre la superficie del terreno.

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Deformación de Compatibilidad del Refuerzo

Rowe & Soderman (1985) realizaron análisis por elementos finitos para determinar la deformación de compatibilidad del refuerzo para las condiciones siguientes ( $S_u$  constante con la profundidad):

Dimensiones geométricas admitidas	Rango de valores analizados
D (m)	3 a 15
B (m)	10 a 30
n	2 e 4
D/B	0,11 a 0,73
Propiedades del terraplén en las análisis por elementos finitos	
c' (kPa)	0
$\phi'$ (graus)	32°
v'	0,35
E' (kPa)	$= 10000 \frac{0,5}{3} \sigma_3$ , com $\sigma_3$ em kPa
Propiedades del suelo blando en las análisis elementos finitos	
Faixa de valores analizados	
$S_u$ (kPa)	3,85 a 15
$\phi_u$ (kPa)	0
$v_u$	0,48
$K_u$	0,5
$G_u$	2,7
$e_u$	2,5 a 12,9
$\gamma$	11 a 14,6
$E_u$	500 a 5000
Propriedade del refuerzo	
Faixa de valores analizados	
J (kN/m)	0 a 2000

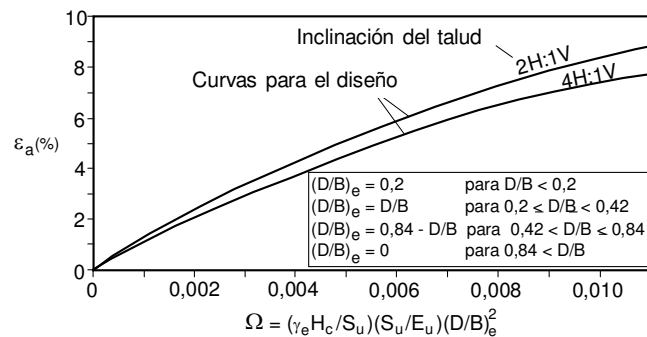


Hinchberger & Rowe (2003) se presentan soluciones para suelo blando con  $S_u$  aumentando linealmente con la profundidad.

## Terraplenes Sobre Suelos Blandos

### Deformación de Compatibilidad del Refuerzo

Rowe & Soderman (1985):



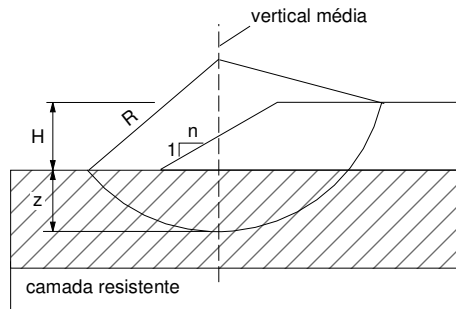
Donde:  $\Omega$  = factor adimensional,  $\gamma_e$  = peso específico del terraplén,  $H_c$  = altura crítica para el terraplén sin refuerzo,  $S_u$  = resistencia no drenada del suelo blando,  $E_u$  = módulo de Young del suelo blando,  $D$  = espesor del suelo blando,  $B$  = ancho de la plataforma del terraplén

Por lo tanto, T se utilizará en el método de equilibrio de límite =  $J \cdot \epsilon_a$  (Para una relación carga-deformación lineal del refuerzo).

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Sin Refuerzo

#### Método de Low (1989)



Factor de seguridad mínimo para todos los círculos tangentes a la horizontal a la profundidad z

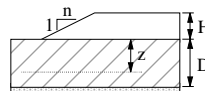
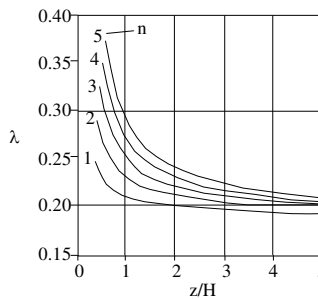
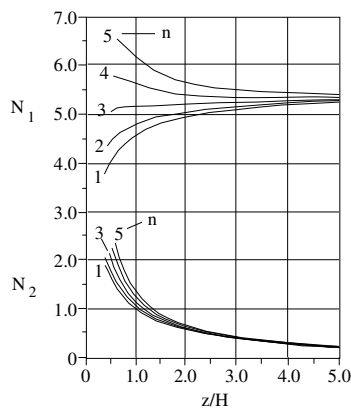
$$F_o = N_1 \frac{S_{ueq}}{\gamma H} + N_2 \left( \frac{c}{\gamma H} + \lambda \tan \phi \right)$$

Donde:  $\gamma$ ,  $c$  e  $\phi$  = peso específico, la cohesión y ángulo de fricción del material de terraplén,  $S_{ueq}$  = resistencia no drenada equivalente del suelo de fundación a la profundidad  $z$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  y  $\lambda$  son números de estabilidad obtenidos de gráficos.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Sin Refuerzo

#### Método de Low (1989) – Números de Estabilidad



$$F_o = N_1 \frac{S_{ueq}}{\gamma H} + N_2 \left( \frac{c}{\gamma H} + \lambda \tan \phi \right)$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Sin Refuerzo

#### Método de Low (1989)

Radio de lo círculo crítico tangente a la horizontal en la profundidad z:

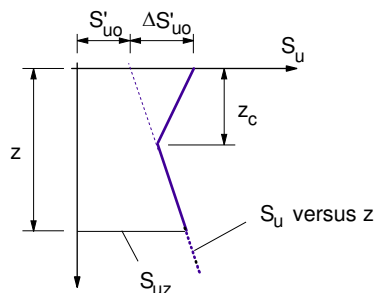
$$R_o = \left[ 0,1303 \frac{n^2 + 1}{\left(\frac{z}{H} + 0,5\right)} + 1,5638 \left(\frac{z}{H} + 0,5\right) \right] H \geq z + H$$

El cálculo del factor de seguridad debe hacerse para varias profundidades para determinar el mínimo global (*minimum minimorum*).

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Sin Refuerzo

#### Método de Low (1989) – Determinación de la Resistencia No-Drenada Equivalente a la Profundidad z



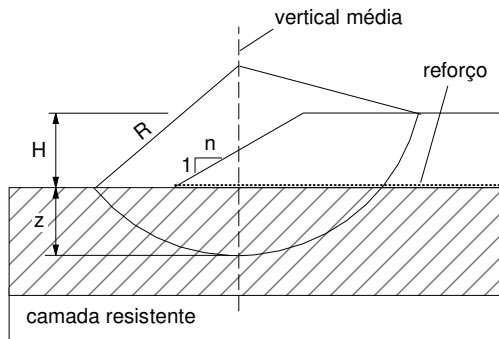
$$\text{Para } z \leq z_c : S_{ueq} = 0.35(S'_{u0} + \Delta S'_{u0}) + 0.65S_{uz}$$

$$\text{Para } z > z_c : S_{ueq} = 0.35S'_{u0} + 0.65S_{uz} + 0.35\left(\frac{z_c}{z}\right)^{1.1} \Delta S'_{u0}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Con Refuerzo

Método de Low et al. (1990)



Fuerza de tracción requerida en el refuerzo para aumentar lo factor de seguridad de  $F_0$  para  $F_r$  para círculos tangentes a la profundidad  $z$ :

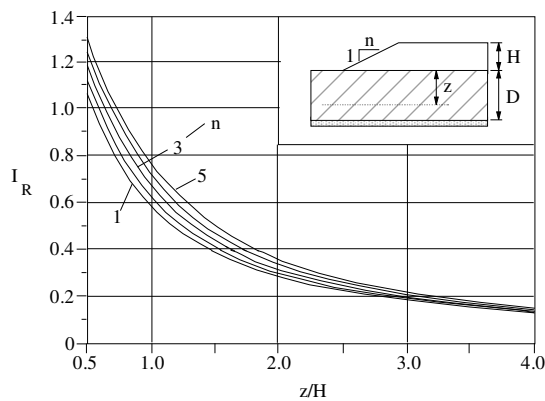
$$T = \left(1 - \frac{F_0}{F_r}\right) \frac{\gamma H^2}{I_R}$$

Onde:  $F_0$  = factor de seguridad mínimo para el caso si refuerzo para círculos tangentes a la profundidad  $z$ ,  $F_r$  = factor de seguridad alor establecido para el caso con refuerzo,  $I_R$  = obtenido de gráfico.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Con Refuerzo

Método de Low et al. (1990)



$$T = \left(1 - \frac{F_0}{F_r}\right) \frac{\gamma H^2}{I_R}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura Circular – Con Refuerzo

Método de Low et al. (1990)

Radio de lo círculo crítico tangente a la horizontal en la profundidad z:

$$R_r = \frac{3,128(a - \frac{z}{H} \frac{T}{\gamma H^2})}{(\frac{z}{H} + 0,5 - \frac{T}{\gamma H^2})} \quad H \geq z + H$$

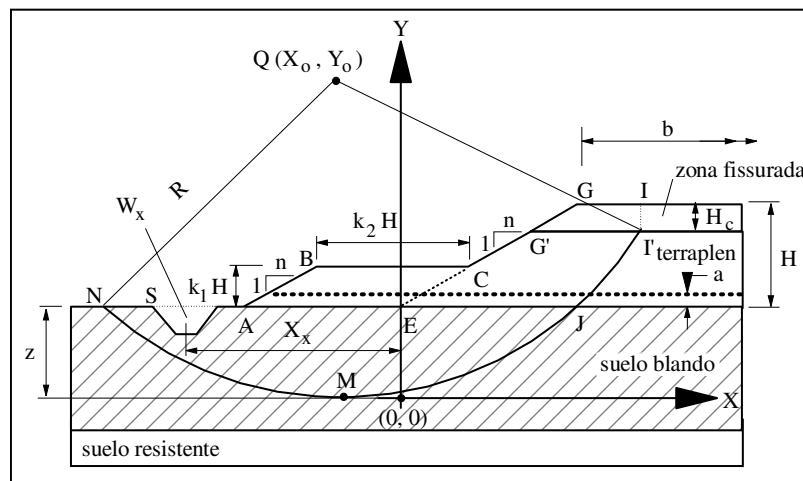
con

$$a = \frac{1}{2} \left( \frac{z}{H} + 0,5 \right)^2 + \frac{(n^2 + 1)}{24}$$

El cálculo del valor de T debe hacerse para varias profundidades para determinar su valor máximo.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Método de Kaniraj (1994) – Sin Refuerzo



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Método de Kaniraj (1994) – Sin Refuerzo

Coordenadas de lo centro de lo círculo crítico para la profundidad z:

$$\frac{X_o}{H} = \frac{n}{2} - k_1 k_2 + \frac{W_X}{\gamma H^2}$$

$$\frac{Y_o}{H} = 1.564 \alpha_1$$

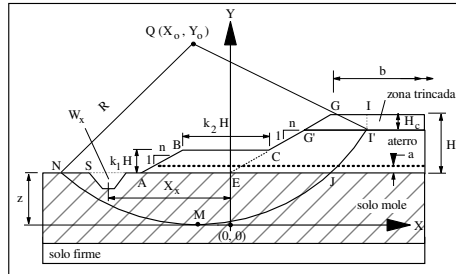
con:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1'}{\frac{z}{H} + \beta - \frac{\beta^2}{2}}$$

$$\alpha_1' = \beta^2 \left( 1 - \frac{2}{3} \beta - \frac{z}{H} \right) + 2\beta \frac{z}{H} + \left( \frac{z}{H} \right)^2 + \frac{n^2}{12} + \mu - \frac{W_X}{\gamma H^2} \left[ \frac{W_X}{\gamma H^2} + n + 2 \left( \frac{X_X}{H} - k_1 k_2 \right) \right]$$

$$\mu = k_1 k_2 (n + k_2) (1 - k_1) \quad (\text{Factor de Berma})$$

$$\beta = 1 - \frac{H_c}{H}$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Método de Kaniraj (1994) – Sin Refuerzo

Factor de seguridad mínimo para La profundidad de tangencia e z – Caso sin refuerzo:

$$F_o = S_f N_1' + S_e N_2'$$

con

$$S_f = \frac{S_u}{\gamma H}$$

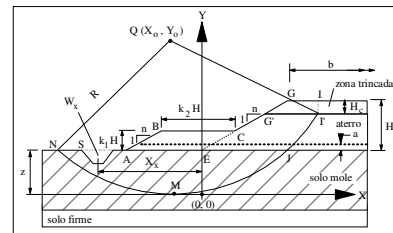
$$S_e = \frac{c}{\gamma H} + \lambda \tan \phi$$

$$\lambda = 0.19 + \frac{0.02n}{z/H}, \text{ para } z/H \geq 0.5$$

$$N_1' = 5.55 \alpha_1'^{0.47} \frac{\left( \frac{z}{H} \right)^{0.53}}{\frac{z}{H} + \beta - \frac{\beta^2}{2}}$$

$$N_2' = m N_1'$$

$$m = 0.5 \left[ \left( 1 + \frac{\beta}{z/H} \right)^{0.53} - 1 \right]$$



**Repetir el cálculo para varios valores de z → F<sub>o</sub> mínimo *minimorum***

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Método de Kaniraj (1994) – Con Refuerzo

Coordenadas del centro del círculo crítico tangente a la profundidad  $z$  (fuerza en el refuerzo horizontal):

$$\frac{X_o}{H} = \frac{n}{2} - k_1 k_2 + \frac{W_X}{\gamma H^2}$$

$$\left(\frac{Y_o}{H}\right)^{1.47} - 3.128 \left(\frac{z+a}{H}\right) \left(\frac{Y_o}{H}\right)^{0.47} - 2.128 \left(\frac{F_2}{F_1}\right) = 0$$

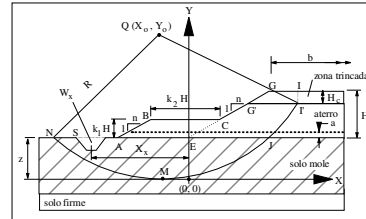
con

$$F_1 = A_1 S_f + B_1 S_e \quad F_2 = F_2' - F_r \frac{z+a}{H} \left(\frac{z}{H} + \beta - \frac{\beta^2}{2}\right)$$

$$A_1 = 3.06 \left(\frac{z}{H}\right)^{0.53}$$

$$B_1 = 1.53 \left[ \left(\frac{z}{H} + \beta\right)^{0.53} - \left(\frac{z}{H}\right)^{0.53} \right]$$

$$F_2' = F_r \left[ \frac{1}{2} \left(\frac{z}{H}\right)^2 + \frac{\beta^2}{2} - \frac{\beta^3}{3} + \frac{n^2}{24} + \beta \frac{z}{H} - \frac{\beta^2}{2} \frac{z}{H} + \frac{\mu}{2} - \frac{W_X}{\gamma H^2} \left( \frac{X_X}{H} + \frac{n}{2} - k_1 k_2 + \frac{1}{2} \frac{W_X}{\gamma H^2} \right) \right]$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Método de Kaniraj (1994) – Con Refuerzo

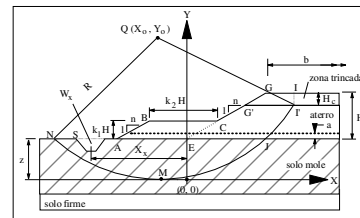
Fuerza requerida en lo reforço (solução para força horizontal):

$$T = \frac{\alpha_2}{L_a/H} \gamma H^2$$

con:

$$\alpha_2 = F_r \left( \frac{z}{H} + \beta - \frac{\beta^2}{2} \right) \frac{Y_o}{H} - F_2' - F_1 \left( \frac{Y_o}{H} \right)^{1.47}$$

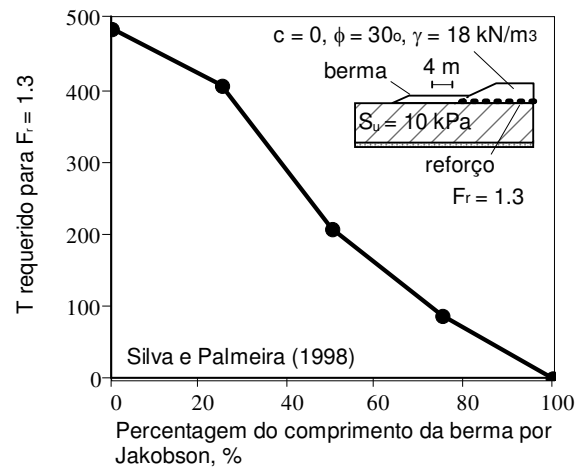
$$\frac{L_a}{H} = \frac{Y_o}{H} - \frac{z+a}{H}$$



**Calcule el valor de T para varias profundidades  $z$  para obtener el valor de T máximo.**

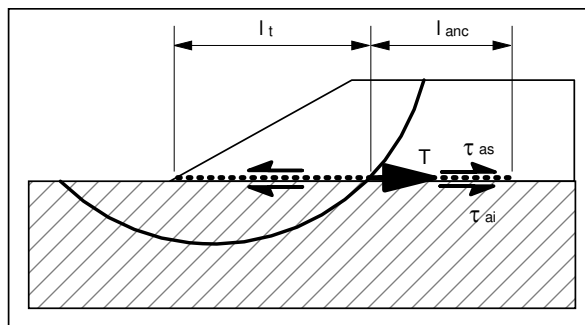
## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Influencia de la Berma (Silva e Palmeira, 1998)



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Anclaje de lo Refuerzo



$$l_{anc} = \frac{F_{anc} T}{(\tau_{as} + \tau_{ai})}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Requisitos para lo Refuerzo

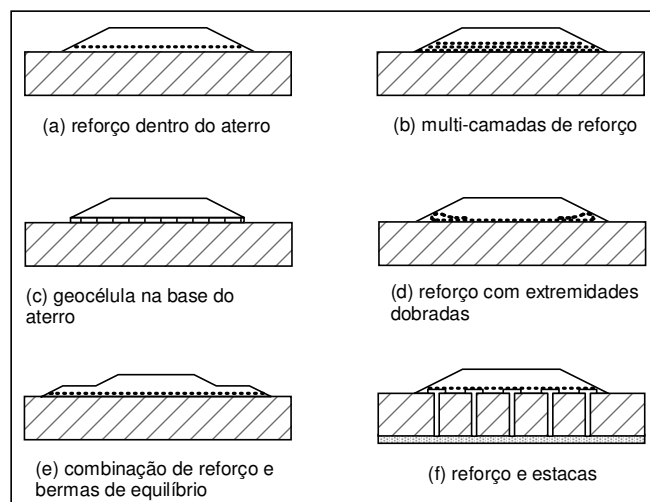
#### Selección de lo Refuerzo Geosintético

##### Aspectos Importantes

- Resistencia a la tracción
- Rigidez a la tracción
- Adhesión entre el suelo y refuerzo
- Características de fluencia
- Resistencia a los esfuerzos de instalación
- Durabilidad

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Formas de Instalación de lo Refuerzo

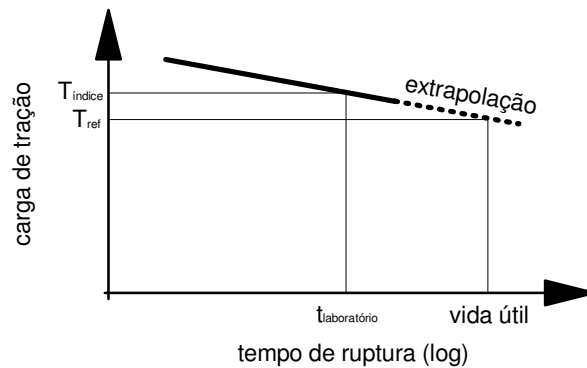




## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Selección de lo Refuerzo

Resultados de Ensayos de Fluencia em Refuerzos Poliméricos



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Selección de lo Refuerzo

Resistencia de Diseño del Refuerzo:

$$T_d = \frac{T_{ref}}{f} \geq T \quad T_d \geq T \text{ (requerido)}$$

Onde  $T_{ref}$  = resistencia de referencia de lo refuerzo para el tiempo igual a la vida de la obra o el tiempo durante el cual es necesario y  $f$  = factor de reducción global.

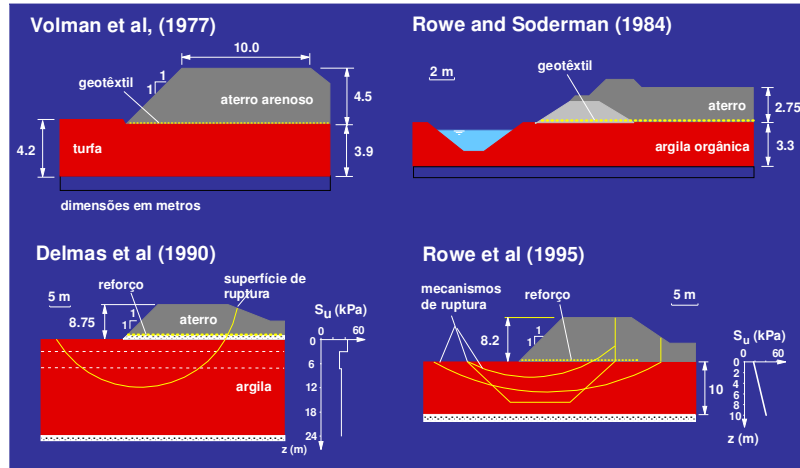
$$f = f_m f_{dm} f_{amb}$$

Onde:  $f_m$  = factor de reducción para incertidumbres de lo material de refuerzo,  $f_{dm}$  = factor de reducción para daños mecánicos y  $f_{amb}$  = factor de reducción para agresividad del ambiente.

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Exactitud de los Métodos de Análisis

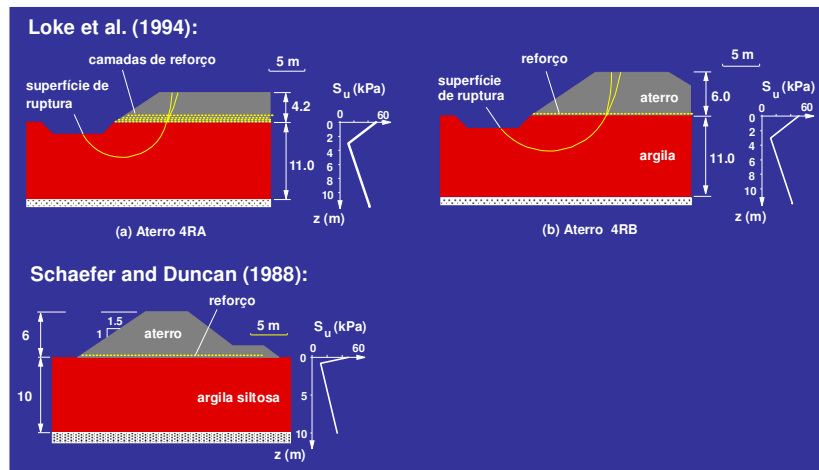
Ejemplos de casos en la literatura (Palmeira *et al.*, 1998)



# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Exactitud de los Métodos de Análisis

Ejemplos de casos en la literatura (Palmeira *et al.*, 1998)



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Exactitud de los Métodos de Análisis

Comparaciones entre los factores de seguridad predichos a la rotura de los terraplenes reforzados con geosintéticos (Palmeira et al., 1998)

Caso Histórico	MBF(1)	MBM(1)	USACE	Jewell (1996)
1(2)	1.012	0.979	0.959	0.93
2	0.810	0.870	0.911	0.99
3	0.977	0.982	0.970	0.97
4 (4RA)	1.181/1.116(3)	1.159	1.179	1.68
4 (4RB)	1.051/1.085(3)	1.059	1.056	1.26
5	1.045	1.036	0.941	0.98
6 (6RA)	1.037	1.035	0.970	1.01
6 (6RB)	-----	-----	-----	1.11

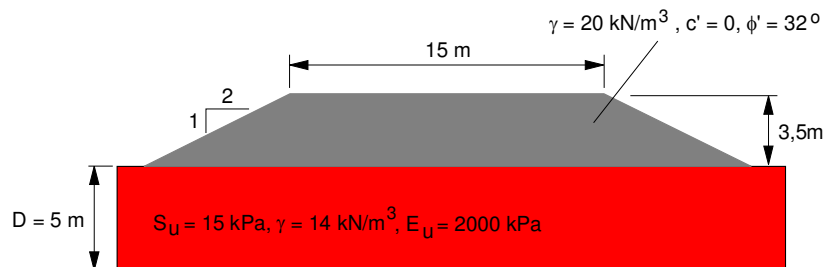
Notas:

- (1) MBM y MBF son los factores de seguridad por el método de Bishop modificado obtenidos por la descomposición de la fuerza en el refuerzo en la base de la dovela y momentos de la fuerza en el refuerzo en relación con el centro del círculo, respectivamente;
- (2) El terraplén reforzado no rompió a la altura final;
- (3) Con y sin consideración de grietas de tracción en la superficie del terraplén, respectivamente.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

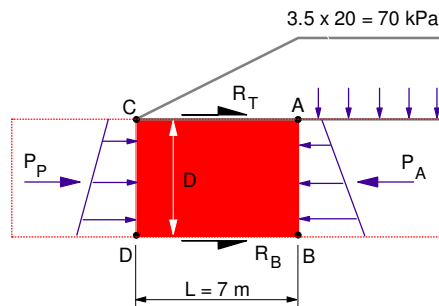
Prédimensionar el terraplén sobre suelo blando de forma esquemática en la figura siguiente, con el fin de tener un factor de seguridad de 1,4 para el caso reforzado. Admitiendo que el ángulo de fricción entre el relleno y geosintéticos es igual a  $32^\circ$  y  $F_a = 1,5$ .



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Verificación de la posibilidad de expulsión del suelo blando:



Utilizando la teoría de Rankine para los cálculos de los empuje activo y pasivo ( $P_A$  e  $P_P$ , respectivamente) y asumiendo la situación de carga no drenada y análisis a tensiones totales ( $\phi_{\text{total}}$  de suelo blando igual a cero), e de acuerdo con la figura, se tiene:

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Verificación de la posibilidad de expulsión del suelo blando:

Cálculo de  $P_A$ :

Tensión horizontal activa (condición  $\phi_{\text{total}} = 0$ ):

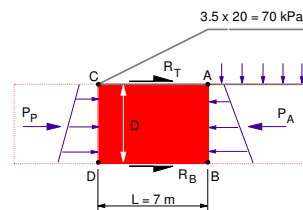
$$\sigma_h = \sigma_v - 2S_u$$

En el punto A:  $\sigma_{hA} = \sigma_v - 2S_u = 3,5 \times 20 - 2 \times 15 = 40 \text{ kPa}$

En el punto B:  $\sigma_{hB} = \sigma_v - 2S_u = 3,5 \times 20 + 5 \times 14 - 2 \times 15 = 110 \text{ kPa}$

$$\text{Así: } P_A = \frac{\sigma_{hA} + \sigma_{hB}}{2} \times D = \frac{40 + 110}{2} \times 5 = 375 \text{ kN/m}$$

donde  $D$  = espesor de suelo blando = 5 m.



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Verificación de la posibilidad de expulsión del suelo blando:

Cálculo de  $P_B$ :

Tensión horizontal pasiva (condición  $\phi_{total} = 0$ ):

$$\sigma_h = \sigma_v + 2S_u$$

En el punto C:  $\sigma_{hC} = 2S_u = 2 \times 15 = 30 \text{ kPa}$

En el punto D:  $\sigma_{hD} = \sigma_v + 2S_u = 5 \times 14 + 2 \times 15 = 100 \text{ kPa}$

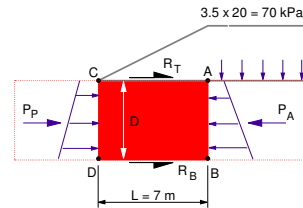
$$\text{Así: } P_P = \frac{\sigma_{hC} + \sigma_{hD}}{2} \times D = \frac{30 + 100}{2} \times 5 = 325 \text{ kN/m}$$

En ese caso se admiten las tensiones cizallantes resistentes al movimiento del bloque de suelo blando bajo el talud del terraplén y en su cima iguales a  $S_u$ :

$$R_T = R_B = LS_u = 7 \times 15 = 105 \text{ kN/m}$$

Entonces, el factor de seguridad contra la expulsión del suelo blando es

$$F_e = \frac{P_P + R_B + R_T}{P_A} = \frac{325 + 105 + 105}{375} = 1,43 \Rightarrow \text{OK} \rightarrow \text{El terraplén alcanza la altura de 3,5 m. Rowe \& Mylleville (1993) proporcionaría Una solución más exacta.}$$



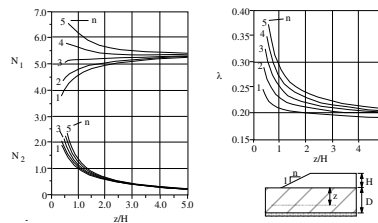
## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Análisis por el Método de Low et al. (1990).

Caso sin refuerzo:

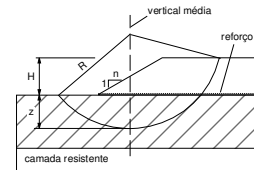
$$F_o = N_1 \frac{S_{ueq}}{\gamma H} + N_2 \left( \frac{c}{\gamma H} + \lambda \tan \phi \right)$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Los valores de  $N_1$ ,  $N_2$ , y  $I_R$  son obtenidos para varios valores de  $z/H$ . Para diferentes valores de profundidad de tangencia de los círculos ( $z$ ) uno puede construir la tabla de abajo:



$z$ (m)	$S_{ueq}$ (kPa)	$S_{ueq}/(H)$	$N_1$	$N_2$	$\lambda$	$F_o$	$I_R$	$T$ (kN/m)

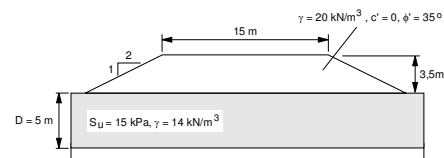
## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Radios de los Círculos Críticos:

Caso sin refuerzo:

$$R_o = \left[ 0,1303 \frac{n^2 + 1}{\left(\frac{z}{H} + 0,5\right)} + 1,5638 \left(\frac{z}{H} + 0,5\right) \right] H$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

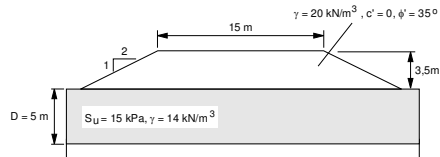
Raios de los Círculos Críticos

Caso reforzado:

$$a = \frac{1}{2} \left( \frac{z}{H} + 0,5 \right)^2 + \frac{(n^2 + 1)}{24}$$

$$a = \frac{1}{2} \left( \frac{5}{3,5} + 0,5 \right)^2 + \frac{(2^2 + 1)}{24} = 2,068$$

$$R_r = \frac{3,128 \left( a - \frac{z}{H} \frac{T}{\gamma H^2} \right)}{\left( \frac{z}{H} + 0,5 - \frac{T}{\gamma H^2} \right)} H$$

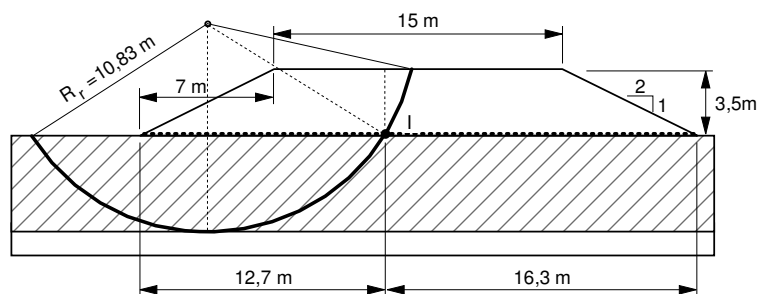


## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Posición de lo Círculo Crítico (con refuerzo):

El círculo crítico intersecta la superficie del terraplén dentro de su plataforma, lo que implica la validez del método de Low et al. (1990).





## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

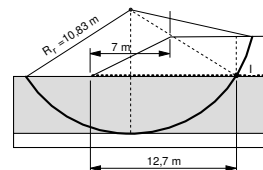
3. Resistência de referencia mínima de lo refuerzo ( $T_{ref}$ )

$$T_{ref} = T f_m f_{dm} f_{amb}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

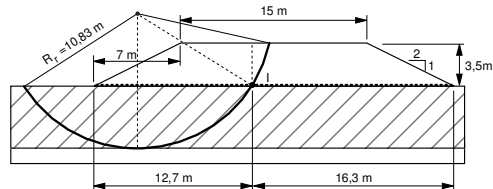
4. Verificación de las Condición de Anclaje de lo Refuerzo:



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

A la derecha del punto I – Longitud de anclaje disponible = 16,3 m



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ejemplo

Especificación del refuerzo

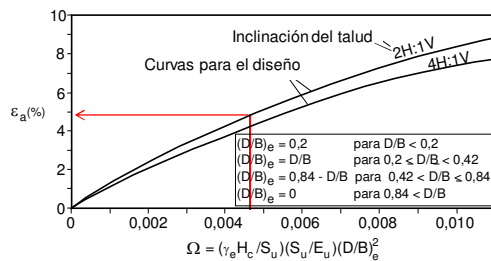
Utilizando Low (1989), por iteraciones, se obtiene  $H_c = 4.25$  m para el terraplén sin refuerzo ( $F_o = 1$ ).

Como este ejemplo satisface las condiciones de Rowe & Soderman (1985):

$$D/B = 5/15 = 0,33 \Rightarrow (D/B)_e = D/B = 0,33$$

Entonces:

$$\Omega = (\gamma_e H_c / S_u) \cdot (S_u / E_u) (D/B)_e^2 = (20 \times 4.25 / 15) (15 / 2000) \times 0.33^2 \Rightarrow \Omega = 0.0046$$



$$\Rightarrow \epsilon_a = 4,8\%$$

Así:

$$J = T/\epsilon_a = 89,2/0,048 = 1858 \text{ kN/m}$$

Entonces,  $J \geq 1858 \text{ kN/m}$  e  $\epsilon_{ult} \geq 4,8\%$

Nota: factores de reducción apropiados deben ser empleados para la elección del refuerzo a utilizar.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Especificación del Refuerzo

Factores importantes a considerar:

- Resistencia a la tracción
- Rigidez a la tracción
- Deformación a la tracción
- Adherencia con suelos en contacto
- Comportamiento a la fluencia
- Resistencia a daños en la instalación
- Durabilidad

Ensayos de tracción en banda ancha según la norma de ensayo. Utilizar factores de reducción apropiados en la determinación de la resistencia de diseño.

Ensayo de cizallamiento directo o el arranque, dependiendo del tipo de refuerzo.

Ensayos de fluencia, información del fabricante. Si no, utilice factor de reducción apropiado.

Utilizar el factor de reducción apropiado.

Comprobar la agresividad de los materiales en contacto con el refuerzo, información del fabricante, realización de ensayos y/o utilización de factores de reducción apropiados.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Prácticas Constructivas (Holtz et al. 1997)

#### Preparación del subleto:

- Los árboles y los tocones deben ser cortados a nivel del terreno..
- Las ramas o las cubiertas vegetales bajas (pasto o hierba, por ejemplo) no deben ser removidas si no son perjudiciales para el refuerzo.
- La ejecución de la plataforma de servicio para la instalación del refuerzo debe considerarse en lugares ondulados o si hay muchos tocones o árboles caídos.

#### Instalación del geosintético:

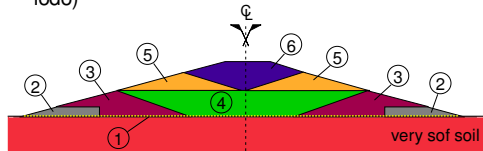
- El geosintético debe orientarse con la dirección de fabricación (más resistente) perpendicular al eje del terraplén (atentar para situaciones tridimensionales, como en el caso de encuentros de puentes, por ejemplo). Las enmiendas no deben permitirse paralelamente al eje del relleno.
- El geosintético debe ser desenrollado con cuidado a través del eje del terraplén.
- Los geotextiles se deben coser, cuando sea necesario, con todas las costuras hacia arriba y cada punto de costura debe ser inspeccionado. Las enmiendas de las geomallas deben realizarse con abrazadera, cables, etc. de forma eficiente.
- Quitar las arrugas y los pliegues (manualmente). Utilizar pesos (bolsas de arena, neumáticos, etc.) o pernos para evitar ascensos o desplazamientos causados por los vientos..
- El ingeniero responsable debe inspeccionar el geosintético para comprobar daños (agujeros, cortes, rasgaduras, etc.) antes de la ejecución del terraplén. Las reparaciones deben efectuarse antes de dicha ejecución.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

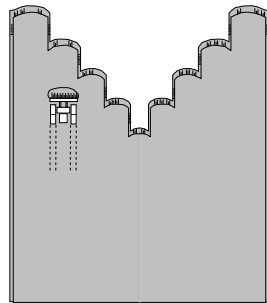
### Prácticas Constructivas (Holtz et al. 1997)

#### Secuencia constructiva:

Terraplenes sobre suelos extremadamente blandos (CBR <1, con formación de olas de lodo)



1. La instalación del geosintético en tiras continuas transversales, las solidarizan por costura.
2. Ejecución de vías de acceso.
3. Construcción de las secciones externas para anclar el geosintético.
4. Construcción de la sección interna para el alojamiento del geosintético.
5. Construcción de secciones interiores para tracción del geosintético.
6. Construcción de la sección interna final.



Holtz et al. (1997)

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Prácticas Constructivas (Holtz et al. 1997)

#### Secuencia constructiva:

Terraplenes sobre subletos moderados (CBR > 1, sin formación de olas de lodo)



Holtz et al. (1997)

## **Terraplenes sobre Suelos Blandos**

### **Prácticas Constructivas (Holtz et al. 1997)**

---

#### **Monitoreo:**

- Piezómetros para medición de poropresiones en el suelo blando de fundación.
- Placas o perfilómetro para medición de desplazamientos verticales a lo largo de la base del terraplén.
- Inclínómetros en los pies del relleno para monitoreo de desplazamientos laterales del suelo blando.

## **Terraplenes sobre Suelos Blandos**

### **Inspección (Holtz et al. 1997)**

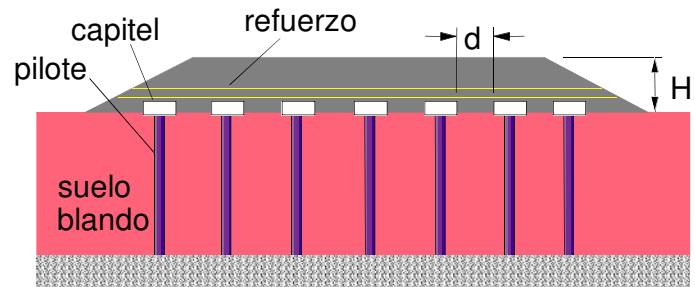
---

Personal especialmente entrenado debe observar todas las fases de la construcción y asegurarse de que:

- El material especificado fue entregado en la obra.
- El geosintético no se daña durante la construcción.
- La secuencia de operaciones de construcción se explique de forma explícita.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Ruptura de Pilotes por Desplazamiento de lo Suelo Blando – BR 101 – 2010, Brasil



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenos sobre Pilotes

Viaducto de Acesso a Águas Claras (Vicente Pires) – DF, Brasil



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenos sobre Pilotes

Viaducto de Acesso a Águas Claras (Vicente Pires) – DF, Brasil

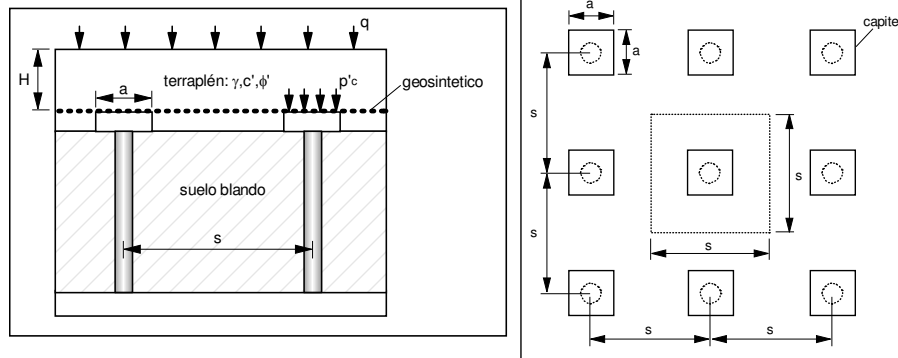




## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes - Espaciamiento entre Pilotes

Método da BS 8006 (Método Británico)



$$s = \sqrt{\frac{Q}{\gamma H + q}} \quad \text{donde } Q \text{ es la carga admisible de lo pilote}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

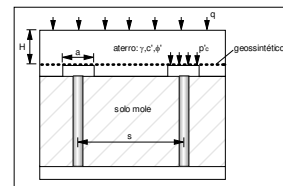
### Terraplenes sobre Pilotes

Método da BS8006

Tensión Vertical Sobre lo Capitel:

$$\frac{p_c}{\sigma_v} = \left(\frac{C_c a}{H}\right)^2$$

$$\text{con } \sigma_v = \gamma H + q$$



$C_c$  = coeficiente de arqueamento de lo suelo, que es función de la altura de lo terraplén, ancho de lo capitel y rigidez de lo pilote.

Para pilotes de acero o hormigón con punta en capa incompresible:

$$C_c \cong 1.95 \frac{H}{a} - 0.18$$

Para pilotes resistiendo por fricción lateral, pilotes de gravas, etc:

$$C_c \cong 1.50 \frac{H}{a} - 0.07$$

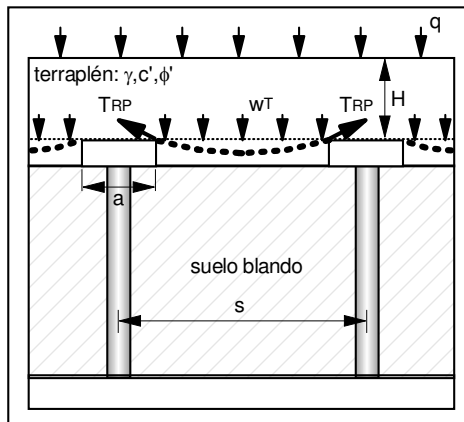
Para garantir lo arqueamento en lo suelo de lo terraplén, hay que tener:

$$H \geq 0.7(s - a)$$

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

Método da BS8006



Carga Distribuída Sobre el Refuerzo:

Si  $H > 1.4 (s - a)$

$$w_T = \frac{1.4s\gamma_e(s-a)}{s^2 - a^2} \left[ s^2 - a^2 \frac{p_c}{\sigma_v} \right]$$

con  $\gamma_e = \gamma + q/H$

Si  $0.7 (s - a) \leq H \leq 1.4 (s - a)$

$$w_T = \frac{s\gamma_e H}{s^2 - a^2} \left[ s^2 - a^2 \frac{p_c}{\sigma_v} \right]$$

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

Tracción en el refuerzo:

$$T_{RP} = \frac{w_T(s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{(s-a)^2}{16d^2}}$$

$$\varepsilon = \frac{8d^2}{3(s-a)^2}$$

onde  $T_{RP}$  é o esforço de tração no reforço,  $d$  é a deslocação máxima no reforço e  $\varepsilon$  é a deformação do reforço.

Combinando-se as equações acima, tem-se

$$T_{RP} = \frac{w_T(s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}}$$

Con

$$T_{RP} = J\varepsilon$$

onde  $J$  é a rigidez à tração do reforço.

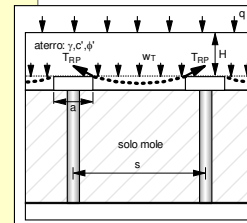
A equação para determinação de  $T_{RP}$  deve ser resolvida iterativamente.

Recomenda-se que  $\varepsilon \leq 6\%$  e deformação adicional por fluência do reforço menor que 1%.

Hay que tener:

$$T_d \geq T_{RP}$$

onde  $T_d$  es la resistencia de diseño del reforço.



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

#### Método da BS8006

Para resistir a lo empujo lateral

$$\Delta T_{RL} = E_A$$

Si  $c' = 0$ :

$$\Delta T_{RL} = 0.5k_a \gamma_e H^2$$

donde  $k_a$  es el coeficiente de empujo activo de lo terraplén.

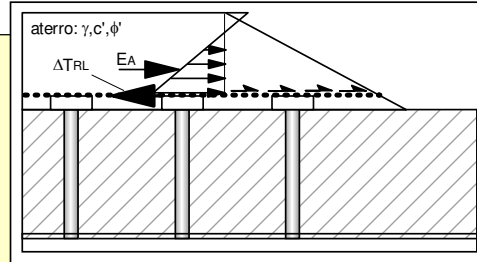
Assim:

En el sentido transversal de lo terraplén, hay que tener:

$$T_d \geq T_{RP} + \Delta T_{RL}$$

En el sentido longitudinal de lo terraplén, hay que tener:

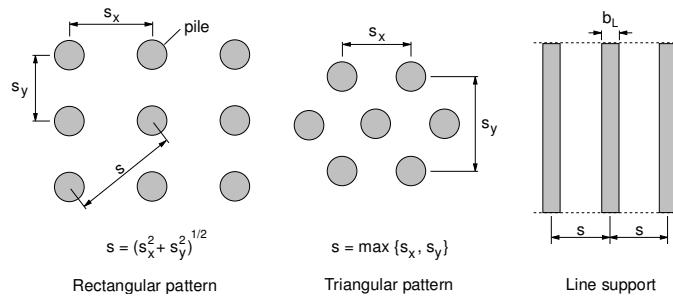
$$T_d \geq T_{RP}$$



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

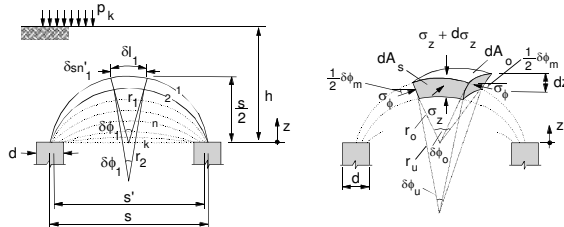
#### Método Alemán



# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán



Región sometida a arqueamiento en el terraplén

Presión entre estacas

$$\sigma_{z0,k} = \lambda_1^\chi \left( \gamma_k + \frac{p_k}{h} \right) \cdot \left\{ h \cdot (\lambda_1 + h_g^2 \cdot \lambda_2)^{-\chi} + h_g \left[ \left( \lambda_1 + \frac{h_g^2 \lambda_2}{4} \right)^{-\chi} - (\lambda_1 + h_g^2 \lambda_2)^{-\chi} \right] \right\}$$

Con:

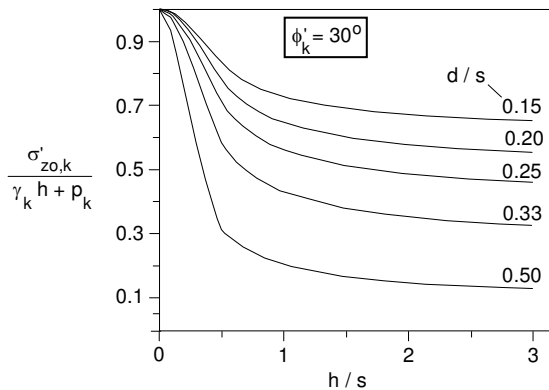
$$\chi = \frac{d(K_{crit} - 1)}{\lambda_2 s} \quad K_{crit} = \tan^2(45^\circ + \phi'_k/2) \quad \lambda_1 = \frac{1}{8}(s-d)^2 \quad \lambda_2 = \frac{s^2 + 2ds - d^2}{2s^2}$$

$$h_g = s/2, \text{ se } h \geq s/2 \quad \text{ou} \quad h_g = h, \text{ se } h < s/2$$

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán



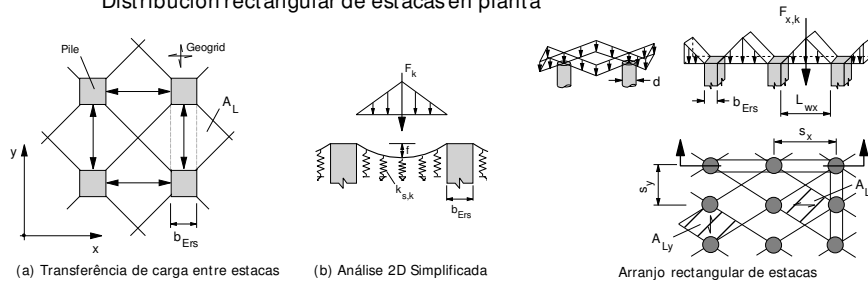
$\sigma_{z0,k}$  versus  $h/s$  para terraplén no cohesivo con ángulo de fricción igual a  $30^\circ$

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán

Distribución rectangular de estacas en planta



(a) Transferencia de carga entre estacas

(b) Análise 2D Simplificada

Arranjo rectangular de estacas

Para una distribución rectangular de estacas, la carga en cada dirección puede ser calculada por (EMPFEHLUNG 2003):

$$F_{x,k} = A_{Lx} \sigma_{z0,k}$$

$$A_{Lx} = \frac{1}{2} \cdot (s_x \cdot s_y) - \frac{d^2}{2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{s_y}{s_x} \right) \cdot \frac{\pi}{180}$$

$$F_{y,k} = A_{Ly} \sigma_{z0,k}$$

$$A_{Ly} = \frac{1}{2} \cdot (s_x \cdot s_y) - \frac{d^2}{2} \cdot \tan^{-1} \left( \frac{s_x}{s_y} \right) \cdot \frac{\pi}{180}$$

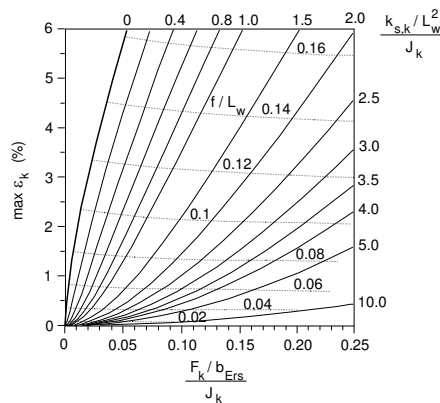
Donde  $s_x$  es el espaciamiento entre estacas en la dirección x,  $s_y$  es el espaciamiento entre estacas en la dirección y y  $A_{Lx}$  y  $A_{Ly}$  son las áreas cargadas que contribuyen a los cálculos de fuerzas verticales en las bandas a lo largo de las direcciones x y y, respectivamente.

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán

Con el valor de  $F_k$  se puede estimar la deformación en el refuerzo por el gráfico (EMPFEHLUNG 2003):



La fuerza en el refuerzo es dada por :

$$T = \epsilon_k J_k$$

donde  $k_{s,k}$  es el módulo de reacción del suelo blando,  $L_w = s - d$ ,  $J_k$  es la rigidez a la tracción del refuerzo y  $b_{Ers}$  es a largura de soporte, dada por:

$$b_{Ers} = \frac{1}{2} \cdot d \cdot \sqrt{\pi}$$

Se debe también considerar el aumento de la fuerza en el refuerzo en la región del talud (empuje lateral del relleno), como en el método de la BS 8006.

# Terraplenes sobre Suelos Blandos

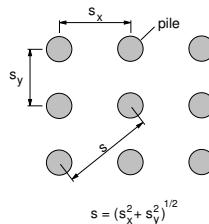
## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán

#### Condiciones a ser observadas

Con respecto a la distancia entre centros de estacas, diámetro de la estaca (d) y ancho de los capiteles, se deben observar las siguientes condiciones (Kempfert et al. 2004):

- En el caso de cargas estáticas:  $(s - d) \leq 3 \text{ m}$  o  $(s - b_c) \leq 3 \text{ m}$ .
- En el caso de cargas dinámicas pesadas:  $(s - d) \leq 2.5 \text{ m}$  o  $(s - b_c) \leq 2.5 \text{ m}$ .
- $d/s \geq 0.15$  o  $b_c/s \geq 0.15$ .
- $(s - d) \leq 1.4 (h - z)$ .
- La razón entre el módulo de reacción de las estacas y del suelo blando debe ser tal que  $k_{s,p}/k_{s,w} > 100$  para garantizar la movilización total del arqueamiento, como admitido en la teoría. Normalmente, estacas convencionales cumplen con esta condición (Kempfert et al. 2004).



# Terraplenes sobre Suelos Blandos

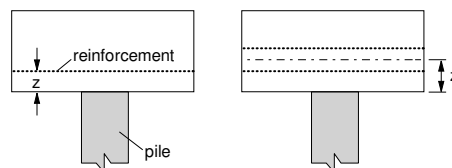
## Terraplenes sobre Pilotes

### Método Alemán

#### Condiciones a ser observadas

Con respecto a la capa de refuerzo, se debe tener (Kempfert et al. 2004):

- Cuanto más cerca de la capa de refuerzo del capitel (o estaca), mejor. Sin embargo, se recomienda tener un espacio entre la capa de refuerzo inferior y el capitel (o estaca), para evitar daños al refuerzo causados por los bordes del capitel o de la estaca (cortes y rasgos).
- Número máximo de capas de refuerzo igual a 2.
- $z \leq 0.15 \text{ m}$  para una sola capa de refuerzo.
- $z \leq 0.3 \text{ m}$  para dos capas de refuerzo.
- Para dos capas de refuerzo, la distancia entre ellas debe ser de 0,15 m a 0,30 m.
- Resistencia a la tracción de diseño del refuerzo  $\geq 30 \text{ kN/m}$  y deformación máxima  $\leq 12\%$ .
- Se permite la traspaso de capas de refuerzo, pero debe ocurrir por encima de la estaca (o capitel) y sólo en la dirección de carga secundaria. La longitud de traspaso debe ser  $\geq d$ .

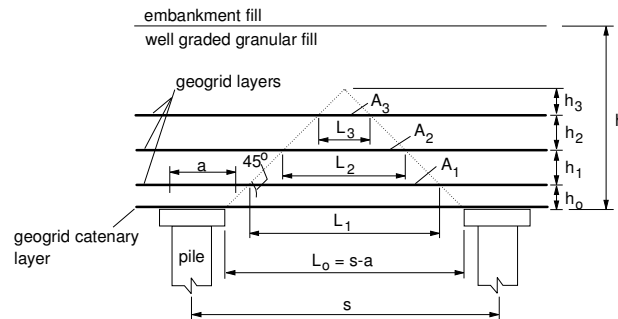


# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Plataformas de Transferencia de Carga

Método de Collin et al. (2005)



# Terraplenes sobre Suelos Blandos

## Terraplenes sobre Pilotes

### Plataformas de Transferencia de Carga

Condiciones de método de Collin et al. (2005) :

- El espesor ( $h$ ) de la plataforma de transferencia de carga no debe ser inferior a  $0,5 (s - d)$ .
- Se deben utilizar como mínimo tres capas de refuerzo geosintético para formar la plataforma.
- La distancia vertical mínima entre las capas de refuerzo es de  $0,15$  m.
- Material granular (bien graduado) de calidad debe ser utilizado en la construcción de la plataforma.
- A función primaria del refuerzo es proveer confinamiento lateral del suelo de la plataforma y facilitar su arqueamiento dentro del espesor de la plataforma. A função secundária do reforço é suportar a cunha de solo arqueado.
- La carga del terraplén sobre la plataforma de transferencia se transmite a las estacas subyacentes.
- La deformación inicial del refuerzo debe ser inferior al 5%.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

#### Plataformas de Transferencia de Carga

A carga transmitida para una estaca sob la plataforma de transferencia es dada por:

$$Q = \pi \frac{D_e^2}{2} (\gamma H + q)$$

$D_e = 1.05s$  para distribución triangular entre estacas

$D_e = 1.13s$  para distribución cuadrada entre estacas

Donde Q es la carga vertical na estaca,  $D_e$  es el diámetro del área bajo responsabilidad de la estaca, H es la altura del terraplén, q é a sobrecarga sobre el terraplén,  $\gamma$  es o peso específico del suelo de terraplén y s es el espaciamiento entre estacas.

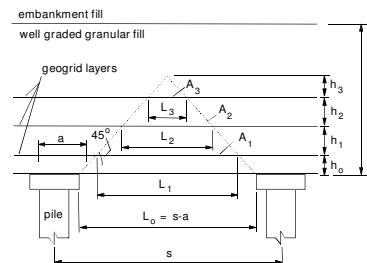
## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

#### Plataformas de Transferencia de Carga

La tensión vertical sobre cada capa de refuerzo es dada por :

$$P_{Ti} = \frac{A_i + A_{i+1}}{2A_i} \gamma h_i$$



con:

$A_i = L_i^2$  para distribución cuadrada entre estacas

$A_i = \frac{\sqrt{3}}{4} L_i^2$  para distribución triangular entre estacas



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

#### Plataformas de Transferencia de Carga

La carga de tracción en el refuerzo se obtiene por :

$$T_{rpi} = \frac{p_{Ti}}{2} \Omega D_i$$

con:

Valor de $\Omega$	Deformación en el refuerzo (%)	$\Omega$
1		2,07
2		1,47
3		1,23
4		1,08
5		0,97

$D_i = 1,4L_i$  para distribución cuadrada entre estacas

$D_i = 0,867L_i$  para distribución triangular entre estacas

Donde:  $p_{Ti}$  es la tensión vertical en el refuerzo  $i$ ,  $A_i$  es el área cargada del refuerzo  $i$ ,  $L_i$  es la longitud de lo lado da área cargada,  $h_i$  es el espesor de suelo entre capas de refuerzo,  $T_{rpi}$  es la fuerza en el refuerzo  $i$ ,  $D_i$  es la distancia cargada y  $\Omega$  es un parámetro que depende de la deformación del refuerzo.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

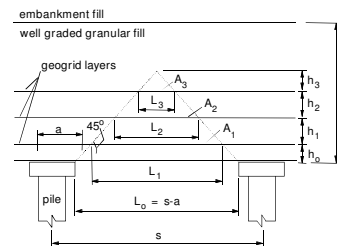
#### Plataformas de Transferencia de Carga

Se admite que el refuerzo inferior funcione como una membrana (catenaria), sobre el cual actúa todo el peso de lo cono de suelo dentro de la masa arqueada. En este caso, la presión sobre este el refuerzo se da por :

$$p_{TC} = \frac{\gamma h_p}{3}$$

Y la carga en este refuerzo viene dada por :

$$T_{rpiC} = \frac{p_{TC} \Omega D}{2}$$

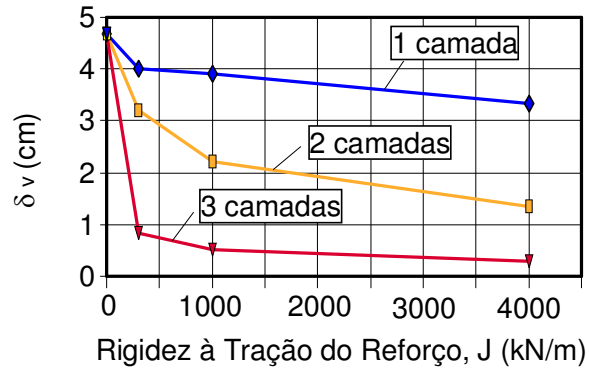


Donde  $p_{TC}$  es la tensión vertical sobre la capa inferior de refuerzo,  $h_p$  é la altura de la pirámide de suelo dentro del arco y  $D$  es el vano de diseño para el refuerzo inferior que funciona como membrana (catenaria).

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Terraplenes sobre Pilotes

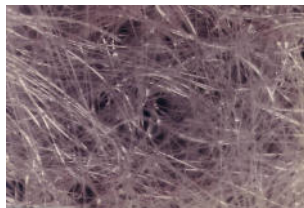
#### Plataformas de Transferencia de Carga



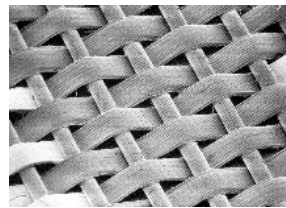
## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

#### Tipos de Geosintéticos para Drenaje



Geotextil No-Tejido



Geotextil Tejido



Geocompuesto para Drenaje

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

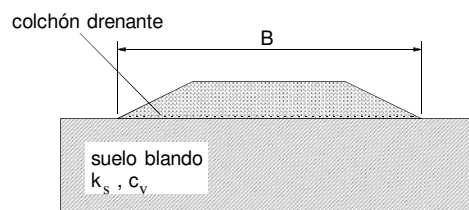
#### Colchón Drenante



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

#### Colchón Drenante



Transmisibilidad requerida para el geosintético (Giroud, 1981):

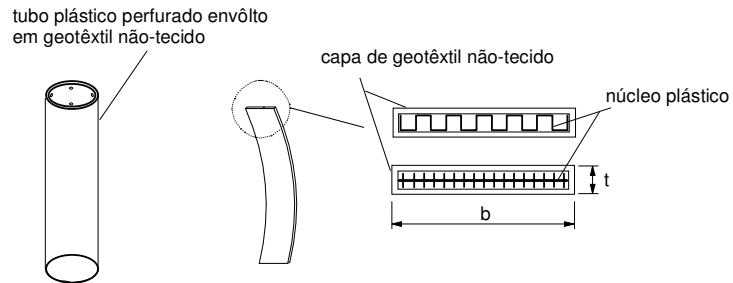
$$\theta_{\text{req}} = k_p t_{\text{GT}} = \frac{B^2 k_s}{(c_v t_c)^{0.5}}$$

Onde:  $\theta_{\text{req}}$  = transmisibilidad necesaria;  $k_p$  = coeficiente de permeabilidad de lo geosintético sobre su plan;  $t_{\text{GT}}$  = espesor de lo geosintético;  $c_v$  = coeficiente de consolidación vertical de lo suelo blando;  $t_c$  = tiempo de construcción del terraplén.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosinteticos

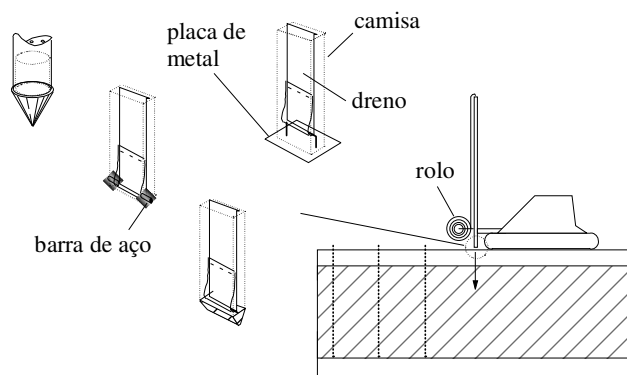
#### Drenes Verticales Geosinteticos (Geocompuesto para drenaje)



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosinteticos

#### Drenes Verticales Geosintéticos (Geodrenes)



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje Vertical

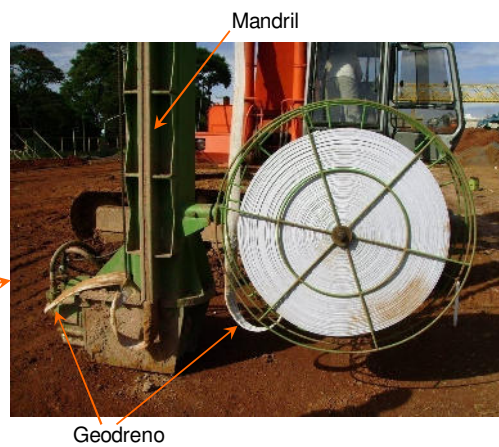
Instalación de Geodrenes– Metrô de Brasília (DF, Brasil)



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje Vertical

Instalación de Geodrenes – Viaducto de Acceso a Águas Claras



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje Vertical

#### Instalación de Geodrenes – Viaducto de Acceso a Águas Claras



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje Vertical

#### Instalación de Geodrenes – Viaducto de Acceso a Águas Claras





## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

---

#### Drenos de Arena *versus* Geodrenes

Ventajas comparativas de geodrenes sobre los drenes de arena:

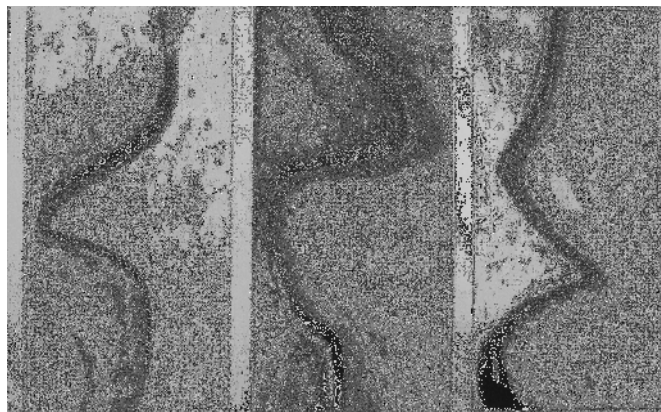
- Reducción de costes en las zonas donde la arena es escasa o explotación esté prohibida por motivos ambientales;
- Mejor control de calidad de los productos geosintéticos;
- Son fáciles de transportar a zonas remotas;
- Instalación significativamente más rápida y más limpia que en el caso de los drenes de arena;
- Son capaces de soportar altas tensiones debido a los asentamientos de suelos blandos.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

---

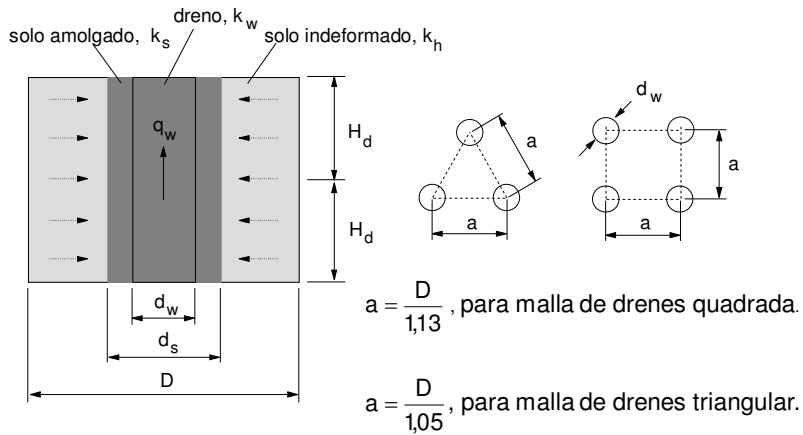
#### Capacidad de aceptar grandes deformaciones



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

#### Diseño de lo Sistema de Drenes Verticales



## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

Hansbo (1979), para  $n = D/d_w > 5$

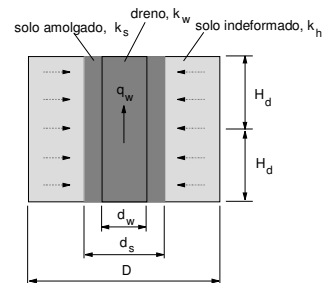
$$U_r = 1 - e^{-\left(\frac{8c_h t}{D^2 \mu}\right)}$$

con

$$\mu = \ln\left(\frac{D}{d_s}\right) + \frac{k_h}{k_s} \ln\left(\frac{d_s}{d_w}\right) - 0.75 + \frac{2\pi H_d^2 k_h}{3q_w} \left[1 - \frac{k_h/k_s - 1}{(k_h/k_s)(D/d_s)^2}\right]$$

Donde  $q_w$  es la capacidad de descarga del dren ( $q_w = f(\sigma)$ ) e  $c_h$  es lo coeficiente de consolidación horizontal (radial).

La ecuación para determinar el valor de  $D$  se resuelve iterativamente.



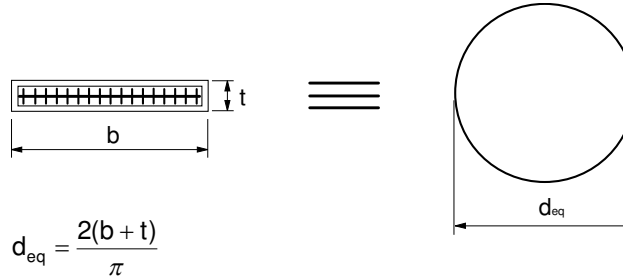


## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

#### Equivalencia entre Drenes Cilíndricos y em Tira:

Hansbo (1979):



donde  $d_{eq}$  es el diámetro equivalente de la tira de drenaje.

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosintéticos

Procedimiento para diseño:

- Establece un valor de  $U_v$  a ser atingido en el tiempo  $t$ ;
- Calcular la cantidad de  $U_v$  en el tiempo  $t$ ;
- Se estima el valor de  $U_r$  en el tiempo  $t$  por Carrillo (1942)
- Calcular el valor del diámetro de la región de influencia ( $D$ ) de lo drenos  
Por Hanbo (1979) ( $D/d_w > 5$ );
- Calcular lo espasamiento entre drenes verticales por:

$$a = \frac{D}{1.13} \text{ , para malla de drenes quadrada.}$$

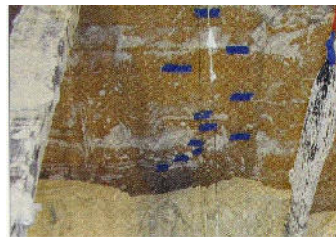
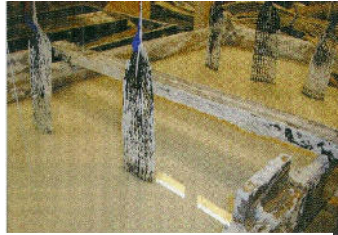
$$a = \frac{D}{1.05} \text{ , para malla de drenes triangular.}$$

## Terraplenes sobre Suelos Blandos

### Drenaje con Geosinteticos

---

EKG – *Electrically Conductive Geosynthetics*



---

***Fin***



# **Suelo Reforzado: Estruturas de Contención y Pendientes Escarpadas**

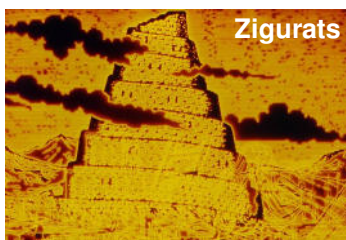
**Ennio Marques Palmeira**

Eng. Civil, MSc., PhD.  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## **Refuerzo de Suelos**

### **Historia**



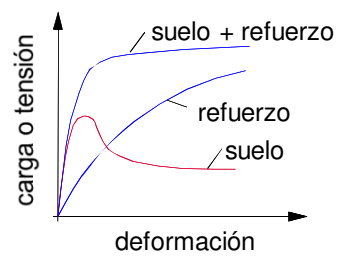
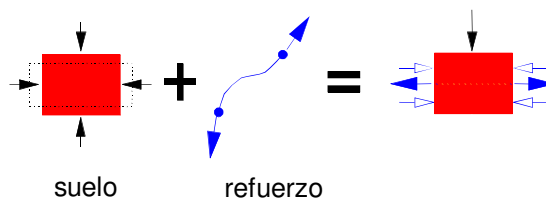
- Los Incas
- Gran Muralla de China
- La Biblia

## Refuerzo de Suelos

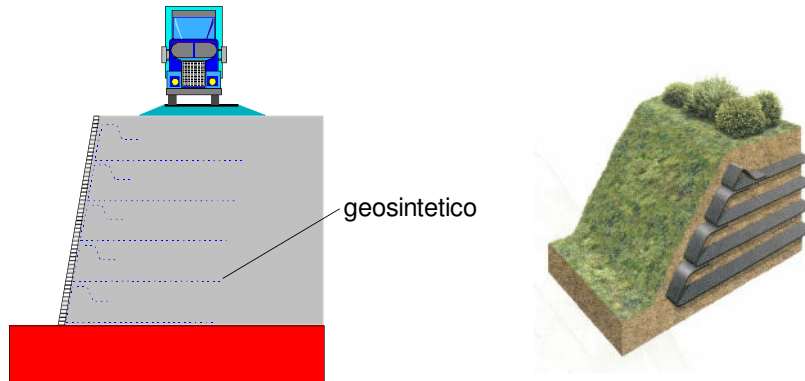
### Uso de Fibras



## Refuerzo de Suelos



## Estructuras de Contención



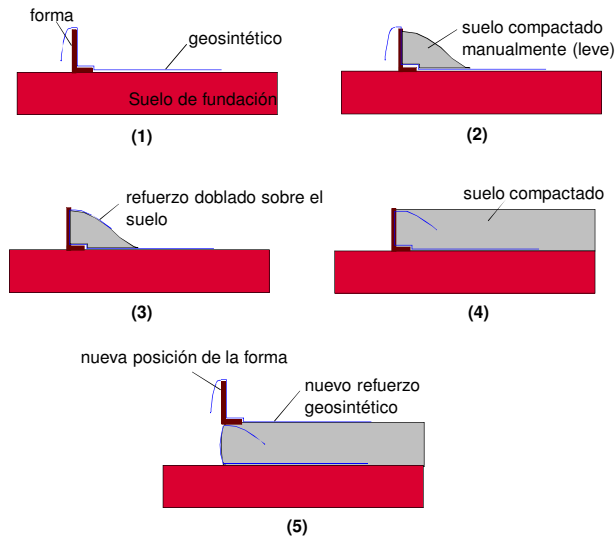
## Estructuras de Contención

### Ejemplos de Obras



## Estructuras de Contención

### Un de los Tipos de Procesos de Construcción



## Estructuras de Contención

### Ejemplos de Obras



## Estructuras de Contención

### Ejemplos de Obras



Face con piezas de hormigón prefabricado



## Estructuras de Contención

### Ejemplos de Obras



Face con bloques prefabricados  
"Segmental Retaining Walls"





## Estructuras de Contención

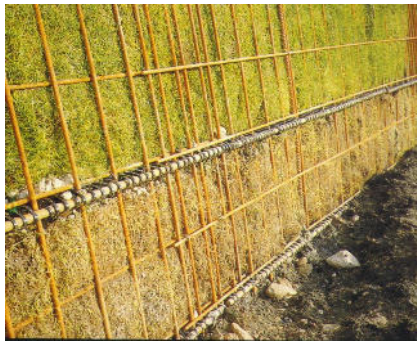
### Ejemplos de Obras



## Estructuras de Contención

### Ejemplos de Obras

#### Cubierta Vegetal





## Estructuras de Contención

### Cubierta Vegetal



Viaducto de lo Aeropuerto de Brasília, DF, Brasil

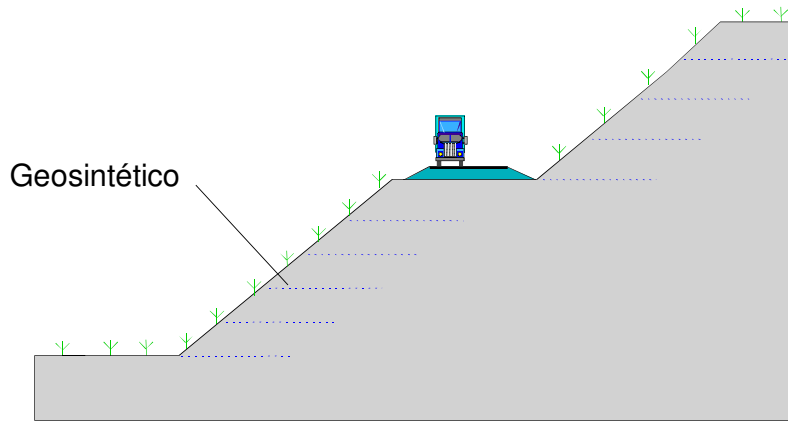


## Estructuras de Contención

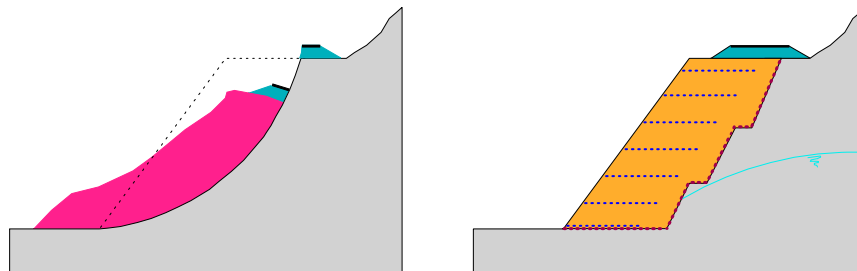
### Ejemplos de Obras



## Pendientes Reforzados



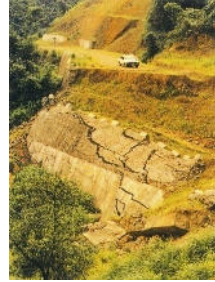
## Pendientes Reforzados Recuperación de Rupturas



## **Pendientes Reforzados**

### **Recuperación de Rupturas**

---



## **Recuperación de Rupturas**

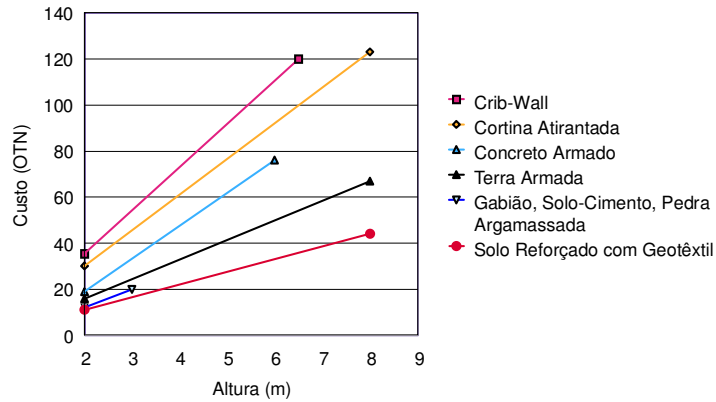
### **Carretera SP123, São Paulo, Brasil**

---



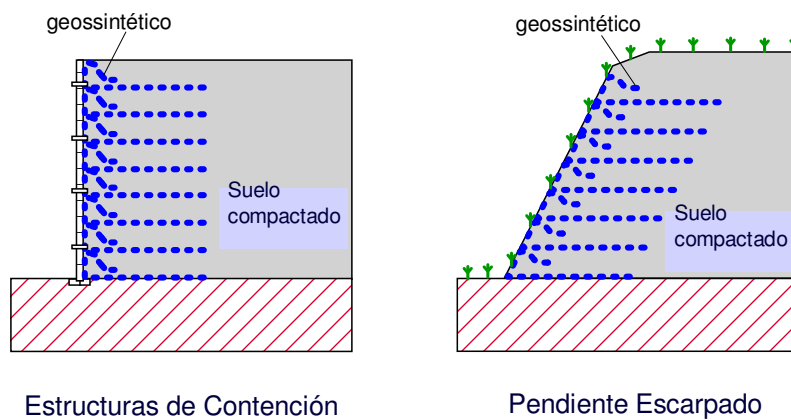
## Recuperación de Rupturas

Carretera SP123 - Wolle *et al.* (1986)



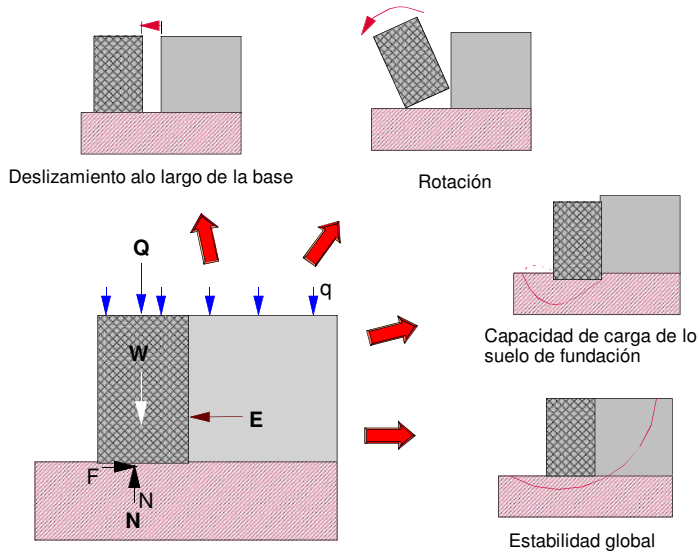
## Diseño

Estructuras de Contención y Pendientes



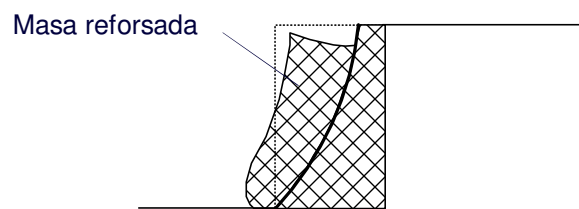
## Estructuras de Contención

### Condiciones de Estabilidad Externa



## Estructuras de Contención

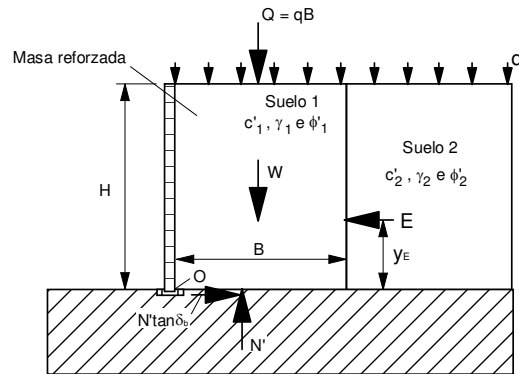
### Condiciones de Estabilidad Interna



Estabilidad Interna

## Estructuras de Contención

### Deslizamiento y Rotación



### Teoría de Empujo de Rankine

#### Deslizamiento:

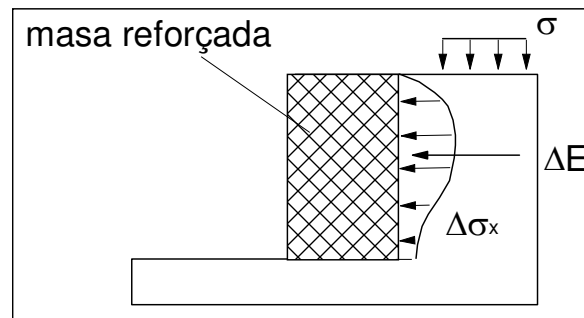
$$B_d = \frac{FS_d E}{(\gamma_1 H + q) \tan \delta_b}$$

#### Rotación:

$$B_t = \sqrt{\frac{2FS_t E y_E}{\gamma_1 H + q}}$$

## Estructuras de Contención

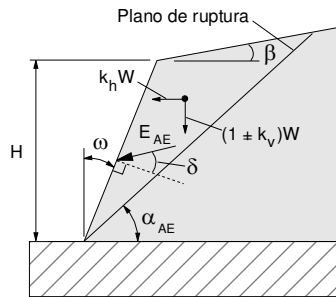
### Influencia de Sobrecargas Localizadas



## Estructuras de Contención

### Influencia de la Sismicidad

Bathurst & Alfaro (1996)



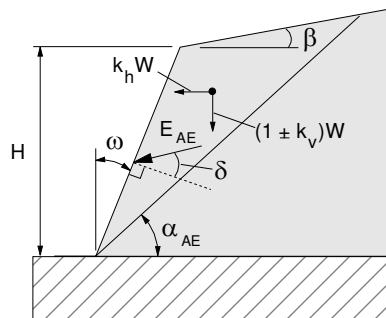
$k_h$  e  $k_v$  son los coeficientes de sismicidad que se expresan como fracciones de la aceleración de la gravedad ( $g$ ).

Coefficiente de Empujo (Metodo de Mononobe-Okabe)

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi + \omega - \theta) / \cos \theta \cos^2 \omega \cos(\delta - \omega + \theta)}{\left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta - \omega + \theta) \cos(\omega + \beta)}} \right]^2} \quad \text{com} \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

## Estructuras de Contención

### Influencia de la Sismicidad



Inclinación del plano de ruptura:

$$\alpha_{AE} = \phi - \theta + \tan^{-1}\left[\frac{-A + D}{F}\right]$$

onde

$$A = \tan(\phi - \theta - \beta)$$

$$B = 1 / \tan(\phi - \theta + \omega)$$

$$C = \tan(\delta + \theta - \omega)$$

$$D = \sqrt{A(A + B)(BC + 1)}$$

$$F = 1 + [C(A + B)]$$

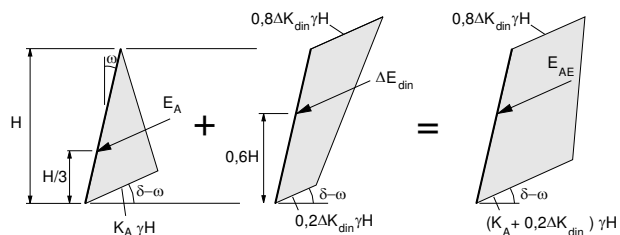
## Estructuras de Contención

### Influencia de la Sismicidad

Seed & Whitman (1970):

$$(1 \pm k_v)K_{AE} = K_A + \Delta K_{din} \quad \text{com} \quad K_A = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Distribución de Tensiones Devidas a el Peso Propio:



## Estructuras de Contención

### Influencia de la Sismicidad

Terremoto Hanshin (Kobe, Japão, 1995)



Estructuras de peso convencionais



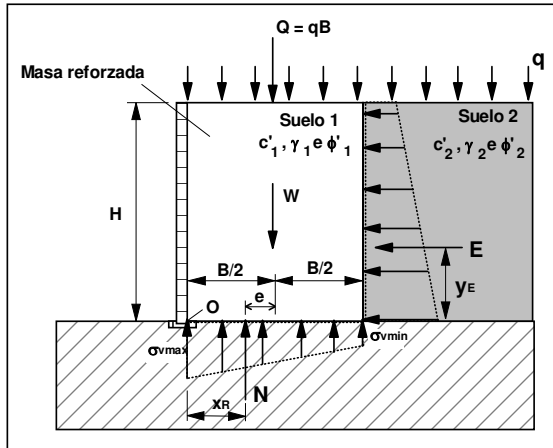
Estructuras de suelo reforzado com geosintético

Cortesia: Fumio Tatsuoka e R.J. Bathurst



## Estructuras de Contención

### Distribución de Tensiones al Largo de la Base



$$\sigma_{v \min} = \frac{2N}{B} \left( \frac{3x_R}{B} - 1 \right)$$

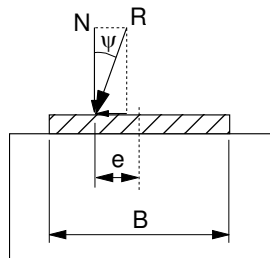
$$\sigma_{v \max} = \frac{2N}{B} \left( 2 - \frac{3x_R}{B} \right)$$

$$x_R = \frac{Wx_w + Qx_Q - Ey_E}{W + Q}$$

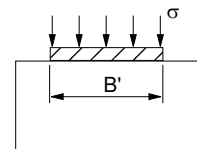
$$e = \frac{B}{2} - x_R \leq \frac{B}{6}$$

## Estructuras de Contención

### Capacidad de Carga de lo Suelo de Fundación



Corrección para la Excentricidad (Meyerhoff, 1953)



$$B' = B - 2e$$

$$\sigma = \frac{N}{B'}$$

Corrección para la inclinación de la fuerza resultante R (Koerner, 1988)

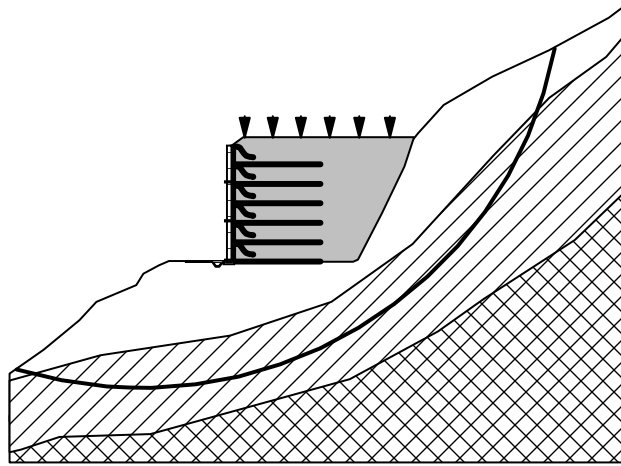
$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{\psi}{\phi} \right)^2 \quad i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\psi}{90^\circ} \right)^2$$

$$q_{\max} = c' i_c N_c + q_s i_q N_q + 0.5 \gamma_i B' i_\gamma N_\gamma$$

$$FS_f = \frac{q_{\max}}{\sigma} \geq 3$$

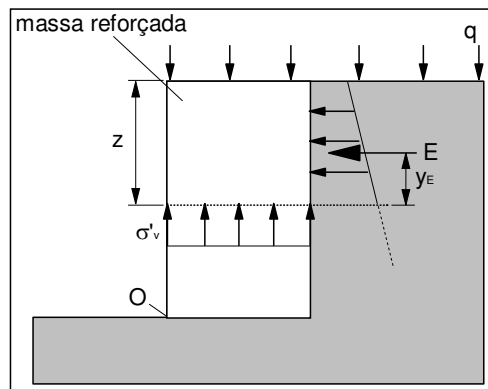
## Estructuras de Contención

### Estabilidad Global



## Estructuras de Contención

### Estabilidad Interna – Tensiones Horizontales



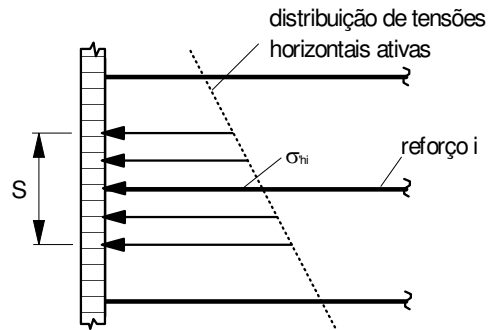
Distribución de Tensiones Horizontales Activas (Rankine)

$$\sigma'_{hz} = k_{a1} \sigma'_{vz} = k_{a1} (\gamma_1 z + q) - 2c' \sqrt{k_{a1}}$$

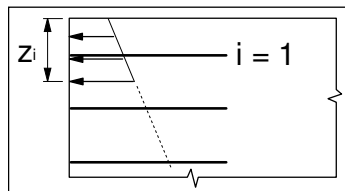
$$k_{a1} = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi'_1}{2} \right)$$

## Estructuras de Contención

### Estabilidad Interna – Espaciamento entre Refuerzos



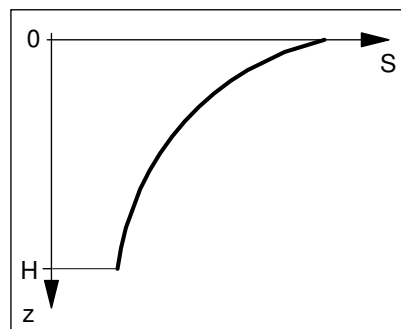
$$T_i = \sigma'_{hz} S = k_{a1} \sigma'_{vz} S = [k_{a1}(\gamma_1 z + q) - 2c' \sqrt{k_{a1}}] S$$



$$S = \frac{T_d}{k_{a1}(\gamma_1 z + q) - 2c' \sqrt{k_{a1}}}$$

## Estructuras de Contención

### Estabilidad Interna – Espaciamento entre Refuerzos



$$S = \frac{T_d}{k_{a1}(\gamma_1 z + q) - 2c' \sqrt{k_{a1}}}$$

$$S_{uniforme} = \frac{T_d}{k_{a1}(\gamma_1 H + q) - 2c' \sqrt{k_{a1}}}$$

## Estructuras de Contención

### Estabilidad Interna – Espaciamiento entre Refuerzos

Espaciamiento constante entre los refuerzos:

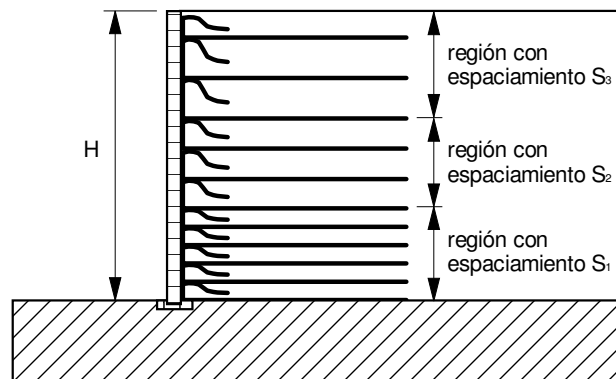
- Aumento del consumo de refuerzo
- Control de la ejecución de los trabajos más fáciles
- Estructura final menos deformable

Espaciamiento variable entre refuerzos

- Menor consumo de refuerzos
- Control de la ejecución más difícil
- Estructura final más deformable

## Estructuras de Contención

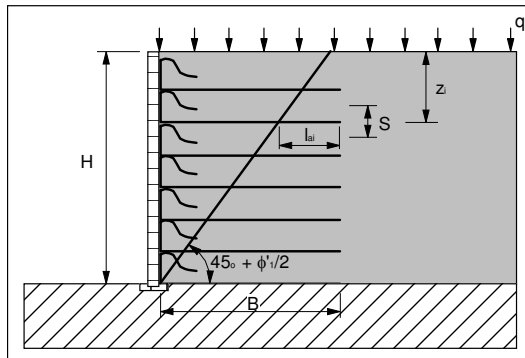
### Espaciamiento entre Refuerzos Variable



Regiones con diferentes espaciamientos en general múltiple del espesor de la capa de tierra compactada (o de unidades de altura de cara)

## Estructuras de Contención

### Anclaje del Refuerzo



Largura de anclaje:

$$l_{ai} = B - (H - z_i) \tan(45^\circ - \frac{\phi'_1}{2})$$

Sin sobrecarga a la superficie:

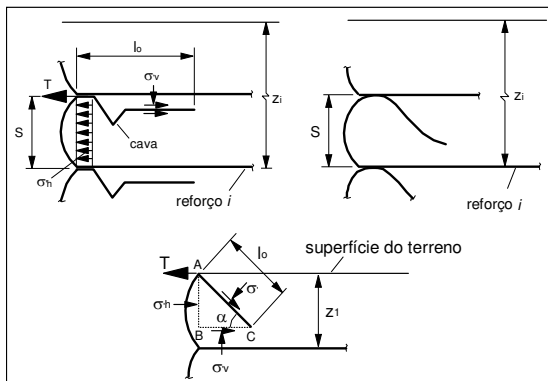
$$FS_{\text{anci}} = \frac{2l_{ai} \gamma_1 z_i \tan \delta}{T_i} \geq 2$$

Con sobrecarga a la superficie:

$$FS_{\text{anci}} = \frac{2l_{ai} (\gamma_1 z_i + q) \tan \delta}{T_i} \geq 2$$

## Estructuras de Contención

### Anclaje de lo Trecho Doblado a la Face



Refuerzo a la superficie:

$$l_o = \sqrt{\frac{F_{\text{af}} \sigma'_h z_1}{2\gamma_1 \sin \alpha \cos^2 \alpha \tan \delta_{\text{sr}}}}$$

Profundidad z:

$$l_o = \frac{F_{\text{af}} \sigma'_h S}{2\gamma_1 (z_1 - 0.5 S) \cos^2 \alpha \tan \delta_{\text{sr}}} \geq 1\text{m}$$

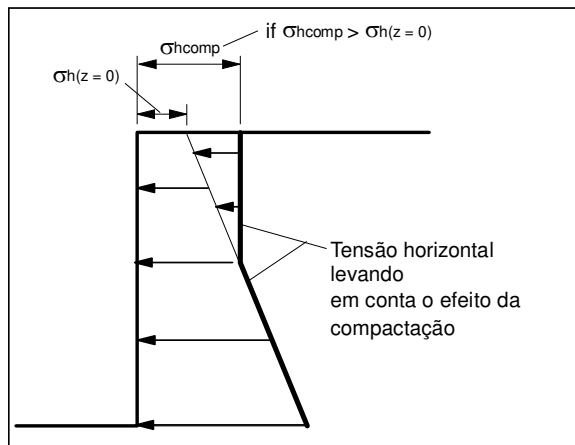
Com cava:

$$l_o = F_{\text{af}} \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \frac{S}{(\tan \delta_{\text{af}} + \tan \delta_{\text{bf}})} \geq 1\text{m}$$

$$l_o \geq 1\text{m}$$

## Estructuras de Contención

### Efecto de la Compactación

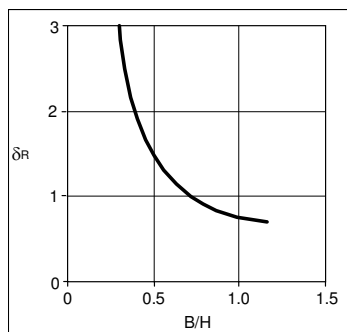


**Jewell, 1996:**

$$h_{comp} \cong 10 \text{ a } 30 \text{ kPa}$$

## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales de la Face - FHWA (1990)

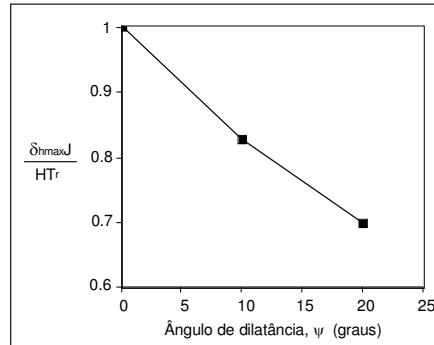
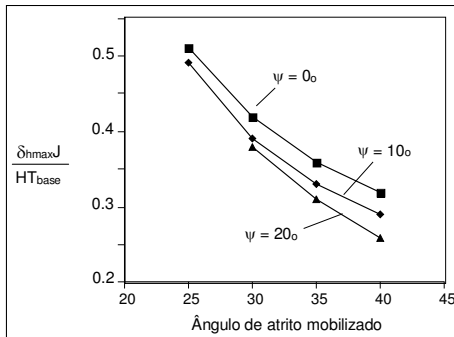


**FHWA (1990), para  $H \leq 6\text{m}$ :**

$$\delta_R \frac{H}{250} \left(1 + 0.25 \frac{q}{20}\right) \leq \delta_{h,max} \leq \delta_R \frac{H}{75} \left(1 + 0.25 \frac{q}{20}\right)$$

## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales de la Face – Jewell (1996)



**Espaciamento uniforme entre refuerzos**      **Espaciamento variable entre refuerzos**

$$T_{base} = k_{a1} S (\gamma_1 H + q) \quad T_r = \frac{E}{n} \quad E = k_{a1} \frac{\gamma H + 2q}{2} H$$

**Usar o maior valor entre FHWA (1990, se H ≤ 6m) e Jewell (1996)**

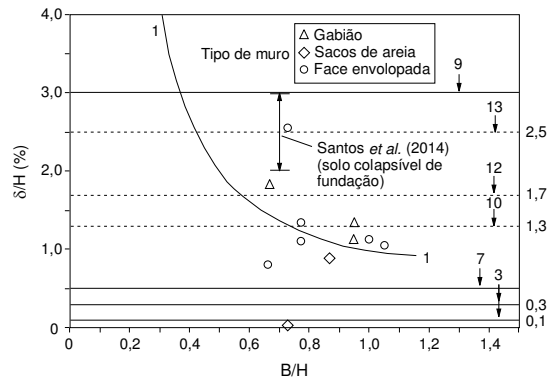
## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales de la Face

**Dados de Bathurst et al. (2010)**

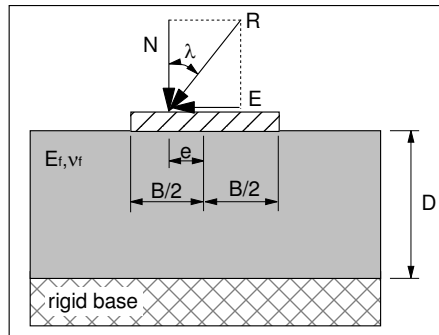
Método de projeto

- |                                     |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1. FHWA (2008), AASHTO (2012)       | WSOT (2005)                    |
| 3. NGG (2005)                       | 10. Tela soldada               |
| 6. EN 14475 2006)                   | 12. Face envelopada-permanente |
| 7. BS8006 (2010), Geoguide 6 (2002) | 13. Face envelopada-temporária |
| 9. PWRC (2000)                      |                                |



## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales de la Face por Asentamientos - Análisis Elástico



$$\delta_{xe} = u_{OT} \sin \lambda \frac{N}{E_f}$$

$$\omega_e = \tan^{-1} \left( 2 \frac{Ne}{E_f B^2} \omega_{CM} \cos \lambda \right)$$

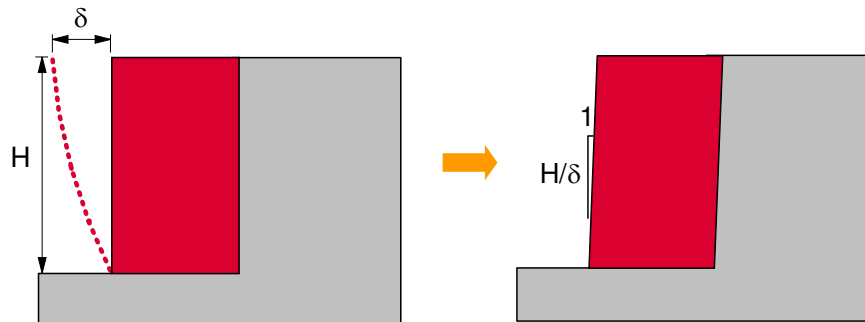
$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{E}{N} \right)$$

$$\delta_{he} = \delta_{xe} + H \sin \omega_e$$

## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales de la Face

Desplazamiento total =



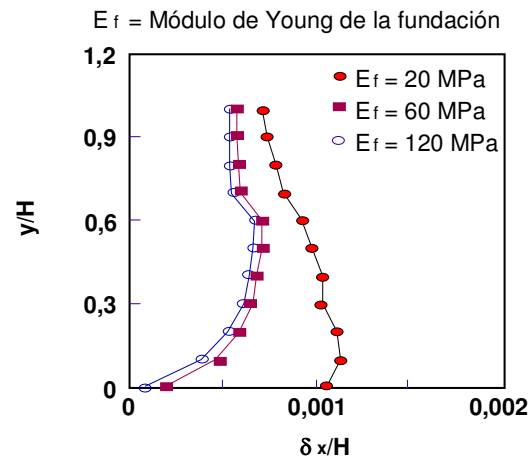
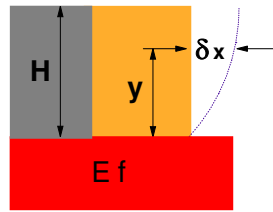
Normalmente:  $\leq 0,2$  a  $1,2\%$  de H



## Estructuras de Contención

### Análisis Numérico – FLAC

Dellabianca (199)

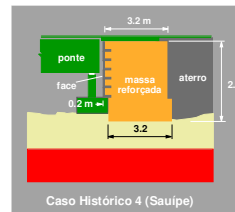


## Estructuras de Contención

### Asentamiento de Suelo de Fundación - Linha Verde (BA)



Desplazamiento de elementos de la face

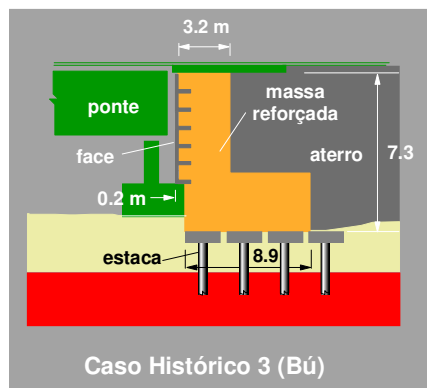


Restauración del pavimento

## Estructuras de Contención

### Desplazamientos Horizontales

Baja longitud de refuerzos

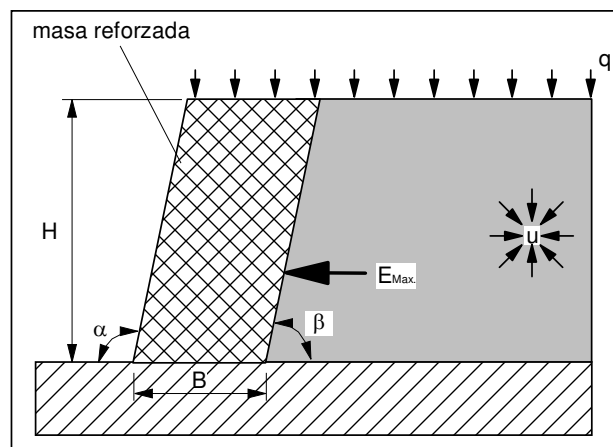


Fahel (1998)



## Pendientes Reforzados

Jewell (1996)

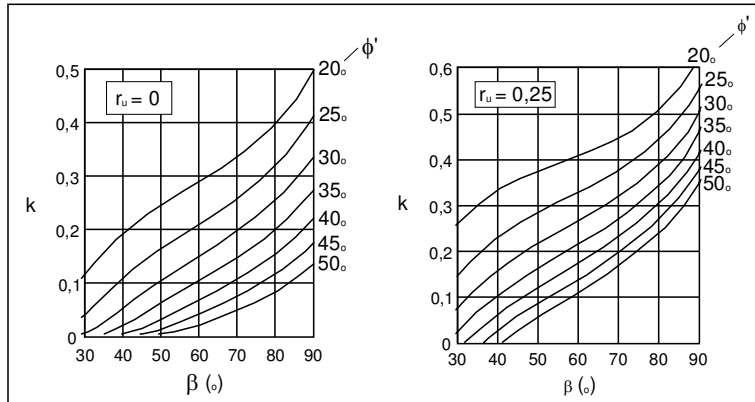


$$S = \frac{T_d}{k_d \gamma H_{eq}}$$

## Pendientes Reforzados

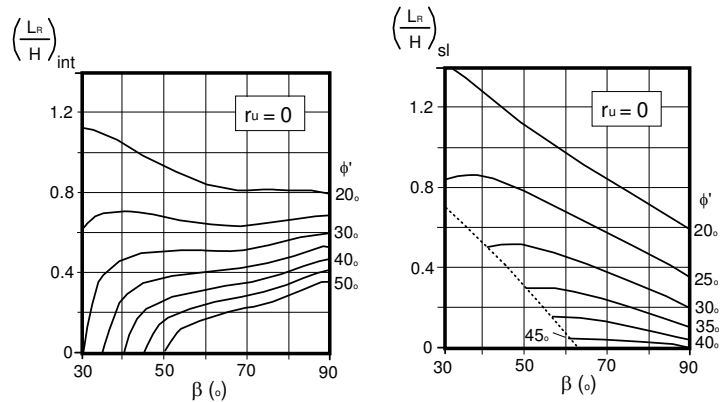
### Gráficos de Diseño de Jewell (1996)

$$S = \frac{T_d}{k_d \gamma H_{eq}}$$



## Pendientes Reforzados

### Gráficos de Jewell (1996) – Longitud de lo Refuerzo

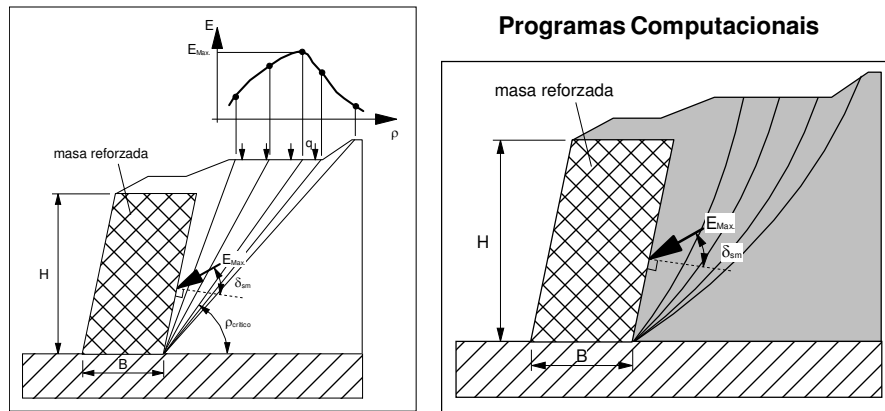


Estabilidad Interna

Deslizamiento al largo de la Base

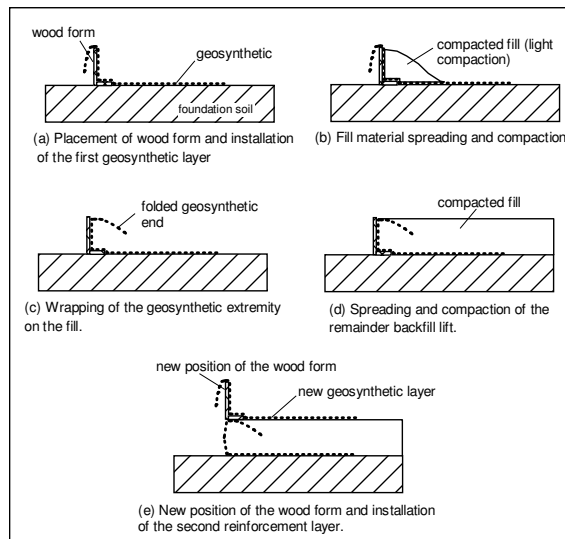
## Pendientes Reforzados

### Situaciones más Complejas



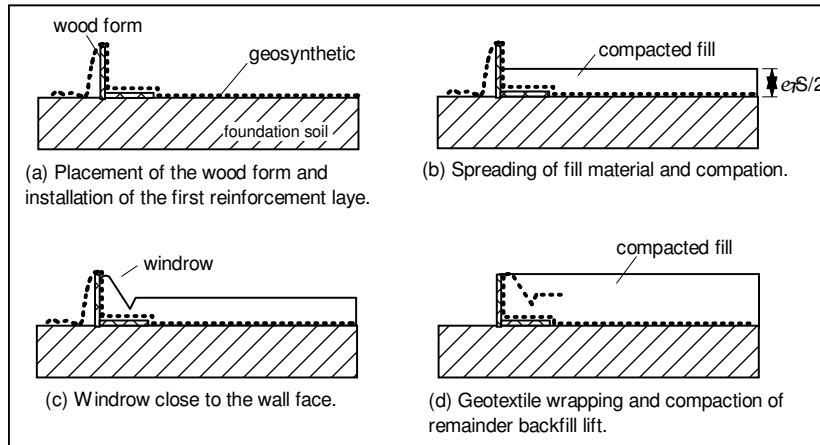
## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción



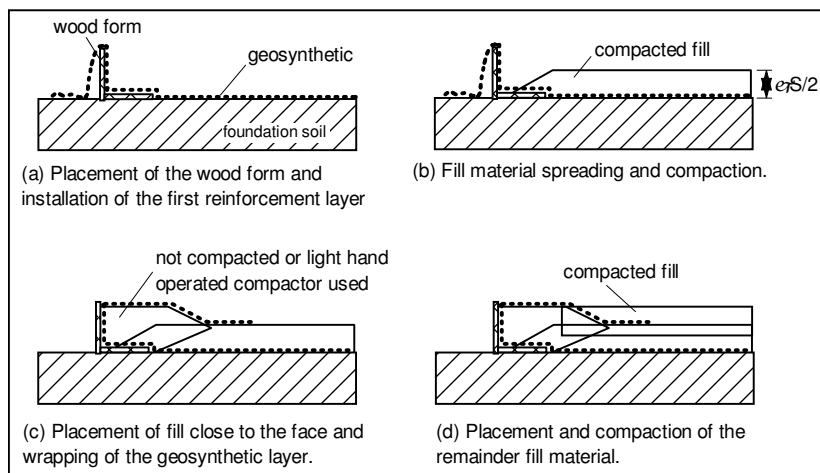
## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción - U.S. Forest Service



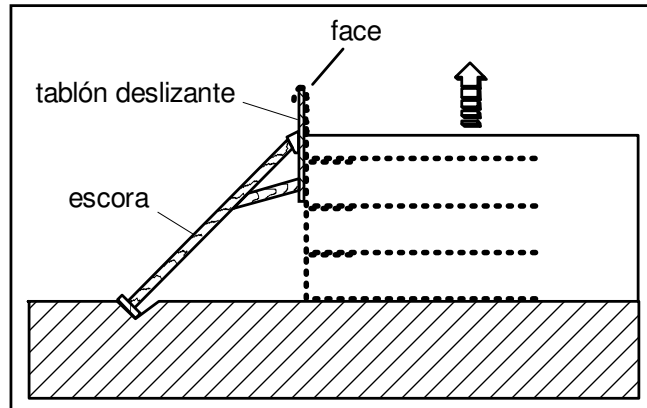
## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción - Método Europeu



## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción – Tablón Deslizante



## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción – Tablón Deslizante



Santos (2011)

## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción – Tablón Deslizante



Resíduos de Construção y Demolición Reciclados – RCD-R (Santos 2011)



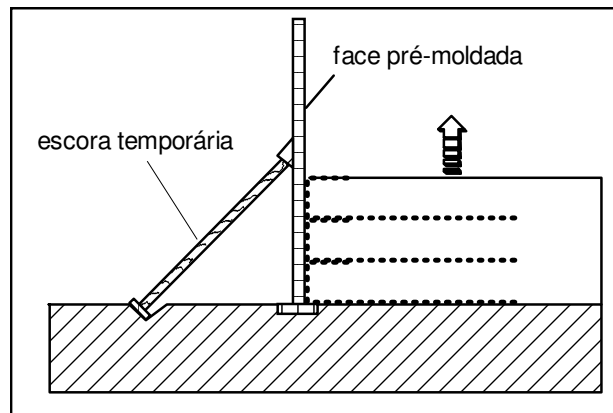
Muro Reforzado c/Geotextil



Muro Reforzado c/Geomalla

## Estructuras de Contención

### Métodos de Construcción – Pared Préfabricada



## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

---



Rainier Avenue Wrapped-Face Geotextile Wall (Seattle, Washington, 1989)

## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

---



Cortesía: Prof. R.J. Bathurst



## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

#### Cara Préfabricada



Highbury Avenue propped panel wall, London Ontario, 1989 (Bathurst 1993)

## Estructuras de Contención

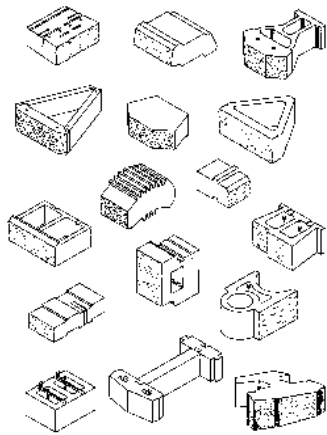
### Aspectos Constructivos



## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

#### Muros Segmentais



## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

#### Muros Segmentais

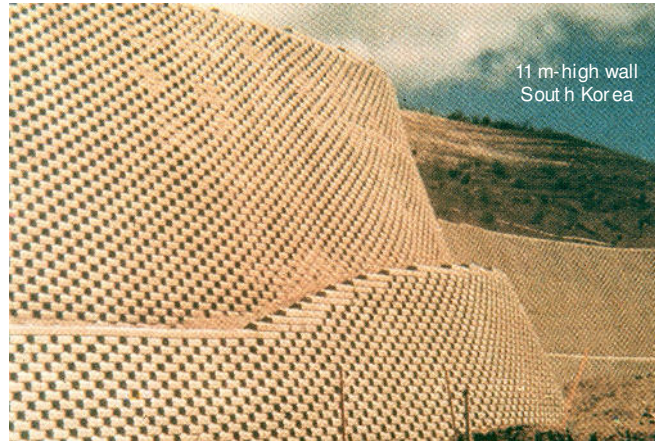


Cortesia: Prof. R.J. Bathurst

## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

#### Muros Segmentais



11 m-high wall  
South Korea

Cortesia: Prof. R.J. Bathurst

## Pendiente Reforzado

### Aspectos Constructivos



Cortesia: Prof. R.J. Bathurst

## Estructuras de Contención

### Aspectos Constructivos

#### Embalaje y Manipulación de Geosintéticos

- Suministro de geosintéticos:  
Bobinas  
Paneles



- Tener cuidado con:
  - Evite la exposición a la luz solar (rayos ultravioletas). Resistencia a los rayos UV dependen del tipo de polímero. Limitar la exposición a un máximo de 14 días en general. Deseche primera bobina de capa cuando se usa
  - Evite guardarlo en lugares con polvo y humedad;
  - Evite el almacenamiento en entornos capaces de existencia / visita roedores, etc.

## Estructuras de Contención

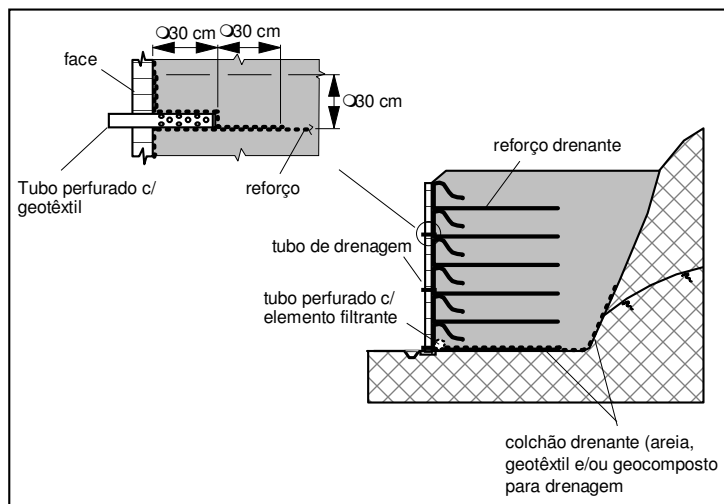
### Aspectos Constructivos

#### Embalaje y Manipulación de Geosintéticos (Cont.)

- Antes de la instalación de las capas de refuerzo, el terreno natural se rectifica y se debe quitar las piedras, troncos, raíces, etc. que pueden dañar la capa de refuerzo.
- Reducir al mínimo la presencia de bloques, piedras, etc. en el material de relleno;
- Evite materiales de relleno agresivos (químicamente);
- Utilice energía de compactación compatible;
- En caso de duda, consulte al fabricante del producto.

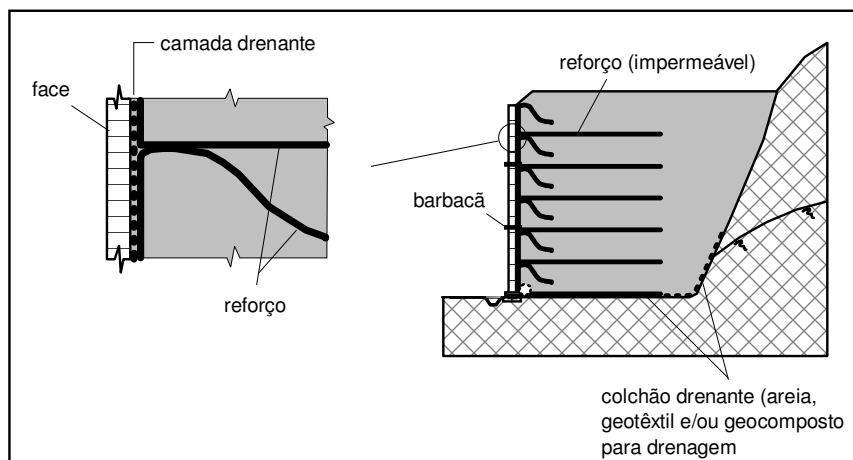
## Estructuras de Contención

### Sistemas de Drenaje – Refuerzo Drenante



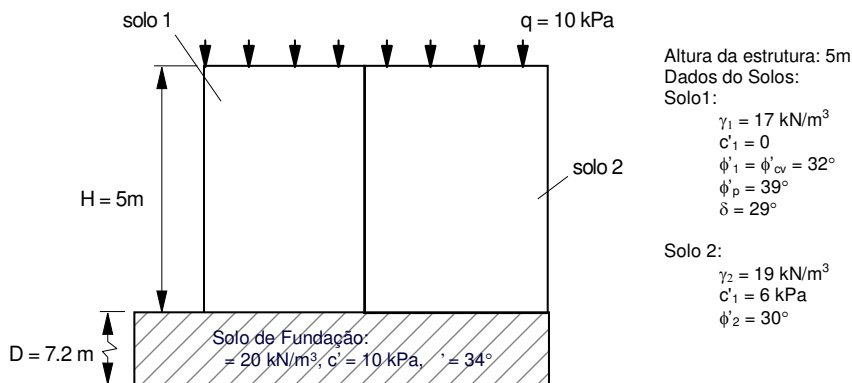
## Estructuras de Contención

### Sistemas de Drenaje – Refuerzo No Drenante



## Ejemplo de Cálculo

Seja dimensionar a estrutura de contenção em solo reforçado com geossintéticos para a situação esquematizada na figura abaixo. Os dados do problema são:



Para as condições do problema e tipo de reforço, adotar: fator de redução para fluência igual a 1,8, ângulo de atrito solo-reforço igual a  $29^\circ$  e fator de segurança para ancoragem igual a 2.

## Ejemplo de Cálculo

### 1. Análise de Estabilidade Externa

#### 1.1 Cálculo do Empuxo e Tensões Ativas na Face Interna do Maciço Reforçado:

Pela teoria de Rankine, obtém-se o diagrama de tensões ativas apresentado na Figura 2.

Com:

$$\sigma'_h = (\gamma z + q)k_{a2} - 2c'_2 \sqrt{k_{a2}}$$

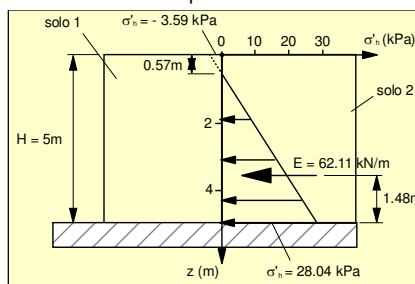
onde:

$$k_{a2} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi'_2}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{30^\circ}{2}\right) = 0.333$$

Desprezando-se a parcela negativa do diagrama de tensões horizontais, o empuxo ativo é dado por:

$$E = 62.11 \text{ kN/m}$$

Da figura, obtém-se o ponto de aplicação do empuxo igual a:  $y_E = 1.48 \text{ m}$





## Ejemplo de Cálculo

### 1.1 Deslizamento ao Longo da Base

$$B_d = \frac{FS_d E_h - E_v \tan \delta_b}{(\gamma H + q) \tan \delta_b}$$

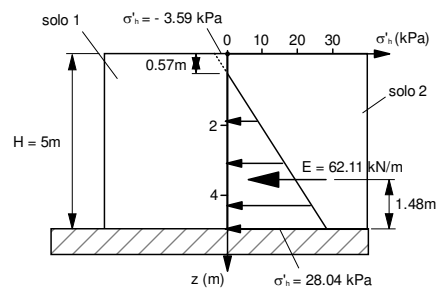
$$B_d = \frac{15 \times 62.11}{(17 \times 5 + 10) \tan 28^\circ} = 2.10 \text{ m}$$

### 1.2 Verificação do Tombamento

$$B_t = \sqrt{\frac{2FS_d E_d}{\gamma H + q}}$$

$$B_t = \sqrt{\frac{2 \times 2.0 \times 62.11 \times 1.48}{17 \times 5 + 10}} = 1.96 \text{ m}$$

Como  $B_d > B_t$ , admite-se provisoriamente  $B = 2.10 \text{ m}$



## Ejemplo de Cálculo

### 1.4 Distribuição de Tensões na Base e Capacidade de Carga do Solo de Fundação

$$W = 17 \times 2.1 \times 5 = 178.50 \text{ kN/m}$$

$$Q = 2.1 \times 10 = 21 \text{ kN/m}$$

$$x_w = x_Q = 1.05 \text{ m}$$

$$x_R = \frac{W x_w + Q x_Q - E y_E}{W + Q}$$

$$x_R = \frac{178.5 \times 1.05 + 21 \times 1.05 - 62.1 \times 1.48}{178.5 + 21}$$

$$x_R = 0.59 \text{ m}$$

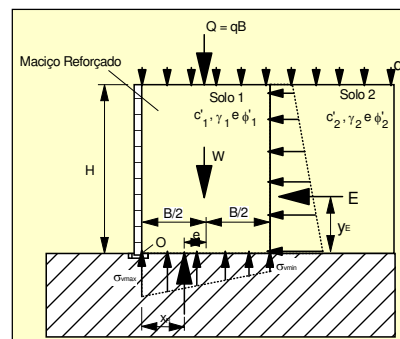
Então:

$$N = W + Q = 178.5 + 21 = 199.50 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{vmin} = \frac{2N}{B} \left( \frac{3x_R}{B} - 1 \right)$$

$$\sigma_{vmin} = \frac{199.5}{2.1} \left( \frac{3 \times 0.59}{2} - 1 \right) = -10.93 \text{ kPa} \rightarrow < 0$$

Deve-se aumentar a base da estrutura de modo a se ter  $\sigma_{vmin}$  positivo e não muito pequeno.



## Ejemplo de Cálculo

Seja, então, admitir-se  $B = 3.5\text{m}$ . Neste caso:

$$\begin{aligned} W &= 17 \times 3.5 \times 5 = 297.5 \text{ kN/m} \\ Q &= 3.5 \times 10 = 35 \text{ kN/m} \\ x_W &= x_Q = 1.75 \text{ m} \end{aligned}$$

$$x_R = \frac{297.5 \times 1.75 + 35 \times 1.75 - 62.11 \times 1.48}{297.5 + 35} = 1.47 \text{ m}$$

Então:

$$N = W + Q = 297.5 + 35 = 332.5 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{\text{vmin}} = \frac{332.5}{3.5} \left( 2 - \frac{3 \times 1.47}{3.5} \right) = 24.7 \text{ kPa}$$

Então:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{vmax}} &= \frac{2N}{B} \left( 2 - \frac{3x_R}{B} \right) \\ \sigma_{\text{vmax}} &= \frac{2 \times 332.5}{3.5} \left( 2 - \frac{3 \times 1.47}{3.5} \right) = 140.6 \text{ kPa} \end{aligned}$$

## Ejemplo de Cálculo

A excentricidade da resultante na base é dada por:

$$e = \frac{B}{2} - x_R \leq \frac{B}{6}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_R = \frac{3.5}{2} - 1.47 = 0.28 \text{ m}$$

A largura equivalente da base é dada por:

$$B' = B - 2e$$

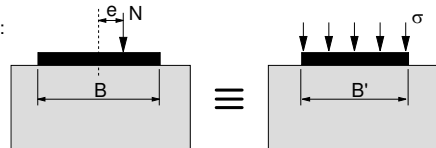
$$B' = 3.5 - 2 \times 0.28 = 2.94 \text{ m}$$

Tensão norma média equivalente:

$$\sigma = \frac{N}{B'} \rightarrow \sigma = \frac{332.5}{2.94} = 113.10 \text{ kPa}$$

Inclinação da Força Resultante na Base:

$$\begin{aligned} \alpha &= \tan^{-1} \frac{E}{N} = \frac{62.11}{332.5} = 0.19 \Rightarrow \alpha = 10.6^\circ \rightarrow i_\gamma = \left( 1 - \frac{\alpha}{\phi} \right)^2 = \left( 1 - \frac{10.6^\circ}{34^\circ} \right)^2 = 0.47 \\ i_c &= i_q = \left( 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{10.6^\circ}{90^\circ} \right)^2 = 0.78 \end{aligned}$$





## Ejemplo de Cálculo

A capacidade de carga do solo de fundação é dada por:

$$q_{\max} = c' i_c N_c + q_s i_q N_q + 0.5 \gamma_i B' i_\gamma N_\gamma$$

Para  $\phi' = 34^\circ \rightarrow N_c = 42.16$ ,  $N_q = 29.44$  e  $N_\gamma = 41.06$ . Logo:

$$q_{\max} = 10 \times 0,78 \times 42.16 + 0 \times 0,78 \times 29.44 + 0.5 \times 20 \times 2.94 \times 0,47 \times 41.06 = 896,2 \text{ kPa}$$

$$\text{Então: } FS_t = \frac{q_{\max}}{\sigma} \geq 3 \rightarrow FS_t = \frac{896,2}{113,10} = 7,92 \geq 3 \Rightarrow \text{OK}$$

## Ejemplo de Cálculo

### 2. Estabilidade Interna

2.1 Dados do reforço para dimensionamento:

$$T_{\text{ref}} = \frac{T_{\text{indice}}}{f_{fl}}$$

Na falta de resultados de ensaios de fluência, adotou-se  $f_{fl} = 1,8$  para as condições do problema e tipo de reforço.

$$T_{\text{ref}} = \frac{39,2}{1,8} = 21,8 \text{ kN/m}$$

$$T_d = \frac{T_{\text{ref}}}{f_m f_{dm} f_{amb}}$$

adotando-se:  $f_m = 1,1$ ,  $f_{dm} = 1,2$  e  $f_{amb} = 1,1$ , tem-se:

$$T_d = \frac{21,8}{1,1 \times 1,2 \times 1,1} = 15 \text{ kN/m}$$

## Ejemplo de Cálculo

### 2.2 Determinação do Espaçamento entre Reforços

$$S = \frac{T_d}{(\gamma_r z + q)k_{a1} - 2c'\sqrt{k_{a1}}}$$

com:

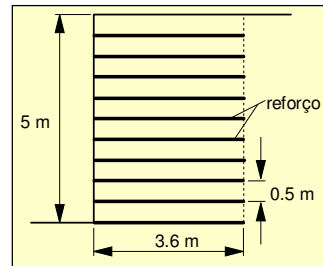
$$k_{a1} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi_1'}{2}\right)$$

$$k_{a1} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{32^\circ}{2}\right) = 0.31$$

S espaçamento uniforme, para  $z = H = 5\text{m}$ :

$$S_{\text{uniforme}} = \frac{15}{(17 \times 5 + 10) \times 0.31 - 2 \times 0 \times \sqrt{0.31}} = 0.51\text{m}$$

Então  $S_{\text{uniforme}} = 0.50\text{m}$

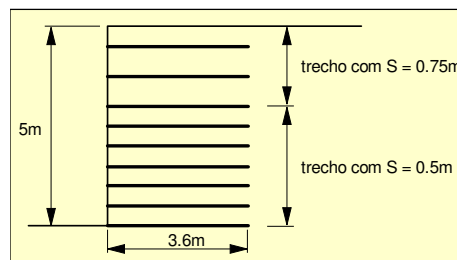
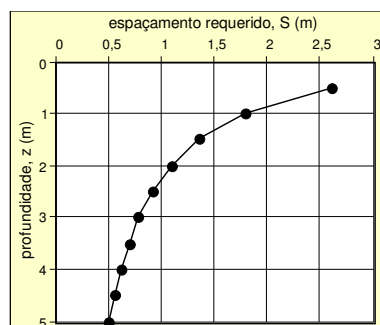


## Ejemplo de Cálculo

Para  $S$  variável ao longo da altura (maciço mais deformável), a variação de  $S$  com a profundidade  $z$  seria dada por:

$$S = \frac{15}{0.31 \times [17z + 10]} = \frac{15}{5.27z + 3.1}$$

Caso se opte por espaçamentos múltiplos da espessura da camada de solo compactado (admitida igual a 0.25m), pode-se utilizar espaçamento  $S = 0.50\text{m}$  da profundidade  $z = 5\text{m}$  até  $z = 3\text{m}$  e  $S = 0.75\text{m}$  de  $z = 3\text{m}$  a  $z = 0$  (total de camadas  $n = 9$ ).



## Ejemplo de Cálculo

### 2.3 Verificação do Comprimento de Ancoragem do Reforço

Adotou-se a solução em espaçamento entre reforços uniforme

#### 2.3.1 Extremidade Interna do Reforço

$$l_{ai} = B - (H - z_i) \tan(45^\circ - \frac{\phi'_1}{2})$$

Para arranjo com espaçamento uniforme entre reforços:

Para o reforço mais superficial,  $z_1 = 0.50$  m

$$l_{ai} = 3.5 - (5 - 0.50) \tan(45^\circ - \frac{32^\circ}{2}) = 1.01 \text{ m}$$

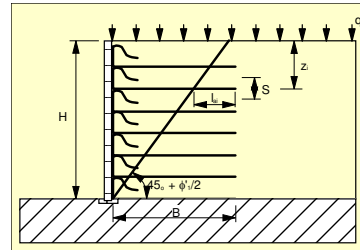
(a) Sem sobrecarga distribuída na superfície do terrapleno

$$FS_{\text{anci}} = \frac{2l_{ai}\gamma_1 z_i \tan \delta}{T_1} \geq 2$$

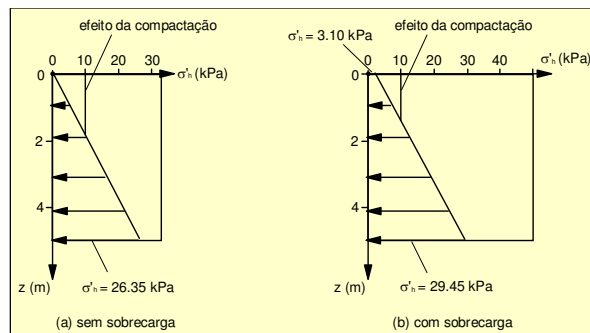
onde, para o primeiro reforço:

$$T_1 = (z_1 + \frac{S}{2}) \sigma'_{vz}$$

onde:  $z_1 + S/2 = 0.50 + 0.50/2 = 0.75$  m



## Ejemplo de Cálculo



$$T_1 = 0.75 \times 10 = 7.50 \text{ kN/m}$$

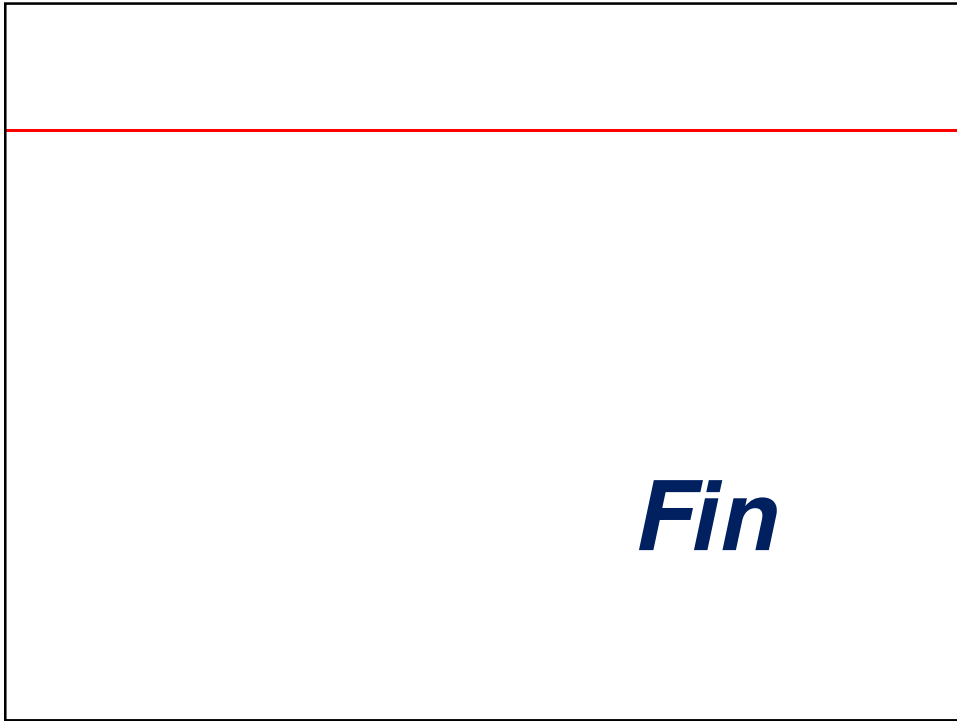
$$FS_{\text{anci}} = \frac{2 \times 1.01 \times 17 \times 0.75 \times \tan 29^\circ}{7.50} = 1.90 < 2 \Rightarrow \text{aumentar } l_a$$

Aumentando-se 0.10 m o comprimento dos reforços, tem-se  $l_a = 1.11$  m, logo:

$$FS_{\text{anci}} = \frac{2 \times 1.11 \times 17 \times 0.75 \times \tan 29^\circ}{7.50} = 2.09 \geq 2 \Rightarrow \text{OK}$$

Assim, para satisfazer a ancoragem dos reforços, adote-se  $B = 3.60$  m

Etc...





# ***Geosintéticos en Obras de Control de Erosiones***

Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## **Erosiones**

### **Daños Causados por Erosiones**

Erosiones Costeras



# Erosiones

## Daños Causados por Erosiones

### Erosiones Costeras



# Erosiones

## Daños Causados por Erosiones

### Erosiones Fluviales



Margens do Rio Araguaia

## Erosiones

### Daños Causados por Erosiones

---

Erosiones en Brasília, DF, Brasil



## Erosiones

### Daños Causados por Erosiones

---

Erosiones en Brasília, DF, Brasil



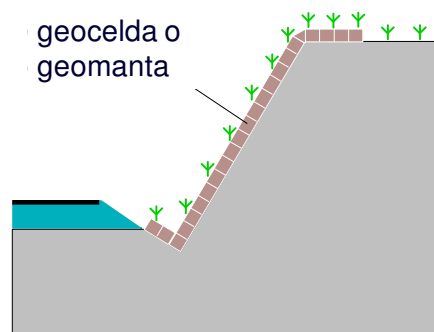
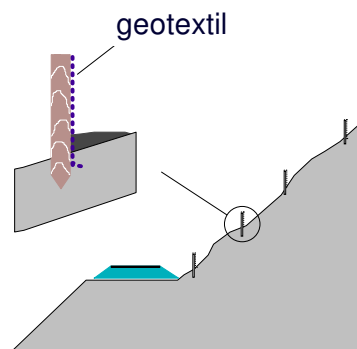
# Erosiones

## Daños Causados por Erosiones

Erosiones en Brasília, DF, Brasil

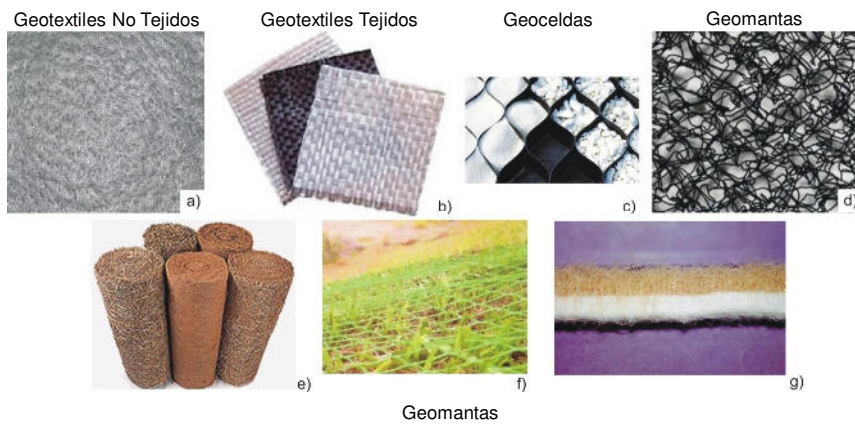


# Geosintéticos en Control de Erosiones





## Geosintéticos para Obras de Control de Erosiones

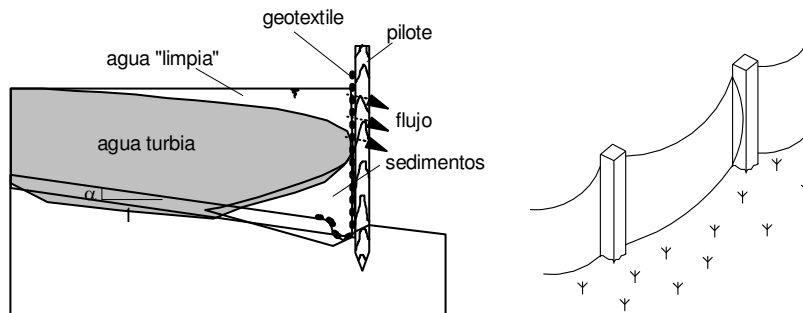


## Barrera de Contención de Sedimentos “Silt Fences”



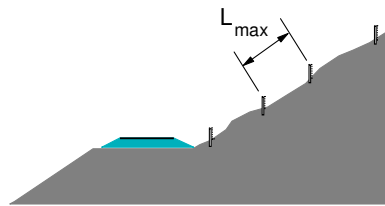
## Geosintéticos em Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos



## Geosintéticos em Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos



Contención de erosión laminar en terreno llano y sin vegetación (Richardson and Middlebrooks, 1991)

Longitud máxima del talud entre paredes de contención

$$L_{max} = 36.2e^{-11.1\alpha}$$

donde:

$L_{max}$  = longitud máxima entre las paredes (m);

$\alpha$  = pendiente de lo terreno (1 na horizontal para  $\alpha$  na vertical)

## Geosintéticos em Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos

---

El caldal de run-off está dada por

$$Q = CIA$$

Donde:

- Q = caldal de run-off (agua mais sedimentos), m<sup>3</sup>/h;
- C = coeficiente de run-off (adimensional);
- I = intensidad de la precipitación (m/h)
- A = área erodida (m<sup>2</sup>/m).

Koerner (1998):

- Para terrenos llanos y sin vegetación: C = 0,5
- Intensidad de la precipitación con 1 hora de duración e intervalo de recurrencia de 10 años.

## Geosintéticos em Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos

---

La altura de la pared es dada en función de lo volume de sedimentos que puede ser acumulado após un evento por

$$V = Qt = H\left(\frac{H}{\alpha}\right)/2 \quad H = \sqrt{2Qt\alpha}$$

Onde:

- V = volume total de run-off (m<sup>3</sup>);
- Q = caldal de run-off (m<sup>3</sup>/h);
- t = duración de la precipitación (assumida igual a 1 h, com base no valor de I utilizado no cálculo de Q);
- H = altura de la pared para conter los sedimentos de uma única precipitación;
- $\alpha$  = pendiente del terreno.

Para la contención de los sedimentos de n precipitaciones:  $H_n = nH$

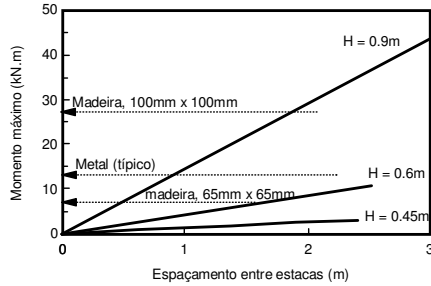
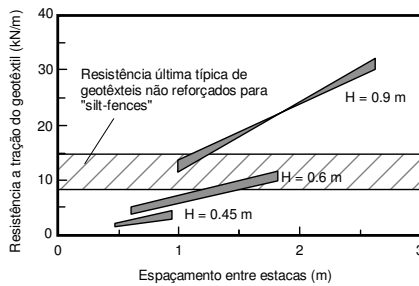
## Geosintéticos em Erosões

### Barrera de Contención de Sedimentos

O tipo de geotêxtil é selecionado em função de sua resistência à tração ao longo da direção mais fraca.

As condições de filtro não são importantes, pois a tendência é o geotêxtil ser colmatado pelas partículas de solo trazidas em suspensão

Richardson e Middlebrooks (1991):

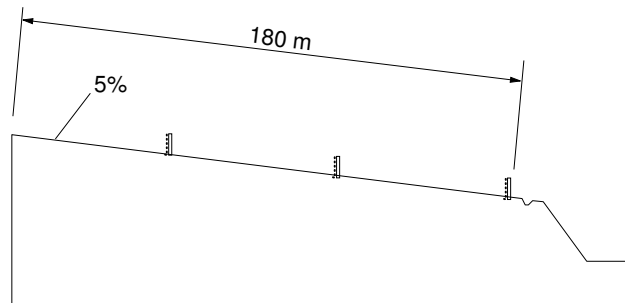


## Geosintéticos em Erosões

### Barrera de Contención de Sedimentos

#### Ejemplo

Projetar o sistema de contenção para o talude apresentado na figura abaixo. A intensidade de chuva com 10 anos de intervalo de recorrência, e duração de 1 hora, é igual a 50 mm/h e o sistema deve ser projetado para 4 chuvas nessas condições.



## Geosintéticos en Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos

#### Ejemplo

a. Cálculo do comprimento máximo sobre o talude para cada barreira

$$L_{max} = 36,2e^{-11.1\alpha} = 36,2xe^{-11.1 \times 0.05} = 20,8m$$

Serão, então, necessárias 3 barreiras espaçadas de 20 m.

b. Vazão de run-off

$$Q = CIA = 0,5 \times 50 \times 10^{-3} \times (20 \times 1) = 0,5m^3 / h$$

c. Altura necessária por chuva de projeto

$$H = \sqrt{2Qt\alpha} = \sqrt{2 \times 0,5 \times 1 \times 0,05} = 0,22m$$

Para 4 chuvas de projeto:  $H_n = nH = 4 \times 0,22 = 0,88m \rightarrow H_n = 0,9m$

## Geosintéticos en Erosiones

### Barrera de Contención de Sedimentos

#### Ejemplo

d. Resistência a tração do geotêxtil

Assumindo-se um espaçamento entre estacas de 1.8m, obtém-se do gráfico

$$T_{req} \cong 23 \text{ kN/m}$$

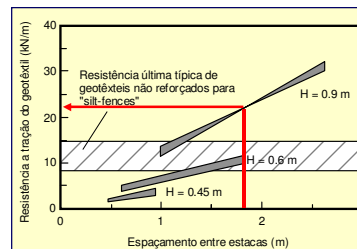
Assim:

$$T_{adm} = FS T_{req}$$

Adotando-se  $FS = 1.4$

$$T_{adm} = 1.4 \times 23 = 32.2 \text{ kN/m}$$

$$T_{adm} = 32.2 \text{ kN/m}$$



Escolhe-se um geotêxtil com resistência a tração igual ou superior a 32.2 kN/m ou pode-se estudar a utilização de um geotêxtil com resistência menor que atenda aos demais requisitos, desde que apoiado em tela (metálica), geogrelha ou em outro elemento de apoio.

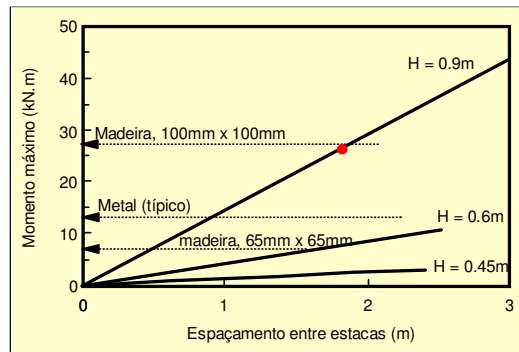
# Geosintéticos en Erosiones

## Barrera de Contención de Sedimentos

### Ejemplo

#### d. Espaçamento entre estacas

Do gráfico de dimensionamento das estacas, verifica-se que se pode utilizar estacas de madeira com 100 mm x 100 mm de seção transversal.

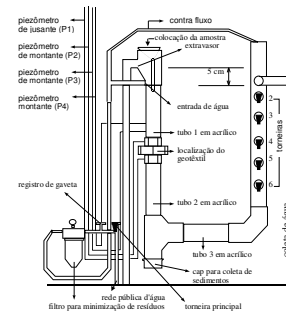
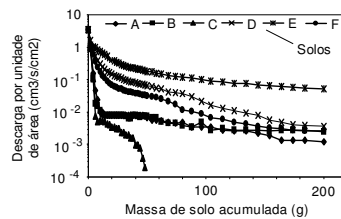


# Geosintéticos en Erosiones

## Farias (1999 e 2001) - Erosiones de Brasília



Fine Fraction Filtration Test – F<sup>3</sup> Test



## Geosintéticos en Erosiones

Farias (1999 e 2001) - Erosiones de Brasília



Barrera de sedimentos de bajo costo



## Geosintéticos en Erosiones

Farias (1999 e 2001) - Erosiones de Brasília

Barrera de sedimentos de bajo costo

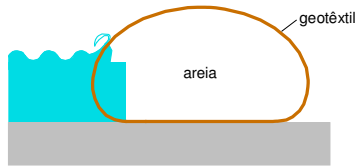




# Geosintéticos em Erosiones

## Obras de Protección de Ambientes Marinos

Tubos de Geotextil



Fotos: cortesia IGS



# Geosintéticos em Erosiones

## Obras de Protección de Ambientes Marinos

Tubos de Geotextil





# Geosintéticos en Erosiones

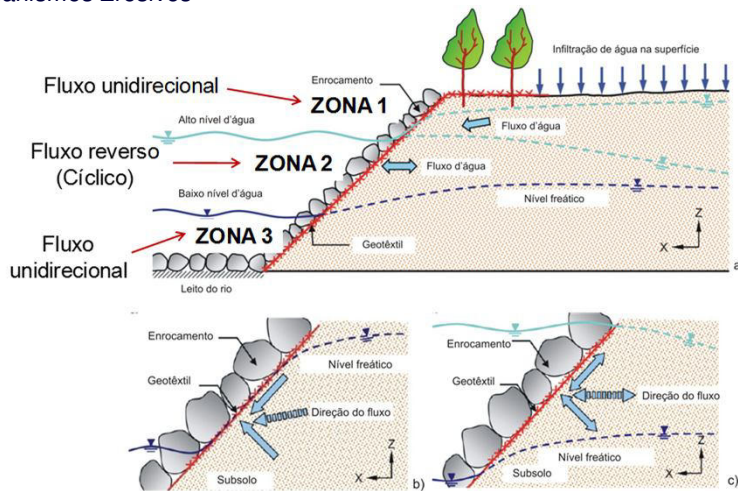
## Obras de Protección de Costas



# Geosintéticos em Erosiones

## Protección de Taludes Costeros y Fluviales

Mecanismos Erosivos



Faure *et al.* (2010) e Chen *et al.* (2008)

## Geosintéticos en Erosiones

### Obras de Protección de Costas - Holtz et al. (1997)

#### I - Critério de Retenção<sup>(1)</sup>

Solo	Fluxo Permanente	Fluxo Dinâmico, cíclico, etc. (geotêxtil pode se mover)
< 50% < que 0.075 mm <sup>(2)</sup>	AOS ou $O_{95} \leq B D_{85}$ $C_u \leq 2$ ou $\geq 8$ : $B = 1$ $2 \leq C_u \leq 4$ : $B = 0.5 C_u$ $4 \leq C_u \leq 8$ : $B = 8/C_u$	$O_{95} \leq 0.5 D_{85}$
$\geq 50\%$ $\geq$ que 0.075 mm	Tecido: $O_{95} \leq D_{85}$ Não-Tecido: $O_{95} \leq 1.8 D_{85}$	$O_{95} \leq 0.5 D_{85}$
Solos coesivos (IP > 7)	$O_{95}$ (geotêxtil) $\leq 0.3$ mm	

#### II - Critério de Permeabilidade<sup>(3)</sup>

##### a. Aplicações Severas/Críticas

$$k_{\text{geotêxtil}} \geq 10 k_{\text{solo}}$$

##### b. Aplicações Menos Críticas ou Severas (com areias médias a grossas limpas e pedregulhos)

$$k_{\text{geotêxtil}} \geq k_{\text{solo}}$$

##### c. Requisitos de Permissividade

$\psi \geq 0.7 \text{ s}^{-1}$	para < 15% menor que 0.075 mm
$\psi \geq 0.2 \text{ s}^{-1}$	para de 15 a 50% menor que 0.075 mm
$\psi \geq 0.1 \text{ s}^{-1}$	para > 50% menor que 0.075 mm

## Geosintéticos en Erosiones

### Obras de Protección de Costas - Holtz et al. (1997)

#### III - Critério de Colmatação

##### a. Aplicações Severas/Críticas<sup>(4)</sup>

Atendidos aos critérios I, II e III b, executar ensaios de filtração para a escolha do geotêxtil a ser utilizado (Razão entre Gradientes, Condutividade Hidráulica ou Ensaio F<sup>3</sup>)

##### b. Aplicações Menos Severas/Críticas

1. Executar Ensaio de Filtração
2. Alternativa:  $O_{95} \geq 3 D_{15}$  para  $C_u > 3$
3. Para  $C_u \leq 3$ , especificar o geotêxtil com a menor abertura possível a partir do critério de retenção (Critério I, acima)

##### 4. Qualificadores de Área Aberta

Solos com % menor que 0.075 mm	$\geq 5\%$	$\leq 5\%$
- Geotêxteis tecidos de monofilamentos, (Porcentagem de área aberta)	$\geq 4\%$	10%
- Não-tecidos, porosidade <sup>(5)</sup>	$\geq 50\%$	$\geq 70\%$

## Geosintéticos en Erosiones

### Obras de Protección de Costas - Holtz et al. (1997)

#### IV – Requisitos de Sobrevivência

Requisitos Físicos<sup>6,7,8,9</sup> para Geotêxteis em Controle de Erosões (AASHTO, 1990 e 1996)

Propriedade	Alta Sobrevivência <sup>10</sup> (Classe 1) <sup>14</sup>	Sobrevivência Moderada <sup>11</sup> (Classe 2) <sup>14</sup>	Método de Ensaio
Resistência Grab (N)	900	700	ASTM D 4632
Deformação (%)	15	15	ASTM D 4632
Resistência da Costura (N) <sup>12</sup>	810	630	ASTM D 4632
Resistência à Perfuração (N)	350	250	ASTM D 4833
Resistência ao Estouro (kPa)	1700	1300	ASTM D 3787
Rasgamento Trapezoidal (N)	350	250	ASTM D 4533
Degradação por Raios Ultra- Violeta em 500 horas <sup>13</sup>	50% da resistência deve ser mantida em ambos os casos		ASTM D 4355

## Geosintéticos en Erosiones

### Obras de Protección de Pendientes



## Geosintéticos en Erosiones

Geocélulas – Cerca de la Puente JK - Brasilia



## Geosintéticos en Erosiones

Geocélulas – Cerca de la Puente JK - Brasilia



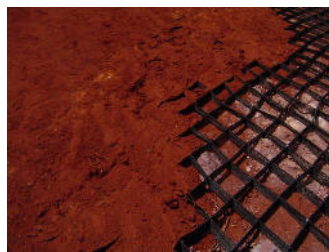
## Geosintéticos en Erosiones

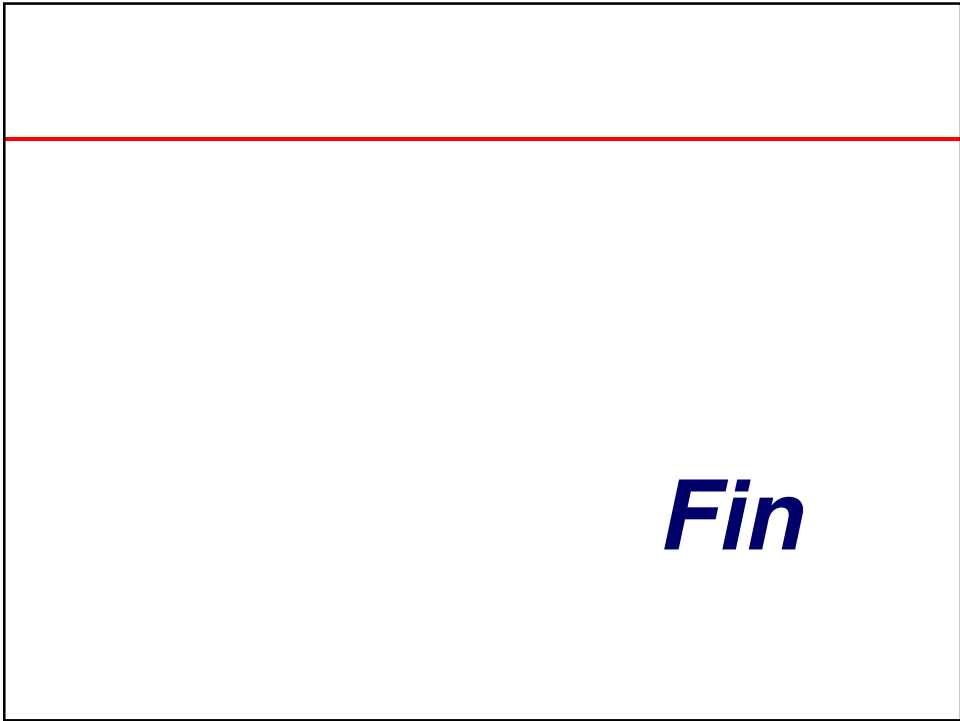
Geocélulas – Cerca de la Puente JK - Brasilia



## Geosintéticos en Erosiones

Geocélulas – Cerca de la Puente JK - Brasilia









UnB



# ***Geosintéticos en los Rellenos Sanitarios***

Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## **Geosintéticos en Obras de Rellenos Sanitarios Introducción**

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Contención de Residuos



## Geosintéticos en el Médio Ambiente

### Tipos de Resíduos

Koerner (1998)

Periculosidade aumenta  
↓

- . Resíduos de Construção;
- . Cinzas de usinas termo-elétricas;
- . resíduos de incineradores tratados;
- . resíduo não-tóxico não tratado;
- . resíduo municipal;
- . resíduo biológico (hospitalar);
- . resíduo tóxico;
- . resíduo muito tóxico;
- . resíduo radioativo (baixo nível, nível médio e alto nível de radioatividade).



## Sistemas de Barreras contra Gases y Líquidos

### Geosintéticos en el Medio Ambiente Camadas de Arcilas Compactadas

- Capas de Arcilla Compactada →  $k \approx 10^{-6}$  a  $10^{-9}$  cm/s

Algunas de las desventajas:

- Espessura (tipicamente entre 0.6 a 2m), ocupa considerável volume;
- Piping em camadas de argila submetidas a altas concentrações de chorumes/solventes orgânicos (metanol, ácido acético, etc.);
- Ressecamento ou recalques diferenciais provocam trincamento;
- Dependendo do resíduo a camada pode ser atacada;
- Permeabilidade pode aumentar em até 1000 vezes dependendo do tipo de fluido (efeito da viscosidade).

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Fissuramiento de Arcilas Compactadas

---



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Barreras e Drenaje

---



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Barreras e Drenaje



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas

#### Componentes Típicos:

- Resina Polimérica
- Plastificantes
- Aceleradores ou Retardadores
- Amolecedores
- Etc.
- Espessuras típicas: 0.13 a 5.1 mm
- Largura do rolo: 0.9 a 5.2 m (até 10.4 m)

#### Contención de Resíduos (IFAI, 1996):

- 52% das aplicações de geomembranas;
- 20% das aplicações de geotêxteis (3º tipo mais comum de aplicação de geotêxteis).

Coeficientes de permeabilidade típicos:  $10^{-10}$  a  $10^{-13}$  cm/s

## **Geosintéticos en el Medio Ambiente**

### **Geomembranas**

---

Ventajas:

- Controle de qualidade
- Pequena espessura
- Baixo coeficiente de permeabilidade
- Aceita deformações elevadas
- Interessante quando materiais naturais são escassos
- Tecnologia avança a cada dia

## **Geossintéticos em Meio Ambiente**

### **Geomembranas**

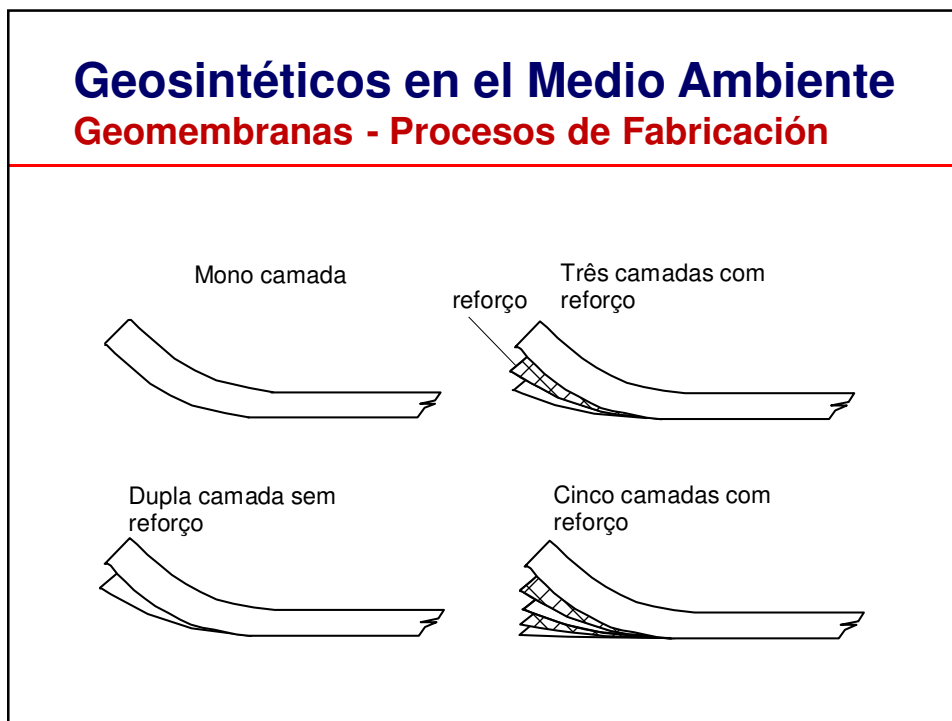
---

Limitaciones:

- Custo para pequenas obras;
- Necessidade de bom controle de qualidade na instalação;
- Limitações na variedade de produtos no Brasil (tem diminuído nos últimos anos) em comparação a países do Primeiro Mundo.

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

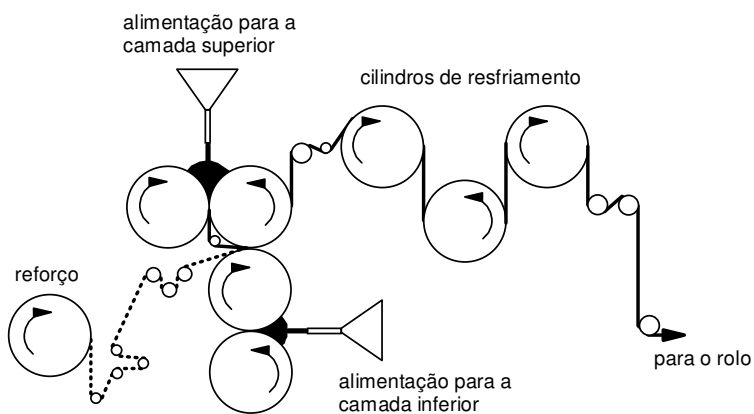
### Geomembranas - Procesos de Fabricación



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Procesos de Fabricación

Fabricación de geomembranas em multi-camadas:



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas: Tipos Mais Comunes de Polímeros

#### Polímeros Termoplásticos Mais Usados

- Polivinil Clorido (PVC)
- Polietileno: Alta Densidade (PAD ou HDPE)  
Média Densidade (MDPE)  
Baixa Densidade (LDPE)
- Polietileno Clorado (CPE)
- Poliamida (PA)

#### Polímeros Termofixados Mais Usados

- Elastômero de Dieno-Propileno-Etileno (EPDM)
- Co-Polímero de Etileno-Acetato de Vinila (EVA)
- Butil

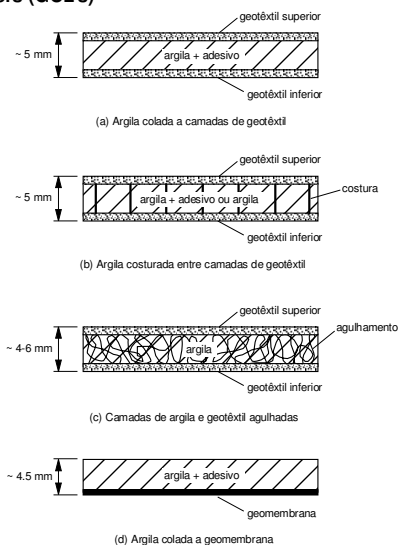
#### Combinações

- PE-EPDM
- CPE com ligações cruzadas
- Polietileno Cloro-Sulfonado (CSPE)

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geocompuestos Arcilosos (GCL)

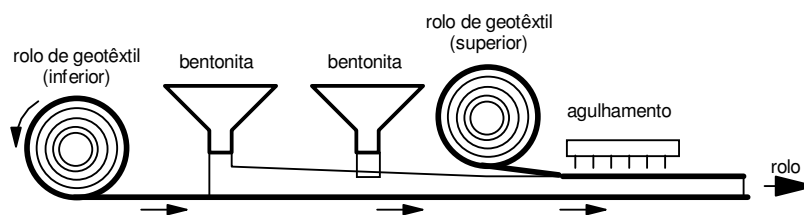
#### Geosynthetic Clay Liners (GCL's)



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

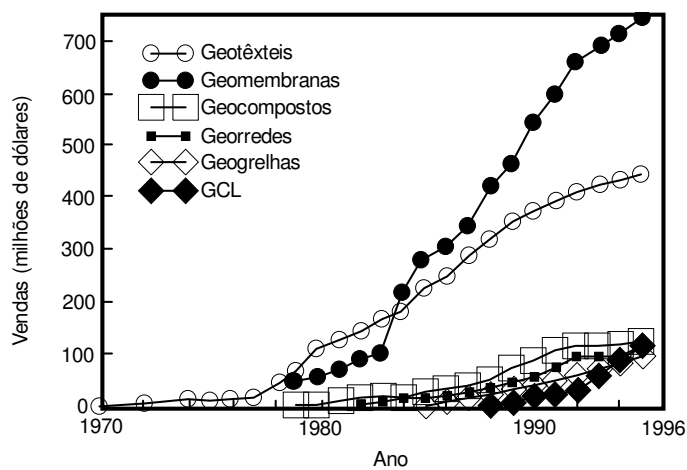
### GCL's - Proccsos de Fabricación

Processo típico de fabricação de geocompostos argilosos:



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Evolución del Consumo en América del Norte



Koerner (1998)

## **Geosintéticos en el Medio Ambiente** **Geomembranas - Aplicaciones**

---



## **Geosintéticos en el Medio Ambiente** **Geomembranas - Aplicaciones**

---

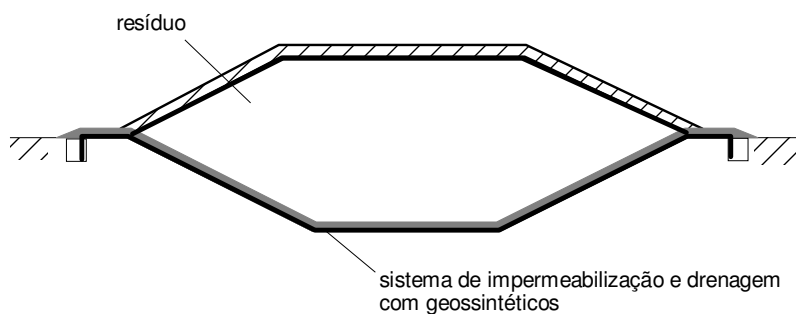




## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones

---

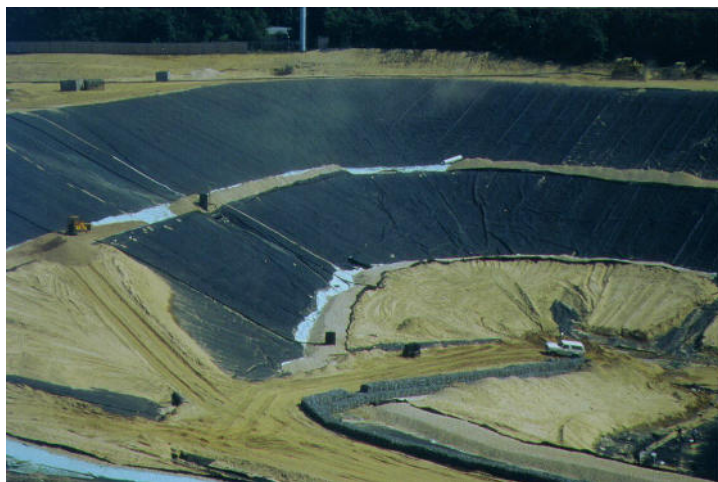


Contención de Resíduos

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones

---



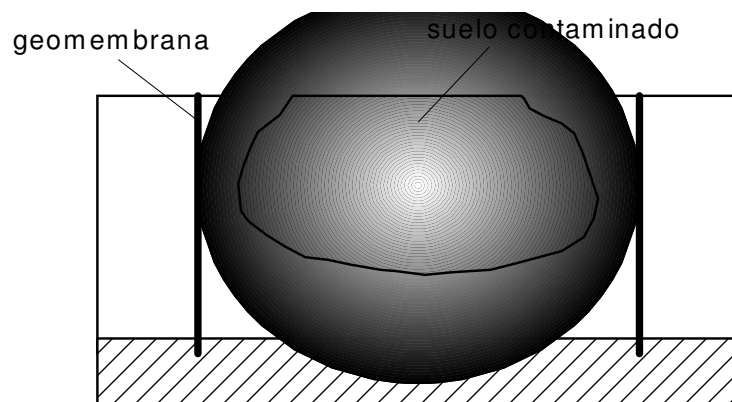
## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones



Aislamiento de Suelo Contaminado

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas - Aplicaciones



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas

#### Propriedades Físicas Relevantes

- Espesor
- Densidad (tipicamente de 0,85 a 1,5)
  - Polietileno de alta densidade (PAD ou HDPE)  $\cong$  940 kg/m<sup>3</sup>
  - PVC  $\cong$  1200 a 1300 kg/m<sup>3</sup>
  - Polipropileno  $\cong$  910 kg/m<sup>3</sup>
  - Poliéster  $\cong$  1340 kg/m<sup>3</sup>
- Masa por unidade de área
- Transmisión de Vapor de Água
- Transmisión de Vapor de Solvente

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas

#### Propriedades Mecânicas Relevantes

Ensaio	Resultado <sup>(2)</sup>	Tipo de Geomembrana			
		HDPE <sup>(1)</sup>	VLDPE <sup>(1)</sup>	PVC <sup>(1)</sup>	CSPE-R <sup>(1)</sup>
Tira Estreita	$\sigma_{\max}$ (kPa)	18600	8300	21000	54500
	$\epsilon_{\max}$ (%)	17	> 500	480	19
	E (MPa)	330	76	31	330
	$\sigma_{\text{ult}}$ (kPa)	13800	8300	20700	5700
	$\epsilon_{\text{ult}}$ (%)	> 500 <sup>(3)</sup>	>500 <sup>(3)</sup>	480	110
Tira Larga	$\sigma_{\max}$ (kPa)	15900	7600	13800	31000
	$\epsilon_{\max}$ (%)	15	400 <sup>(3)</sup>	210	23
	E (MPa)	450	69	20	300
	$\sigma_{\text{ult}}$ (kPa)	11000	7600	13800	2800
	$\epsilon_{\text{ult}}$ (%)	> 400 <sup>(3)</sup>	> 400 <sup>(3)</sup>	210	79
Axisimétrico	$\sigma_{\max}$ (kPa)	23500	10300	14500	31000
	$\epsilon_{\max}$ (%)	12	75	100	13
	E (MPa)	720 <sup>(4)</sup>	170 <sup>(4)</sup>	100 <sup>(4)</sup>	350 <sup>(4)</sup>
	$\sigma_{\text{ult}}$ (kPa)	23500	10300	14500	31000
	$\epsilon_{\text{ult}}$ (%)	25	75	100	13

Notas: (1) HDPE = polietileno de alta densidade com espessura de 1.5 mm, VLDPE = polietileno de muito baixa densidade com espessura de 1.0 mm, PVC = policloreto de vinila com espessura de 0.75 mm e CSPE-R = polietileno cloro-sulfonado reforçado com espessura de 0.91 mm; (2)  $\sigma_{\max}$  = tensão de tração máxima,  $\epsilon_{\max}$  = deformação para a tensão de tração máxima, E = módulo de deformação,  $\sigma_{\text{ult}}$  = tensão de tração última (na ruptura),  $\epsilon_{\text{ult}}$  = deformação para a tensão de tração última; (3) Não rompeu; (4) Valores considerados elevados.

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Resistencias Química

---

- Resistência ao Ozônio
- Resistência a Raios Ultra-Violeta
- Resistência a Ataques Biológicos
  - hongos
  - Bactérias
  - Roedores

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas

#### Requisitos para Supervivencia a la Instalação

---

Algumas recomendações de espessuras mínimas de geomembranas:

- US Bureau of Reclamation:  $t_{GT} \geq 0.5$  mm para aplicações em canais;
- USEPA:  $t_{GT} \geq 0.75$  mm para disposição de resíduos perigosos;
- Alemanha Ocidental:  $t_{GT} \geq 2.0$  mm para disposição de resíduos perigosos.

A cobertura do geossintético com camada de solo traz os seguintes benefícios:

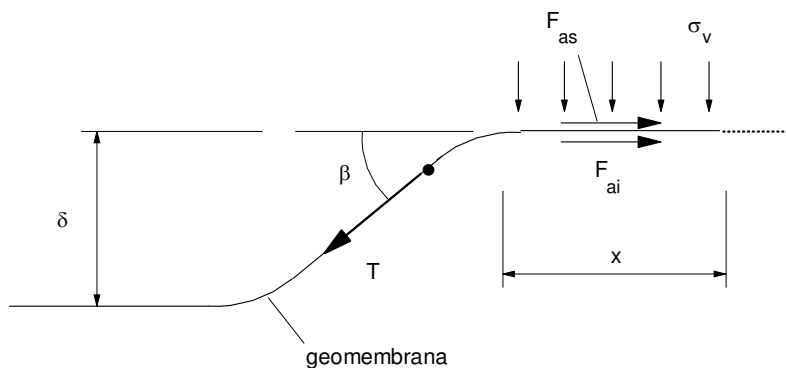
- Proteção contra ozônio, ultravioleta, extremos de temperatura, etc;
- Proteção contra tensões provocadas pelo vento;
- Proteção contra danos acidentais e vandalismo.

A espessura mínima requerida para a camada de solo de cobertura é de 30 cm.

## Evaluación de los Esfuerzos em las Geomembranas

### Geosintéticos en el Medio Ambiente Esfuerzos y Condiciones de Estabilidad

Assentamiento Local (Koerner, 1990):

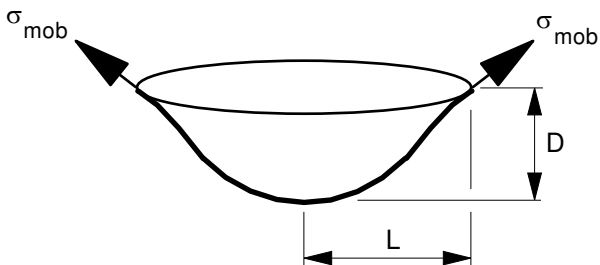


$$t_{GT} = \frac{\sigma_v x}{\cos \beta \sigma_{adm}} (\tan \delta_s + \tan \delta_i)$$

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Esfuerzos y Condiciones de Estabilidad

Asentamiento em Forma de Copa (EPA, 1991):

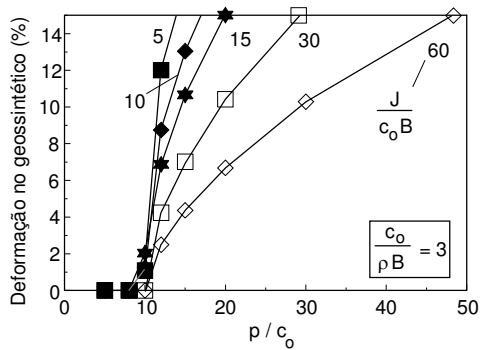
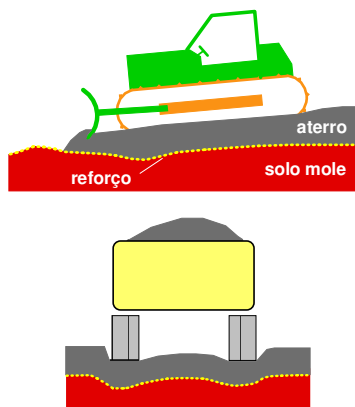


$$t_{GT} = \frac{2DL^2\gamma h}{3\sigma_{adm}(D^2 + L^2)}$$

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Esfuerzos y Condiciones de Estabilidad

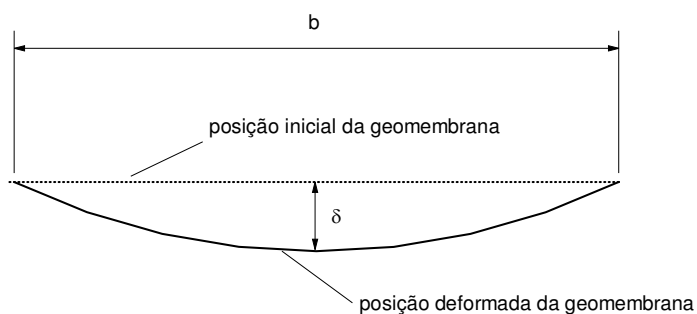
Deformaciones Causadas por Equipos de Construcción (Palmeira, 1998):



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Esfuerzos e Condiciones de Estabilidad

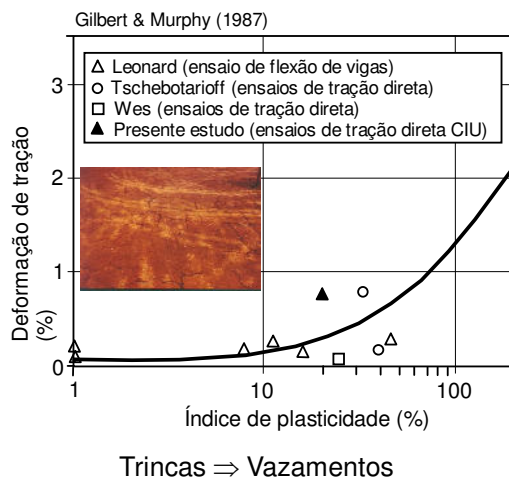
Giroud (1995):



$$\varepsilon \approx \frac{8}{3} \left( \frac{\delta}{b} \right)^2$$

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Deformaciones y Fissuras en Capas de Arcilla





## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Deformaciones y Fissuras en Capas de Arcilla

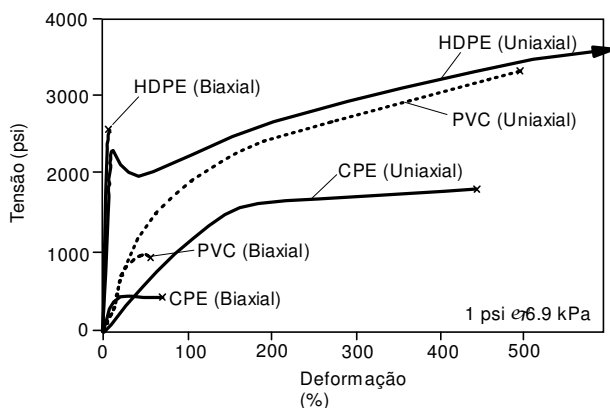
Deformações Máximas de Tração na Ruptura em Argilas Compactadas (LaGatta et al., 1995):

Referência	Tipo de solo	Umidade (%)	Índice de plasticidade (%)	Máxima deformação de tração (%)
Tschebotarioff et al. (1953)	Solo argiloso natural	19.9	7	0.8
	Bentonita	101	487	3.4
	Ilita	31.5	34	0.84
Leonards & Narin (1963)	Caulinita	37.6	38	0.16
	Portland Dam	16.3	8	0.17
	Rector Creek Dam	19.8	16	0.16
	Woodcrest Dam	10.2	NP	0.18
	Shell Oil Dam	11.2	NP	0.07
	Willard Test Dam Bem.	16.4	11	0.20
Ajaz & Parry (1975)	Gault clay	19-31	39	0.1-1.7
	Balderhead clay	10-18	14	0.1-1.6
Sherbeck et al. (1991)	Argila	---	32	1.3-2.8
Scherbeck & Jessberger (1993)	Caulim	21-30	16	2.8-4.8
	Argila A	16-29	31	1.5-4.1
	Argila B	19-33	49	1.6-3.6
	Argila C	18-26	32	1.4-4.4

Nota: NP = não plástico.

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Deformaciones en Geomembranas



Geomembranas podem aceitar grandes deformações mantendo a estanqueidade

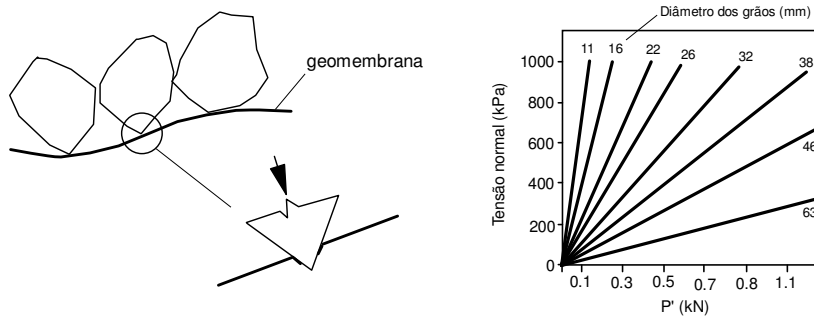
## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Perforaciones en Geomembranas

Fuerza de Perforación (Holtz et al., 1997):

$$P'_P = F_{LP} \cdot F_{TR} \cdot P'$$

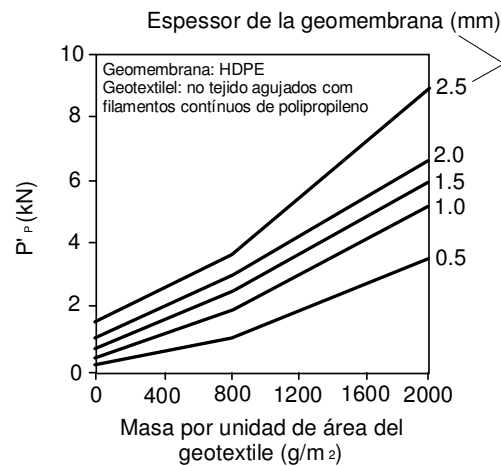
onde:  $P'_P$  = carga de perfuração de projeto,  $F_{LP}$  = fator de segurança para condição de longo prazo (em geral  $> 10$ ) e  $F_{TR}$  = fator de segurança para o tipo de resíduo ( $F_{TR} > 2$  para resíduos perigosos e  $F_{TR} > 1$  para aplicações em coberturas de áreas de disposição).



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Perforaciones en Geomembranas

Sellección de lo Geotextile para Protección de la Geomembrana (Werner et al., 1990)



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas en Pendientes: Condiciones de Estabilidad

Estabilidad Global de Pendientes

- Métodos de Análise de Estabilidade

Estabilidad de Suelos de Cobertura

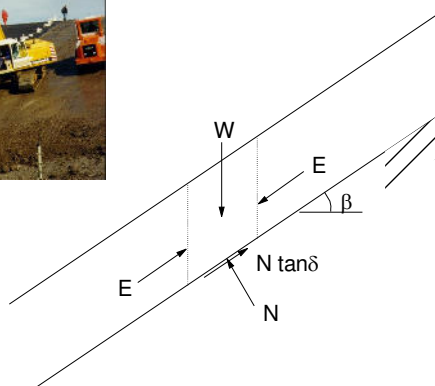
Razões para cobrir a geomembrana (geossintético) com solo:

- Proteção contra oxidação;
- Proteção contra foto-degradação;
- Minimização de extremos de temperatura;
- Proteção contra perfuração e rasgamento;
- Eliminação de esforços devido a ventos;
- Proteção contra danos acidentais;
- Proteção contra vandalismo.

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas en Pendientes: Condiciones de Estabilidad

Hipótesis de Pendiente Infinita

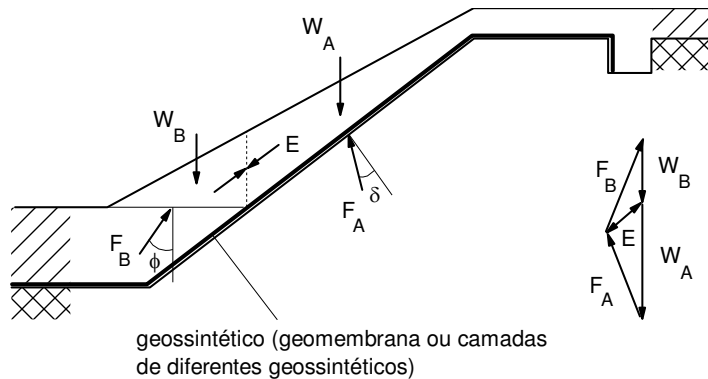


$$F = \frac{\tan \delta}{\tan \beta}$$

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas en Pendientes: Condiciones de Estabilidad

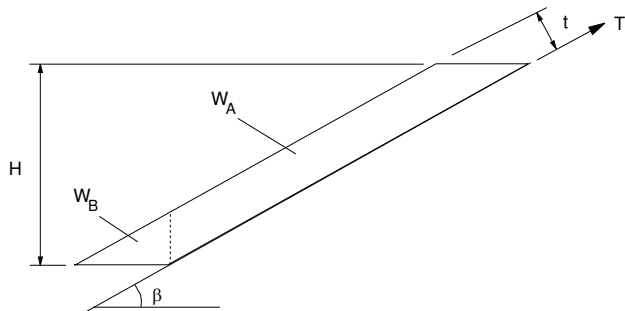
Método do US Corps of Engineers



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas en Pendientes: Condiciones de Estabilidad

Giroud & Beech (1989)

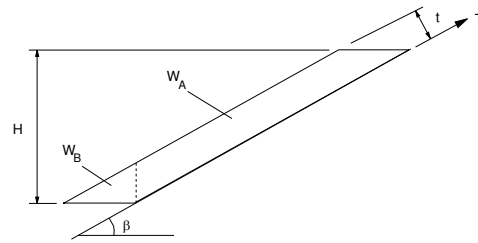


$$\frac{H}{t} = \frac{T}{\gamma t^2 \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)} + \frac{1}{2 \cos \beta} + \frac{1}{\sin 2\beta \cos \beta \left(\frac{1}{\tan \phi} - \tan \beta\right) \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)}$$

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Geomembranas en Pendientes: Condiciones de Estabilidad

Long (1995)



Caso Truncado

$$\frac{H}{t} = \frac{T}{\gamma t^2 \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)} + \frac{1}{2 \cos \beta}$$

Caso com as Cunhas A e B

$$\frac{H}{t} = \frac{T}{\gamma t^2 \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)}$$

Com Fluxo D'Água Paralelo ao Talude

$$\frac{H}{t} = \frac{T}{\gamma t^2 \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta} (1 - \Gamma \lambda)\right)}$$

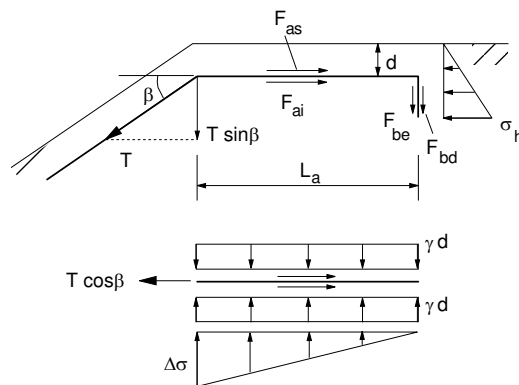
$$\Gamma = \frac{\gamma_a}{\gamma}$$

$$\lambda = \frac{t_a}{t}$$

$t_a$  = espessura da lâmina d'água no talude

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Condiciones de Anclaje en la Parte Superior



$$T \cos \beta = F_{as} + F_{ai} + F_{bd} + F_{be}$$

$$T = \sigma_{adm} t_{GT}$$

$$\Delta \sigma = 2T \sin \beta / L_a$$

$$F_{as} = (a_s + \gamma d \tan \delta_s) L_a$$

$$F_{ai} = [a_i + (\gamma d + 0.5 \Delta \sigma) \tan \delta_i] L_a$$

## Sistemas de Drenaje

### Geosintéticos en el Medio Ambiente

#### Sistemas de Drenaje

#### Algunas Recomendaciones (USEPA)

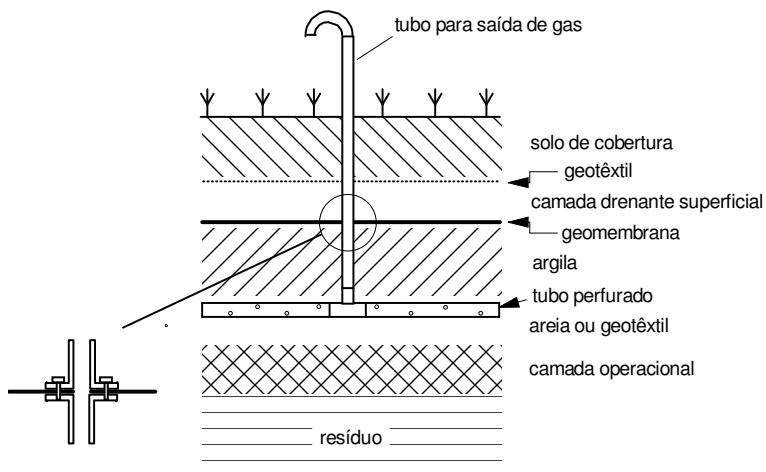
Quanto ao Sistema de Drenagem:

- A altura do nível del lixiviado en el sistema principal de coleta < 30 cm;
- O sistema primário de coleta de lixiviado e o sistema de detecção de vazamentos com uma camada drenante granular (espessor > 30 cm,  $k > 10^{-2}$  cm/s), quimicamente resistente ao lixiviado ou o material sintético equivalente (georrede, por exemplo). Pendiente mínima do sistema drenante = 2%;
- O sistema de drenagem principal deve ser protegido superiormente por camada drenante granular ou geotêxtil para evitar colmatção;
- Tubos perfurados quimicamente resistentes ao lixiviado e mecanicamente resistentes às sobrecargas devem ser previstos no sistema de drenagem para possibilitar a descarga do sistema.

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Sistema para la Drenaje de Gases

Koerner (1998)

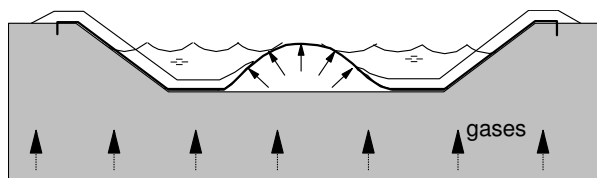


## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Necessidade de Drenaje debajo de la Geomembrana

Proteção da face inferior da geomembrana (geotêxtil, por exemplo), traz os seguintes benefícios:

- Obtenção de uma área de trabalho limpa para costuras, etc;
- Proteção da geomembrana contra perfurações e danos mecânicos;
- Pode aumentar o fator de segurança contra o deslizamento da camada de cobertura em taludes;
- Provê uma fronteira drenante para o escape de líquidos e gases que se acumulem sob a geomembrana.



## **Geosinteticos en el Medio Ambiente**

### **Acumulación de Gases Debajo de la Geomembrana**



## **Geosinteticos en el Medio Ambiente**

### **Acumulación de Gases Debajo de la Geomembrana**





## **Sistemas de Cobertura de Áreas de Contenedores de Resíduos**

### **Geosintéticos en el Medio Ambiente**

#### **Sistemas de Cobertura**

#### **Algunas Recomendaciones (USEPA)**

- Camada de argila ( $k \leq 10^{-7}$  cm/s) com espessura mínima de 60 cm;
- Geomembrana com espessura mínima de 0.5 mm sobre a camada de argila ;
- Acomodação adequada sob e sobre a geomembrana;
- Camada drenante sobre a geomembrana com permeabilidade superior a  $10^{-2}$  cm/s e rampa final (após recalques e subsidência) de 2%;
- Cobertura de solo + vegetação em camada com espessura mínima de 60 cm.
- Sistema para drenagem de gases.

## **Geosintéticos en el Medio Ambiente**

### **Sistemas de Cobertura**

Koerner (1990)

---

Recomendaciones para el Espesor de la Camada de Suelo con Vegetación de Cobertura:

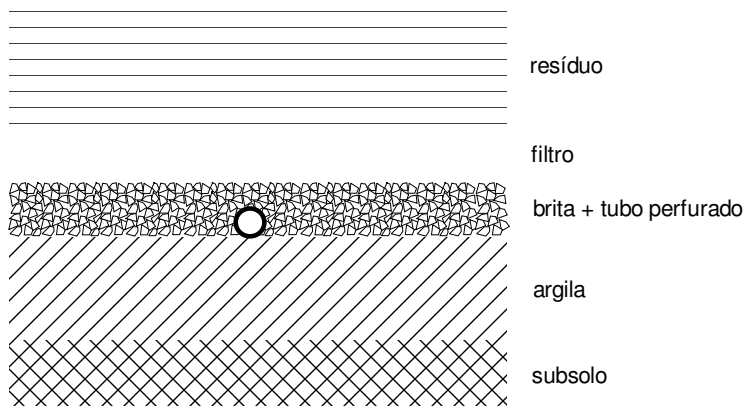
- Resíduo doméstico municipal: 30 a 60 cm;
- Resíduo Industrial: 45 a 90 cm;
- Resíduos perigosos: 75 a 120 cm;
- Resíduos com baixa radioatividade: 120 a 150 cm.

---

## **Sistemas Típicos de Barreras con Geosintéticos**

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

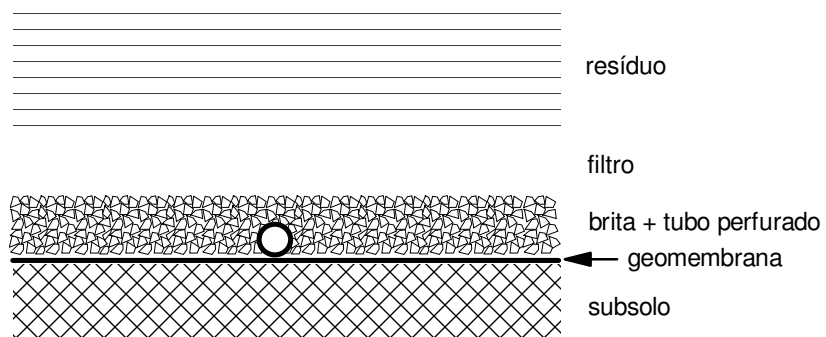
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Sin geosinteticos

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

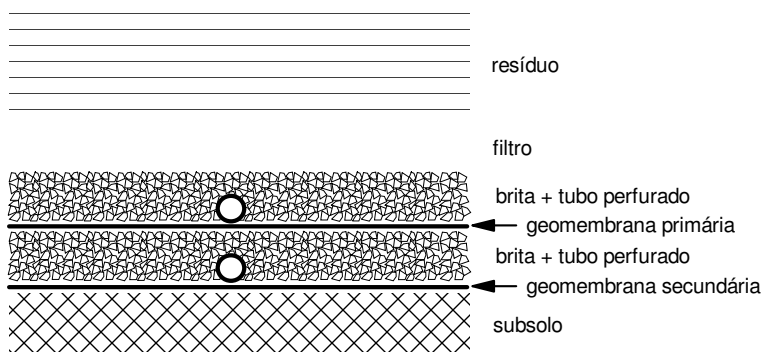
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Con uma capa de geomembrana

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

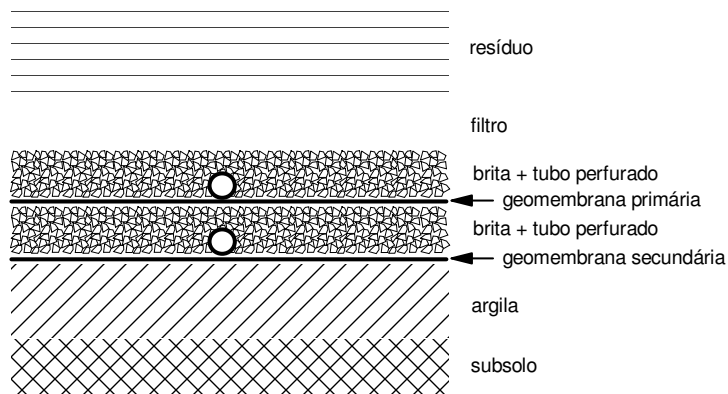
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Con dos capas de geomembrana

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

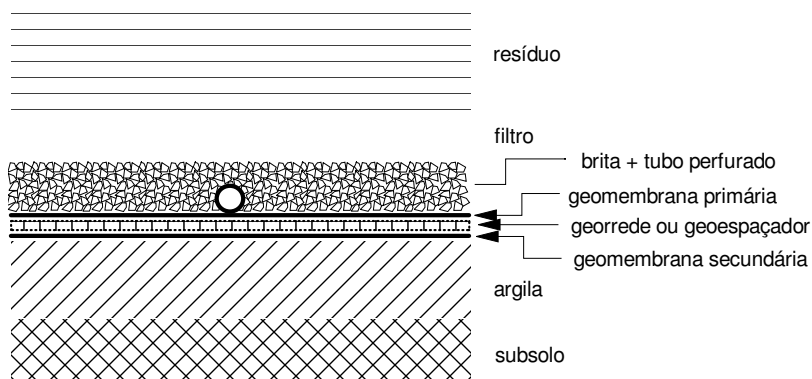
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Con dos capas de geomembrana + capa de arcilla

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

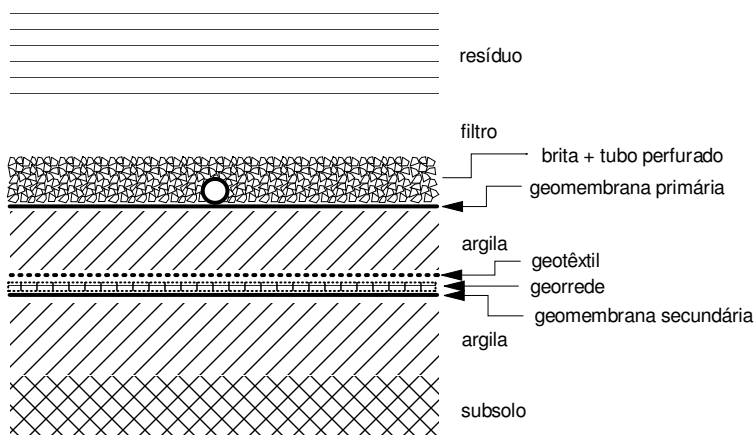
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Dos capas de geomembrana + geocompuesto + capa de arcilla

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

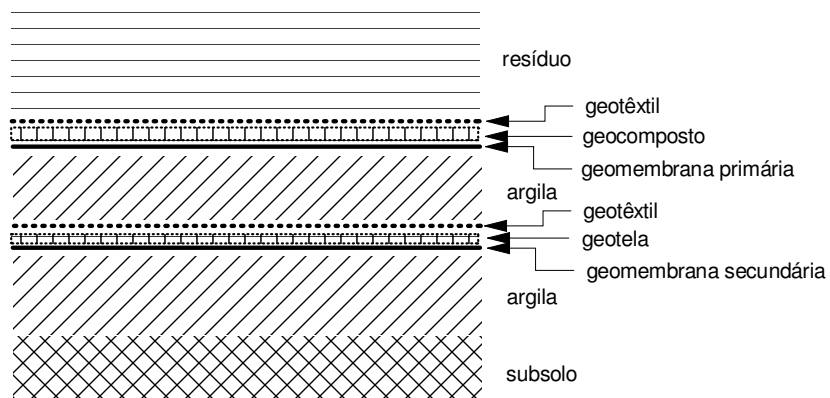
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Dos capas de geomembrana y arcilla + geotextile + georrede

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

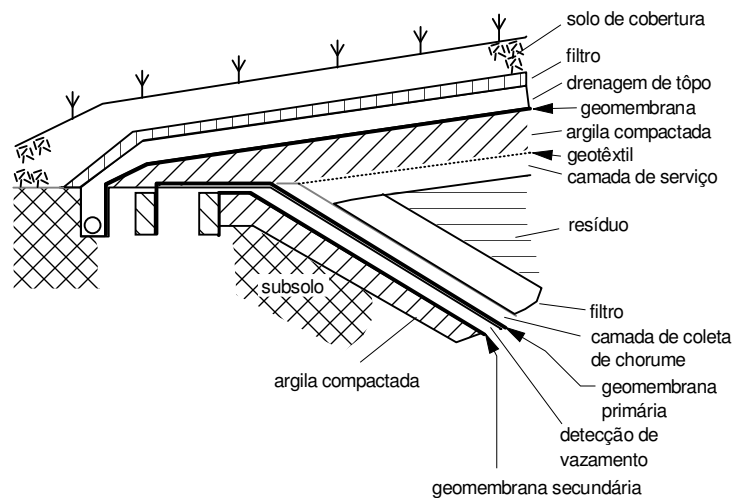
### Secciones Típicas de Sistemas em Áreas de Contenedores de Resíduos



Dos capas de geomembrana y arcilla + geotextile + georrede + geocompuesto

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

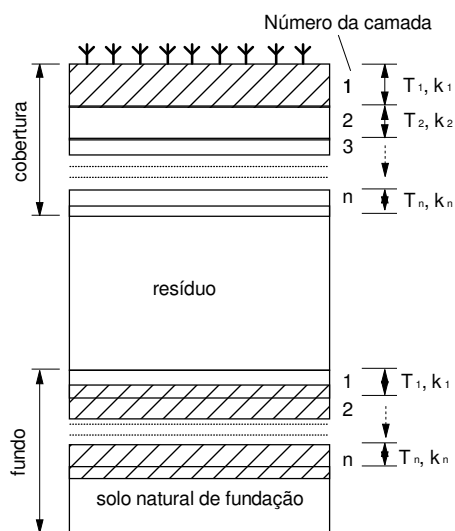
### Esquema de Cierre de Áreas de Contenedores de Resíduos



## Requisitos Típicos para Barreras en Diferentes Países

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Sistemas Típicos con Geosintéticos



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Sistemas Típicos - Koerner & Koerner (1999)

País – Tipo de Resíduo	Região <sup>(1)</sup>	Camada No. i <sup>(2)</sup>	Material <sup>(1)</sup>	Função <sup>(1)</sup>	T <sub>i</sub> (mm) <sup>(3)</sup>	k <sub>i</sub> (m/s) <sup>(4)</sup>
Estados Unidos – Resíduos Perigosos	Cobertura	1	Solo de topo	Cobertura	≥ 600	---
		2	Camada de proteção	Proteção	---	---
		3	Camada drenante	Drenagem	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
		4	Geomembrana	Impermeabilização	≥ 0.75mm ou ≥ 1.5 mm se HDPE	---
	Fundo	5	Argila compactada	Impermeabilização	---	≤ 10 <sup>-9</sup>
		1	Camada de filtro	Filtração	---	---
		2	Camada drenante	Drenagem de fundo	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
		3	Geomembrana	Impermeabilização	≥ 0.75mm ou ≥ 1.5 mm se HDPE	---
		4	Camada drenante	Detectar vazamentos	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
		5	Geomembrana	Impermeabilização	≥ 0.75mm ou ≥ 1.5 mm se HDPE	---
Estados Unidos – Resíduos Municipais	Cobertura	6	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 600	≤ 10 <sup>-9</sup>
		1	Solo de topo	Cobertura	≥ 150	---
		2	Cobertura de solo	Minimizar infiltração	Variável	---
		3	Camada drenante	Drenagem	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
		4	Geomembrana	Impermeabilização	≥ 0.5	---
	Fundo	5	Argila compactada	Impermeabilização	Variável	≤ 10 <sup>-7</sup>
		6	Camada drenante	Drenagem de gas	---	---
		1	Camada de Filtro	Filtração	---	---
		2	Camada drenante	Drenagem de fundo	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
		3	Geomembrana	Impermeabilização	≥ 0.75mm ou ≥ 1.5 mm se HDPE	---
4	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 600	≤ 10 <sup>-9</sup>		

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Sistemas Típicos - Koerner & Koerner (1999)

País - Tipo de Resíduo	Região <sup>(1)</sup>	Camada No. i <sup>(2)</sup>	Material <sup>(1)</sup>	Função <sup>(1)</sup>	T <sub>i</sub> (mm) <sup>(3)</sup>	k <sub>i</sub> (m/s) <sup>(4)</sup>
Alemanha – Resíduos Perigosos	Cobertura	1	Solo de topo	Cobertura	≥ 1000	---
		2	Camada drenante-grãos ≥ 1mm)	Drenagem	≥ 300	≥ 10 <sup>-3</sup>
		3	Camada de proteção (opcional)	Proteção	---	---
		4	Geomembrana de HDPE	Impermeabilização	---	---
		5	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 500	---
		6	Camada de solo	Separação	≥ 500	---
		7	Camada drenante	Drenagem de gas	≥ 300	---
	Fundo	1	Camada drenante (grãos 16-32 mm)	Drenagem de fundo	≥ 300	≥ 10 <sup>-3</sup>
		2	Geotêxtil não tecido c/ M <sub>A</sub> <sup>(2)</sup> ≥ 1000 g/m <sup>2</sup>	Drenagem/Proteção	---	---
		3	Geomembrana de HDPE	Impermeabilização	≥ 2.5	---
Alemanha – Resíduos Municipais	Cobertura	4	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 1500	≤ 5x10 <sup>-10</sup>
		5	Solo de fundação (nível d'água a mais de 1 m abaixo do fundo)	Impermeabilização	≥ 3000	≤ 10 <sup>-7</sup>
		1	Solo de topo	Cobertura	≥ 1000	---
		2	Camada drenante	Drenagem	≥ 300	≥ 10 <sup>-3</sup>
		3	Camada de proteção (opcional)	Proteção	---	---
Fundo	4	Geomembrana de HDPE	Impermeabilização	---	---	
	5	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 500	≤ 5x10 <sup>-9</sup>	
	6	Areia	Drenagem	≥ 500	---	
	7	Camada drenante	Drenagem de gas	≥ 300	---	
	1	Camada drenante	Drenagem de fundo	≥ 300	≥ 10 <sup>-3</sup>	
Alemanha – Resíduos Municipais	Fundo	2	Geotêxtil não tecido c/ M <sub>A</sub> <sup>(2)</sup> ≥ 2000 g/m <sup>2</sup>	Drenagem/Proteção	---	---
		3	Geomembrana de HDPE	Impermeabilização	≥ 2.5	---
		4	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 750	≤ 5x10 <sup>-10</sup>
		5	Solo de fundação (nível d'água a mais de 1 m abaixo do fundo)	Impermeabilização	Menos rigor que para RP <sup>(3)</sup>	≤ 10 <sup>-7</sup>



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Sistemas Típicos - Koerner & Koerner (1999)

Pais – Tipo de Resíduo	Região <sup>(1)</sup>	Camada No. i <sup>(2)</sup>	Material <sup>(3)</sup>	Função <sup>(4)</sup>	T <sub>i</sub> (mm) <sup>(5)</sup>	k <sub>i</sub> (m/s) <sup>(6)</sup>
Dinamarca - Resíduos Municipais	Cobertura	1	Solo de topo	Cobertura vegetal	≥ 1700	---
		2	Camada drenante	Cobertura	≥ 300	---
		3	Geomembrana (não obrigatória)	Impermeabilização	---	---
		4	Argila compactada	Impermeabilização	≥ 500	≤ 10 <sup>-10</sup>
		5	Areia grossa	Drenagem de gas	≥ 500	---
	Fundo	1	Camada drenante-areia ou brita	Drenagem de fundo	≥ 300	≤ 10 <sup>-9</sup>
		2	Geotêxtil de elevada gramatura ou mistura de areia e brita c/ proteção	Drenagem de fundo/ proteção	≥ 300	---
		3	Geomembrana	Impermeabilização	---	≤ 10 <sup>-7</sup>
		4	Camada drenante-areia ou brita	Detectar vazamentos	---	---
		5	Geotêxtil de elevada gramatura ou mistura de areia e brita c/ mais de 300 mm de espessura	Drenagem de fundo	≥ 300	---
		6	Mistura de areia e brita com grãos arredondados ≤ 25 mm	Solo de base	≥ 100	---
		França - Resíduos Perigosos	Cobertura	1	Solo de topo	Cobertura
2	Camada drenante			Drenagem	≥ 300	≥ 10 <sup>-4</sup>
3	Geomembrana			Impermeabilização	---	---
Fundo	4		Argila compactada	Impermeabilização	≥ 1000	≤ 10 <sup>-9</sup>
	1		Camada drenante	Drenagem de fundo	≥ 500	≥ 10 <sup>-4</sup>
	2		Geomembrana	Impermeabilização	---	---
França - Resíduos Municipais	Cobertura	3	Formação geológica	Impermeabilização	≥ 5000	≤ 10 <sup>-9</sup>
		1	Solo de topo	Cobertura	---	---
		2	Camada drenante	Drenagem	---	---
		3	Solo compactado	Impermeabilização	---	---
	Fundo	4	Camada drenante	Drenagem de gas	---	---
		1	Camada drenante	Drenagem de fundo	≥ 1000	≥ 10 <sup>-4</sup>
		2	Geomembrana	Impermeabilização	---	---
		3	Formação geológica	Impermeabilização	≥ 5000	≤ 10 <sup>-9</sup>
4	Solo de fundação	Impermeabilização	---	≤ 10 <sup>-6</sup>		

## Juntas y Soldaduras de Geosintéticos

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

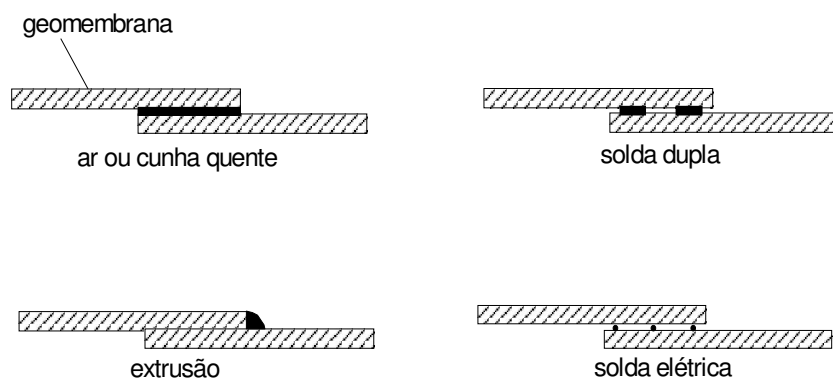
### Costuras de Geotextiles



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Soldaduras de Geomembranas

Tipos de Soldaduras:



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Soldaduras de Geomembranas

---

- Utilização de Solventes
- Solventes Adesivos
- Adesivos de Contacto
- Fitas e Adesivos Vulcanizados
- Métodos Térmicos
  - Soldagem dielétrica
  - Soldagem com ultrasom
  - Soldagem elétrica
  - Sotas por extrusão
- Fitas Adesivas

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Soldaduras de Geomembranas

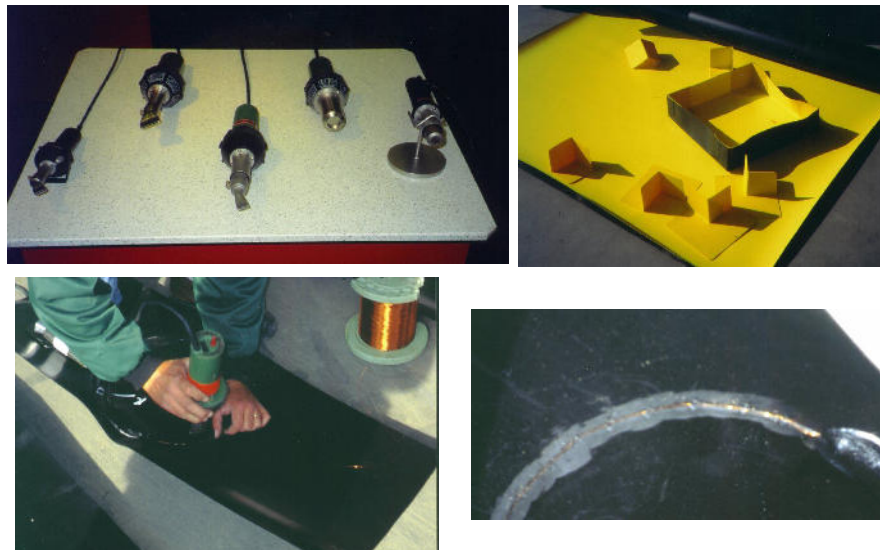
---

Velocidades Típicas de Soldagem de Geomembranas  
(modificado de EPA, 1991):

Tipo de Solda	Velocidade (m/h)
Solvente	60
Solvente Encorpado	45
Adesivo	45
Ar Quente	15
Cunha Quente	90
Ultrasom	90
Extrusão Linear	30
Extrusão Plana	15

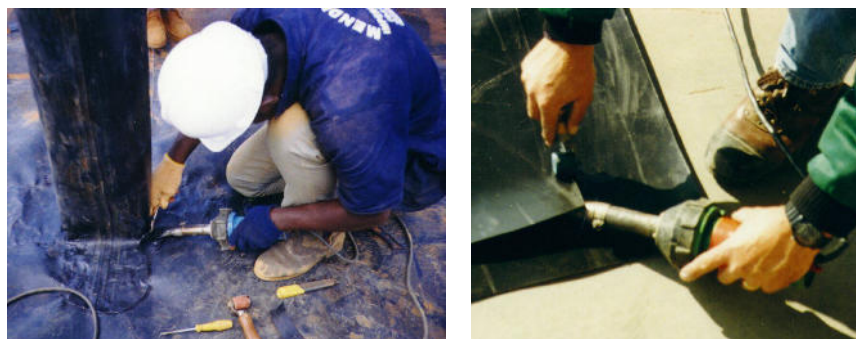
## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Equipos para Soldaduras



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Soldadura Manual



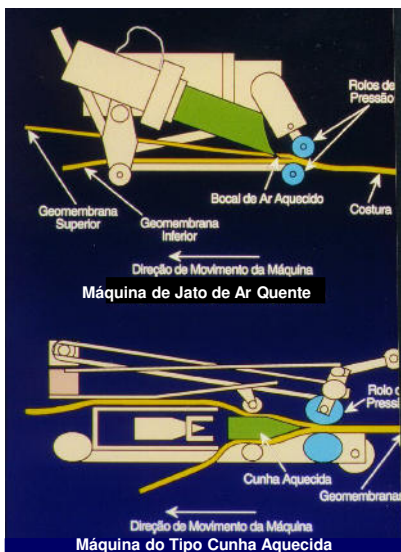
## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Soldaduras en Puntos Localizados



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Equipo de Soldadura por Fusión



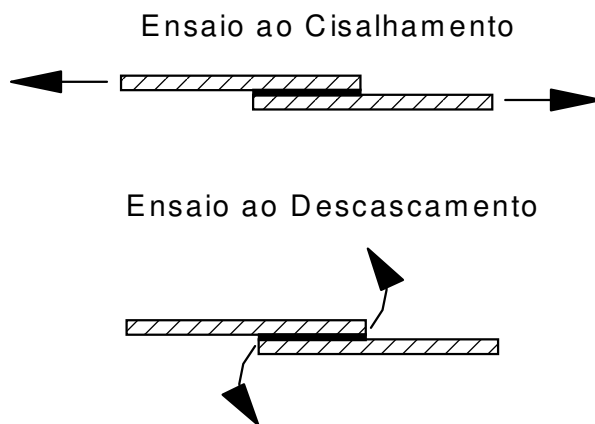
## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Equipo de Soldadura por Fusión



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

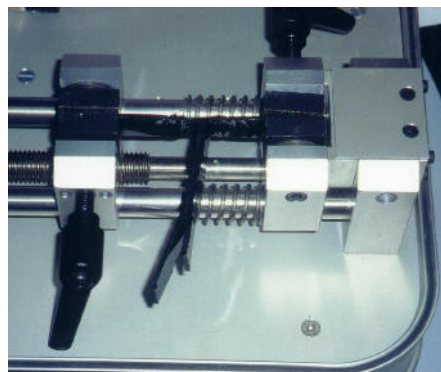
### Ensayos en Soldaduras - Ensayos Destructivos



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Equipo Portátil de Ensayos en Soldaduras

---



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Equipo Portátil de Ensayos en Soldaduras

---

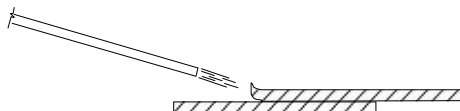




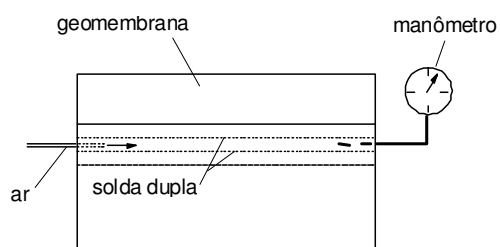
## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Ensayos en Soldaduras - Ensayos No Destructivos

Jato de Ar



Injeção de Ar Comprimido



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Ensayos en Soldaduras - Ensayos No Destructivos

Ensayo de Presión

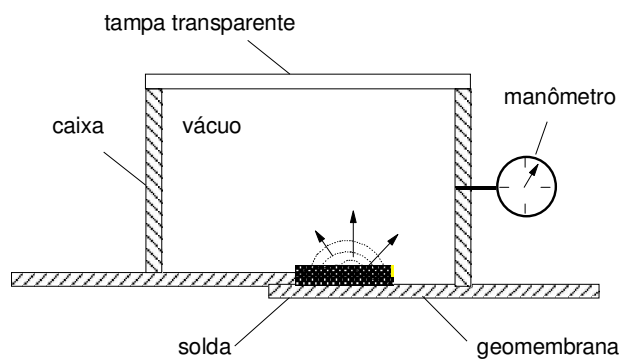




## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Ensayos en Soldaduras - Ensayos No Destructivos

Ensaio com Caixa de Vacío



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Ensayos en Soldaduras - Ensayos No Destructivos

Ensaio com Caja de Vacío

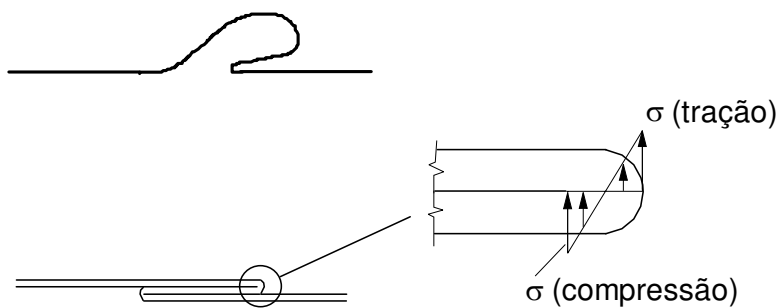


## Cuidados Requeridos en la Construcción de Barreras

### Geosinteticos en el Medio Ambiente

#### Arrugas en Geomembranas

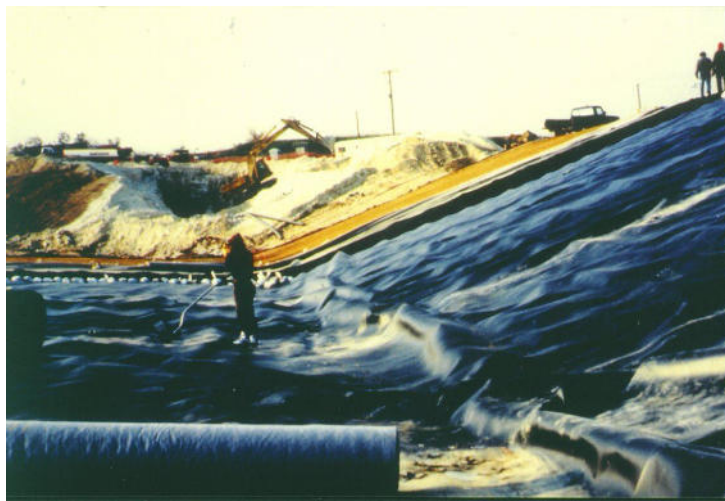
Devem-se evitar condições que favoreçam a formação de rugas em geomembranas (lançamento apropriado de aterro sobre a gemembrana, instalação da geomembrana em partes do dia com temperaturas mais baixas, etc)



## **Geosinteticos en el Medio Ambiente**

### **Arrugas en Geomembranas**

---



## **Geosinteticos en el Medio Ambiente**

### **Arrugas en Geomembranas - Minimización**

---



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Daños a Geomembranas

Limpar e regularizar o terreno antes da instalação da geomembrana (usar geotêxtil para proteger a geomembrana). GCL sob a geomembrana pode também ser utilizado (proteção e vedação).



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Daños a Geomembranas



## **Geosinteticos en el Medio Ambiente**

### **Construcción en Etapas**

---



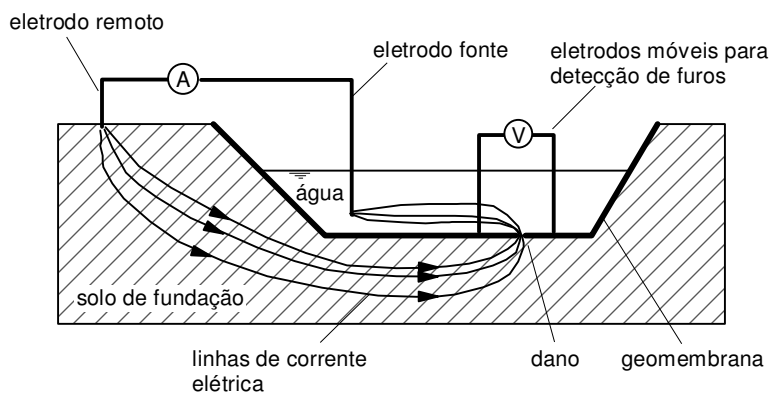
Evitar que os geossintéticos fiquem expostos às intempéries por muito tempo sem necessidade.

---

**Detección y cuantificación  
de Fugas**

## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Detección de Perforaciones (Fugas)



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Detección de Perforaciones (Fugas)



## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Fugas vs. Calidad de la Instalación

Instalação de Boa Qualidade:  
2 pequenos defeitos/hectare  
Instalação Aceitável:  
3 defeitos/hectare  
Instalação Inaceitável:  
> 4 defeitos/hectare

Caldal por un hoyo en la geomembrana (EPA, 1991)

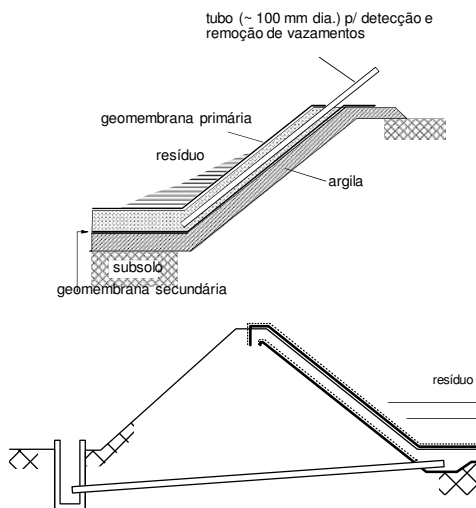
$$Q = 3a^{0.75} h^{0.75} k^{0.5}$$

Onde: a = área del hoyo (m<sup>2</sup>), h = altura de chorume sobre o furo (m) e k = coeficiente de permeabilidade do solo subjacente à geomembrana (m/s).

## Geosinteticos en el Medio Ambiente

### Sistema de Detección de Fugas

Koerner (1998)



## Geosintéticos en el Medio Ambiente

### Coeficientes de Difusión de Geomembranas

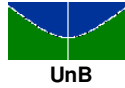
(Lord et al., 1988)

Geomembrana	Substância	Tempo de Exposição (meses)	Coeficiente de Difusão (m <sup>2</sup> /s)
PVC	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6	1.28 x 10 <sup>-10</sup>
	NaOH	6	1.10 x 10 <sup>-10</sup>
	Phenol	6	0.63 x 10 <sup>-10</sup>
	Xylene	3	0.13 x 10 <sup>-10</sup>
	Água	15	1.0 x 10 <sup>-10</sup>
EPDM	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6	2.00 x 10 <sup>-10</sup> <sup>(1)</sup>
	NaOH	6	1.75 x 10 <sup>-10</sup>
	Phenol	6	1.68 x 10 <sup>-10</sup>
	Xylene	3	1.69 x 10 <sup>-10</sup>
	Água	15	3.0 x 10 <sup>-10</sup>
CPE	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	6.0 x 10 <sup>-11</sup>
	NaOH	15	5.5 x 10 <sup>-11</sup>
	Phenol	15	8.3 x 10 <sup>-11</sup>
	Água	15	6.0 x 10 <sup>-11</sup>
HDPE	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15	1.7 x 10 <sup>-12</sup>
	NaOH	15	1.7 x 10 <sup>-12</sup>
	Phenol	15	1.8 x 10 <sup>-12</sup>
	Água	15	1.6 x 10 <sup>-12</sup>

Notas: (1) valor crescente ao final do tempo de observação, (2) Para observar a variação do coeficiente de difusão com o tempo, consultar o trabalho original.

***Fin***





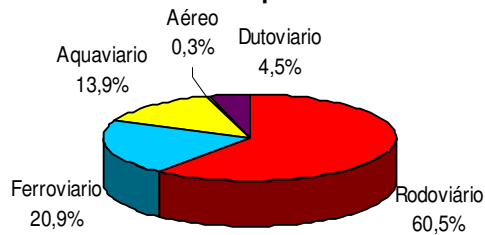
# Geosintéticos en Pavimentación

Ennio Marques Palmeira  
Universidade de Brasília

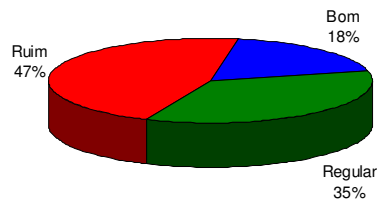
Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

## Carreteras Pavimentadas

### Sistemas de Transportes en Brasil



### Situação das Rodovias Brasileiras



## Carreteras Pavimentadas

### Algunos Problemas de Carreteras en Brasília, DF, Brasil

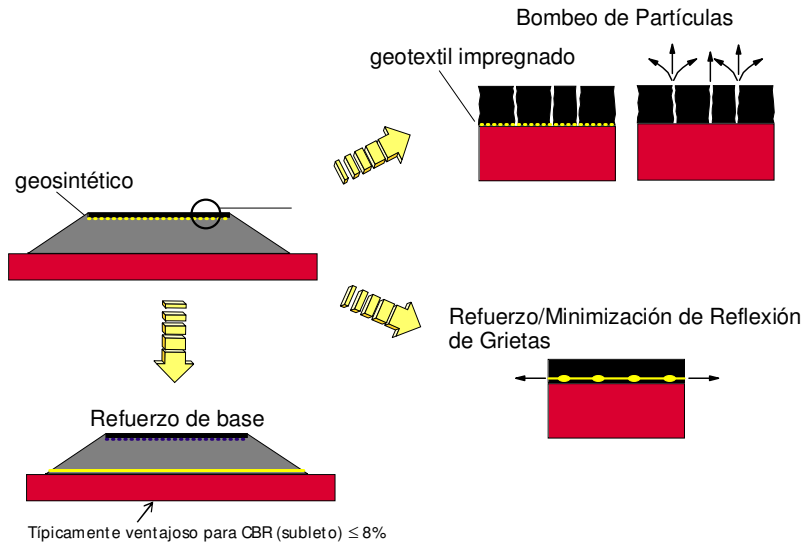


## Carreteras Pavimentadas

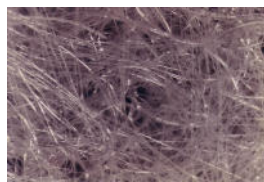
### Algunos Problemas de Carreteras en Brasília, DF, Brasil



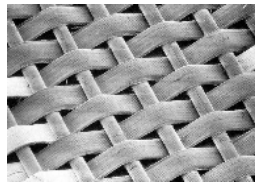
## Algunas Funciones de los Geosintéticos



## Geosintéticos para Carreteras Pavimentadas



Geotextil No Tejido



Geotextil Tejido



Geoceldas



Geomallas



Geocompuesto

## Repavimentación

### Repavimentación con geotextil



## Repavimentación

### NOVACAP – Repavimentación de una via Urbana con Geotextil, Brasília





## Repavimentación

### NOVACAP – Repavimentación de una vía Urbana con Geotextil, Brasilia

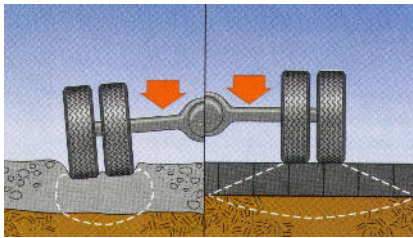


## Repavimentación

### Repavimentación con geomalla



## Uso de Geoceldas

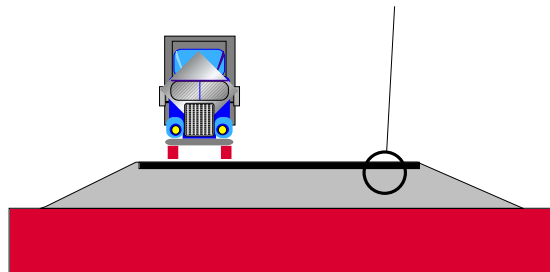


## Suelo Reforzado con Fibras

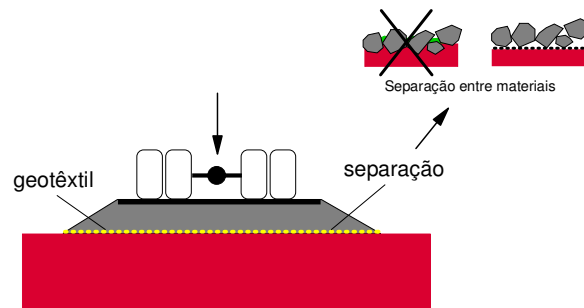
pedazos de hilos, fibras  
o mallas + suelo



hilo continuo + suelo



## Geotextiles em Separação



El geotextil debe especificarse para funcionar como filtro y para resistir a daños mecánicos (perforaciones, desbordamiento, desgarro).

## *Evidencias de Rendimento*

## Repavimentación

Experiencia do DER-DF 6 años después del servicio de repavimentación



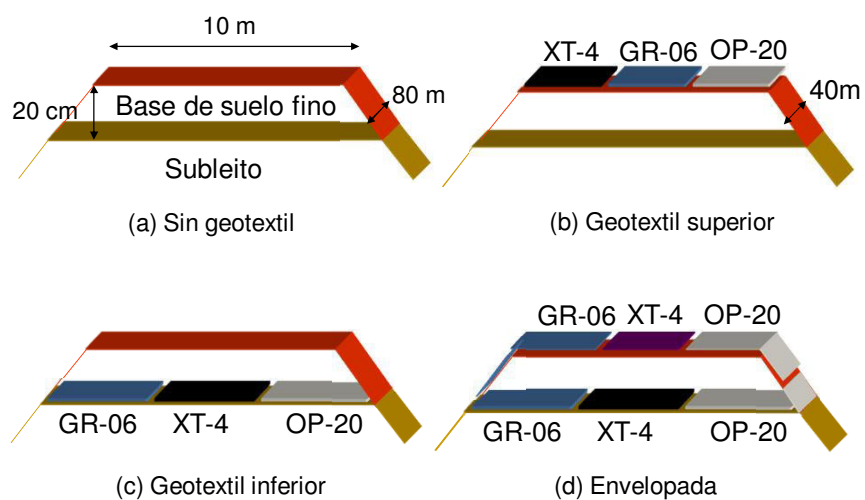
Repavimentación sin geotextil



Repavimentación con geotextil

## Investigación sobre el Uso de Geotextiles

Investigación UnB-DER/DF (Rezende & Carvalho 2001)





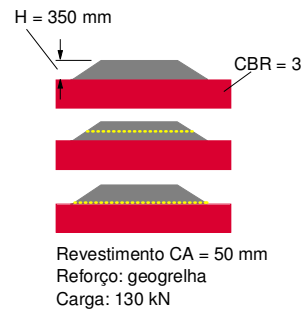
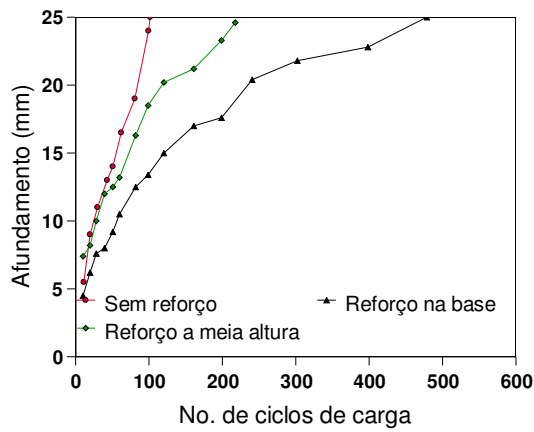
## Investigación sobre el Uso de Geotextiles

Investigación UnB-DER/DF (Rezende & Carvalho 2001)



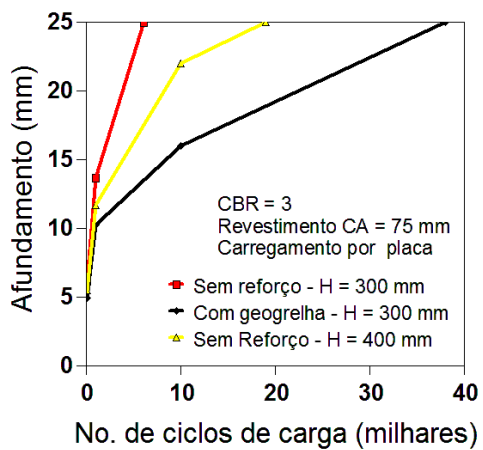
## Refuerzo de Bases de Carreteras

Webster (1993) – Vías Experimentales



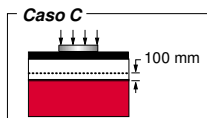
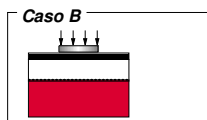
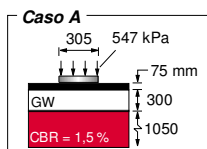
## Refuerzo de Bases de Carreteras

Cancelli *et al.* (1996)

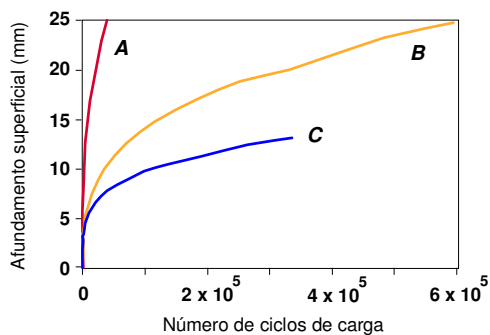


## Refuerzo de Bases de Carreteras

Perkins *et al.* (1999)

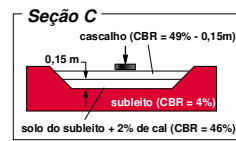
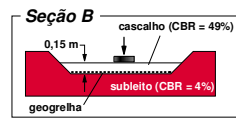
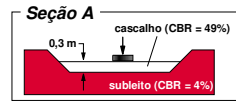


Subleito: Argila de alta plasticidade (A-7-5, CH)  
100% passando na # 200

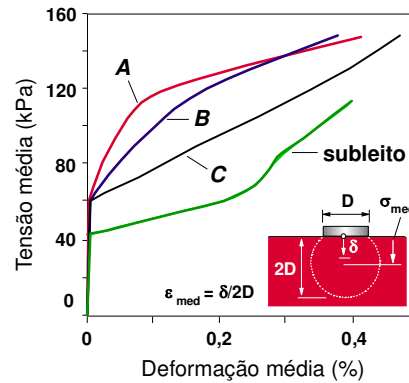


## Refuerzo de Bases de Carreteras

Pereira (2000) – Carga Monotónica (Campo Experimental de la Geotecnia/UnB)



- Subleito: argila porosa
- Solo-Cal: cura em 12 dias



## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

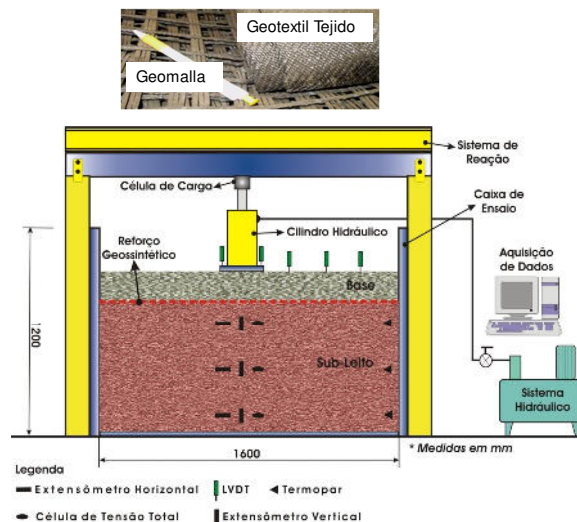
Ensayos con Carga Repetida (Antunes 2008)



CBR (subleito) = 8%

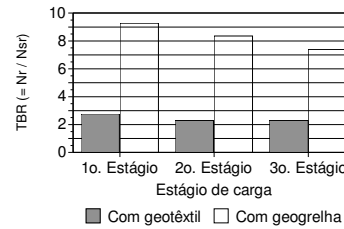
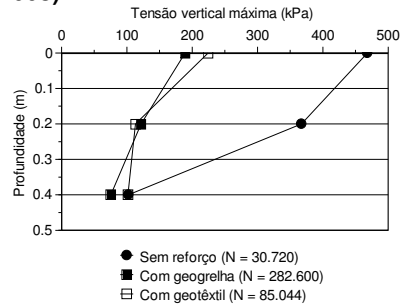
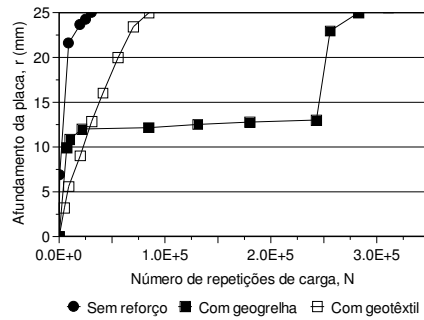


Refuerzo (si presente)



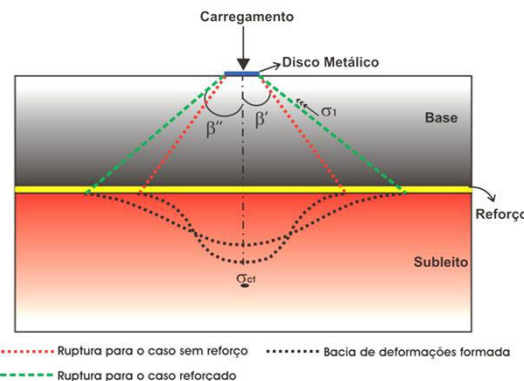
## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

### Ensayos con Carga Repetida (Antunes 2008)



## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

### Ensayos con Carga Repetida (Antunes 2008)



Ensayo	Ángulo de Distribución (°)
Sin Refurezo	25,2
Geomalla	47,6
Geotextil	42,5



Mejor distribución de tensiones en el interior de las bases reforzadas!!

## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

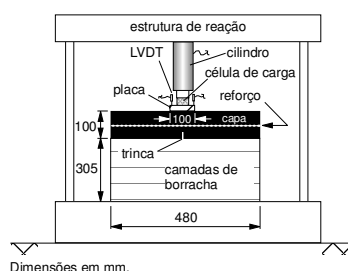
### Ensayos con Carga Repetida (Antunes 2008)

Tipo de Ensaldo	Número de ciclos de carga até alcançar o afundamento de 25mm	Fator de Eficiência
		Calculado*
Sem Reforço - Padrão	30.720	-----
Sem Reforço - restauração 1	25.164	-----
Sem Reforço - restauração 2	19.470	-----
Reforçado com Geogrelha - Padrão	282.000	9,2
Reforçado com Geogrelha - restauração 1	210.906	8,4
Reforçado com Geogrelha - restauração 2	144.000	7,4
Reforçado com Geotêxtil - Padrão	85.044	2,8
Reforçado com Geotêxtil - restauração 1	58.698	2,3
Reforçado com Geotêxtil - restauração 2	45.073	2,3

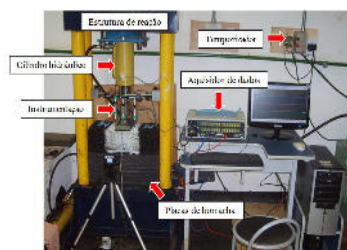
- La utilización del refuerzo aumentaría el costo de la obra entre 7,6% y 11,4%;
- La utilización de refuerzo aumenta la vida útil de la obra entre 2,3 y 9,2 veces;
- Sólo una restauración en la vía no reforzada ya pagaría (con sobras) el costo del refuerzo geosintético.

## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

### Ensayos en Vigas de CBUQ - Concreto bituminoso mecanizado en caliente (Obando 2012)



Dimensões em mm.



Geomalla G1



Geomalla G2



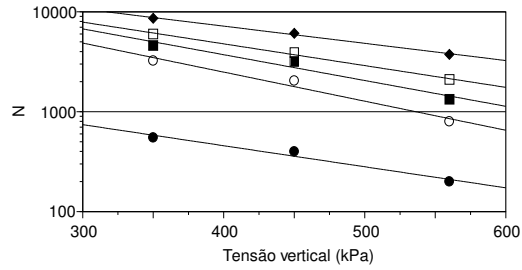
Geomalla G3



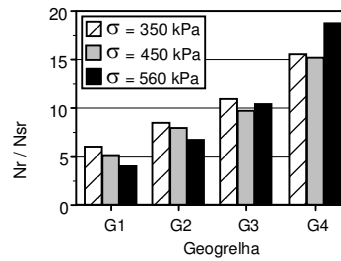
Geomalla G4.

## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

### Ensayos en Vigas de CBUQ - Hormigón bituminoso mecanizado en caliente (Obando 2012)



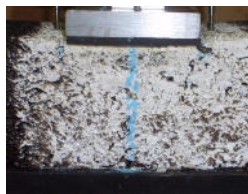
● Sem reforço    ■ Com geogrelha G2    ◆ Com geogrelha G4  
○ Com geogrelha G1    □ Com geogrelha G3



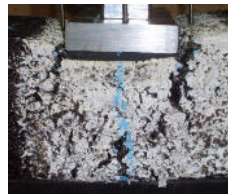
## Ensayos de Laboratorio en Gran Escala

### Ensayos en Vigas de CBUQ - Hormigón bituminoso mecanizado en caliente (Obando 2012)

Ensayo sin Refuerzo



N = 250



N = 350



Final del ensayo

Ensayo con Refuerzo G4



N = 600

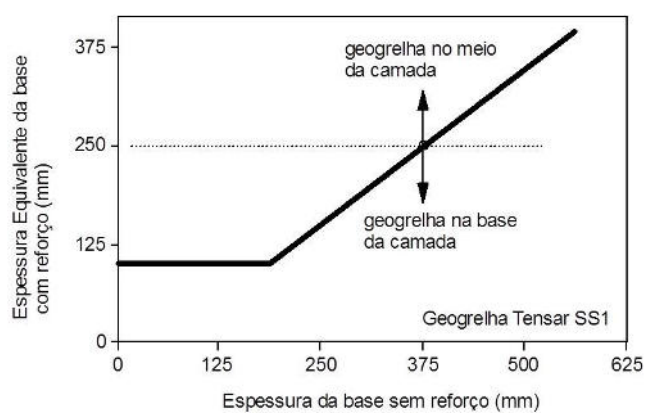


Final del ensayo

## *Enfoques para Dimensionamiento*

### Refuerzo de Bases de Carreteras

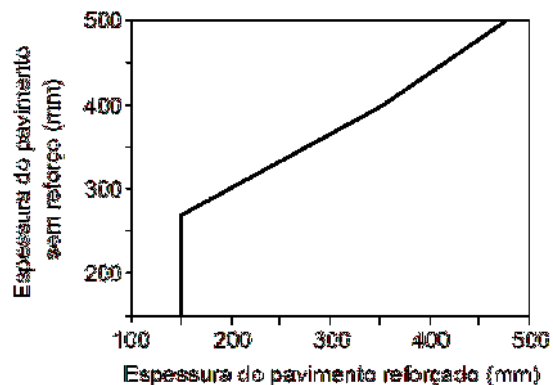
#### Resultados de Investigaciones con Productos Específicos



**Resultados de pistas experimentais, aplicáveis somente ao tipo de produto especificado.**

## Refuerzo de Bases de Carreteras

Webster (1998) – Vías Experimentales



## Refuerzo de Bases de Carreteras

AASHTO (1993) – Perkins (2001)

$$\log W_{18-U} = Z_R S_o + 9,36 \log(SN+1) - 0,2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_s) - 8,07 \quad (1)$$

Donde:  $W_{18-U}$  = número de repeticiones de carga equivalente al eje estándar con 82 kN,  $Z_R$  = desviación estándar normal asociada a la probabilidad del proyecto para el número de años especificado (para una confiabilidad del 95%  $Z_R = -1,645$  y del 90% de confiabilidad  $Z_R = -1,282$ , AASHTO 1993),  $S_o$  = error estándar combinado considerando incertidumbres relativas a materiales, intensidad de tráfico y proceso ejecutivo ( $0,44 \leq S_o \leq 0,49$ , usualmente adoptado igual a 0,49),  $SN$  = número estructural del pavimento,  $\Delta PSI$  = variación del índice de serventía ( $PSI$ ) del pavimento a lo largo de su vida útil (típicamente  $1,8 \leq \Delta PSI \leq 2,2$  – para pavimentos flexibles el valor de  $PSI$  poco después de la construcción es generalmente se considera como igual a 4,2) y  $M_s$  = módulo de resiliencia del subleto (en libras por pulgada cuadrada,  $psi$ ).



## Bases Reforzadas

### AASHTO (1993) – Perkins (2001)

Número estructural del pavimento:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad (2) \quad \text{Donde } D_1, D_2 \text{ y } D_3 \text{ (en pulgadas) son los espesores de la capa, de la base y sub-base del pavimento; } a_1, a_2, m_2 \text{ y } m_3 \text{ son los coeficientes AASHTO.}$$

Para el pavimento de 2 capas (Perkins 2001):

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 \quad (3)$$

Simplificación para el suelo con 2 capas c/  $a_1 = 0,4$  y  $m_2 = 0,14$  (Perkins 2001):

$$SN = 0,4 D_1 + 0,14 D_2 \quad (4) \quad \text{con } D_1 \text{ y } D_2 \text{ en pulgadas}$$

Para el pavimento con base reforzada :

$$W_{18-R} = W_{18-U} TBR \quad (5)$$

Donde  $W_{18-R}$  es el número de ciclos de carga en el caso con refuerzo,  $W_{18-U}$  es el número de ciclos de carga en el caso sin refuerzo y  $TBR$  es el "Traffic Benefit Ratio" =  $N_r / N_{sr}$

En los análisis preliminares, se suele adoptar  $TBR = 1,5$  a  $2$ .

## Bases Reforzadas

### AASHTO (1993) – Perkins (2001)

**Procedimiento (Perkins 2001):**

- Para la comparación, determinar  $SN$  para el caso sin refuerzo ( $SN_U$ ) por la ecuación 1 y el espesor de la base sin refuerzo ( $D_{2-U}$ ) por la ecuación 3, habiendo sido arbitrado el valor del espesor de la capa asfáltica ( $D_1$ );
- Determinar  $W_{18-R}$  usando la ecuación 5, arbitrando el valor de TBR;
- Determinar el valor de  $SN$  en el caso reforzado ( $SN_R$ ) iterativamente por la ecuación 1 con los demás parámetros igual a los admitidos en el caso sin refuerzo;
- Con  $SN_R$  determinar el valor de  $a_2$  equivalente de la base reforzada ( $a_{2-R}$ ) por la ecuación 3, con los demás parámetros de esta ecuación igual a los del pavimento sin refuerzo.
- Utilizar el valor de  $a_{2-R}$  en la ecuación 6 abajo (obtenida a partir de la ecuación 4) para determinar el espesor de la base reforzada ( $D_{2-R}$ ) que resulte en el mismo valor de  $SN$  obtenido en el caso sin refuerzo ( $SN_U$ ):

$$D_{2-R} = \frac{SN_U - a_1 D_1}{a_{2-R} m_2} \quad (6)$$

- Con los valores de  $D_{2-U}$  y  $D_{2-R}$  y costos pertinentes, se puede decidir sobre la viabilidad económica de la utilización de refuerzo en la base.
- En las obras más relevantes  $\Rightarrow$  se recomiendan secciones experimentales al inicio de la obra.

## Reducción de la Propagación de Grietas

Mecanismos de formación de grietas: flexión, cizallamiento y variación de temperatura.

Molenaar & Nods (1996) basado en la Ley de París (Paris & Erdogan 1963):

$$\frac{dc}{dN} = AK^n \quad (7)$$

Donde:  $c$  = longitud de la grieta,  $N$  = número de ciclos de carga,  $dc/dN$  = tasa de propagación de la grieta por ciclo de carga,  $K$  = factor de intensidad de tensión y  $A$  y  $n$  = constantes obtenidas experimentalmente que dependen de las características de fractura del material bituminoso.

$K$  es una medida de la energía necesaria para la formación de la grieta.

Estudios con ensayos en vigas asfálticas y análisis por elementos finitos fueron desarrollados por Lytton (1989) para obtener valores de  $A$ ,  $K$  y  $n$ .

Programas computacionales para el análisis de propagación de grietas  $\Rightarrow$  factor de intensidad de tensión ( $K$ ) (Sanders 2001, Zhou et al. 2008).

## Reducción de la Propagación de Grietas

Para los tres posibles mecanismos de formación de grietas (flexión, cizallamiento y variación de temperatura) actuando simultáneamente, la ecuación 7 puede ser reescrita como (Zhou et al. 2008):

$$\Delta c = k_1 AK_{flexão}^n \Delta N + k_2 AK_{cis}^n \Delta N + k_3 AK_{térmico}^n \Delta N \quad (8)$$

Donde  $\Delta c$  = incremento diario de la longitud de la grieta,  $\Delta N$  = número diario de repeticiones de carga,  $A$  y  $n$  = propiedades de fractura de la mezcla asfáltica y  $K_{flexão}$ ,  $K_{cis}$  y  $K_{térmico}$  = factores de intensidad de tensión para flexión, cizallamiento y variación de temperatura, respectivamente, y  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  = factores de calibración.

La presencia del refuerzo geosintético reduce los valores de  $A$  y  $K$  en la ecuación 7.

## Reducción de la Propagación de Grietas

### Valores indicativos de $A_r/A_{sr}$

Tipo de refuerzo	$A_r/A_{sr}^{(1,2)}$	Referencia
Geotextil no tejido	0,5	Koerner (1998)
Geomalla de polipropileno	0,35	Koerner (1998)
Geomalla de poliéster	0,5	Molenaar & Nods (1996)
Geomalla de fibra de vidrio	0,25	Koerner (1998)

Notas: (1)  $A_r$  = valor de  $A$  en la ecuación 7 para el caso reforzado y  $A_{sr}$  es el valor de  $A$  en el caso sin refuerzo; (2) Valores indicativos para análisis preliminares.

En las obras más relevantes  $\Rightarrow$  se recomiendan secciones experimentales al inicio de la obra.

## Reducción de la Propagación de Grietas

### En caso de utilización de geotextiles impregnados con asfalto

Cantidad de sellador:

$$Q_d = 0,36 + Q_s + Q_c$$



Donde:  $Q_d$  = cantidad de sellante de proyecto ( $l/m^2$ ),  $Q_s$  = cantidad de sellante para la saturación del geotextil ( $l/m^2$  – típicamente de 0,2 a 1,5  $l/m^2$ ) y  $Q_c$  = corrección en función de las condiciones de la superficie.

## Reducción de la Propagación de Grietas

---

En caso de utilización de geotextiles impregnados con asfalto

Rango de valores de  $Q_c$  (Button *et al.* 1982):

Condición de la superficie	$Q_c$ (l/m <sup>2</sup> )
Muy lisa	-0,09 a 0,09
Lisa, no porosa	0,09 a 0,23
Poco porosa, levemente oxidada	0,23 a 0,36
Poco porosa, oxidada	0,36 a 0,50
Mal estado, porosa y oxidada	0,50 a 0,59

**Fin**



# Geosintéticos en Obras Hidráulicas

Ennio M. Palmeira  
Universidade de Brasília

Nota: Las diapositivas originales fueran traducidas utilizando *Google Translator*. Puede haber inexactitudes en la traducción.  
Note: Translation from originals in Portuguese using Google Translator. There may be inaccuracies in the translation.

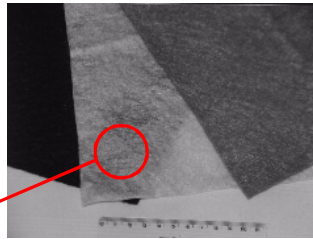
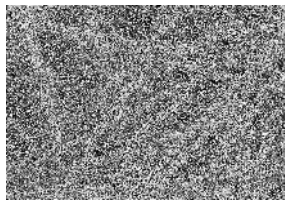


## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas

- Geomembranas
- Geocompuestos Arcillosos (GCLs)
- Geotextiles
- Geoceldas
- Georedes
- Geocompuestos para Drenaje
- Geoespaciadores
- Geotubos

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas

### Geotextiles No Tejidos

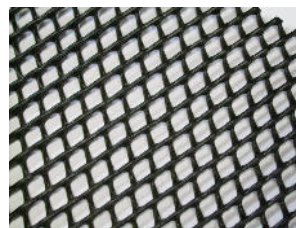
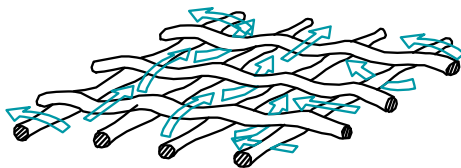


Geotextiles punzonados por agujas

3

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas

### Georedes

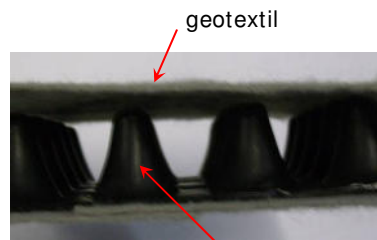


4

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas Geoespaciadores



Geocompuesto para drenaje con geoespaciador

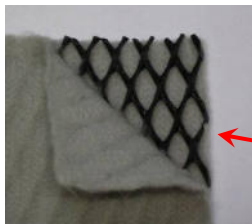


geotextil

geoespaciador

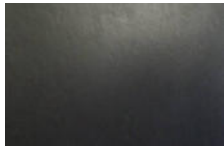
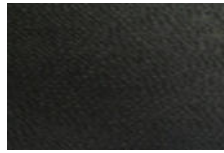
5

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas Geocompuestos para Drenaje

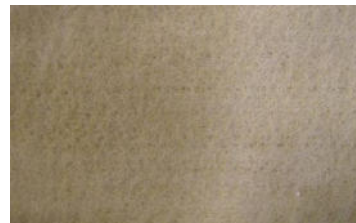
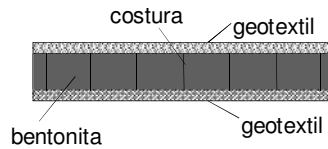


6

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas Geomembranas y GCLs



Geomembranas



Geocompuesto Arcilloso (GCL)

7

## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas Geoceldas

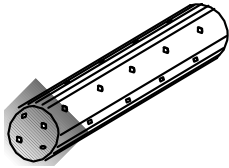


8



## Geosintéticos Típicos en Obras Hidráulicas

### Geotubos



9

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Ejemplos de Aplicaciones Típicas

- Canales
- Reservatórios
- Presas
- Diques
- Galerías e Conductos Hidráulicos

10

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Canales



Canal de aducción – AHE Itiquira, MT  
(4,8 km - 250.000 m<sup>2</sup>)  
Colmanetti (2006)



11

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Canales



12

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Canales



13

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Canales



14



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Canales



Cortesía Sansuy

15



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Canales



Cortesía Sansuy

16

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Canales



17

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Canales

Geoceldas rellenas con concreto



18



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Canales



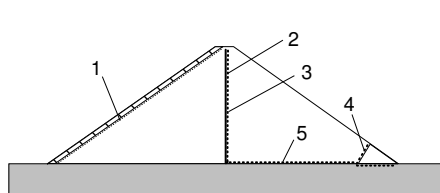
Geomembrana con face rugosa o geotextil puede ser necesario para evitar deslizamiento del concreto

19

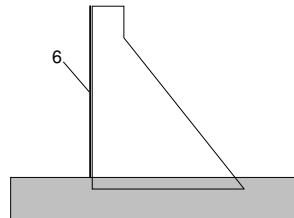
## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Regiones Típicas de Instalación



Presas de tierra, enrocamiento o  
Concreto Compactado a Rodillio



Restauración de presas existentes  
(concreto, ladrillos, etc)

20

### Algunas Presas com hasta 43 Años de Edad donde Geosintéticos fueron Utilizados

Presa	Año	Altura (m)	Largo (m)	Tipo de geosintético	Región de Instalación	Función	Referencia
Valcros (Francia)	1970	17	135	Geotextil	Talude aguas arriba y drenaje de pié	Protección/ Filtro	Giroud & Gross (1993)
Opesdale (Francia)	1978	25	135	Geotextil y Geomembrana	Talude montante	Barrera/ Protección	Tisserand & Gourc (1993)
Codole (Francia)	1983	28	460	Geotextil y Geomembrana	Talud aguas arriba	Barrera/ Protección	Tisserand & Gourc (1993)
Bockhartsee (Austria)	1982	31	239,5	Geocompuesto	Núcleo	Reducción de la fricción entre el enrocamiento y el núcleo de concreto	Henzinger & Werner (1993)
Lago Nero (Italia)	1979	40	146	Geomembrana	Face aguas arriba	Barrera de restauración de presa antigua	Cazzuffi et al. (1993)
Tucuruí (Brasil)	1984	103	8530	Geotextil	Fundación	Evitar piping por canales pequeños en la fundación	Aguiar (1993)
Canales (Espanha)	1986	158	~375	Geomalla	Cresta de la presa	Refuerzo para evitar fisuras	Uriel & Rodrigues (1993)
La Parade (Francia)	1987	10	???	Geocompuesto drenante	Drenaje vertical	Drenaje	Navassartian et al. (1993)
Formitz (Alemania)	1978	33	800	Geotextil	Núcleo	Camada auto-sellante contra fugas	List (1993)
Schöstadt (Alemania)	1986	22	350	Geotextil	Talude montante, núcleo e pozos de alivio	Filtro	List (1993)
Frauenau (Alemania)	1981	84	640	Geotextil	Núcleo e colchiones drenantes	Filtro	List (1993)
Yangdacheng (China)	1980	17	2250	Geotextil	Pié de talud aguas abajo	Filtro	Wei (1993)

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Cazzuffi (2010):

Mais de 260 grandes presas a lo largo del mundo fueron construídas o reparadas con sistema de barrera con geomembrana.

Tipo de geomembrana	%
PVC	~ 65%
PE	~ 15%
Bituminosa	~ 10%
Otras	~ 10%

69% en presas de tierra  
18% en presas de concreto/ ladrillos  
13% en presas de concreto compactadas con rodillo

Geomembrana de PVC en todos los tipos de presas (de tierra, concreto, etc).

Geomembranas de PE y bituminosas utilizadas esencialmente en presas de tierra.

**Drenaje por debajo de la geomembrana en la mayoría de los casos.**



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Durabilidad (Cazzuffi 2010):

- Durabilidad es extremadamente importante en presas, particularmente si la geomembrana va estar expuesta.
- Durabilidad es importante para todos los materiales utilizados en la presa, no solamente para los geosintéticos.
- Ejemplo: en presas restauradas el concreto tinha se había deteriorado a un nivel crítico después de 40 – 60 años y, en algunos casos extremos, 15 – 20 años.

23



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Durabilidad: Número de años de experiencias con éxito, en grandes presas con vários tipos de geomembranas:

Tipo de geomembrana	Presa mas antigua	Edad (Hasta 2010)
Elastomeric	1959	51
PE	1963	47
PVC	1973	37
Bituminous	1978	32
HDPE	1978	32

Cazzuffi (2010):

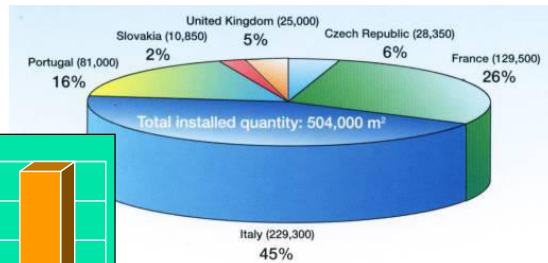
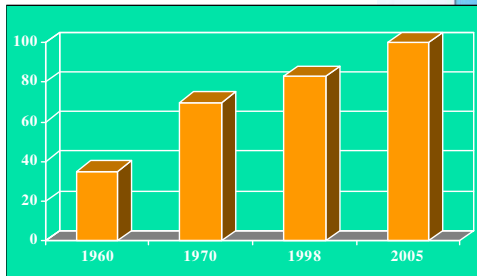
24



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Presas Impermeabilizadas con Geomembranas



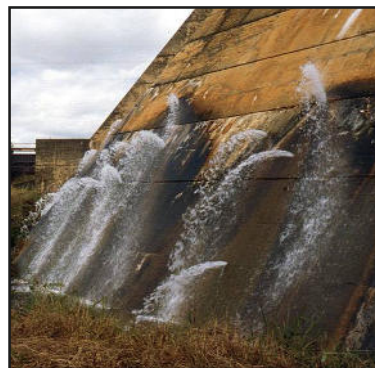
Colmanetti (2006)

25

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

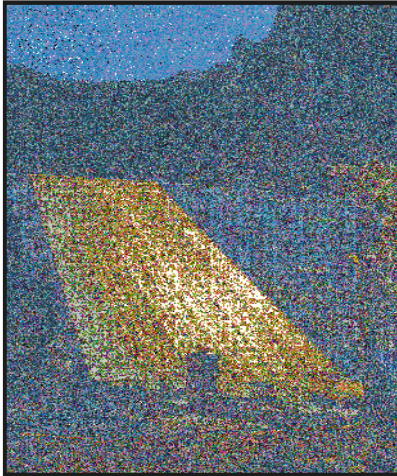
Restauraciones de Presas Antiguas o con infiltraciones



26

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas



27

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas



Restauración de la Presa de Bovilla, Albânia (H = 91 m)

28

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas



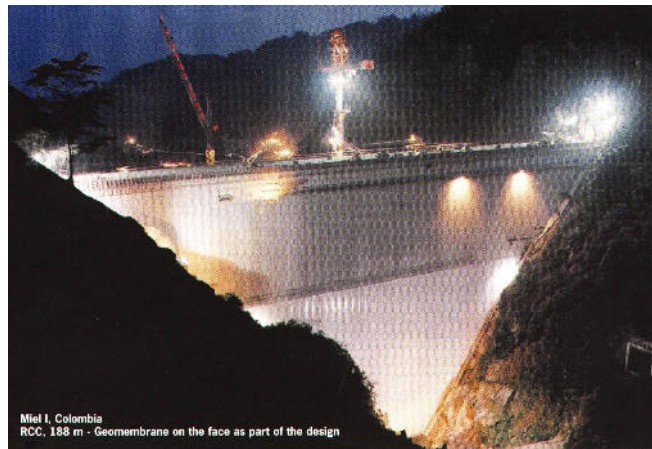
Cazzuffi (2010)

Presa de Bovilla, Albânia



Control de calidad de las juntas (ultrasonido)

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas



Miel I, Colombia  
RCC, 188 m - Geomembrane on the face as part of the design

Cortesía Carpi

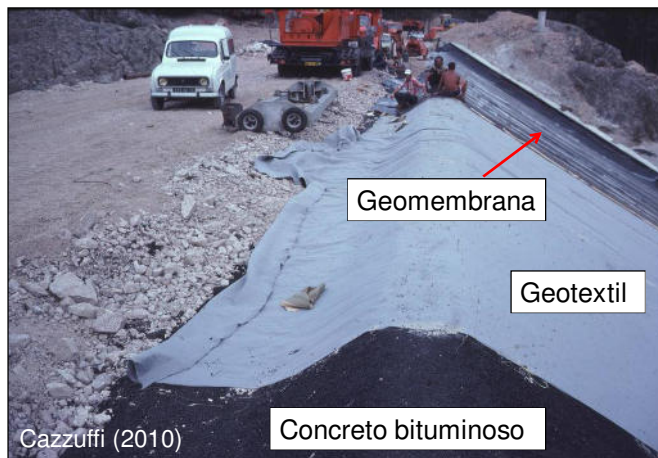
## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas



Presa de L'Ospedale, Francia (1978), H = 26 m

31

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas

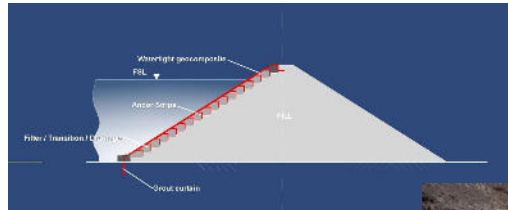


Presa de L'Ospedale, Francia (1978), H = 26 m

32



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas



Geomembrana Expuesta

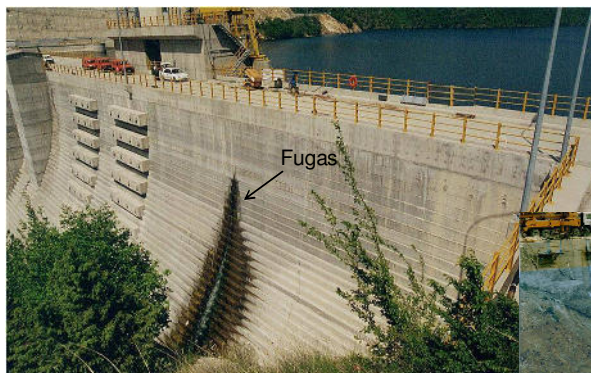
Anclaje de la geomembrana



33

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas

Presas de Platanovryssi (Concreto compactado con rodillo), Grecia



Grietas aguas arriba

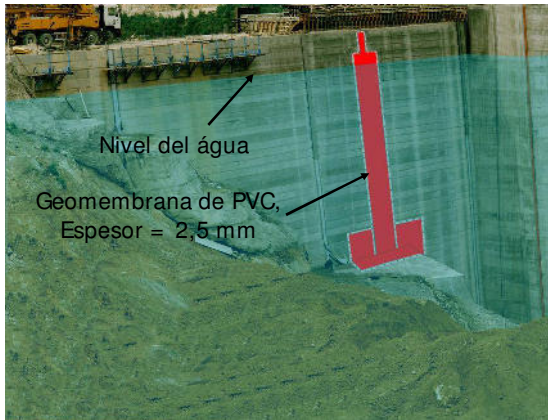


Cazzuffi (2010)

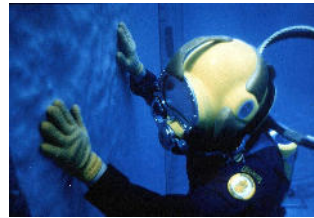
34

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas

Presas de Platanovryssi (Concreto compactado con rodillo), Grecia



Unión mecánica sumergida de los paneles



## Geosintéticos em Obras Hidráulicas Aplicações Típicas - Barragens

Barragem de Platanovryssi (Concreto compactado a rolo), Grécia



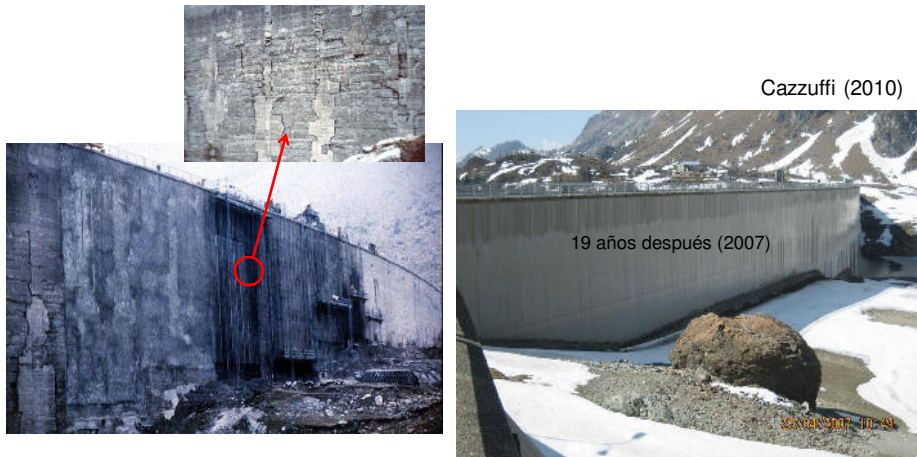
Cazzuffi (2010)

36

## Geossintéticos em Obras Hidráulicas

### Aplicações Típicas - Barragens

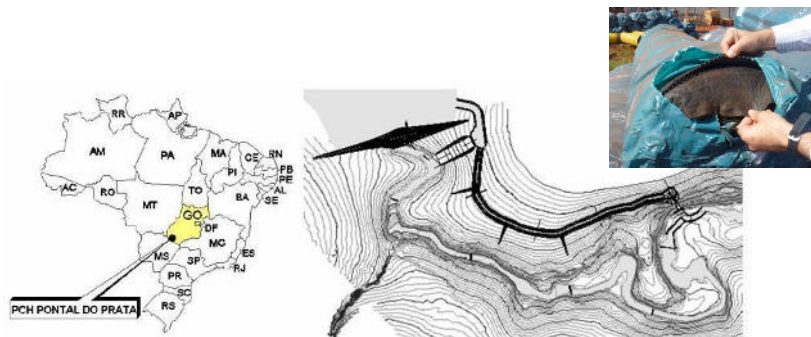
Recuperação da Barragem de Cignana, Itália (1988)



## Geosintéticos em Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Geocompuesto Drenante en Presa de Tierra  
PCH Pontal do Prata, Goiás, Brasil (Volker *et al.* 2012)



Presas:  
Largo= 762 m  
Altura = 18 m

38

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas



Geocompuesto Drenante en Presa - PCH Pontal do Prata, Goiás, Brasil

39

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas - Presas

Presas de Residuos



Cortesía Engepol

40



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas - Presas

Presa de Geosintético (Geocontainers)



Cortesía IGS (IGS Photo Contest 2011)

41

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas – Lagos y Reservorios



Cortesía Sansuy

42

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas – Lagos y Reservatórios



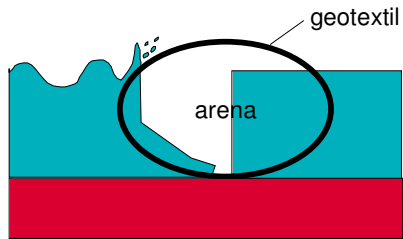
43

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicações Típicas – Lagos e Reservatórios



44

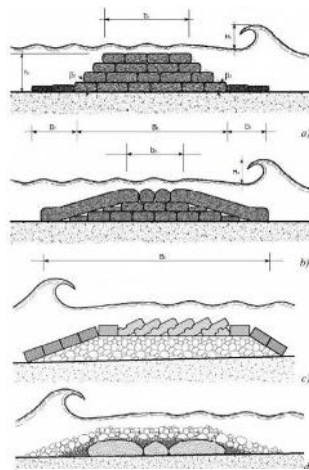
## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas – Tubos de Geotextil



Cortesía IGS (IGS Photo Contest 2011)

45

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Recifes y Quebra Mares Artificiales



[http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial\\_reefs](http://www.coastalwiki.org/wiki/Artificial_reefs)

Tubos Geotextiles



Quebra-mar offshore



Dique de protección

46

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Aplicaciones Típicas – Control de Inundaciones

Obras de Control de Inundaciones

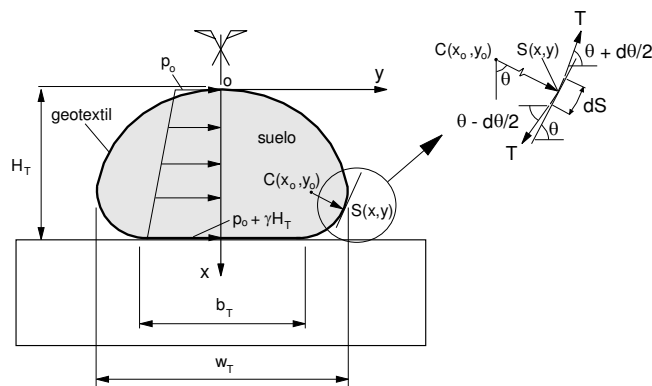


Tsunami, Japão (2011)

47

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Tubos de Geotextil

Solución de Leshchinsky et al. (1996)



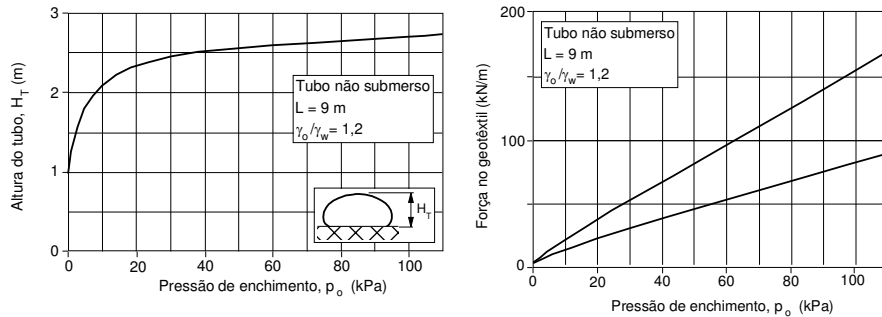
$$T y'' - (p_0 - x \gamma) [1 - (y''/2)^2]^{3/2} = 0$$

48



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Tubos de Geotextil

Solución de Leshchinsky et al. (1996)

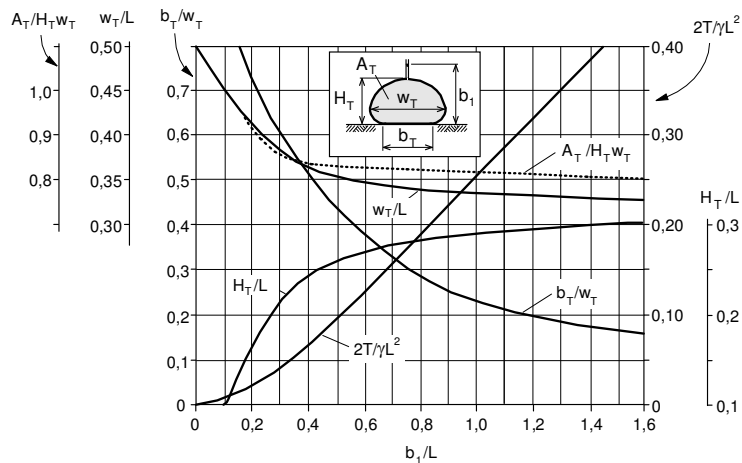


49



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Tubos de Geotextil

Solución de Silvester (1986) (para  $\gamma$  del suelo = 20 kN/m<sup>3</sup>)

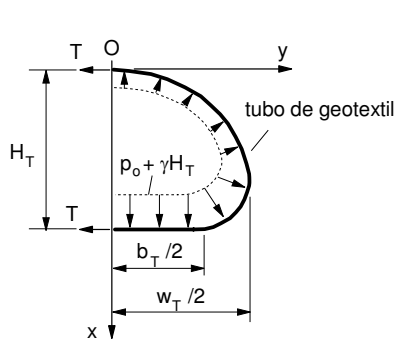


50

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Tubos de Geotextil

Solución Aproximada de Guo et al. (2014)



$$H_T = 0,318L \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,188}$$

$$A_T = 0,08L^2 \left(1 - e^{-\frac{6,504p_0}{\gamma L}}\right)^{0,134}$$

$$W_T = 0,5L - 0,1817L \left(1 - e^{-\frac{2,138p_0}{\gamma L}}\right)^{0,204}$$

$$b_T = 0,5L - 0,5L \left(1 - e^{-\frac{0,937p_0}{\gamma L}}\right)^{0,242}$$

$$T = 0,159p_0L \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,188} + 0,025\gamma L^2 \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,376}$$

51

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Tubos de Geotextil - Ejemplo

Determinar las características geométricas y la fuerza de tracción esperadas para un tubo de geotextil con 9 m de perímetro a ser llenado con material con un peso específico igual a 12 kN/m<sup>3</sup> ( $\gamma/\gamma_w \cong 1,2$ ) y con presión de inyección igual a 60 KPa.

Solución

Por el enfoque de Leshchinsky et al. (1996), a las figuras anteriores, para  $\gamma/\gamma_w = 1,2$ , proporcionan  $H_T = 2,6$  m y  $T = 95$  kN/m.

Por el enfoque de Guo et al. (2014):

$$H_T = 0,318L \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,188}$$

$$H_T = 0,318 \times 9 \left(1 - e^{-\frac{2,114 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,188} = 2,67 \text{ m}$$

52

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Tubos de Geotextil - Ejemplo

$$A_T = 0,08L^2 \left(1 - e^{-\frac{6,504p_0}{\gamma L}}\right)^{0,134}$$

$$A_T = 0,08 \times 9^2 \times \left(1 - e^{-\frac{6,504 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,134} = 6,46 \text{ m}^2$$

$$W_T = 0,5L - 0,1817L \left(1 - e^{-\frac{2,138p_0}{\gamma L}}\right)^{0,204}$$

$$W_T = 0,5 \times 9 - 0,1817 \times 9 \times \left(1 - e^{-\frac{2,138 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,204} = 2,98 \text{ m}$$

$$b_T = 0,5L - 0,5L \left(1 - e^{-\frac{0,937p_0}{\gamma L}}\right)^{0,242}$$

$$b_T = 0,5 \times 9 - 0,5 \times 9 \times \left(1 - e^{-\frac{0,937 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,242} = 0,88 \text{ m}$$

$$T = 0,159p_0L \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,188} + 0,025\gamma L^2 \left(1 - e^{-\frac{2,114p_0}{\gamma L}}\right)^{0,376}$$

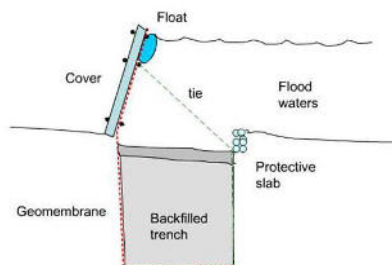
$$T = 0,159 \times 60 \times 9 \times \left(1 - e^{-\frac{2,114 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,188} + 0,025 \times 12 \times 9^2 \times \left(1 - e^{-\frac{2,114 \times 60}{12 \times 9}}\right)^{0,376} = 101,2 \text{ kN/m}$$

53

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Aplicaciones Típicas – Control de Inundaciones

Sistema de Barrera contra Inundaciones con Geomembrana



Greenwood (2012)



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Consideraciones para Diseño

Geomembranas: Vários aspectos son semejantes a otras aplicaciones como barreras.

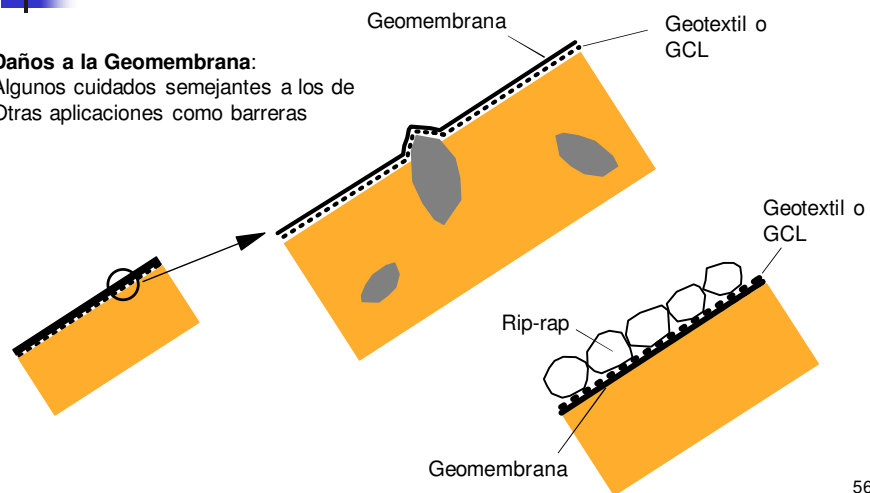
- Daños mecánicos y protección necesaria
- Adherencia con otros materiales (suelos, geosintéticos, etc)
- Durabilidad
- Aspectos relativos a la fijación en el terreno (anclaje, etc)
- Etc.

55

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Cuidados

**Daños a la Geomembrana:**  
Algunos cuidados semejantes a los de  
Otras aplicaciones como barreras



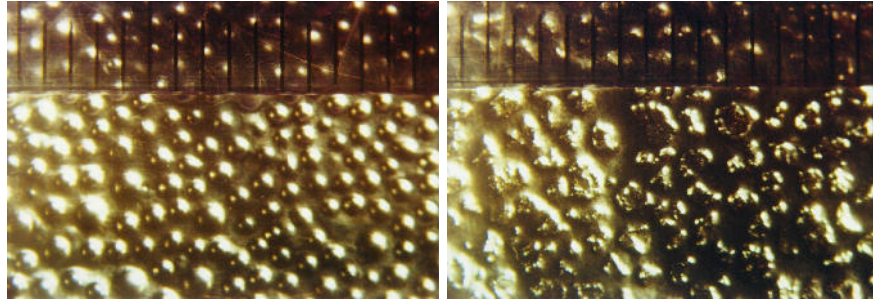
56





## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados

Impresiones en Contactos Suelo-Geomembrana (1000 kPa)



Esferas de Vidrio

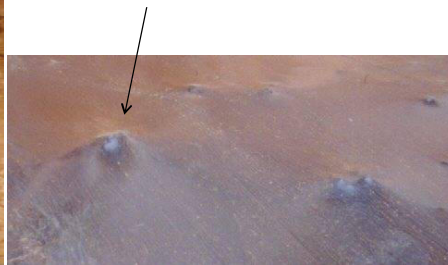
Arena

Silva (2001)

57



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados



58

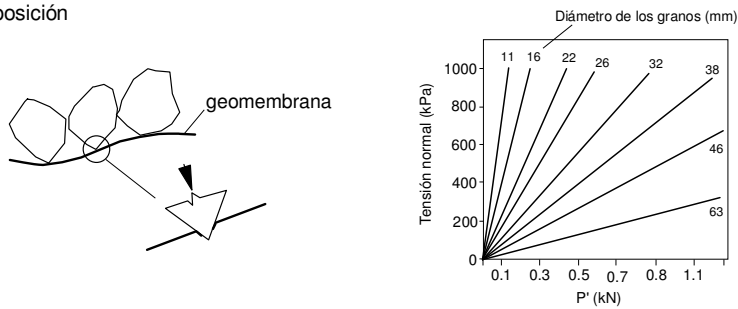


## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados

Fuerza de Perforación (Holtz et al., 1997):

$$P'_p = F_{LP} \cdot F_{TR} \cdot P'$$

Donde:  $P'_p$  = carga de perforación de diseño,  $F_{LP}$  = factor de seguridad para condición de largo plazo (en general  $> 10$ ) e  $F_{TR}$  = factor de seguridad para el tipo de residuo ( $F_{TR} > 2$  para residuos peligrosos y  $F_{TR} > 1$  para aplicaciones en cobiertas de áreas de disposición)

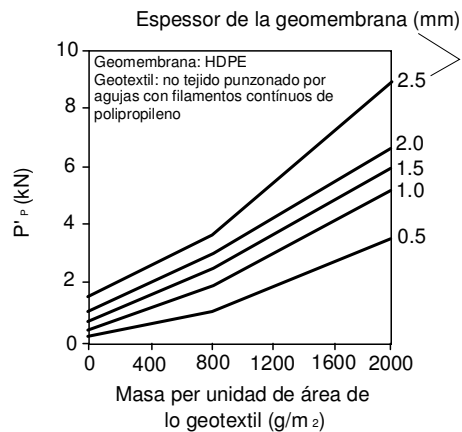


59



## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados

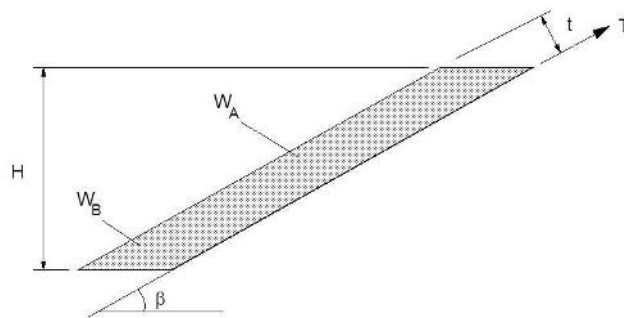
Selección de lo Geotextil para la Protección de la Geomembrana  
(Werner et al., 1990)



60

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados – Estabilidad del Material de Cubierta

Giroud & Beech (1989)



$$\frac{H}{t} = \frac{T}{\gamma t^2 \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)} + \frac{1}{2 \cos \beta} + \frac{1}{\sin 2\beta \cos \beta \left(\frac{1}{\tan \phi} - \tan \beta\right) \left(1 - \frac{\tan \delta}{\tan \beta}\right)}$$

61

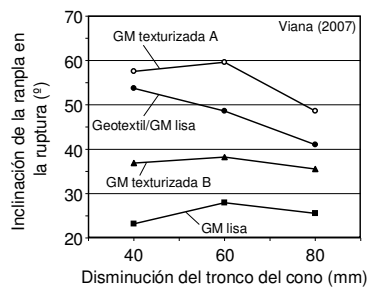
## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados – Adherencia Suelo-Geosintético

Comunmente parametros de resistencia de la interface deben ser obtenidos para bajas tensiones normales  $\Rightarrow$  Ensayos de corte directo pueden ser contra la seguridad  $\Rightarrow$  Ensayos de ranpla



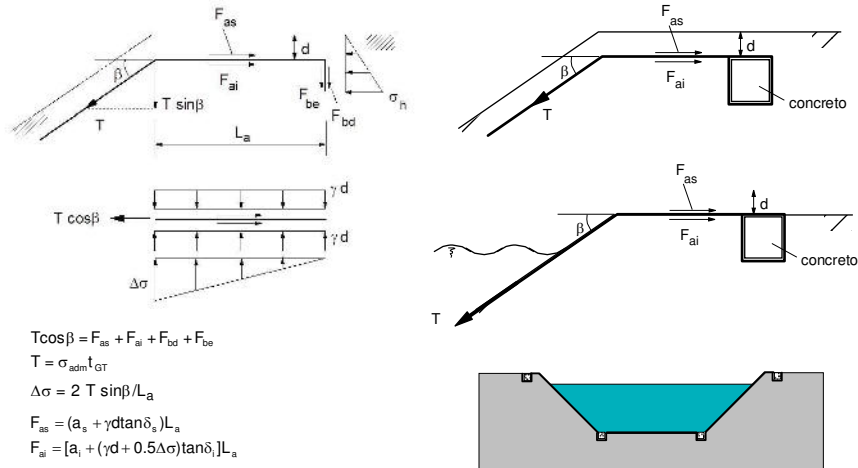
Lima Jr. (2000)-UnB

Adherencia Geomembrana-Concreto Fresco



62

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Cuidados – Anclaje del Geosintético en la Cresta



63

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas Importancia del Filtro Subyacente



Daños por velocidad de flujo elevada  
y/o ausencia del filtro subyacente



Cortesía Maccaferri

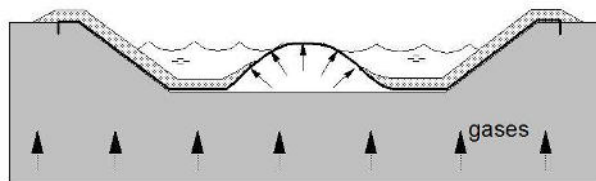
64

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Cuidados – Falta de Drenaje Subyacente

La protección de la face inferior de la geomembrana (geotextil, por ejemplo), trae los siguientes beneficios:

- Obtención de un área de trabajo limpia para juntas, etc;
- Protección de la geomembrana contra perforaciones y daños mecánicos;
- Puede aumentar el factor de seguridad contra el deslizamiento de la capa de cobertura en taludes;
- Brinda una frontera drenante para el escape de líquidos y gases que se acumulan debajo de la geomembrana.



65

## Geosintéticos en Obras Hidráulicas

### Cuidados – Falta de Drenaje Subyacente



66

