

## GEOMEMBRANAS

### DISEÑO y CONSTRUCCION

#### METODOLOGIA

- Conocimiento adecuado del comportamiento de suelos en interacción; deformaciones y esfuerzos-métodos de equilibrio límite y elementos finitos, cuando sea posible;
- Definir requisitos de materiales y procesos de diseño necesarios o ensayos adicionales;
- Redactar especificaciones detalladas para el caso específico y procedimientos de construcción.

#### METODOLOGIA

- Establecer Bases de diseño adecuadas;
- Variables: tipo de residuos o líquidos, condiciones de llenado y operación, temperaturas, condiciones geométricas de diseño, vida útil, geotecnia y geología, hidrología e hidrogeologías locales, topografía con curvas de nivel adecuadas;
- Diseño por función; incorporar constructibilidad, disponibilidad de materiales y empréstitos, accesos; Plazos de construcción y definición de etapas;

- En la mayoría de las aplicaciones, exceptuando algunas aplicaciones de minería (pilas de lixiviación), las geomembranas se utilizan complementadas por otros geosintéticos ( geotextiles, geomallas, GCLs).
- Por ende, hablar de diseño con geomembranas puede implicar diseño con al menos uno de sus complementos, como geotextiles, sin perjuicio de otros eventuales complementos como capas de arena.
- De hecho, el diseño con geomembranas debe incluir el diseño de un eventual sistema de protección.

- En todas las aplicaciones, la geomembrana actúa como elemento de contención de líquidos, por ende, la pérdida de continuidad equivale a la falla.
- En la mayoría de las aplicaciones, las geomembranas contienen líquidos y sobre ellas no sólo puede existir líquidos contenidos, sino también gravas, residuos sólidos, y otras sustancias o materiales.
- En algunas aplicaciones, las geomembranas actúan como interceptores para que líquidos o sólidos no sean alcanzados por precipitaciones o aguas lluvia. -Cubiertas de cierre – Cubiertas flotantes.

#### Diseño ante Subsistencia

Knipschild, 1985

Dada la presión o carga normal, obtener razón de asentamiento, (SR=profundidad asentamiento/ancho subsistencia) y con ella, obtener Deformación uniforme ( $\epsilon$ ) de gráfico (deformada circular o triangular) y con ella  $X$  =Longitud de deformación adicional.

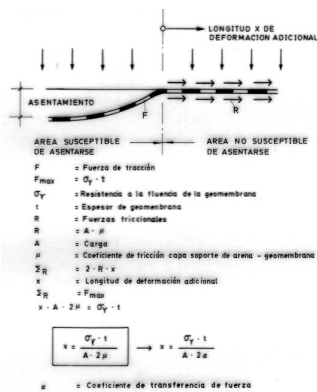
$$X = \frac{\sigma_y \times t}{2 \times A \times \mu}$$

$\epsilon \times (\text{ancho subsistencia}) L$

Con  $X$  se calcula  $\epsilon' = \frac{\epsilon \times (\text{ancho subsistencia}) L}{L + X}$

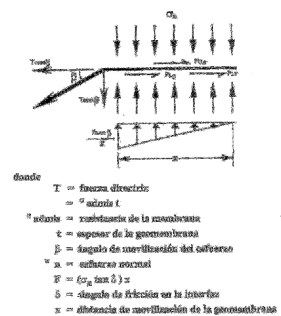
Que se compara con la deformación de geomembrana

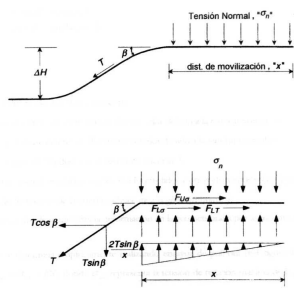
#### Diseño ante Subsistencia



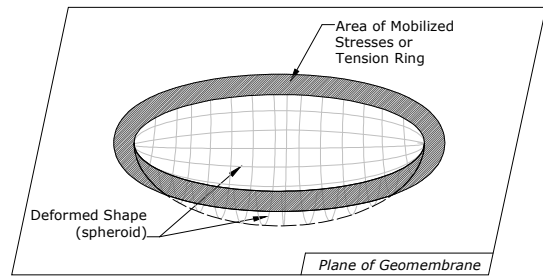
#### Modelos de cuerpo libre

#### Determinación Espesor geomembrana

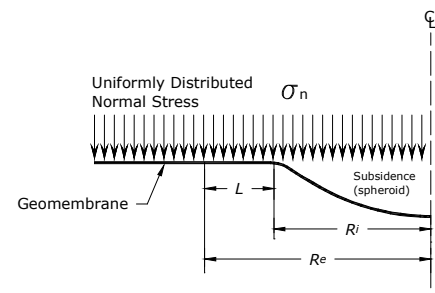
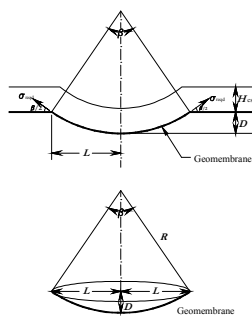


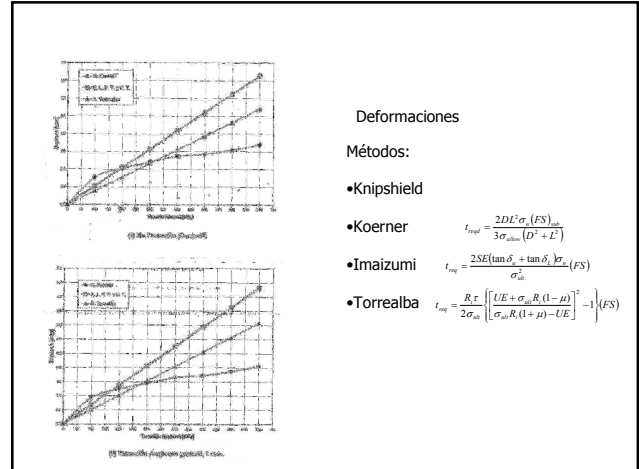
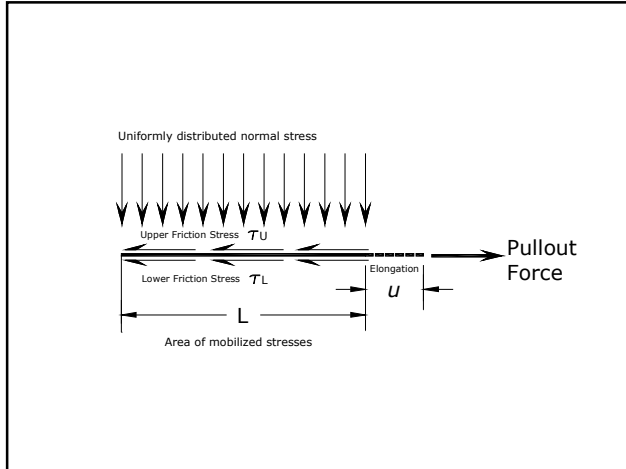


Deformaciones:  
otros procedimientos



Subsidencia





Ejemplo:

Geomembrana sobre zona de subsidencia.

Supuesto: subsidencia asume forma esferoide, en fondo relleno sanitario.  
 Peso unitario es 10.45 kN/m<sup>3</sup>, sin percolados, para fines de cálculo.  
 Geomembrana protegida por geotextiles no tejidos con ángulo fricción interface de 8°.  
 Altura máxima residuos es 50 m, que creará subsidencia estimada de 63 cm medida en el centro de un radio interno de 120 cm.  
 Usando primero geomembrana de HDPE, según datos ensaye axisimétrico el esfuerzo máx es 18,000 kN/m<sup>2</sup> y el módulo elástico es 900,000 kN/m<sup>2</sup>.  
 El coeficiente de Poisson es 0.5 y el Factor de Seguridad usado 1.5.  
 El espesor necesario de geomembrana de HDPE es 14.3 mm y 7.1 mm usando

$$t_{req} = \frac{2DL^2\sigma_a(FS)_a}{3\sigma_{allow}(D^2 + L^2)}$$

Ecuación de Koerner –Wu y ecuación Torrealba, respectivamente. Si se emplea LLDPE y asume comportamiento lineal esfuerzo-deformación, el esfuerzo admisible es 10,000 kN/m<sup>2</sup> con un módulo de Young de 40,000 kN/m<sup>2</sup>.

Así, el espesor necesario de LLDPE es 25.8 mm and 1.0 mm usando Koerner y Torrealba respectivamente.

### Evaluación de requerimiento de protección geomembrana

- Ensayes Indice Punzonamiento -CBR
- Ensayes Punzonamiento Quasi-comportamiento -reproducen sólo ciertos aspectos de las condiciones de terreno-Conos y pirámides truncadas
- Ensayes Comportamiento al Punzonamiento

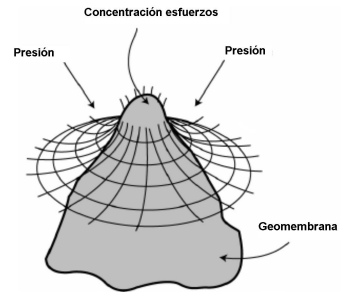


## Ensayes Índice

Ensaye ASTM D 4833  
Embolo 8mm con borde a 45°  
Muestra en placa con abertura 45 mm

Ensaye FTM 101C  
Embolo 8mm con extremo hemisférico  
Muestra 25 mm

Ensaye ASTM D 6241  
Embolo 50 mm con borde a 45°  
Muestra en molde CBR con abertura 150 mm



Modelación

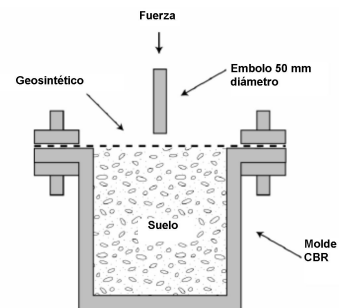
DISEÑO  
CON  
PROTRUSIONES

## Ensayes Quasi-Comportamiento y Comportamiento

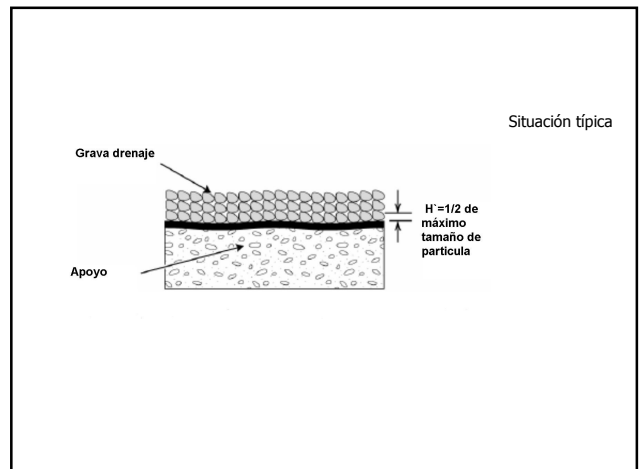
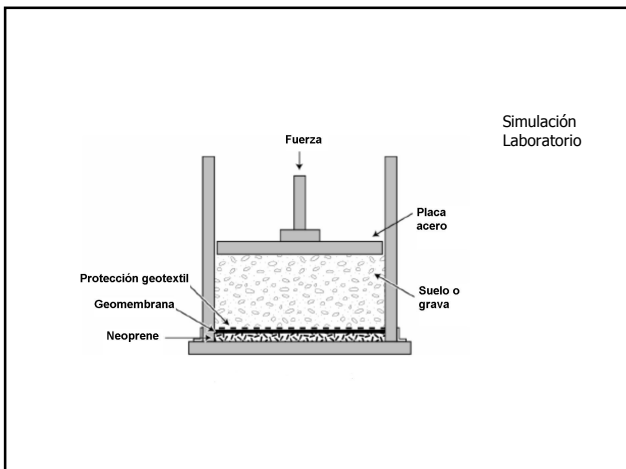
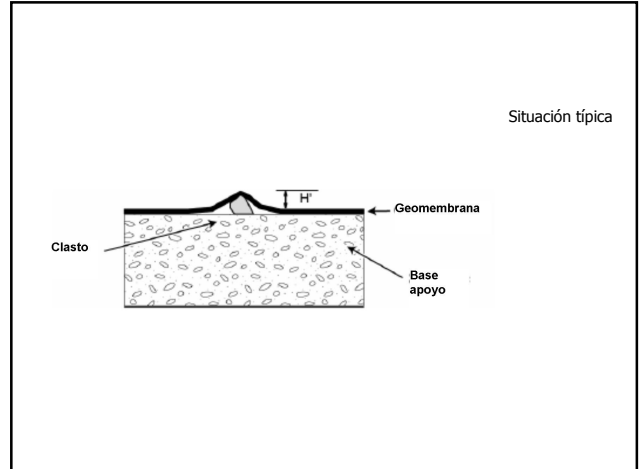
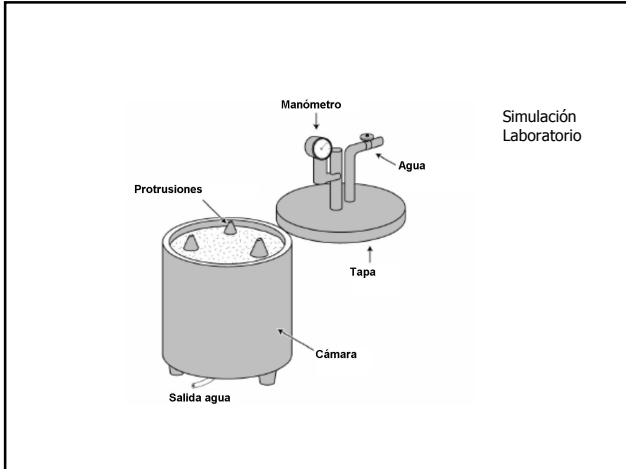
Ensaye ASTM D 5514  
3 Conos truncados a 250 mm  
Muestra en cámara cilíndrica de diámetro 600 mm bajo presión hidrostática

Ensaye ASTM D 5594  
3 pirámides truncadas  
Muestra en cámara cilíndrica de diámetro 550 mm

Ensaye CEN  
Suelo representativo  
Cámara edométrica de diámetro mínimo 300 mm



Simulación  
Laboratorio



#### Variables diseño:

- Altura efectiva protrusión
- Protrusiones aisladas
- Protrusiones en grupo
- Forma protrusión

Tipo sobrecarga

Presiones equipo construcción

## DISEÑO

- Espesor geomembrana, general
- Verificación ante deformaciones basales o subsidencia
- Verificación ante equipo construcción
- Verificación Zanjas anclaje
- Verificación viento (succión)

#### De ensaye conos truncados:

$$P_{adm} = 450 \frac{M}{H^2} \frac{1}{FS} \left( \frac{1}{1,3 \times 10^5 (1,5-t) H^{2,4}} \right)$$

H altura protrusión

M: peso por unidad superficie geotextil

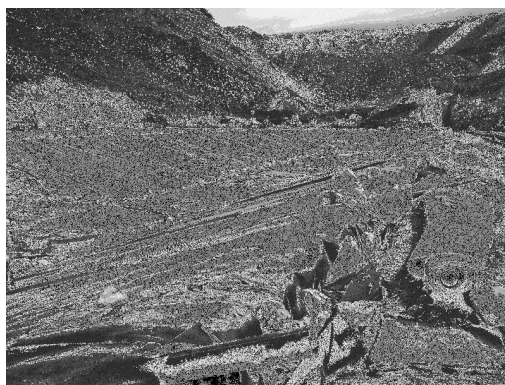
T: espesor geomembrana HDPE

FS :creep geomembrana

Zanja anclaje



Suelo sobre geomembrana



Zanja anclaje





## OPERACION: METODOLOGIA UTILIZADA

- Secuencia y procedimientos establecidos en Especificaciones y Manuales de Operación;
- Es muy importante continuar la adquisición de materiales de construcción, gravas, arcillas geosintéticos rigurosamente de acuerdo a especificaciones; criterio general debe seguir siendo la opción por mejor proveedor en términos técnicos;
- También es relevante seguir usando maquinaria adecuada a cada propósito. No dañar revestimientos;
- Los geosintéticos deben ser cuidados también en cuanto a su utilización: exposición al sol, a agentes agresivos y al punzonamiento o abrasión de equipos y maquinarias. Énfasis en preservación y cuidado de geomembranas y geosintéticos en general;
- Control de calidad continuo: continuidad de contratistas que garanticen sistemas y procedimiento de aseguramiento de calidad homologados y confiables;
- Inspección Técnica, tanto de suelos como de geosintéticos, a cargo de Tercera Parte y laboratorios especializados.

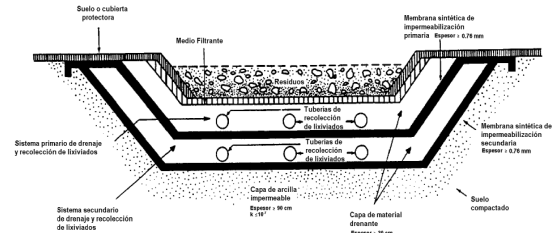
## CONSTRUCCION: METODOLOGIA UTILIZADA

- Adquisición de materiales de construcción, gravas, arcillas geosintéticos rigurosamente de acuerdo a especificaciones; criterio general no es la selección de proveedor más barato, sino el que satisface en cada categoría la especificación;
- Empleo de maquinaria adecuada a cada propósito;
- Procedimientos constructivos establecidos en especificaciones y manuales de operación. Énfasis en preservación y cuidado de geomembranas y geosintéticos en general;
- Selección de contratistas, y específicamente instaladores de geomembranas según capacidad, recursos técnicos y experiencia: generalmente ello no es equivalente a menor precio;
- Control de calidad: selección de contratistas que garanticen sistemas y procedimiento de aseguramiento de calidad homologados y confiables;
- Inspección Técnica, tanto de suelos como de geosintéticos, a cargo de Tercera Parte y laboratorios especializados.

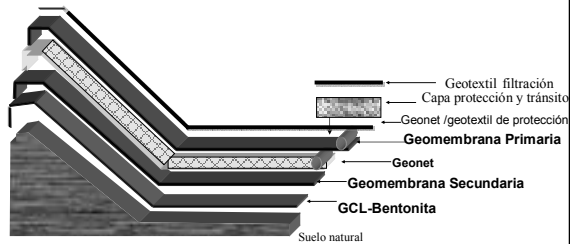
## Aplicación: Diseño por especificación

### Relleno de Seguridad: DS 148

- Artículo 58. El relleno de seguridad deberá estar dotado de un sistema de impermeabilización y drenaje de a lo menos dos capas impermeables con sus respectivos drenajes, colocadas sobre una barrera de arcilla. Estos componentes deberán cumplir los siguientes requisitos y exigencias:



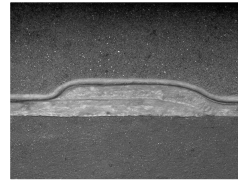
## Diseño típico con geosintéticos en depósitos de residuos peligrosos



## GCL, Geosynthetic Clay Liner Carpetas Geosintéticas de bentonita

- El GCL es una barrera de baja permeabilidad de principio activo. Es autosellante y autoreparante.
- El GCL tiene una permeabilidad de  $5 \times 10^{-9}$  cm/seg, mientras que una arcilla típica compactada tiene  $1 \times 10^{-7}$  cm/seg.

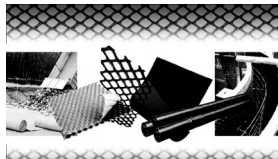
... AutoSellante



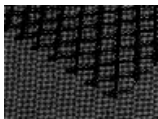
AUTOREPARANTE

## Geonet : geomalla polimérica

- Puede reemplazar total o parcialmente capas de grava en sistemas de drenaje y recolección de lixiviados y capas de material drenante.
- La conductividad hidráulica del Geonet es 0,20 m/s ( $2 \times 10$  cm/s) para espesor de 5 mm, que es muy superior a la de la grava de  $1 \times 10^{-2}$  cm/s.
- Este dato es obtenido de la transmisividad hidráulica del Geonet que es la propiedad reportada en las especificaciones  $1 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s.



El geonet de 5 mm es ampliamente utilizada como sistema de detección de fugas entre las capas de geomembrana, ya que la colocación de la grava puede inducir daños en las geomembranas, siendo además de muy lenta colocación.



## Capas de Impermeabilización: Tipo de geomembrana

### LEGISLACION VIGENTE:

- Artículo 58. a) Todos los componentes del sistema de impermeabilización y drenaje deberán ser compatibles con los residuos depositados en el relleno y con los líquidos lixiviados que se generen. En particular las capas de impermeabilización deberán resistir las agresiones químicas y microbiológicas y tener una resistencia frente a las sollicitaciones que se puedan generar durante la construcción y operación del relleno de seguridad o durante un movimiento sísmico, similar o superior a una lámina sintética de polietileno de baja densidad de al menos 0.76mm de espesor

### COMENTARIOS

- Artículo 58. a) Las propiedades químicas y mecánicas que se establecen como mínimas para las capas de impermeabilización corresponden a un polietileno de baja densidad de 0,76mm.
- Esta exigencia es muy baja.
- La experiencia mundial se ha desarrollado en torno al HDPE 1,5mm pues es sabido que el HDPE o Polietileno de alta densidad es el polímero más resistente químicamente. La experiencia es exitosa.
- El LDPE, polietileno de baja densidad, es muy vulnerable químicamente. La norma debería incluir la especificación mínima exigida incluyendo ensayos y valores, pues, tan solo citar el polímero base resulta insuficiente y deja abierta la posibilidad para que se empleen materiales de muy bajo nivel.

El LDPE es vulnerable químicamente. El HDPE es el polímero más inerte químicamente. La experiencia en USA y Alemania gira en torno al HDPE 1,5mm y HDPE 2,5mm. Los bajos espesores comprometen la durabilidad de la geomembrana.

## Geomembranas y polímeros base

- **LEGISLACION:**
  - COMENTARIOS
  - Artículo 58. b)
  - La EPA, Environmental Protection Agency de USA, realizó un estudio profundo sobre depósitos impermeabilizados con geomembranas, llegando a la siguiente recomendación de espesor basada en la sellabilidad, punzonamiento e instalabilidad:
    - PVC 20-30 mils
    - CPE 30 mils
    - CSPE-R 36 mils
    - Polietileno 60 mils
  - Importante hacer notar que el Polietileno de Baja Densidad LDPE (Low Density Polyethylene) es diferente del Polietileno Lineal de Baja Densidad LLDPE (Low Linear Density Polyethylene). Este último tiene cadenas alineadas y largas, que hacen que pueda resistir las agresiones químicas mejor y así mismo se mejora su resistencia mecánica.

El DS 148 es claro en solicitar HDPE en 1,52 mm, pero deja abierta la posibilidad de usar cualquier otra geomembrana en 0.76mm.

Es importante exigir una geomembrana que cumpla parámetros de durabilidad. La especificación para HDPE GM 13 del GRI (Instituto de Geosintéticos de USA) los incluye.

## Drenaje: Material pétreo y Posibilidad de reemplazo por Geonet

- **LEGISLACION VIGENTE:**
  - Artículo 58. d) *Cada capa de material de drenaje estará constituida por material pétreo de un espesor de 30 cm como mínimo y una conductividad hidráulica no inferior a  $10^{-4}$  cm/s, pudiendo la Autoridad Sanitaria aprobar la utilización de un material con espesores y conductividad hidráulica distintos, los que en todo caso deberán garantizar una capacidad de conducción de lixiviados igual o superior.*
  - Artículo 58. e) *Las capas impermeables y la barrera de arcilla deberán poseer en la sección de fondo una pendiente no inferior al 2% hacia el punto de recolección de los lixiviados.*
  - Artículo 58. f) *Deberán ser diseñados para operar con cargas hidráulicas no superiores a 30 centímetros*
- **COMENTARIOS**
  - Artículo 58. d) Un geonet polimérico puede ser tan eficiente como una capa de drenaje granular. Incluso el uso de Geonet como reemplazo de capas de drenaje granulares en interacción con geomembranas es preferible y debiera ser explicitado, pues minimiza daños sobre la geomembrana en relación a gravas.
  - La transmisividad hidráulica de un Geonet de 5 mm es  $1 \times 10^{-3}$  m/s, por lo tanto la conductividad hidráulica del Geonet es  $1 \times 10^{-4}$  m/s ( $1 \times 10^{-4}$  cm/seg), muy superior a la exigida. Sin embargo debe verificarse su especificación para prevenir su compresión por presión normal.
  - Presenta ventajas como su transmisividad uniforme de fábrica y la reducción de volumen.
  - Es fácilmente colocable en taludes

## Capa de arcilla impermeable basal: Posibilidad de reemplazo por GCL

- **LEGISLACION VIGENTE:**
  - Artículo 58. c) *La barrera de arcilla deberá tener un espesor mínimo de 90 cm y una conductividad hidráulica no superior a  $10^{-4}$  cm/seg, pudiendo la Autoridad Sanitaria aprobar la utilización de un material arcilloso con espesores y conductividad hidráulica distintos, los que en todo caso deberán garantizar un nivel de impermeabilización igual o superior. En el caso de utilizarse membranas de arcilla geosintética la conductividad hidráulica máxima deberá ser de  $5 \times 10^{-4}$  cm/s.*
- **COMENTARIOS**
  - Artículo 58. c) El GCL tiene un desempeño que puede ser comparable a la arcilla compactada, siendo superior en:
    - Permeabilidad  $5 \times 10^{-4}$  cm/seg
    - Deformación o asentamiento
    - Ciclos de hielos/ deshielo o humedad/seca
    - QC-homogeneidad, y estabilidad en taludes
    - Cuesta, instalabilidad, ocupa menor espacio
    - Menor Impacto ambiental de camiones
  - La conductividad hidráulica del GCL esta regida por la ley de Darcy, siendo calculada con:
    - 30cm de carga hidráulica, Max
    - 7mm de espesor del GCL una vez hidratado
    - Presión de confinamiento mínima de 5 psi (35KPa) (aprox 2,38m de suelo o 3,57m de basura)
  - Estas condiciones deben cumplirse durante la operación.
  - Según la cantidad de Bentonita presente en el GCL, y la presión de confinamiento, será equivalente a bloques de arcilla o 90 cm de arcilla.
  - Debe verificarse compatibilidad química ante lixiviados.

El GCL ha desplazado a la arcilla compactada en numerosas aplicaciones. No todos los GCL reemplazan 90 cm de arcilla compactada. La impermeabilidad (Ley de Darcy) y compatibilidad deben ser chequeada durante el diseño y especificación del GCL.

## Preparación del terreno

- **LEGISLACION VIGENTE:**
  - Artículo 58. g) *Las capas impermeables deberán ser instaladas en una fundación o base soportante que no dañe el material impermeabilizante y que resista los gradientes de presión que pudieran producirse sobre o bajo ella, debiendo preverse posibles asentamientos, compresión o levantamiento eventual del terreno donde esté ubicado el relleno.*
- **COMENTARIOS**
  - Artículo 58. g) La U.S. EPA describe un proceso exigente para la preparación del terreno con el fin de garantizar la integridad de la geomembrana. El uso del GCL facilita la labor de perfilación, ya que puede adecuarse a deformidades y protuberancias "moderadas" de la superficie de apoyo.
  - El GCL se desempeña mejor ante los asentamientos diferenciales. La arcilla compactada se agrieta con tan solo una deformación del 0,85%, mientras que los GCL se deformarán tanto como los geotextiles de sus caras lo permitan.
  - El GCL tiene una capacidad de deformación muy superior a la arcilla compactada, por ello resiste mejor los asentamientos diferenciales y se requiere menor trabajo de perfilación del terreno.

## Control de calidad de la soldadura de la geomembrana

- **LEGISLACION VIGENTE:**
  - Artículo 58. h) *Cuando se utilicen membranas sintéticas toda unión y/o soldadura de ésta impermeabilización deberá ser sometida a ensayos de control de calidad de acuerdo a los procedimientos recomendados por el fabricante. La colocación de la arcilla y de las membranas de impermeabilización, deberán ser certificadas por un laboratorio de ensayo de materiales*
- **COMENTARIOS**
  - Artículo 58. h) No existiendo otros requisitos, esto podría interpretarse como permitir que el fabricante establezca los valores límites y procedimientos.
  - Luego de más de 25 años de desarrollo, existen procedimientos y normas. Específicamente, las NSF 54 y la GM 19 de la GSI son guías para la supervisión de soldaduras en terreno.
  - La certificación de colocación de capas de geosintéticos debe ser realizada por una empresa o institución especializada.

## REGULACIONES Y ESPECIFICACIONES INTERNACIONALES

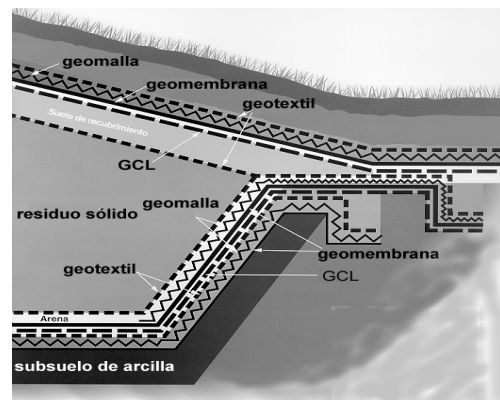
■ Filosofía Reguladora	Rev. basal	Cubierta
■ Prescriptiva	14	12
■ Comportamiento	2	2
■ Híbrida	3	1
■ Total	19	15

■ Utilización de Tipos de Barrera		
■ Arcilla compactada	5	7
■ Geomembrana/Arcilla	14	5
■ Total	19	12

## Resistencia sísmica

- **LEGISLACION VIGENTE:**
  - Artículo 58. i) *Todos los elementos y materiales que conforman el sistema de impermeabilización y drenaje deberán estar diseñados para operar incluso bajo condiciones de cargas estáticas y dinámicas generadas en el relleno de seguridad durante su construcción, operación y cierre.*
- **COMENTARIOS**
  - Artículo 58. i) Debería explicitarse diseños por función, ya que existe la tendencia a que en los proyectos se copien sistemas de impermeabilización de otros proyectos, careciendo de ingeniería de detalle en geosintéticos. Esta es una disciplina independiente de la ciencia de los materiales, de la ingeniería hidráulica, estructural, geotécnica y ambiental.
  - Si no se exigen diseños por función, lo que significa que se debe identificar las cargas actuantes sobre los geosintéticos y su interacción, tanto estática como dinámicamente, para después definir racionalmente los materiales requeridos y su disposición, se aumenta considerablemente la probabilidad de falla.
  - Estos cálculos deben ser exigidos, con el fin de que no se seleccionen productos sin saber si cumplen con las sollicitaciones del proyecto, poniendo en riesgo la estanqueidad de los residuos peligrosos ante un evento no esperado.





## Las Aplicaciones Favoritas

- Tranques de Relaves
- Estanques de Procesos
- Sistemas de Electro-Obtención
- Pilas de Lixiviación
- Rellenos Sanitarios e Industriales
- Lagunas Artificiales
- Estanques Agrícolas

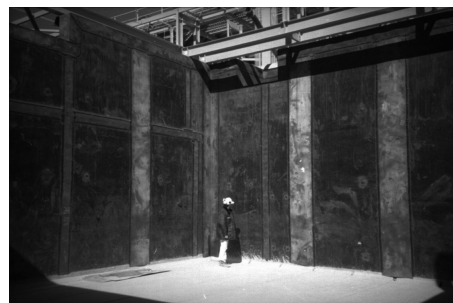
## Filtro para Dren



## Tranques de Relaves



## Estanques de Procesos



### Electro Obtención



### Obras Afines



### Piscinas, Refino, PLS, ILS,.... etc.



### Pilas de Lixiviación



Superficie Blanca, Reducción de la Temperatura



Rellenos Industriales



Sistema Colector de Fugas



Colector de Lixiviados



### Lagunas Artificiales



### Instalación de Geomembranas

- Despliegue de los rollos.
- Uniones por fusión térmica.
- Control de Calidad de las uniones

### Tranques Agrícolas



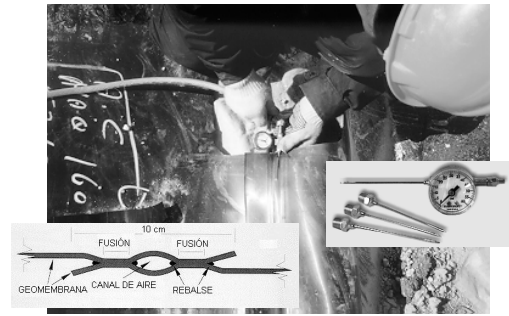
### Preparación de la Superficie



## Despliegue



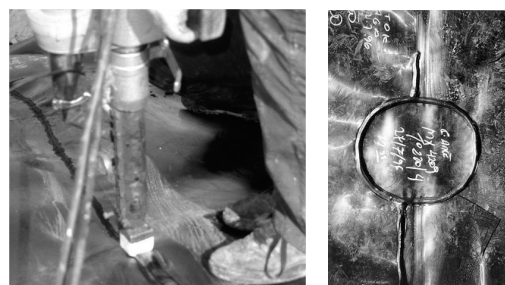
## Control de la Soldadura



## Unión por Cuña



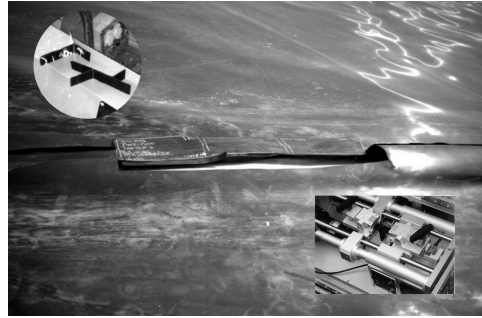
## Soldadura por Extrusión



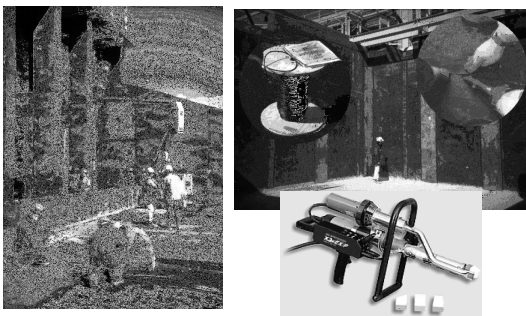
## Control de la Soldadura



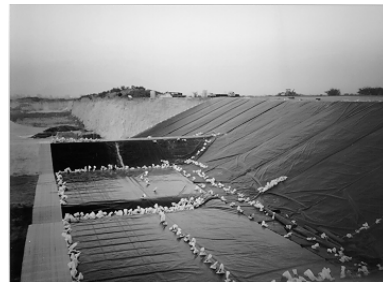
## Ensayos Destructivos



## Detalles por Extrusión



## Consideraciones durante la Construcción



### Procedimientos Normales



### Cuidado e Ingenio



### Procedimientos Especiales



### Errores de Supervisión



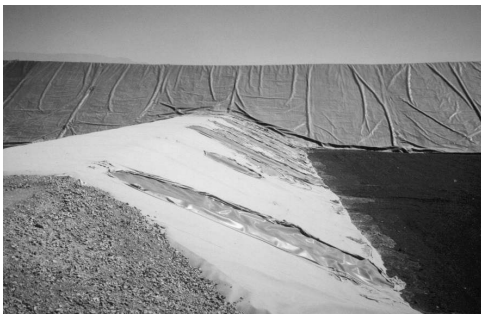
### Falta de Previsión



### Dos Tópicos Fundamentales del Diseño con Geomembranas

- **Sistema de Impermeabilización**
- **Superficie de Apoyo.**

### Descuido



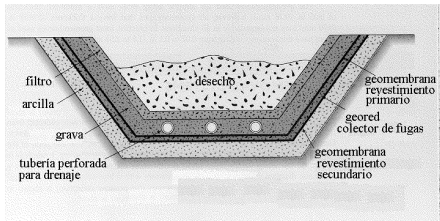
### Objetivos del Sistema de Impermeabilización

- Limitar a niveles aceptables la migración de líquidos fuera del sistema de contención y detectar y controlar las fugas o filtraciones.
- Entregar una solución económicamente viable capaz de perdurar más allá de las solicitudes de servicio (Puede exceder la vida activa de la obra).
- Proveer de un factor de seguridad acorde con la finalidad de la obra.



## Un Diseño Clasico

- El Doble revestimiento con detección de Fugas.



## ¿Para qué doble revestimiento?

- La tasa de filtración esta directamente relacionada con la carga hidráulica.
- El sistema de drenaje debe ser eficiente y estar conectado a la presión atmosférica.
- El revestimiento secundario, aunque tenga defectos conducira las filtraciones a la cámara colectora.

## Definiciones

- **Revestimiento Primario: Es la Barrera impermeable activa.**
- **Revestimiento secundario:** Se refiere a la barrera impermeable subyacente a la primera barrera impermeable.
- **Sistemas de control de filtraciones:** Constituido por filtros y drenes instalados en la interfaz de las barreras primaria y secundaria.

## ¿Cuanto debe durar un Vertedero?



## ¿qué sucede con la durabilidad del diseño?

- Considerar:
  - Sistemas de Monitoreo
  - Sistemas de Mantenimiento
    - ¿Es posible efectuar reparaciones?
  - Especificación de Materiales
    - GRI (Geosynthetic Research Institute)
    - PGI (PVC Geomembrane Institute)
    - Experiencia y Conocimiento.

## Especificaciones de Geomembranas

- Especificaciones GRI – Frecuencias de ensayo QC del fabricante.
- Especificaciones del Dueño (Mandante) normalmente indican las frecuencias propuestas por el fabricante o aquellas solicitadas por el CQA de la tercera parte.

## Especificaciones de Geomembranas

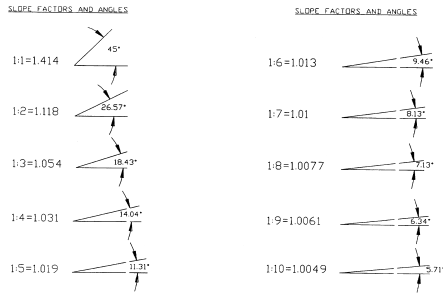
- NSF 54- Es empleada, pero no esta Activa
- GRI-GM13 (Rev. 6, Jun 2003)- HDPE
- GRI-GM17 (Rev. 3, Jun 2003)-LLDPE
- GRI-GM18 para fPP-r (Rev. 1, Jun 2003)
- PVC Institute para PVC y ASTM

## En el Ambito de la Geotecnia de Vertederos

- ¿Deslizará?----Estabilidad Talud Infinito
- Cubierta Final o Estabilidad del sistema de Lixiviados
  - Diseño de Taludes (4:1, 3:1)
  - Angulo de Fricción del Material (16 grados)
- Si el ángulo del talud > Angulo de Friction– Puede no funcionar
- Emplear geomembranas texturizadas.
- Se requiere de análisis adicional

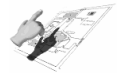


## Factores de Inclinación



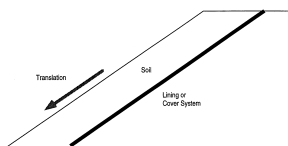
## Si la fricción no es suficiente

- La solución puede ser una geomembrana Texturizada.
- Fuerzas resistentes para la estabilidad
  - Refuerzo al pie del talud
  - Cuña de suelo
  - Refuerzo interno-Geogrid
- Puede ser un relleno incremental
  - Estabilidad
  - Deslaves



### Types of Stability Failures

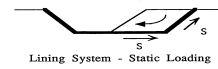
#### Veneer Type Failures



#### Mass Stability Type Failures



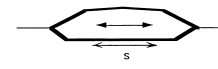
### Shear Resistance



Lining System - Static Loading



Cover System - Static Loading



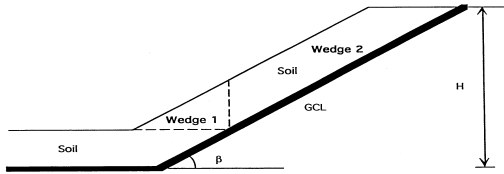
Dynamic Loading

What is S?



### Buttress Loads

What if slope isn't infinitely long?



Soil at Toe Will Provide Resistance to Failure

### Otras consideraciones

- Falla generalizada de una rampa; procedimiento constructivo erróneo.



### Estabilidad en Taludes no Infinitos

- Estabilidad Global de la masa de desechos
- Errores comunes en el diseño
  - No considerar la secuencia interna de relleno
  - No preocuparse de la secuencia de construcción
  - No evaluar ángulos de relleno internos.
  - No considerar la recirculación de los lixiviados
  - No considerar un sistema colector de filtraciones



### Tópicos relativos a la estabilidad (cont.)

- Modos de falla (deslizamiento)
  - Falla rotacional dentro de la masa de desechos
  - Falla rotacional a través del suelo de apoyo
  - Deslizamientos superficiales



### Tópicos relativos a la estabilidad (cont.)

- Fallas comunes
  - Deslizamiento interno del relleno
  - Con o sin mayores consecuencias
- Relativos al llenado del Vertedero
  - Intento del dueño de maximizar el Volumen
  - Angulos internos, pueden llegar a ser muy pronunciados
  - Colocación de los desechos cerca de bermas temporales.

### Otros tópicos del Diseño

- Filosofía del diseño de los Anclajes
  - Rematarlos al final
  - Deben permitir un cierto grado de flexibilidad
  - Los geosintéticos deben deslizar fuera del anclaje antes de llegar a la ruptura.
  - Zanjas en V son las más apropiadas.
    - Fácil de ejecutar las soldaduras
    - Faciles de rellenar
    - Cuidado con otras condiciones (Nieve)

### Liso vs. Texturizado

- Seguridad a bajo costo
- Provee de estabilidad adicional para angulos internos
- Liso puede ser adecuado para el diseño de un plano de deslizamiento interno común en áreas sísmicas.

### Datos de corte directo para geomembranas lisas

- Geom. Lisa

	Carga alta	Carga Baja
■ Arcilla	10°-11°	9°-11°
■ Arena	15°-17°	16°-17°
■ Geotextil	8°-11°	8°-10°

  - Datos sólo de referencia
  - Jamás emplear este tipo de datos en reemplazo de los ensayos con materiales específicos de terreno.

## Datos de corte directo para geomembranas Texturizadas

- Geom. Text.      Carga Alta      Carga Baja
- Arcilla      15°-18°      25°-30°
- Arena      27°-32°      27°-33°
- Geotextil      21°-23°      30°-35°
  - Datos sólo como referencia
  - Jamás emplear este tipo de datos en reemplazo de los ensayos con materiales específicos de terreno.

## Aplicación de las Geogrillas

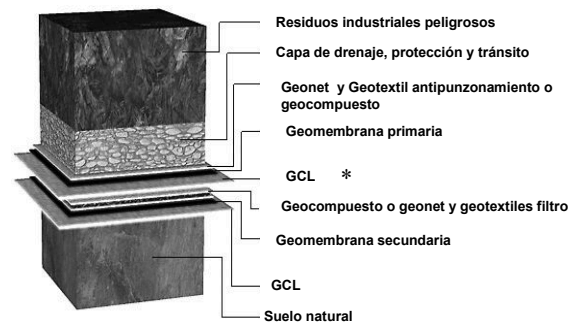
- Empleadas para:
  - Estabilidad de Taludes Infinitos- Ayudando a la estabilidad de los materiales en los taludes.
  - Problemas de Asentamiento en la superficie de apoyo.
    - Acción de Puente en suelos blandos
    - Acción de puente en suelos de apoyos con vacíos internos
  - Refuerzo de las bermas - Estabilidad

## Tópicos del Ensayo de Corte Directo

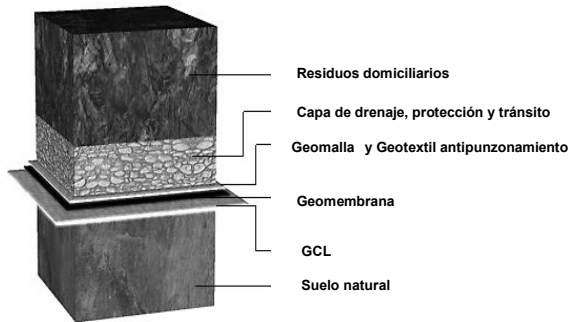
- Junto con los ensayos de transmisibilidad, presentan la mayor dispersión de resultados entre laboratorios.
- Existe la tentación de emplear resultados de otros ensayos.
- ¿Las cargas son diferentes? ¡PROBLEMAS!
- ¿Emplear valores Punta o Residuales?



## DISEÑOS TÍPICOS DEPOSITOS SEGURIDAD



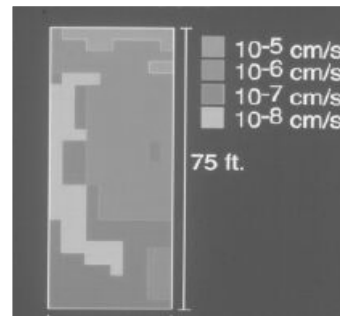
### DISEÑO TIPOICO RELLENO SANITARIO



### PERMEABILIDAD EN ARCILLAS TRADICIONALES

Rogowski,

US Environmental Protection Agency, 1990



- Homogeneidad y Calidad Arcilla
- Energía de Compactación
- Dsecación
- Ciclos de Hidratación y Congelamiento

### GCL / Geomembrana/ Geonet

- Estudios de la EPA sobre 91 proyectos en USA confirman que el sistema GCL/ geomembrana/geonet es mas eficiente que el compuesto por Arcilla Compactada/Geomembrana/arena. El drenaje de lixiviados cumple una función importante al mantener bajas cargas hidráulicas sobre la geomembrana.
- El GCL, así como el conjunto de impermeabilizantes deben ser seleccionados de modo que los ángulos de fricción de la interfaz sean adecuados y exista estabilidad bajo cargas estáticas y dinámicas.

### Estanqueidad: No existe estanqueidad absoluta

Depende de:

- Calidad de la ingeniería: diseño especializado o utilización de especificación genérica;
- Calidad de la construcción: instaladores especializados, experimentados, usando criterios internacionales;
- Calidad de la supervisión: tercera parte especializada a cargo de QCA/QC

No considerar diseño especializado, instalación adecuada, o prescindir de supervisión, es causa de caudales de filtración importantes. Basta con uno de estos factores.

## Estanqueidad

*Estudios efectuados por Phaneuf-Peggs basados en detección electrónica de filtraciones*

Causas de filtraciones por fallas o defectos:

- Durante Instalación geomembranas: 24 %
- Luego de entregadas superficies: 2%
- Al colocar capas de protección-drenaje o tránsito: 73%
- Durante ensayos: 1%

Los mayores daños no son provocados durante instalación

- Del 73% :
  - 68% son provocados por partículas angulosas, sobre tamaños, colocación deficiente, no colocación de geotextil
  - 16% por equipo pesado a menudo sobre pliegues
  - 16% por estacas de constructores
- Del 2%:
  - 67% por equipos de construcción
  - 31% por instalación de tuberías, sumideros y bombas
  - 2% por causas climáticas, y calamidades

## Estanqueidad

- Toda geomembrana es susceptible de filtrar no tanto debido a su permeabilidad intrínseca como por las causas ya indicadas
- CQA/QC son necesarios pero no garantizan estanqueidad absoluta, sino filtraciones minimizadas.
- Es conveniente especificar sistemas de detección electrónica de filtraciones y su monitoreo
- No es posible garantizar estanqueidad absoluta en sistemas de una sola geomembrana, de allí que no sea satisfactorio un solo revestimiento para contener residuos peligrosos, pero un sistema de contención de residuos peligrosos debe ser compuesto, y constar de elementos de protección, eventual refuerzo o capas complementarias de suelos

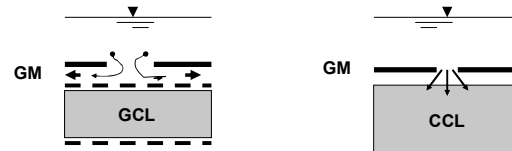
## Estanqueidad

- De los daños durante la etapa inicial de instalación:
- 61% son en extrusiones en uniones T o Y ó cerca de penetraciones de tuberías
- 18% por sobrecalentamiento o fusión
- 17% por punzonamiento por gravas de apoyo
- 4% por cortes en geomembrana no detectados ni reparados durante instalación

## Filtraciones pueden ser cuantificadas

GCL v/s ARCILLA COMPACTADA (CCL)

GM/GCL vs GM/CCL (J.P. GIROUD)



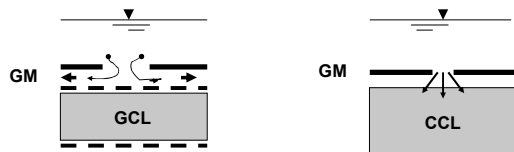
GCL : CARPETA GEOSINTETICA DE BENTONITA

CCL : CAPA DE ARCILLA COMPACTADA

GM : GEOMEMBRANA



## GCL v/s ARCILLA COMPACTADA (CCL) GM/GCL vs GM/CCL ( J.P. GIROUD )



**GCL : CARPETA GEOSINTETICA DE BENTONITA**  
**CCL : CAPA DE ARCILLA COMPACTADA**  
**GM : GEOMEMBRANA**

## Comparación Comportamiento Depósitos Filtración en 3 Sistemas de Revestimiento

Table 5 – Leakage Rates from Leak Detection Systems of Double-Lined Landfills  
from EPA Study CR-821448, by Bonaparte, et al., 1999

[All Flow Rates are in Gal/Acre-day (gpad)]

Liner/LDS Type	Type I (GM-Sand)			Type II (GM-GN)			Type III (GM/CCL-Sand)		
Life of Cycle Stage	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Average Flow	41	18	6.8	10	11	ND	12	15	6.8
Minimum Flow	0.81	0.0	0.02	0.51	0.15	ND	0.13	2.4	0.0
Maximum Flow	229	158	26	40	38	ND	126	71	29
No. of "points"	30	32	8	7	11	ND	31	41	15
No. of landfills	11	11	4	4	6	ND	11	11	4

Liner/LDS Type	Type IV (GM/CCL-GN)			Type V (GM/GCL-Sand)			Type VI (GM/GCL-GN)		
Life of Cycle Stage	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Average Flow	18	8.9	7.0	14	2.38	0.03	0.70	0.28	ND
Minimum Flow	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	ND
Maximum Flow	74	54	14	104	30	0.10	3.6	1.0	ND
No. of "points"	21	27	12	19	19	4	6	4	ND
No. of landfills	6	9	3	3	3	1	2	2	ND

"points" = Number of measuring points (i.e., outlets of single or multiple cells)  
 Life Cycle Stage:  
 Stage 1 – Initial Life  
 Stage 2 – Active Life  
 Stage 3 – Post Closure  
 ND = No Detection (of leakage)

## ECUACIÓN DE J.P. GIROUD ( Tasa de Filtración en Revestimientos Pasivos )

$$Q = C_{q0} [1 + 0.1 (h/t_s)^{0.95}] a^{0.1} h^{0.9} K_s^{0.74}, \text{ donde:}$$

Q = flujo por la geomembrana

$C_{q0}$  = factor de contacto entre la geomembrana y el suelo.

h = altura de líquido

$t_s$  = espesor del suelo bajo la geomembrana

a = área de perforación en la geomembrana (circular)

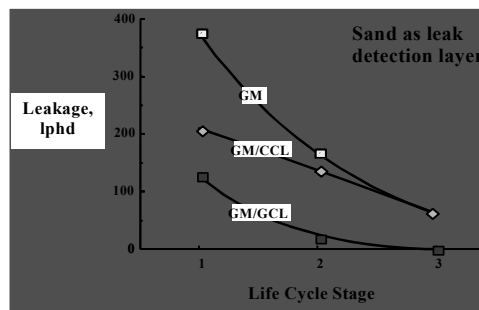
$K_s$  = permeabilidad del suelo bajo la geomembrana

Referencia: Giroud, J.P., (1997) "Equations for Calculating the Rate of Liquid Migration Through Composite Liners Due to Geomembrane Defects," Geosynthetics International, Volume 4, Nos. 3-4, pp. 335-348.

## Comparación Comportamiento Depósitos

### Filtración en 3 Sistemas de Revestimiento

(Bonaparte, et al. 1999)



## Tendencias

- Emplear cuidadosamente geomembranas y capas o materiales complementarios: sentido común ingenieril no es válido, sino ingeniería especializada
- Utilizar materiales con respaldo de ensayos válidos para cada caso estudiado
- Emplear detección electrónica de filtraciones
- Nunca utilizar materiales de calidad no homologada ni certificada por organismos independientes;
- Nunca emplear contratistas de baja calificación o precios muy bajos;
- Contratar Inspección Técnica Externa independiente.

## Diseño con procedimientos avanzados

