



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

## **DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS**

**Esli Saúl Pu Herrera**

Asesorado por el Ing. Freddy Enrique Sierra Och

Guatemala, octubre de 2010

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS  
POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

**ESLI SAÚL PU HERRERA**

ASESORADO POR EL ING. FREDDY ENRIQUE SIERRA OCH

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herínecx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADORA	Ing. Dilma Yanet Mejjicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS  
POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
el 5 de agosto de 2009.



---

Esli Saúl Pu Herrera.

Guatemala, 16 de septiembre de 2009

Ingeniero Civil  
José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles  
Escuela de Ingeniería Civil

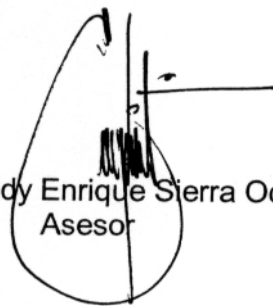
Ingeniero Ordóñez:

Tengo el gusto de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado "DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS", desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Esli Saúl Pu Herrera, para el que fui nombrado asesor.

Considero que su contenido llena los requisitos correspondientes al tema asignado, razón por la cual lo apruebo.

Sin otro particular me despido de usted, atentamente,

Ing. Freddy Enrique Sierra Och  
Asesor

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized loop on the left and a vertical line on the right with a horizontal stroke extending to the right. The signature is positioned above the typed name and title.



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,  
25 de febrero de 2010

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala


Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Esli Saúl Pu Herrera, quien contó con la asesoría del Ing. Freddy Enrique Sierra Och.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Pu Herrera, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
José Gabriel Ochoa Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Freddy Enrique Sierra Och y del Jefe del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Esli Saúl Pu Herrera, titulado DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, octubre de 2010

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

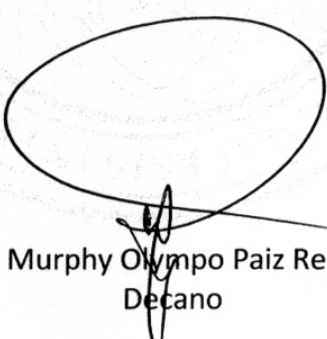


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 332.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS**, presentado por el estudiante universitario **Esli Saúl Pu Herrera**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 26 de octubre de 2010

/gdech





## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Por estar conmigo en cada momento y proveerme de lo necesario para culminar una meta más en mi vida.
- Mis padres** Por haber creído en mí, por sus consejos y apoyo incondicional.
- Mis hermanos** Por su apoyo y por ser una motivación en mí caminar.
- Mis amigos** Por todos los momentos compartidos que son y serán bonitos recuerdos.
- Mi Facultad** Por haberme brindado un espacio para mi formación como profesional.
- Mis maestros** Por sus conocimientos compartidos, conocimientos que ahora son parte de mi vida profesional y por sus frases celebres, que siempre los distinguían.
- Mi asesor** Por haberme brindado su mano amiga, por su apoyo incondicional y sabios consejos.

## **DEDICATORIA A:**

<b>Dios</b>	Padre amoroso y amigo incondicional
<b>Facultad</b>	Ingeniería Civil
<b>Mis padres</b>	Marco Tulio Pu Múz Enma Luciana Herrera Gonzáles
<b>Mis hermanos</b>	Mildred, Tulio, Jonatan, Elvis, Waleska
<b>Ella</b>	Que aunque hoy ausente, me inspira y motiva
<b>A mi asesor</b>	Ing. Freddy Enrique Sierra Och
	Universidad San Carlos de Guatemala

## ÍNDICE GENERAL:

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>III</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XV</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XVII</b>
<b>1. GEOSINTÉTICOS</b>	<b>1</b>
1.1 Definiciones	2
1.2 Tipos	3
1.3 Geocompuestos	4
<b>2. AGUA EN EL SUELO</b>	<b>7</b>
2.1 Agua freática	8
2.2 Permeabilidad de los estratos de suelos	11
2.3 Agua gravitacional	15
2.4 Agua retenida	15
<b>3. APLICACIONES DE GEOCOMPUESTOS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON ESTRUCTURAS ENTERRADAS</b>	<b>19</b>
3.1 Aplicaciones en edificaciones	19
3.1.1 Drenaje vertical de estructuras enterradas	20
3.1.2 Drenaje horizontal	31
3.1.3 Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y espesor	47
3.1.3.1 Introducción	48

3.1.3.2	Capacidad de flujo a largo plazo	50
3.1.3.3	Capacidad de flujo en función de la tensión	53
3.1.3.4	El espesor: flujo a corto y largo plazo	56
3.1.3.5	Relación capacidad de flujo/espesor	57
3.1.3.6	Capacidad de flujo a largo plazo	58
3.1.3.7	Factores de seguridad considerar	63
3.1.4	Protección	65
3.1.5	Alternativa a la capa de hormigón de limpieza	67
3.1.6	Rehabilitación interior de muros afectados por humedad	71
3.2	Aplicaciones en ingeniería civil	74
3.2.1	Plano de drenaje en excavaciones profundas con pantalla	74
3.2.2	Túneles	77
3.2.3	Falsos túneles	80
3.2.4	Rehabilitación de túneles	83
3.2.5	Drenaje de terrenos, balsas, vertederos	85
3.2.6	Drenajes longitudinales	87
3.2.7	Proyecto en Guatemala utilizando geocompuestos: Estructura de Protección Hidráulica y Muro de Contención TerrameshGrid®, Geogrilla MacGrid®, GUATEMALA, RIO LAS ROSAS, QUETZALTENANGO	89
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>105</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>109</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Función de los Geosintéticos	6
2.	Agua en el suelo	7
3.	Geocompuestos en edificaciones	20
4.	Función del Sistema drenante	23
5.	Sistema DELTA-TERRAXX colocado	24
6.	Compofol Roadrain	25
7.	Aplicación de Compofol Roadrain, al borde de carretera	27
8.	Funcionamiento del sistema de drenaje en una calzada	27
9.	Forma de colocación del geocompuesto Compofol Roadrain	30
10.	Aspectos a considerar en drenaje horizontal	32
11.	Drenaje horizontal con grava + geotextil	34
12.	Drenaje horizontal con MacDrain® 2L	34
13.	Componentes del sistema de drenaje horizontal	38
14.	Forma de colocación del sistema para drenaje horizontal	39
15.	Drenaje horizontal bajo adoquinado, capa de gravas, asfaltos permeables	40
16.	Centro de seis torres de edificios, Panamá	42
17.	Colocación de la geomembrana, sobre la losa de concreto, para impermeabilizarla	43
18.	Colocación del material orgánico sobre el MacDrain 2L	44
19.	Siembra de grama, palmeras y flores	45
20.	Jardín terminado	45
21.	Presentación de DELTA® TERRAXX	46

22.	Colocación del sistema de drenaje horizontal bajo adoquinado	46
23.	Evolución del espesor según el tiempo Para C1	51
24.	Evolución del espesor según el tiempo para C2	52
25.	Evolución del espesor según el tiempo para NC1	52
26.	Producto C1: relación capacidad de flujo/tensión	53
27.	Producto C2: relación capacidad de flujo/tensión	54
28.	Producto NC1: relación capacidad de flujo/tensión	54
29.	Producto NC2: relación capacidad de flujo/tensión	55
30.	Espesores después de 2 minutos de fluencia	59
31.	Producto C1: Evolución de la relación Q sobre Tg	59
32.	Producto C2: Evolución de la relación Q/Tg	60
33.	Producto NC1: Evolución de la relación Q/Tg	60
34.	Producto NC2: Evolución de la relación Q/Tg	60
35.	Presentación de DELTA® MS	66
36.	Nódulos al tresbolillo	66
37.	Alta adaptabilidad	67
38.	Colocación de la capa de hormigón	68
39.	Comparación solución clásica y solución delta® ms	70
40.	Muros afectados por humedad	71
41.	Funcionamiento del sistema DELTA® PT	72
42.	Evacuación del agua por el perfil superior	73
43.	Colocación del sistema DELTA® PT	73
44.	Uso de pantallas	75
45.	Forma de colocar la lámina para impermeabilizar	76
46.	Colocación del sistema	77
47.	Presión hidrostática en un túnel	78
48.	Colocación del sistema de drenaje	80

49.	Falso túnel	81
50.	Colocación del sistema drenante	82
51.	Funcionamiento del sistema drenante	84
52.	Colocación del sistema drenante en túnel	84
53.	Geocompuesto MASTERDRAIN®	85
54.	Colocación del sistema drenante	86
55.	Drenaje longitudinal con drenaje francés	87
56.	Drenaje longitudinal con Geocompuesto MASTERDRAIN®	88
57.	Socavación en la base de los taludes provocado por el cauce del río	89
58.	Socavación en la base de los taludes provocado por el cauce del río	90
59.	Detalle del sistema de drenaje por medio de <i>MacDrain® 2L</i>	93
60.	Detalle de la Sección Típica (Estación 0+140)	93
61.	Armado de gaviones	94
62.	Adaptación del drenaje principal	94
63.	Colocación del sistema interno drenante, por medio de Geocompuestos	95
64.	Vista de la plataforma finalizada	94
65.	Vista de plataforma funcionando, noviembre 2009	98
66.	Vista de gaviones y Geotextil	99
67.	Vista del muro opuesto al evaluado	99

## TABLAS

I.	Valores promedio del coeficiente K	14
II.	Capacidad de flujo del MacDrain 2L para $i = 0,01$	36
III.	Capacidades de flujo ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) después de 1 h bajo 50 kPa	56
IV.	Capacidad de flujo de C1 después de 10 años	61
V.	Capacidad de flujo de C2 después de 10 años	61
VI.	Capacidad de flujo de NC1 después de 10 años	62
VII.	Capacidad de flujo de NC2 después de 10 años	62
VIII.	Comparativo económico entre $\Delta ms / \Delta ms$ 20 y una capa de hormigón de limpieza	70



## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Retención de un gas o vapor por un líquido o de un líquido por un sólido.
<b>Aislante no hidrófilo</b>	Aislante que tiene una succión o absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial menor que 1 kg/m <sup>2</sup> según ensayo UNE-EN 1609:1997 o una absorción de agua a largo plazo por inmersión total menor que el 5%, según ensayo UNE-EN 12087:1997.
<b>Área efectiva (de una abertura)</b>	Área de la sección perpendicular a la dirección del movimiento del aire que está libre de obstáculos.
<b>Capa antipunzonamiento</b>	Capa separadora que se interpone entre dos capas sometidas a presión y que sirve para proteger a la menos resistente y evitar con ello su rotura.

<b>Capilaridad</b>	Fenómeno según el cual la superficie de un líquido en contacto con un sólido se eleva o se deprime debido a la fuerza resultante de atracciones entre las moléculas del líquido (cohesión) y las de éste con las del sólido (adhesión).
<b>Coefficiente de permeabilidad</b>	Parámetro indicador del grado de permeabilidad de un suelo medido por la velocidad de paso del agua a través de él. Se expresa en m/s o cm/s. Puede determinarse directamente mediante ensayo en permeámetro o mediante ensayo in situ, o indirectamente, a partir de la granulometría y la porosidad del terreno.
<b>Drenaje</b>	Operación de dar salida a las aguas muertas o a la excesiva humedad de los terrenos por medio de zanjas o cañerías.
<b>Encachado</b>	Capa de grava de diámetro grande que sirve de base a una solera apoyada en el terreno con el fin de dificultar la ascensión del agua del terreno por capilaridad a ésta.

<b>Geotextil</b>	Tipo de lámina plástica que contiene un tejido de refuerzo y cuyas principales funciones son filtrar, proteger químicamente y desolidarizar capas en contacto.
<b>Grado de impermeabilidad</b>	Número indicador de la resistencia al paso del agua característica de una solución constructiva definido de tal manera que crece al crecer dicha resistencia y, en consecuencia, cuanto mayor sea la sollicitación de humedad mayor debe ser el grado de impermeabilidad de dicha solución para alcanzar el mismo resultado.
<b>Higroscopicidad</b>	Propiedad de un material de absorber o ceder agua en función de la humedad relativa del ambiente en que se encuentra.
<b>Impermeabilización</b>	Procedimiento destinado a evitar el mojado o la absorción de agua por un material o elemento constructivo. Puede hacerse durante su fabricación o mediante la posterior aplicación de un tratamiento.
<b>Impermeabilizante</b>	Producto que evita el paso de agua a través de los materiales tratados con él.

<b>Lámina drenante</b>	Lámina que contiene nodos o algún tipo de pliegue superficial para formar canales por donde pueda discurrir el agua.
<b>Lámina filtrante</b>	Lámina que se interpone entre el terreno y un elemento constructivo y cuya característica principal es permitir el paso del agua a través de ella e impedir el paso de las partículas del terreno.
<b>Muro de gravedad</b>	Muro no armado que resiste esfuerzos principalmente de compresión. Este tipo de muro se construye después de realizado el vaciado del terreno del sótano.
<b>Muro pantalla</b>	Muro armado que resiste esfuerzos de compresión y de flexión. Este tipo de muro se construye en el terreno mediante el vaciado del terreno exclusivo del muro y el consiguiente hormigonado in situ o mediante el hincado en el terreno de piezas prefabricadas. El vaciado del terreno del sótano se realiza una vez construido el muro.
<b>Nivel freático</b>	Valor medio anual de la profundidad con respecto a la superficie del terreno de la cara superior de la capa freática.

<b>Pozo drenante</b>	Pozo efectuado en el terreno con entibación perforada para permitir la llegada del agua del terreno circundante a su interior. El agua se extrae por bombeo.
<b>Tubo drenante</b>	Tubo enterrado cuyas paredes están perforadas para permitir la llegada del agua del terreno circundante a su interior.
<b>Zanja drenante</b>	Zanja que recoge el agua del terreno circundante y la conduce a la red de alcantarillado o de saneamiento.



## RESUMEN

El presente trabajo inicia describiendo los Geosintéticos y sus derivados, definiendo cada uno de ellos y de forma breve algunas aplicaciones, enfocándose en los geocompuestos, debido a que los sistemas propuestos en el presente trabajo son a base de Geocompuestos y su propiedad drenante.

En el capítulo dos se hace descripción de un factor sumamente importante en este trabajo, el “agua en el suelo”, debido a que luego de la precipitación el agua puede tomar uno de varios caminos, en este capítulo describimos cada uno de ellos y algunas características de la relación de esta con el suelo.

En el capítulo tres se hace descripción de los diversos problemas que se presentan en una estructura en contacto con el suelo y se proponen métodos para la solución y prevención de estos, se analiza la relación a largo plazo entre la capacidad de flujo en un geocompuesto y la relación de este con su espesor, también se consideran algunos materiales para la protección de los sistemas de drenado a base de Geocompuestos, por último se cita y evalúa un proyecto en el cual se utilizó un sistema de geocompuestos.





## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- ◆ Proponer la implementación de un sistema drenante a base de geocompuestos, para protección de estructuras.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Diseño para el drenado vertical de estructuras enterradas.
2. Diseño para el drenado horizontal en estructuras.
3. Aplicaciones de sistemas drenantes por medio de geocompuestos.
4. Plantear métodos de drenaje por medio de geocompuestos.
5. Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo en un geocompuesto y su espesor.
6. Protección de sistemas a base de geocompuestos.



## INTRODUCCIÓN

Este trabajo esta enfocado a proveer de una solución en el drenado de estructuras enterradas y de esta evitar daños a la misma por el denominado “efecto presa”, en el cual se bloquea el flujo subterráneo, provocando presión hidrostática, la cual se puede evitar gracias a la utilización de Geocompuestos drenantes. Debido a que según estadísticas, los daños a estructuras enterradas o en contacto con el suelo, representan la tercera causa de daños en la construcción. Un buen número de estos daños están relacionados con la penetración de humedad dentro de los sótanos debido a una mala estimación de la presión de agua sobre los paramentos y en definitiva, en una selección errónea de la protección y del drenaje.

El agua presente en los poros del terreno fluye hasta encontrarse con los elementos de contención de tierras de estructuras enterradas, quedando bloqueado el flujo subterráneo. Este denominado “efecto presa” puede suponer un riesgo para la estabilidad estructural de la edificación puesto que asciende el nivel freático en el entorno de la estructura en contacto con el suelo y en consecuencia aumenta el empuje sobre el paramento vertical debido a presiones hidrostáticas.

Por ello, para una correcta conservación de la estructura enterrada, es importante introducir un sistema de drenaje eficiente para conducir el agua a un sistema de evacuación. El control de las humedades puede ser un problema complejo de solucionar a posteriori. Sin embargo, un correcto planteamiento en su momento, con los geocompuestos drenantes adecuados permite evitar problemas de humedades.



# 1. GEOSINTÉTICOS

La idea de agregar a los suelos materiales obtenidos de la naturaleza como bambú, raíces, maderas, ramas, pieles, etc., para mejorar las propiedades de estos, siempre ha acompañado la historia de la humanidad.

Entre los ejemplos existentes podemos citar las murallas de Ziggurat de Agar Quf (Mesopotamia, 1400 A.C.) y las de China (200 A.C.), donde fueron empleadas mezclas de suelos reforzados con raíces. Otro ejemplo interesante fue una ampliación de la lana de llama mezclada con el suelo en las construcciones de calles por los Incas en el Templo de La Luna, en Perú. En el interior de Brasil, así como en otros países, podemos encontrar aplicaciones de hojas y ramos sobre suelos blandos para reforzar un terraplén.

Un marco inicial para el uso de los Geosintéticos ha sido el uso de mantas de algodón como refuerzo de pavimentos asfálticos en el Departamento de carreteras de Carolina del Sur (U.S.A.) en 1926. El uso de los Geosintéticos se hizo más frecuente en la década de los años 40 con la fabricación de los polímeros sintético, asociada al desarrollo de las técnicas de producción de los geotextiles tejidos (década de los años 50) y no tejidos (década de los años 60).

A partir de ahí, las tecnologías y aplicaciones de los Geosintéticos fueron creciendo día a día, y se intensificó cada vez más su práctica en los mercados mundiales.

El término GEOSINTETICO se compone de dos palabras:

Geo: Prefijo griego que significa tierra/suelo, palabra ampliamente relacionada con la ingeniería y la geotécnica, que se refiere a los estudios sobre el comportamiento de los suelos.

Sintético: Son los productos fabricados por procedimientos industriales o por síntesis química.

## **1.1 Definiciones**

Geosintético: La unión de las dos palabras define el significado de los Geosintéticos, es decir productos desarrollados a partir de segmentos industriales (textiles, caucho, materiales plásticos, membranas bituminosas/polímeros y bentonita), para la transformación de polímeros básicos (polietileno, polipropileno, nylon, poliamidas, fibra de vidrio, polímeros altamente inertes a la degradación biológica y química) a su vez transformados para poder ser utilizados en el mejoramiento del comportamiento de los suelos.

IGS Sociedad Internacional de Geosintéticos: Entidad que esta impulsando el desarrollo científico y técnico de ISO Geosintéticos en el mundo para aplicaciones en el campo de la ingeniería y la geotecnia. Esta sociedad también se encarga de promover encuentros entre los fabricantes, consultores y usuarios para el intercambio de nuevas ideas y avances técnicos en el campo de los Geosintéticos y afines.

Su correcto uso reduce los requerimientos de materiales de construcción a una fracción de los que antes se necesitaban, disminuyendo también los desperdicios al finalizar el proyecto. Por esta razón, además de versátiles y económicos, son amigables con el ambiente.

## **1.2 Tipos**

Los Geosintéticos se dividen:

1. Geotextiles
2. Geomembranas
3. Geomallas o Geogrillas
4. Georedes
5. Geocompuestos
6. U otros Geo-productos.

Los Geotextiles: Se definen como tejidos permeables usados en conjunto con suelos o rocas como parte integral de un proyecto realizado por el hombre.

Las Geomembranas: Se definen como membranas impermeables usadas conjuntamente con suelos o rocas. En resumen, la diferencia estriba en la permeabilidad o la falta de la misma, lo cual es una característica de los Geosintéticos o productos.

Geoceldas: Nombre utilizado en América para los geotextiles celulares.

Geomallas: Productos relacionados a los geotextiles, poseen grandes aperturas rectangulares (llamadas en inglés “Geotextile grids”), o aperturas no-rectangulares (conocidas más frecuentemente en inglés “geotextiles nets”).

Geoproductos: Este término incluye a los geosintéticos, a productos relacionados a los geotextiles hechos de fibras naturales, y a refuerzos de tierra metálicos.

### **1.3 Geocompuestos**

Geocompuestos (GC): Nombre genérico para definir una estructura formada de productos Geosintéticos distintos, utilizada en aplicaciones de ingeniería, geotécnica e hidráulica.

Los geocompuestos a su vez se subdividen en:

#### *Geocompuestos para drenaje (GCD)*

Son constituidos por la asociación en fase de producción de una geored (o geomanta) contenido entre dos capas de geotextil en forma de lamina o de tiras. La geored (o geomanta) tiene la función drenante y de separación y los geotextiles tienen una función filtrante. Algunas veces los geocompuestos para drenaje pueden ser fabricados con apenas un geotextil, asociado a una geored o geomanta, o también, para algunas exigencias puede ser constituido por un geotextil con función filtrante, por una geored o geomanta.



Esta posee función drenante y por una geomembrana con función de barrera. El espesor de los geocompuestos para drenaje es variable entre los 5 y los 30 mm. Cuando los geocompuestos para drenaje fueran sometidos a la acción de cargas en el tiempo, es fundamental el estudio de su comportamiento.

#### *Geocompuestos para refuerzo (GCR)*

Son estructuras producidas industrialmente, constituidas por un geotextil, que tiene la función de separación y una geogrilla extrudida con función de refuerzo.

#### *Geocompuestos Bentoníticos (GCL)*

Son estructuras constituidas por productos Geosintéticos y productos minerales (arcilla bentonítica), o sea, consisten en una camada fina de arcilla contenida entre dos capas de geotextil o pegada a una geomembrana sintética.

En el mercado se encuentran tres tipos de geocompuestos bentoníticos:

- El primer tipo es fabricado interponiendo una camada de bentonita entre dos geotextiles cosidos entre si. La unión en la obra de los materiales se hace por una simple sobreposición, sin necesidad de cualquier tipo de costura.
- El segundo tipo es fabricado con una mezcla de polvo de bentonita sódica con un pegante soluble en agua (con la función de mantener unido el material durante las operaciones de transporte y colocación), en seguida se coloca la mezcla entre dos geotextiles.

El geotextil inferior es muy fino y de textura grande, de modo que la bentonita pasa por las aberturas del mismo al hidratarse, realizando el sellado de la sobreposición.

- El tercer tipo es formado por una mezcla de bentonita con un pegante que la hace adherir a una geomembrana de alta densidad (PAD). Como en el caso anterior, el material se autosella en las superposiciones.

#### *Geocompuestos con Geomembranas (GCM)*

Son estructuras formadas por productos Geosintéticos de los cuales por lo menos uno de los componentes sea una geomembrana.

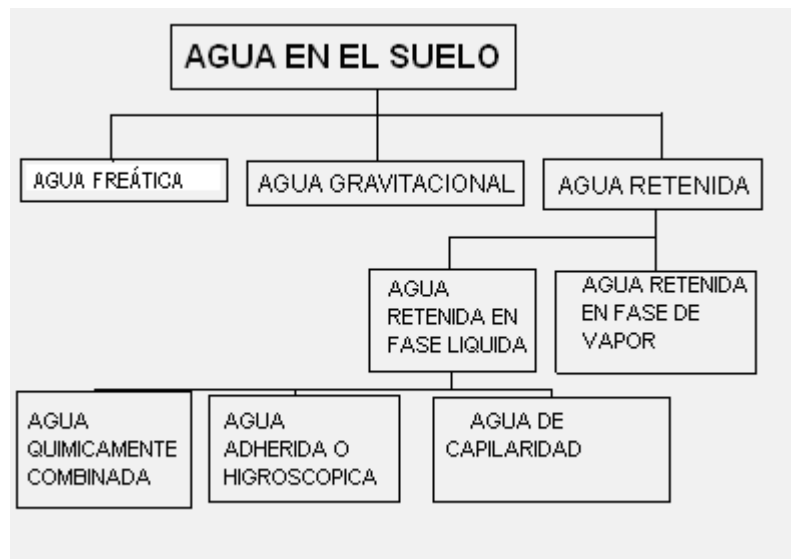
**Figura 1. Función de los Geosintéticos**

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN	PRODUCTOS
Filtración	Permitir el pasaje de los fluidos, reteniendo la migración de las partículas de suelo.	Geotextiles Geocompuestos
Drenaje	Facilitar el transporte de fluidos	Georedes Geocompuestos
Separación	Evitarla mezcla de dos tipos de suelos diferentes o materiales diferentes.	Geotextiles Geocompuestos
Protección	Evitar daños a una estructura, a un material, a otro geosintético.	Geotextiles Georedes Geocompuestos
Impermeabilización	Formar una barrera a los fluidos	Geomembranas Geocompuestos

## 2. AGUA EN EL SUELO

El suelo es un material con arreglo variable de sus partículas que dejan entre ellas una serie de poros conectados unos con otros para formar una compleja red de canales de diferentes magnitudes que se comunican tanto con la superficie del terreno como con las fisuras y grietas de la masa del mismo; de aquí que el agua que cae sobre el suelo parte escurre y parte se infiltra por acción de la gravedad hasta estratos impermeables mas profundos, formando la llamada capa freática.

**Figura 2. Agua en el suelo**



Fuente: Crespo Carlos, **Mecánica de suelos y cimentaciones**, pág. 143

El límite superior del manto acuoso se llama nivel freático. Según el estado en que se encuentre el agua en el suelo reciben distintos nombres.

El agua que pasa por los poros a través del suelo se le conoce con el nombre de agua gravitacional, y aquella que se encuentra por debajo del nivel freático se llama agua freática.

Cuando se suspende el movimiento del agua gravitacional a través del suelo, parte del agua se queda retenida en los poros y sobre la superficie de las partículas debido a las fuerzas de tensión superficial y de absorción. Esta agua, que no puede ser drenada directamente, recibe el nombre de agua retenida.

## 2.1 Agua freática

Los poros del suelo que se encuentran por debajo del nivel freático se encuentran completamente llenos de agua, y se considera que cualquier movimiento de esta agua a través del suelo sigue la ley de Darcy, que indica que la intensidad de filtración por unidad de área es directamente proporcional al gradiente hidráulico, o sea:

$$V = k \cdot i \cdot A \cdot t$$

Donde:

$V$  = Cantidad de agua, en  $cm^3$  generalmente, que escurre a través del área  $A$ .

$k$  = Constante de permeabilidad o conductividad hidráulica, en  $cm/seg$ , normalmente.

$A$  = Área transversal, en  $cm^2$ , a través de la cual fluye el agua.

t = Tiempo, normalmente en segundos, durante el cual fluye la cantidad V de agua.

De la expresión anterior se puede despejar la constante de permeabilidad o de conductividad hidráulica, obteniéndose:

$$k = \frac{V}{A \Delta t i} ; \text{ y como } v = \text{velocidad} = k = \frac{V}{A \Delta t}, k = \frac{v}{i}, v = ki$$

La conductividad hidráulica  $k$  es una propiedad importante de los suelos y su valor depende del tamaño de los poros, los cuales a su vez están en función de la forma, tamaño y acomodo de las partículas del suelo. Un suelo fino, como la arcilla, tendrá una constante de permeabilidad mucho menor que una arena de granos gruesos, debido a que aquella opondrá mayor resistencia al movimiento del agua, debido al menor tamaño de los poros y de los canales de flujo. Es necesario observar que en la fórmula anterior de Darcy el área transversal A corresponde al área total, incluyendo las partículas sólidas y los vacíos entre ellas; por lo tanto, la velocidad  $v = ki$  es una velocidad ficticia a la que tendría el agua que fluir a través de toda el área entera A para producir la cantidad de agua V que pasa a través del suelo. Esta velocidad ficticia se refiere, por consiguiente, a una velocidad de aproximación del agua precisamente antes de entrar en el suelo, o inmediatamente después de su salida del mismo.

Si se quiere hacer uso de la verdadera velocidad del agua a través de los poros del suelo es necesario entonces medir el área de los poros del suelo mediante una sección transversal al mismo.

La ecuación de Darcy se escribiría entonces así:

$$\therefore k_p = \frac{V}{A_p \cdot i \cdot t}; \text{ como } v_p = \frac{V}{A_p \cdot t}, \text{ se tiene: } v_p = k_p \cdot i$$

Que es la velocidad promedio del agua a través de los poros del suelo y que indudablemente será mayor que la velocidad de aproximación, pues el área de poros es menor que el área total del suelo. En este caso la constante  $k_p$  se conoce como la constante de precolación y es siempre mayor que la constante de conductividad hidráulica del suelo. El hecho de que esta última sea más empleada en Mecánica de Suelos se debe a que es más fácil medir el área total de la muestra que el área de los poros de la misma.

Como el área de los poros en una sección transversal es igual a la porosidad  $n$  por el área de la muestra, se tiene:

$$A_p = nA$$

De donde:

$$K = nk_p$$

En la práctica, la medida de la constante de permeabilidad o constante de conductividad hidráulica se hace por medio de parámetros, los cuales pueden ser de nivel constante o de nivel variable. Los de nivel constante se usan generalmente para medir la permeabilidad de los materiales granulares, y los de nivel variable preferentemente para materiales finos arcillosos o limo-arcillosos.

Para calcular la constante  $k$  en un parámetro de nivel constante, la muestra se somete a una carga de agua de altura constante por medio de un recipiente provisto de un derramadero. La muestra se coloca en un cilindro metálico, llenado con parafina el espacio entre la muestra y el cilindro para evitar las fugas de agua.

## **2.2 Permeabilidad de los estratos de suelos**

El suelo es un medio constituido por partículas, tanto minerales como orgánicas, de muy diversos tamaños, desde las piedras fácilmente apreciables a simple vista hasta las partículas de arcilla menores de 0,002 mm. Algunas de estas partículas pueden encontrarse separadas, mientras que otras están unidas entre sí formando agrupaciones mayores, más o menos duraderas, denominadas agregados. Estos pueden tener distintas formas y tamaños (microagregados, grumos, terrones) y están formados por la agregación de partículas relativamente gruesas (arenas y limos) unidas por materiales cementantes más finos (arcillas, carbonatos, humus). Entre estas partículas y agregados se encuentra un sistema de poros formado por huecos, también de muy diversas formas y tamaños, interconectados en todas las direcciones. Normalmente los poros más pequeños se encuentran ocupados por agua y los mayores por aire.

Esta distribución en el espacio de la materia sólida y de los espacios vacíos es lo que se conoce como estructura del suelo, y es la que permite que el suelo funcione como un soporte poroso que proporciona agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas.

Ya se ha visto que de acuerdo con la ley de Darcy la velocidad de aproximación es:

$$v_p = k_p \cdot i$$

Ahora bien, los depósitos de suelos transportados están formados generalmente por estratos con diferentes permeabilidades, por lo que para determinar la constante de permeabilidad media de tales depósitos es necesario extraer muestras inalteradas de cada estrato y ensayarlas de manera independiente.

Conocida la constante de conductividad hidráulica de cada estrato, el promedio para todo el depósito puede calcularse como sigue:

- Conductividad hidráulica para flujo paralelo a los estratos, se tiene:

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  = Constante de conductividad hidráulica de cada estrato,  
Medida en flujo horizontal.

$H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$  = Espesor de los estratos.

Considerando una área  $a$  en cada estrato y tomando una profundidad de 1 m, entonces  $a_1 = H_1 \times 1$  para el estrato número uno, de  $a_2 = H_2 \times 1$  para el estrato dos, y así sucesivamente.

Asimismo, se sabe que  $q = av$ , por lo que para el área  $a_1$  de estrato uno:

$$q_1 = a_1 \cdot v_1$$



Y como  $v_1 = k_1 i$ , entonces:

$$q_1 = a_1 v_1 = a_1 k_1 i = H_1 k_1 i$$

De la misma manera:

$$q_2 = a_2 v_2 = a_2 k_2 i = H_2 k_2 i$$

$$q_3 = a_3 v_3 = a_3 k_3 i = H_3 k_3 i$$

$$q_4 = a_4 v_4 = a_4 k_4 i = H_4 k_4 i$$

Así la velocidad media de descarga es:

$$v = k_h i = \frac{Q}{A} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n}{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n} = \frac{1}{H} (a_1 v_1 + a_2 v_2 + \dots + a_n v_n)$$

- Conductividad hidráulica para flujo perpendicular a los estratos, se tiene:

$$v = k i$$

Por lo que el valor medio de la constante de permeabilidad o conductividad hidráulica para flujo vertical es:

$$v = k_v i = k_v \frac{h}{L} = k_v \frac{h}{H}$$

De donde:

$$k_v = \frac{vH}{h}$$

Conocidos los valores de las constantes de conductividad hidráulica, para flujo horizontal ( $k_h$ ) y para flujo vertical ( $k_v$ ), el valor medio del sistema es calculado mediante el promedio geométrico de estos dos valores. Por lo tanto se considera que la constante de conductividad hidráulica del conjunto es:

$$k_m = \sqrt{k_h \cdot k_v}$$

**Tabla I. Valores promedio del coeficiente K**

VALORES PROMEDIO DEL COEFICIENTE $k$ EN CM/SEG	
Gravas limpias	De $10^{-2}$ a 1.0
Arenas limpias, mezcla de arena y gravas limpias	De 1.0 a $1 \times 10^{-3}$
Arenas muy finas, limos, mezcla de arena, limo y arcilla, depósitos de arcilla estratificada	De $1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-7}$
Suelos impermeables como arcillas homogéneas bajo la zona de meteorización	De $1 \times 10^{-7}$ a $1 \times 10^{-9}$
Vegetación y la meteorización	De $1 \times 10^{-9}$ a $1 \times 10^{-7}$

Fuente: Crespo Carlos, **Mecánica de suelos y cimentaciones**, pág. 150

### **2.3 Agua gravitacional**

En el movimiento del agua gravitacional influyen poderosamente tanto la porosidad del suelo como características estructurales; sin embargo, al movimiento de esta agua no se le puede aplicar la ley de Darcy debido a la presencia de aire en los poros. Cuando esta agua pueda llegar a afectar a las cimentaciones, se instalan drenes adecuados para captarla y alejarla.

Esta se infiltra por la fuerza de la gravedad y circula por los poros gruesos, superiores a 10 m, en general verticalmente, aunque a veces también lo hace de forma oblicua si existe una pendiente y cuando la permeabilidad del suelo disminuye en los horizontes profundos.

Este tipo de agua se subdivide en dos tipos:

- Agua gravitacional de flujo rápido: circula por los poros más gruesos, superiores a 50 m durante las primeras horas de lluvia.
- Agua gravitacional de flujo lento: desciende lentamente (con frecuencia durante varias semanas) por los poros de diámetro comprendido entre 50 y 10 m.

### **2.4 Agua retenida**

En el diagrama del agua en el suelo Fig. 2 se presentó el agua retenida compuesta por agua retenida en fase líquida y agua retenida en fase de vapor.

Se tratara aquí nada mas el agua retenida en fase liquida, que ya se sabe esta formada por agua combinada químicamente, por el agua adherida o higroscópica y por el agua de capilaridad.

El agua químicamente combinada, desde el punto de vista del ingeniero, se considera como parte integrante de los sólidos del suelo, ya que forma parte de la estructura cristalina de los minerales del mismo y es una cantidad muy pequeña. Esta agua no puede ser eliminada del suelo si este se seca hasta  $110^{\circ}C$  , de ahí la práctica de secar las muestras entre  $105^{\circ}C$  y  $110^{\circ}C$  .

El agua adherida o higroscopica es aquella que adquiere el suelo al aire que lo rodea. Así, si un suelo es secado en un horno a peso constante y se deja expuesto al aire mientras se enfría, dicho suelo absorberá agua de la humedad del aire que lo rodea. Esta agua higroscopica del suelo y la cantidad de ella que lo rodea. Esta agua higroscopica del suelo y la cantidad de ella que el suelo puede adquirir depende también el área superficial de las partículas.

El agua de capilaridad es aquella que se adhiere en los poros del suelo por el efecto de la tensión superficial.

Si se introduce un tubo capilar en el agua de tal modo que al principio el extremo superior del tubo coincida con la superficie del agua y se comienza a levantar el tubo, se podrá observar que el menisco se va haciendo mas curvo a medida que se vaya levantando el tubo, alcanzando su máxima curvatura cuando se tenga el valor máximo de la tensión superficial desarrollada.

El ascenso del agua dentro de lo tubos de pequeño diámetro sobre la superficie libre del liquido es un fenómeno que se conoce como capilaridad, y se debe a la existencia de fuerzas de tensión capilar  $T$  dentro del tubo.

El valor de la altura a que el agua asciende dentro del tubo viene dada por la fórmula de equilibrio entre la tensión capilar y el efecto de la gravedad así:

$$h_c \cdot \pi \cdot r^2 \cdot D_w = \frac{T}{g} \cdot \pi \cdot d \cdot \cos \alpha$$

De donde:

$$h_c = \frac{2 \cdot T_s}{D_w \cdot r} \cos \alpha$$

En la que:

$h_c$  = Altura de ascensión capilar en centímetros.

$T_s$  = Tensión superficial del líquido en gramos-fuerza (dinas) por centímetro, y que para el agua tiene un valor de 75 dinas (0.0764 g por centímetro).

$D_w$  = Densidad absoluta del agua, en  $g/cm^3$

$r$  = Radio del tubo capilar, en centímetros.

$\alpha$  = Ángulo de contacto entre el menisco y la superficie interior del tubo.

La expresión anterior alcanza su valor máximo cuando el ángulo de contacto  $\alpha$  sea igual a cero, ya que  $\cos \alpha = 1$ , y entonces:

$$h_c = \frac{0.15}{r} = \frac{0.30}{d}$$

Siendo el  $d$  el diámetro del tubo capilar y  $r$  su radio.

El ascenso del agua por capilaridad en un suelo no es estrictamente igual al caso visto en un tubo, pues los poros del suelo tienen tamaños y formas irregulares.

Sin embargo, la altura capilar en un suelo puede estimarse por la siguiente ecuación:

$$h_c = \frac{N}{e \cdot D_{10}}$$

Siendo:

N = constante empírica que depende de la forma de los granos y de las impurezas de sus superficies. El valor de N varía de 0.1 a 0.5  $cm^2$

$e$  = Relación de vacíos del suelo.

$D_{10}$  = Diámetro efectivo expresado en centímetros.

Como puede observarse en la formula anterior, la altura capilar es mayor a medida que los suelos son mas finos. De esto se desprende la importancia que tiene el drenaje cuando se trata de suelos finos, ya que en estos casos solo basta un pequeño tirante de agua en la base de un talud para humedecer, por la capilaridad, una parte considerable de los terraplenes, disminuyendo la estabilidad de los mismos y favoreciendo por tanto las fallas de los pavimentos.

La ascensión capilar en un suelo se mide por la altura existente desde la fuente de abastecimiento de agua hasta donde llega la humedad, y esa altura esta en razón inversa del diámetro de las partículas, y la velocidad de ascensión esta en razón directa del diámetro de las partículas.

### **3. APLICACIONES DE GEOCOMPUESTOS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON ESTRUCTURAS ENTERRADAS**

#### **3.1 Aplicaciones en edificaciones**

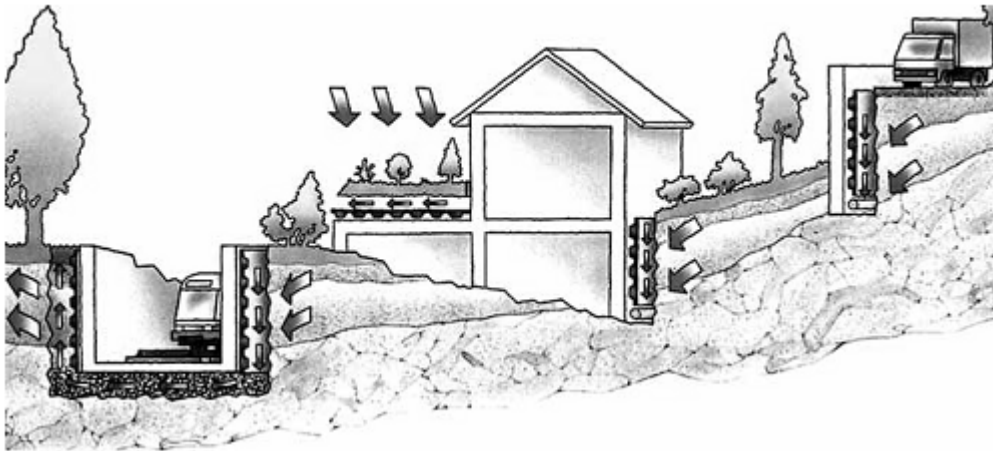
La prevención de la filtración de agua se tratará desde dos frentes distintos:

- Ejecución de un drenaje.
- Impermeabilización de la superficie en contacto con el agua.

Ahora bien este sistema puede ser de dos tipos:

- Drenaje vertical de estructuras enterradas.
- Drenaje horizontal

**Figura 3. Geocompuestos en edificaciones**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 3

### **3.1.1 Drenaje vertical de estructuras enterradas**

Como ya se menciona para la prevención de infiltración de agua en una edificación se requiere tanto la ejecución de un sistema compuesto por drenaje e Impermeabilización de la superficie en contacto con el agua, en este caso *drenaje vertical*, por lo que nos referimos a muros.

#### **Sistemas de impermeabilización**

Proteger los muros por su cara exterior (en contacto con el terreno), es la forma más eficaz, desde el punto de vista de la durabilidad de sus componentes, pero es condición indispensable que su cara exterior sea accesible durante la ejecución. La impermeabilización se consigue mediante la aplicación de membranas.



Dentro de estos sistemas debemos distinguir diferentes soluciones:

- Por su constitución:
  - Láminas, paneles o placas prefabricadas.
  - Membranas hechas in situ.
- Por su naturaleza química
  - Bituminosas (LO y LBM-SBS o APP).
  - De materiales plásticos (PVC, PEC, HDPE, etc.)
  - De cauchos sintéticos (Butilo, EPDM, etc.)
  - Minerales, inorgánicos (Bentonitas expansivas)

Todas ellas podrán ir bien adheridas al soporte, adheridas y fijadas mecánicamente o flotantes con fijaciones mecánicas.

### Sistemas de drenaje

Su funcionamiento consiste en la captación de agua contenida en el terreno, a través del material filtrante, para canalizarla y evacuarla antes de que llegue a estar en contacto directo con los muros.

El drenaje estará compuesto por un tubo perforado para la captación de agua que recogerá y canalizará la misma hasta la red de saneamiento. Este suele estar rodeado por un filtro geotextil para retener la entrada de finos, y sobre este, se rellena la zanja perimetral con material granular no seleccionado y permeable, sellando finalmente con una capa de arcillas que oscile entre 10-15 cms.

Con la disposición del geocompuesto drenante indicado, se disipan las presiones hidrostáticas que puedan representar un empuje sobre la estructura enterrada. Su exclusiva disposición de nódulos a tresbolillo da lugar a una elevada capacidad de drenaje.

Ahora bien para el drenaje vertical de estructuras enterradas, cualquiera que sea el sistema de impermeabilización de la estructura enterrada se debe colocar una protección ante punzonamientos ejercidos por los elementos de mayor granulometría del terreno en contacto con la estructura enterrada. Es por esto que en el mercado ya se encuentran geocompuestos drenantes que no sólo ofrecen protección del sistema de impermeabilización, sino que también configuran un drenaje eficaz a fin de derivar el agua hacia puntos de evacuación.

Entre ellos podemos mencionar:

- DELTA® NP DRAIN
- COMPOFOL ROADRAIN

### **DELTA® DRAIN**

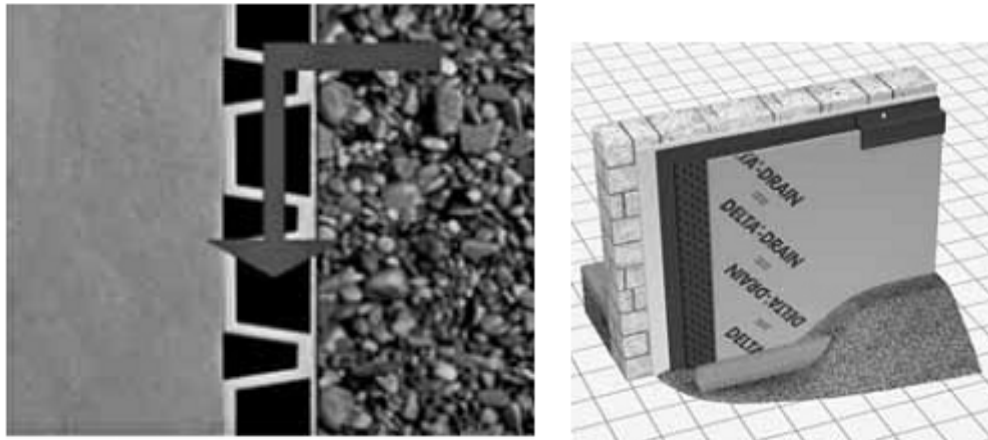
Se constituye de una lámina modular simétrica o doble nódulo, con lo que se dota al sistema de una cámara de aire entre el paramento vertical y la lámina, lo que permite el equilibrio de la presión de vapor en el entorno de la estructura enterrada.

Esto permite la transpiración del hormigón y aumenta el nivel de aislamiento térmico.

La lámina DELTA® DRAIN ofrece capacidades de drenaje superiores a 1 l/m·s por encima de los 10 m de soterramiento en drenajes verticales.

Consiste en una lámina nodular la cual incorpora un geotextil 100% polipropileno termosoldado. Su resistencia a compresión permite un drenaje hasta profundidades en torno a los 30 m en aplicaciones sobre paramentos verticales. En concreto, el geocompuesto DELTA® NP DRAIN, ofrece una capacidad de drenaje en el plano superior a 1 l/m·s hasta los 16 m de profundidad de soterramiento en aplicaciones en vertical. Fig. 4.

**Figura 4. Función del Sistema drenante.**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 5

La colocación de la lámina DELTA® NP DRAIN configura un sistema de drenaje confiable tanto en edificaciones como en obras de Ingeniería Civil, muros de contención, falsos túneles sótanos.

**Figura 5. Colocación de DELTA-TERRAXX, se coloca igual que el sistema DELTA® NP DRAIN**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 4

La calidad del geocompuesto garantiza un filtrado permanente del agua procedente del terreno, asegurando la funcionalidad del sistema de drenaje en su conjunto, evitando la pérdida de finos por medio del sistema de evacuación de agua. Por último, DELTA® NP DRAIN cuenta con una franja plana para hacer más fácil el solapado entre rollos durante el proceso de instalación.

## **COMPOFOL ROADRAIN**

Geocompuesto drenante, de 0.5 ó 1.0 m de profundidad, formado por:

- un núcleo semirrigido drenante, de estructura alveolar simétrica (bicúspide) a base de polietileno de alta densidad termo formado en una hoja extrudada, totalmente envuelto en geotextil filtrante de polipropileno no tejido.

Cuenta con una bolsa en la parte inferior, diseñada como dispositivo colector para contener la correspondiente tubería de drenaje, dimensionada en función del colector que se vaya a utilizar (de 110, 160 ó 200 mm de diámetro). .  
Fig. 6.

La recogida del agua drenada se lleva a cabo por un tubo ranurado ubicado en la bolsa de la base del producto: sirve para extraer el agua y canalizarla hacia un colector, zanja o sistema de evacuación fuera de la superficie de la carretera.

**Figura 6. COMPOFOL ROADRAIN**



Folleto: COMPOSAN, Ficha Técnica, **COMPOFOL ROADRAIN**, pág. 1

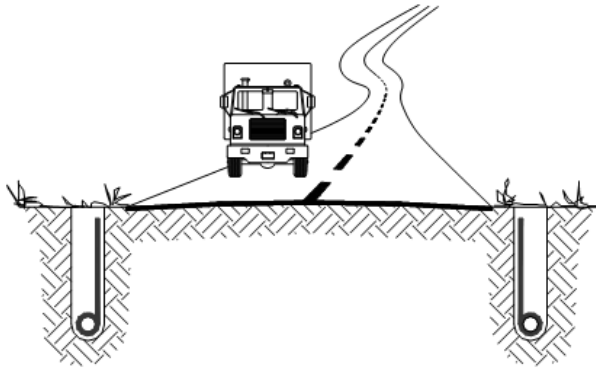
## **Campo de aplicación**

Compofol Roadrain se utiliza como pantalla drenante, en bordes de calzadas o en terraplén central (ver fig. 7), con el fin de:

- Recoger y canalizar el agua de infiltración y las resurgencias presentes en el cuerpo de la calzada y la parte superior del suelo de base, recopilando el agua que transita entre las interfases y permitiendo eliminar o atenuar los excesos de agua.
- Oponerse a las circulaciones de agua horizontales proveniente del arcén o de la calzada gracias al geoespaciador vertical estanco de estructura alveolar.
- En los suelos finos parcialmente saturados, impedir los movimientos de agua que se realizan en el sentido de las zonas de fuerte humedad (o de escasa succión) hacia las zonas menos húmedas (o de succión más elevada).
- Aportar un mejor funcionamiento mecánico de la estructura por mejora del estado hídrico mediante la disminución del contenido en agua.
- Ayudar a luchar contra la desecación de las calzadas y de sus soportes cuando son sensibles a la retracción en período de sequía.

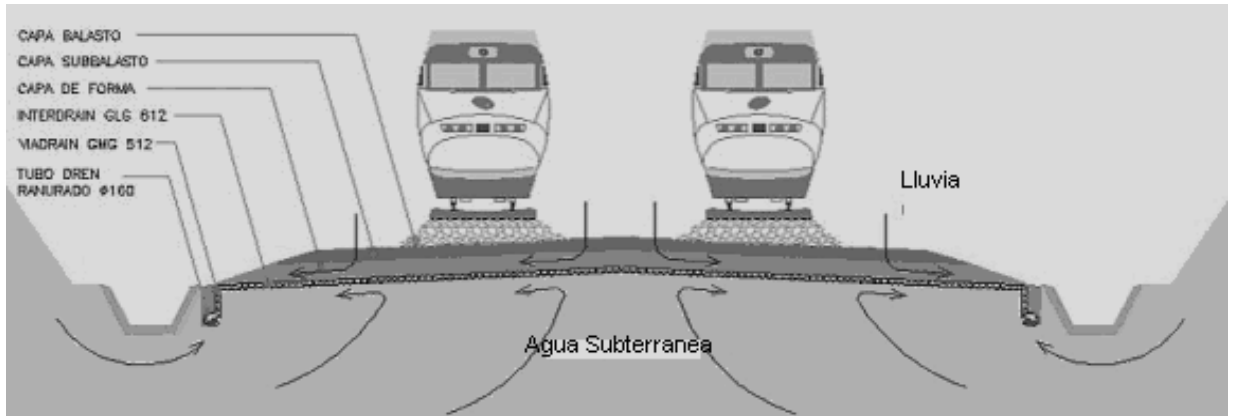
Según que se trate de una carretera nueva o de una carretera antigua, de una calzada flexible o de una calzada rígida, las funciones por aplicar pueden ser diferentes y el Compofol Roadrain se podrá utilizar (ver fig. 8).

**Figura 7. Aplicación de Compofol Roadrain, al borde de carretera**



Folleto: MACCAFERRI, Informe Técnico, **drenaje de alto desempeño**, pág. 19

**Figura 8. Funcionamiento del sistema de drenaje en una calzada**



Folleto: Subsuelo, obra urbana, **utilización de geocompuestos drenantes internos para la realización de un drenaje horizontal en un desmonte de la línea de Alta Velocidad (T.A.V.) Madrid – Valladolid**, pág. 50

## **Modo de empleo**

Compofol Roadrain se puede utilizar en la zanja ya sea mediante una colocación manual o mediante una colocación completamente mecanizada.

Independientemente del método de colocación, Compofol Roadrain se desenrolla paralelamente a la zanja sobre una superficie limpia y plana, con la bolsa del lado de la zanja. Los tubos están conectados entre sí en uno de los extremos del rollo de Compofol Roadrain.

Es preferible reforzar mecánicamente la resistencia a la tracción de las uniones de los tubos por medio de clavos, tornillos o simplemente remaches, aunque la utilización de tubos en coronas permite evitar esta operación. Una vez desenrollado Compofol Roadrain, y una longitud equivalente de tubos conectados entre sí, es conveniente unir sólidamente la base del primer tubo con el cordel tiratubos que se encuentra en el interior de la bolsa de Compofol Roadrain.

El ensamblaje se efectúa tirando en un extremo del rollo el cordel tira-tubos y empujando al mismo tiempo los tubos en el otro extremo. En el caso de un colector de tipo tubo de carretera, y durante la introducción en la bolsa, se debe controlar que la cuneta esté bien colocada en la bolsa desde el inicio.

Las conexiones entre rollos se deben realizar en plano, fuera de la zanja. Es preferible realizarlas antes de la implantación de los quince últimos metros del rollo en la zanja. El modo operatorio consiste en conectar los tubos, voltear los geotextiles anterior y posterior, garantizar un recubrimiento de las estructuras drenantes sobre 20 cm, volver a colocar in situ los geotextiles (geotextil anterior bajo el geotextil posterior) y fijar con la ayuda de remaches.

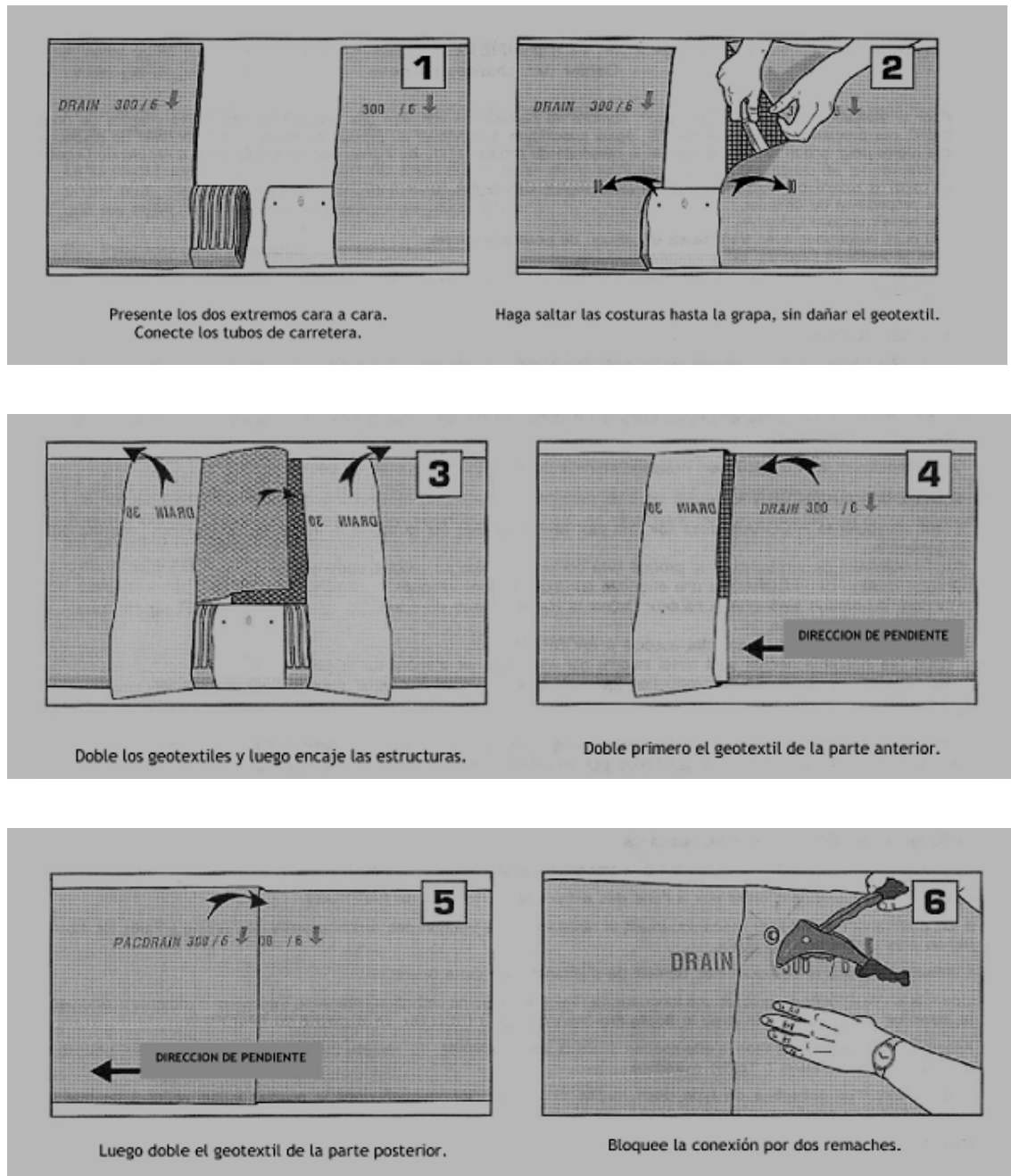


La apertura de la zanja puede realizarse ya sea mediante una zanjadora, o con una excavadora hidráulica, y en este caso, la implantación de Compofol Roadrain es manual. Es importante prever, en el caso de una apertura con excavadora o zanjadora, el almacenamiento de los escombros de la zanja en el costado exterior de la calzada en el lado opuesto de Compofol Roadrain. El ancho de la zanja estará directamente vinculado al diámetro del tubo utilizado.

Es recomendable que la pendiente longitudinal de la zanja sea por lo menos de 0'5 %. En caso de utilización de una zanjadora, se debe utilizar si fuere necesario un vehículo provisto de un corrector de inclinación para realizar la zanja lo más vertical posible. La superficie lateral de la zanja debe ser suficientemente lisa y plana para garantizar un buen contacto entre Compofol Roadrain y la pared.

Compofol Roadrain se debe colocar siempre en la zanja del lado de la calzada. Se coloca el tubo en la bolsa sobre el fondo de la zanja, con la cuneta bien plana en caso de un tubo de carretera. Ver fig. 9.

**Figura 9. Forma de colocación de geocompuesto (COMPOFOL ROADRAIN)**



Folleto: COMPOSAN, Ficha Técnica, **COMPOFOL ROADRAIN**, pág. 3

### **3.1.2 Drenaje horizontal**

Este inciso está enfocado en el drenaje horizontal que se requiere en edificaciones para ello, mencionaremos los siguientes aspectos:

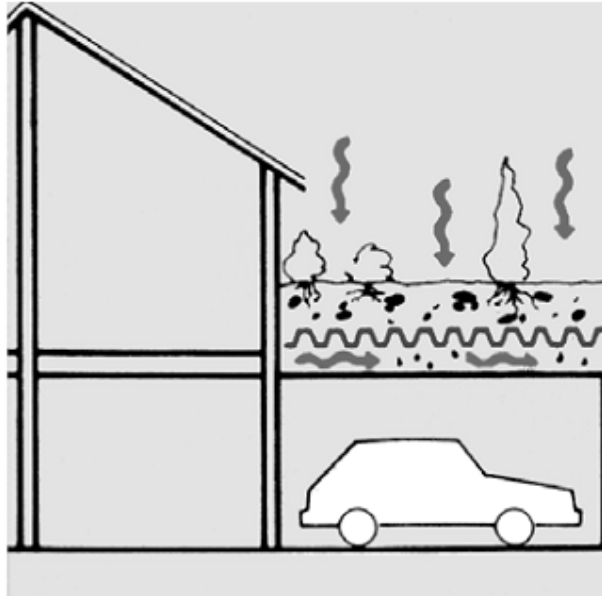
- Drenaje en superficies horizontales bajo cubiertas ajardinadas o parkings subterráneos.
- Drenaje horizontal bajo adoquinado, capa de gravas, asfaltos permeables.

#### **Superficies horizontales bajo cubiertas jardinizadas o parqueos subterráneos bajo zonas pavimentadas peatonales**

Estos son especialmente vulnerables frente a las humedades, por lo que es recomendable instalar un sistema de drenaje de gran rendimiento y de grandes prestaciones a nivel mecánico dado el sometimiento de cargas a la que se exponen. Por lo que se requiere cubrir ciertos requerimientos, adecuados para cubiertas ajardinadas, este sistema debe contar con tres componentes principales:

1. Capa de impermeabilización de la cubierta
2. Lámina drenante perforada
3. Geotextil de protección y filtro

**Figura 10. Aspectos a considerar en drenaje horizontal**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 7

Al considerar estos factores estamos asegurando la vida útil de este sistema, dado que tanto la lámina drenante perforada, como los otros dos componentes geosintéticos resisten los componentes químicos del abono y son imputrescibles. Ver. Fig. 10.

Al mismo tiempo permite un drenaje eficaz del agua de riego o de lluvia sobrante, la cual es evacuada por los orificios y conducida a través de la cámara de aire entre la lámina nodular y la cubierta. La altura de los nódulos es de aproximadamente 20 mm, con lo que se consigue una gran capacidad de drenaje en el plano.

Este sistema resiste las tensiones que puedan producir el crecimiento de raíces por lo que representa una solución durable.

Al mismo tiempo, la lámina drenante también favorece al crecimiento de la vegetación, puesto que llega a almacenar 6 l/m<sup>2</sup> de agua en los nódulos.

Por otro lado, la lámina drenante almacena los excesos de riego para que estos sean reaprovechados por la cubierta vegetal, lo que permite optimizar el riego a la vez que se establece un plano de drenaje para evitar estancamientos de agua que puedan ocasionar filtraciones en la edificación.

La función del geotextil inferior es la de proteger la lámina de impermeabilización, mientras que el geotextil superior es la de filtro del terreno para impedir la pérdida de finos del sistema de drenaje.

En el mercado se encuentran muchas opciones, entre ellas tenemos:

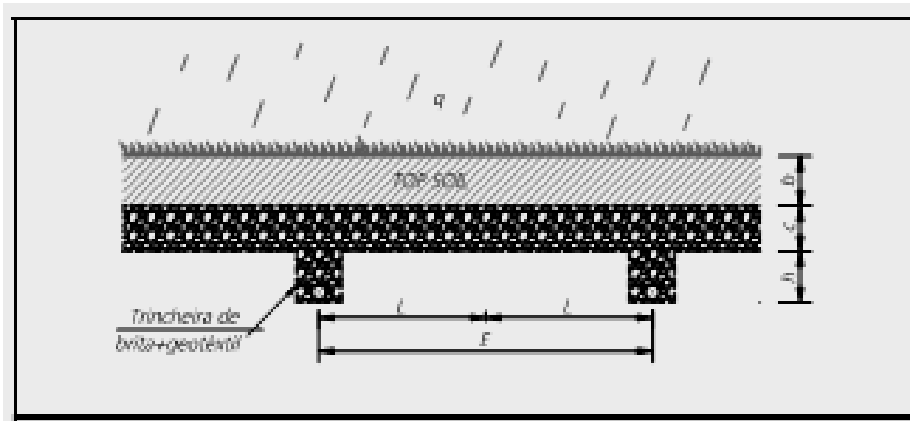
### **MacDrain®**

Se presenta, a continuación, un ejemplo de aplicación del MacDrain® en drenaje horizontal (como colchón drenante), comparando su eficiencia con el sistema convencional que utiliza grava y geotextil.

Colchón Drenante:

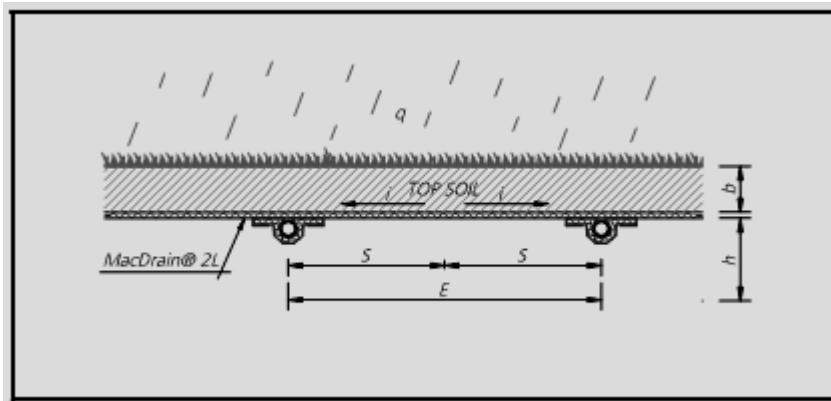
Consiste en colocar el drenaje sobre una superficie regular con la finalidad de captar y alejar rápidamente el agua de lluvia.

**Figura 11. Drenaje horizontal con grava + geotextil**



Folleto: MACCAFERRI, Informe Técnico, **MacDrain® en drenaje horizontal**, pág. 1

**Figura 12. Drenaje horizontal con MacDrain® 2L**



Folleto: MACCAFERRI, Informe Técnico, **MacDrain® en drenaje horizontal**, pág. 1

## Drenaje con grava + geotextil

Fijada una distancia entre los tubos  $E=5,00\text{m}$  (fig. 12), se determina el espesor  $c$  del colchón drenante necesario para transportar las aguas de una precipitación de  $q=0,03 \text{ (l/s)/m}^2$  (precipitación de una lluvia torrencial de corta duración: 30 minutos). Para esto serán utilizados los siguientes datos:

$k = 10^{-2}$  = coeficiente de permeabilidad de la grava  $1 \text{ [m/s]}$ ;

$b = 0,20$  = espesor del "top soil" o suelo de cobertura  $[\text{m}]$ .

De acuerdo con la Ley de Darcy, es posible determinar el flujo máximo en el colchón drenante,  $Q_{MAX}$ , relativo a una franja de un metro de suelo, a través de la siguiente ecuación:

$$Q_{MAX} = \frac{k}{E} \cdot 4 \cdot c^2$$

Definida la precipitación, se determina el caudal que el drenaje deberá soportar, también para una franja de un metro de suelo,  $Q_{DREN}$ :

$$Q_{DREN} = q \cdot E = 0,03 \text{ (l/s)/m}^2 \cdot 5\text{m} = 0,15 \text{ (l/s)/m}$$

Conforme observado (Fig. 11 y Fig. 12), dos tubos recibirán este caudal. Considerando que el suelo de cobertura presenta una permeabilidad muy elevada, se determina el espesor del colchón drenante a través de la siguiente igualdad:

$$Q_{DREN} = Q_{MAX}$$

$$c = \frac{E}{2} \sqrt{\frac{q}{k}} = \frac{5}{2} \sqrt{\frac{0,00003}{10^{-2}}} = 0,14m$$

De esta forma, el colchón drenante en grava deberá tener un espesor de aproximadamente 14 cm. para permitir el caudal de 0,15 (l/s)/m, lo cual, en la práctica, resulta en la utilización de una camada de agregado de 20 cm.

### Drenaje con el MacDrain® 2L

Para el cálculo de la capacidad de flujo del MacDrain® (fig. 12) son necesarios apenas dos parámetros, el gradiente hidráulico  $i$ , en la dirección del flujo, que en este caso es igual a 1%, y la tensión vertical aplicada por el suelo sobre el geocompuesto,  $P$ . Con tales valores y con los datos obtenidos de la hoja técnica del MacDrain® 2L (Tabla II), se calcula el caudal.

**Tabla II. Capacidad de flujo del MacDrain 2L para  $i = 0,01$**

Capacidad de flujo del MacDrain® 2L	
Presión [kPa]	Caudal [l/s.m]
10	0,64
20	0,23
50	0,11
100	0,04

Folleto: MACCAFERRI, Informe Técnico, **MacDrain® en drenaje horizontal**, pág. 2

Considerando que el terreno sobre el MacDrain® posee un peso específico de  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  y un espesor de 0.20m, se obtiene la tensión vertical de 3,6kPa. Extrapolando de la tabla II, a favor de la seguridad, se considera el caudal  $Q=0.30 \text{ (l/s)/m}$  para tal tensión.



Por la norma, deben ser aplicados los siguientes factores de reducción para el geocompuesto MacDrain®:

**FR<sub>IN</sub>** = 1,10 (Intrusión del suelo );

**FR<sub>CR</sub>** = 1,20 (Fluencia – CREEP );

**FR<sub>CC</sub>** = 1,20 (Colmatación Química);

**FR<sub>BC</sub>** = 1,15 (Colmatación Biológica);

Con la siguiente ecuación se obtiene el flujo admisible para el sistema utilizando MacDrain® 2L:

$$Q_{adm} = \frac{Q}{(FR_{IN} \cdot FR_{CR} \cdot FR_{CC} \cdot FR_{BC})} = \frac{0,30}{1,82} = 0,17 \text{ (l/s)/m}$$

### CONCLUSIÓN:

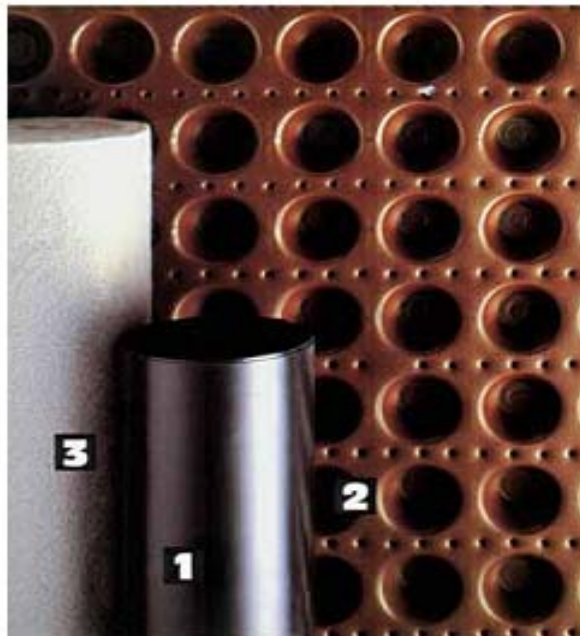
El geocompuesto MacDrain ®, una vez colocado, presenta una capacidad de flujo mayor (13% mayor) a aquella del colchón de grava. Por otra parte, puede ser considerada dos (2) veces mayor de lo necesario, si se compara con el Volumen de la lluvia caída que debe ser drenada, tomando en cuenta que el flujo será conducido a los dos tubodrenes. Por lo tanto el drén construido con el geocompuesto MacDrain® cumple con todas las exigencias técnicas impuestas por las condiciones locales, substituyendo, con eficiencia, al sistema de drenaje.

### **DELTA® MS 20 PERFORADA (fig. 13)**

La cual esta diseñada para cubiertas jardinizadas y por medio de los siguientes componentes aseguran la durabilidad del sistema:

1. Capa de impermeabilización de la cubierta (NOVANOL CUBIERTAS)
2. Lámina drenante perforada (DELTA® MS 20 PERFORADA)
3. Geotextil de protección y filtro (BIDIM S 41 o POLITEX S 200)

**Figura 13. Componentes del sistema de drenaje horizontal**

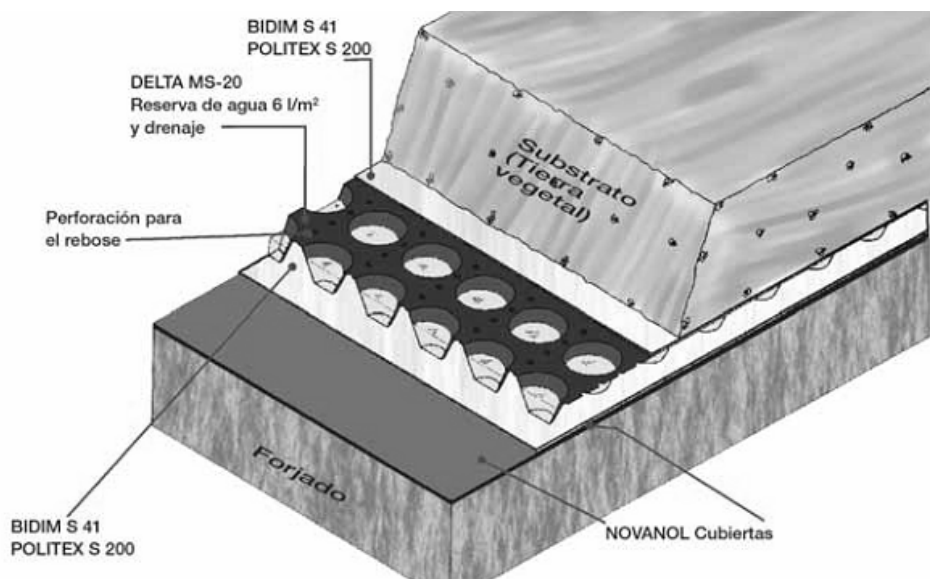


Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 6

Forma de colocación del sistema para cubiertas jardinizadas (fig. 14):  
DELTA® MS 20 PERFORADA:

1. Capa de impermeabilización de la cubierta  
(NOVANOL CUBIERTAS)
2. Lámina drenante perforada (DELTA® MS 20  
PERFORADA)
3. Geotextil de protección y filtro (BIDIM S 41 o  
POLITEX S 200)

**Figura 14. Forma de colocación del sistema para drenaje horizontal**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 7

## **Drenaje horizontal bajo adoquinado, capa de gravas, asfaltos permeables**

Para drenaje por debajo de pavimentación permeable se requiere de máxima seguridad ante filtraciones (ver fig. 15). Se requiere considerar el esfuerzo a compresión al cual estará sometido el sistema drenante. Se requiere elegir un geocompuesto drenante que sea capaz de asimilar de buena forma el material granular de regularización de la superficie, sin que este afecte su capacidad drenante a través del tiempo.

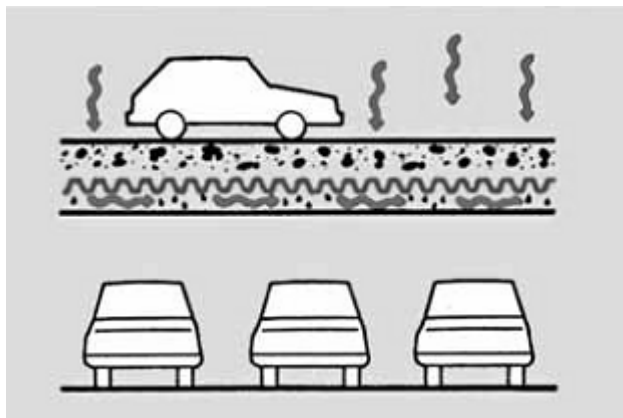
En el mercado existen muchas opciones, entre ellas tenemos:

MacDrain® 2L

DELTA® TERRAXX,

DELTA® NP DRAIN o MASTERDRAIN 8, 8 PLUS y 15 PLUS

**Figura 15. Drenaje horizontal bajo adoquinado, capa de gravas, asfaltos permeables**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 7

Para una correcta elección del geocompuesto de drenaje en esta tipología de aplicaciones se deberá considerar la carga a la que estará sometida el geocompuesto. La carga sobre el geocompuesto drenante será función del espesor de recubrimiento de tierras, del peso específico de las mismas y de las cargas puntuales que se ejecutarán en superficie.

El conjunto de cargas determinarán la capacidad de drenaje del geocompuesto y se deberá evaluar qué geocompuesto es el idóneo atendiendo al diseño y requerimientos de la obra.

### **MacDrain® 2L**

Es un geocompuesto para drenaje liviano y flexible, cuyo núcleo drenante es formado por una geomanta tridimensional, fabricada con filamentos de polipropileno y termosoldados entre dos geotextiles no tejidos de poliéster en todos los puntos de contacto.

Los geotextiles sobresalen 100 mm del núcleo en las extremidades longitudinales del MacDrain® 2L, para garantizar la perfecta continuidad del sistema en las juntas y permitir la ejecución de los traslapes.

A continuación se presenta un ejemplo utilizando el geocompuesto MacDrain® 2L:

## **DRENAJE HORIZONTAL EN BUSINESS PARK PANAMÁ, CIUDAD DE PANAMÁ**

### **Problema**

Se pretendía realizar un jardín en el centro de seis torres de edificios, (ver fig. 16) por lo que se necesitaba realizar una impermeabilización y requerían de un drenaje horizontal para conducir el agua.

**Figura 16. Centro de seis torres de edificios, Panamá.**



Folleto: MACCAFERRI, **Case History, Drenaje Horizontal En Business Park Panamá, Ciudad Panamá.** Pág. 1

### **Solución**

Presentamos nuestra alternativa, que brindaba beneficio en economía y una mayor velocidad de instalación, además de que suministraba una mayor capacidad de drenaje que el propuesto inicialmente.

**Figura 17. Colocación de la geomembrana, sobre la losa de concreto, para impermeabilizarla.**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, DREAJE HORIZONTAL EN BUSINESS PARK PANAMÁ, CIUDAD PANAMA.** Pág. 1

Lo primero que se realizó fue la colocación de la geomembrana, sobre la losa de concreto, para impermeabilizarla. (fig. 17) Después se procedió con la colocación del geocompuesto para drenaje, MacDrain 2L. La utilización del MacDrain 2L, resultó ser una solución ideal, por ser liviano y de pequeño espesor. Una vez instalado el geocompuesto se esparce el material orgánico sobre el MacDrain 2L. (fig. 18) Su colocación, se hizo directamente sobre el geocompuesto, sin ningún inconveniente.

**Figura 18. Colocación del material orgánico sobre el MacDrain 2L**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, DREAJE HORIZONTAL EN BUSINESS PARK PANAMA, CIUDAD PANAMÁ.** Pág. 1

**Nombre del Proyecto:**

Business Park

**Constructor:**

Ingeniería R-M

**Duero del Proyecto:**

Inversiones Bahía

**Productos usados y cantidades:**

8,000 m<sup>2</sup> de MacDrain 2L

**Fecha de la obra:**

Inicio:	Febrero / 2005
---------	----------------

Conclusión:	Mayo / 2005
-------------	-------------



**Figura 19. Siembra de grama, palmeras y flores**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, DREAJE HORIZONTAL EN BUSINESS PARK PANAMÁ, CIUDAD PANAMÁ.** Pág. 2

**Figura 20. Jardín terminado**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, DREAJE HORIZONTAL EN BUSINESS PARK PANAMÁ, CIUDAD PANAMÁ.** Pág. 3

**DELTA® TERRAXX** cuenta con una banda autoadhesiva en las zonas de solapado. Es de instalación muy sencilla y la puesta en obra es rápida y económica. Es un producto ideal para techos de parkings subterráneos, terrazas, etc. Ver. Fig. 21.

Si las solicitaciones de carga son de menores órdenes de magnitud se podrá optar por colocar DELTA® NP DRAIN o MASTERDRAIN® 8, 8 PLUS o 15 PLUS en lugar de DELTA® TERRAXX.

**Figura 21. Presentación de delta® terraxx**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 8

**Figura 22. Colocación del sistema de drenaje horizontal bajo adoquinado**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 8

### **3.1.3 Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y espesor**

El comportamiento de los geosintéticos a la fluencia, es decir, la disminución de su espesor con el tiempo, en compresión o compresión + cizallamiento, bajo tensiones constantes, ha sido objeto de numerosos estudios. Del mismo modo, se han intentado identificar los factores que influyen en la transmisividad, y, por ende, en la capacidad de flujo de los geocompuestos de drenaje. Entre estos productos, los más estudiados son los que constituyen el núcleo drenante de una georred. En este estudio se han considerado 4 tipos de geocompuestos de drenaje, cada uno con un geoespaciador de estructura diferente. Se ha logrado evaluar su capacidad de flujo a largo plazo en un plano, utilizando únicamente las normas europeas de fluencia en compresión y de capacidad de flujo. Primero se ha desarrollado un proceso experimental que permite validar el método.

Éste consiste en analizar las disminuciones de espesor de los productos con el tiempo, lo que permite estimar, a partir de su capacidad de flujo a corto plazo, su capacidad de flujo a largo plazo. En una segunda etapa, se ha deducido de los resultados los factores de reducción que, aplicados a las capacidades de flujo a corto plazo (según la norma), permiten estimar las capacidades de flujo a largo plazo. Por comparación, se ha mostrado que los factores de reducción actualmente publicados se refieren esencialmente a productos no compresibles o semicompresibles. De este modo se pudo descubrir, para el producto compresible estudiado, unos factores de reducción muy superiores, del orden del doble.

### 3.1.3.1 Introducción

El dimensionamiento de la capacidad de flujo de los geocompuestos de drenaje no es fácil. La diferencia entre la capacidad de flujo del producto, medida en laboratorio ( $Q_m$ ) y la capacidad de flujo a largo plazo en el suelo ( $Q_{LITS}$ ) puede ser importante. Numerosos estudios, a menudo basados en georredes, han determinado que sobre ( $Q_{LITS}$ ) intervienen múltiples factores: gradiente hidráulico, la naturaleza de los materiales que se encuentran alrededor del producto in situ (hormigón, suelo, residuos, etc.), vinculada a la intrusión del geotextil filtro en el núcleo drenante, la tensión aplicada al producto (normal y cizallamiento), la fluencia del geocompuesto, la colmatación química y biológica, etc.

Zanzinger y Gartung (1999) han mostrado que el factor de reducción debido a la fluencia del geoespaciador es el más alto de todos los factores que influyen sobre el flujo. La norma UNE EN ISO 12958 subraya además el efecto importante de la compresibilidad de un producto sobre su flujo con el paso del tiempo, bajo tensión constante.

La disminución del espesor de un geosintético implica una disminución de su transmisividad (Giroud, 2000), definida por:

$$\theta = k \cdot T_g \quad (1)$$

Donde:  $\theta$  es la transmisividad,  $k$  la conductividad hidráulica y  $T_g$  el espesor del geosintético. La fluencia implica así una disminución de la transmisividad: por un lado directamente, disminuyendo el espesor  $T_g$  del producto; pero también indirectamente, disminuyendo la conductividad  $k$  cuando  $T_g$  disminuye.

En este estudio se investigo la relación entre la fluencia a compresión de geocompuestos de drenaje, y la disminución con el tiempo de su capacidad de flujo. Campbel y Wu (1994) han mostrado que, para estimar el flujo de los geocompuestos, era preferible analizar la capacidad de flujo más que la transmisividad. Además, se ha utilizado el enfoque de la norma UNE EN ISO 12958, basado en la capacidad de flujo. La capacidad de flujo y la transmisividad están vinculadas por la ecuación:

$$Q = \theta \cdot i \quad (2)$$

Donde Q es la capacidad de flujo,  $\theta$  la transmisividad, e i el gradiente hidráulico. En el plano experimental, el gradiente hidráulico ha sido mantenido igual a 1.

Luciani (1985) ha demostrado que el comportamiento de los geocompuestos a la fluencia depende en gran medida de su proceso de fabricación.

Por eso se ha decidido centrar este estudio en cuatro geocompuestos de drenaje que incluyen geoespaciadores de estructura diferente:

- C1 (compresible): núcleo drenante geotextil asociado sobre las 2 caras a un geotextil no tejido agujeteado.
- C2 (semi-compresible): núcleo drenante formado por el entrelazamiento de monofilamentos, recubierto en las 2 caras con un geotextil termosoldado.

- NC1 (no compresible): núcleo drenante constituido por una malla extruida en PEAD, recubierto en las caras por un geotextil termosoldado.
- NC2 (no compresible): núcleo drenante constituido por una lámina extruida en PEAD termoformada simétrica, recubierto en las 2 caras por un geotextil Geotexan termosoldado.

El plan experimental constaba de dos fases: en una primera se determinaban las propiedades de fluencia a compresión de los productos, para obtener su espesor a largo plazo. Para ello se realizaron ensayos de fluencia según la norma UNE EN 1897 tanto en compresión como en compresión-cizallamiento. En una segunda etapa se midió la capacidad de flujo de todos los productos bajo distintas tensiones, y luego la evolución de sus capacidades de flujo, deducida de su espesor. Así se pudo calcular la capacidad de flujo a largo plazo de los productos, a partir de su espesor a largo plazo.

### 3.1.3.2 Capacidad de flujo a largo plazo

#### **Método**

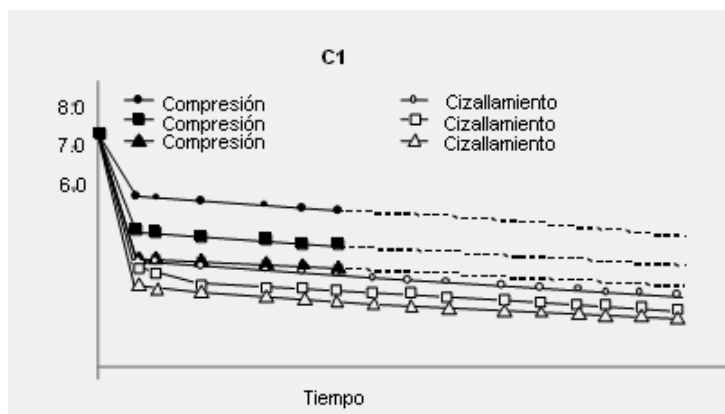
Para estimar la capacidad de flujo a largo plazo de los geocompuestos ensayados, se procede en tres etapas:

- Se extrajo de las figuras 31 a 34, generadas por los ensayos de fluencia, parejas (tiempo  $t$ , espesor  $T_g$ ).

- A partir de la figura 30, también generada por los ensayos de fluencia, se ha determinado la tensión  $\sigma$  necesaria para obtener un espesor  $T_g$  en una célula de capacidad de flujo después de 2 minutos, y no después de un tiempo  $t$ .
- Se ha reflejado esta tensión  $\sigma$  en las figuras 26 a 29. Por eso hemos podido deducir la correspondiente capacidad de flujo  $Q$ . Al finalizar, hemos obtenido una pareja (capacidad de flujo  $Q$ , tiempo  $t$ ).

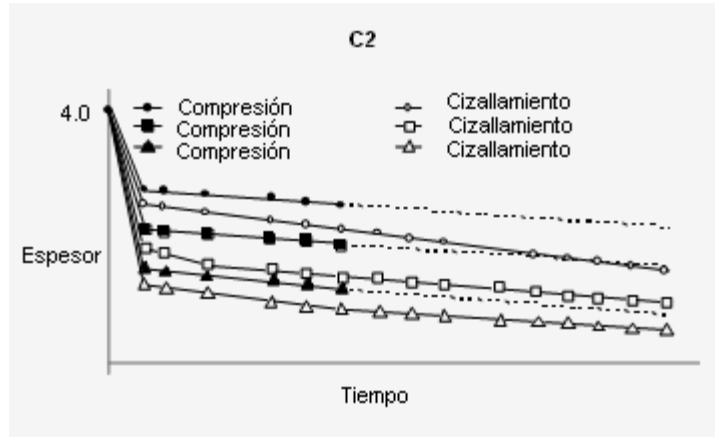
Los datos de la tercera etapa han sido obtenidos durante la segunda fase experimental. Se ha medido la capacidad de flujo de cada producto bajo varias configuraciones: tensiones variables, tiempos variables de aplicación de la tensión (2 minutos, según la norma UNE EN ISO 12958, y 1 hora), entre soportes diferentes (placas rígidas y placas de espuma). En cambio, el gradiente hidráulico ha sido mantenido constante e igual a 1.

**Figura 23. Evolución del espesor según el tiempo para C1**



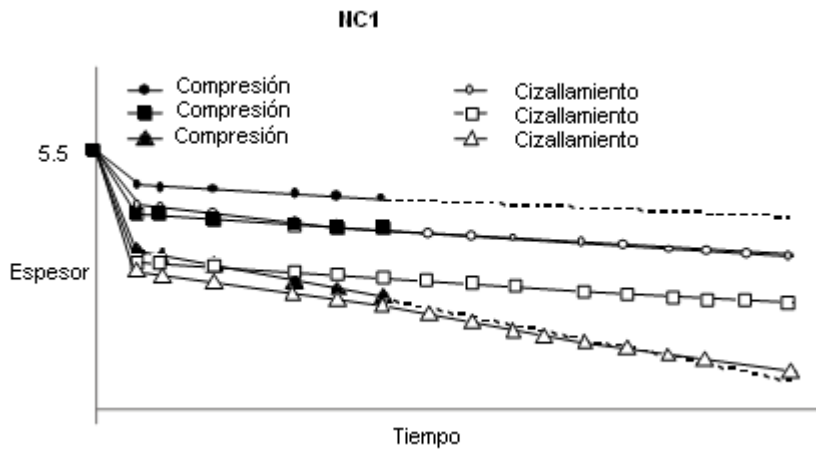
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 3

**Figura 24. Evolución del espesor según el tiempo para C2**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor, pág. 3**

**Figura 25. Evolución del espesor según el tiempo para NC1**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor, pág. 3**



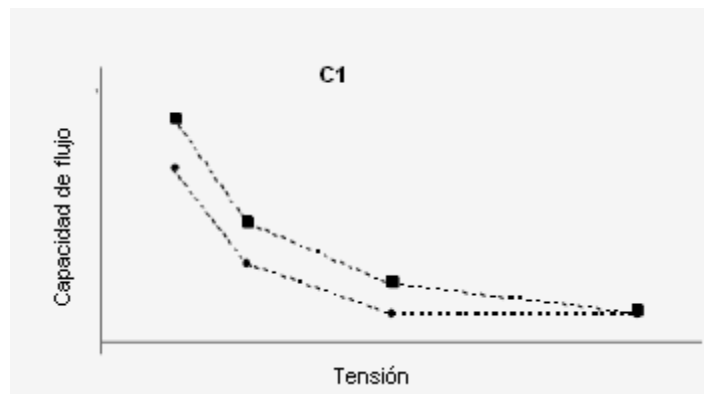
### 3.1.3.3 Capacidad de flujo en función de la tensión

El dispositivo experimental utilizado cumple la norma UNE EN ISO 12958. Todos los geocompuestos han sido ensayados bajo cuatro tensiones: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa y más de 300 kPa; estas tensiones han sido aplicadas entre dos placas rígidas y entre dos placas de espuma. Para cada tensión y tipo de soporte, se ha utilizado una nueva probeta. Cada probeta ha sido objeto de dos mediciones para cada tensión y tipo de soporte: medición inmediata del flujo (según la norma) y luego medición del flujo 1 h después de aplicar la tensión.

La capacidad de flujo (según la norma) en función de la tensión aplicada ha sido representada en las figuras 26 a 29. Éstas muestran que la capacidad de flujo:

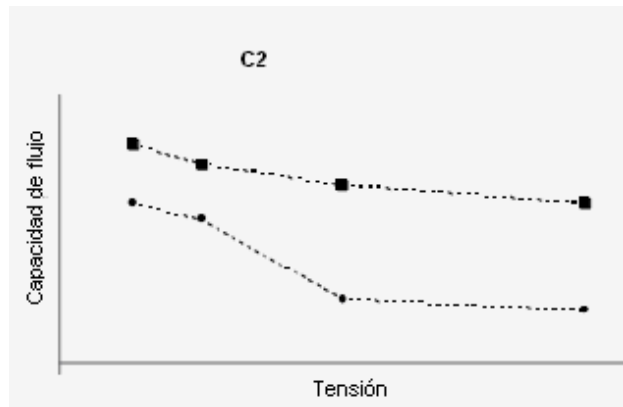
- Disminuye cuando la tensión aplicada aumenta.

**Figura 26. Producto C1: relación capacidad de flujo/tensión**



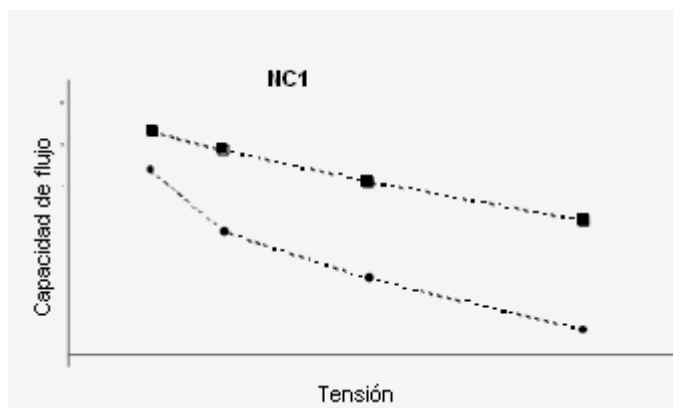
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 3

**Figura 27. Producto C2: relación capacidad de flujo/tensión**



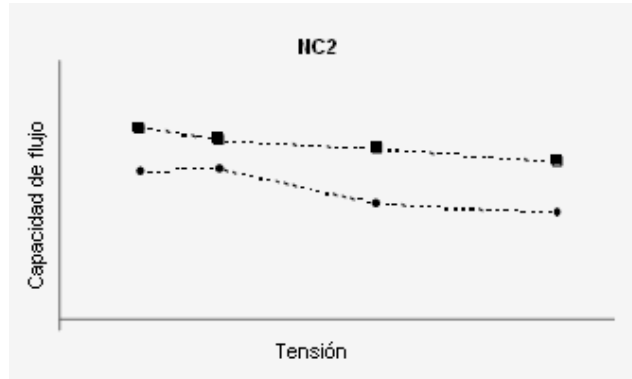
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 3

**Figura 28. Producto NC1: relación capacidad de flujo / tensión**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

**Figura 29. Producto NC2: relación capacidad de flujo/tensión**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

- Es más débil entre dos placas de espuma que entre dos placas rígidas. Para un producto compresible, la disminución de la capacidad de flujo entre dos placas rígidas o dos placas de espuma es comparable.

Para productos no compresibles o semicompresibles (figuras 27 a 29), mientras que la disminución de capacidad de flujo es casi lineal entre dos placas rígidas, entre dos placas de espuma esta disminución presenta siempre un nivel importante, el cual corresponde ciertamente a la penetración de la espuma compresible en la estructura poco compresible.

### 3.1.3.4 El espesor: flujo a corto y largo plazo

Con el objetivo de validar el procedimiento, para cada producto y cada tensión se han verificado los siguientes valores de la capacidad de flujo Q. Éstos corresponden a:

- La medición directa de Q después de aplicar la tensión durante 1 h.
- El cálculo de Q después de 1 h. Para evaluar la capacidad de flujo después de 1 h, el espesor de la muestra se constata después de 1 h de fluencia a compresión, y luego se determina la tensión correspondiente a este espesor después de la aplicación de esta tensión durante 2 minutos.

Por último, la capacidad de flujo correspondiente a esta tensión se obtiene según las gráficas de capacidad de flujo/tensiones (figura 24 a 27). Los resultados se presentan en la tabla IV.

**Tabla III. Capacidades de flujo (l.min<sup>-1</sup>) después de 1 h bajo 50 kPa.**

Productos	Placas rígidas		Placas de espuma	
	Q Medida	Q Calculada	Q Medida	Q Calculada
C1	0.7	0.7	0.6	0.5
C2	13.6	13.5	9.2	10.0
NC1	6.8	6.8	5.4	5.3
NC2	19.2	19.1	13.7	15.4

Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

Se constato que la aproximación a largo plazo, utilizando como base del razonamiento la evolución del espesor, da resultados en buena correlación con los experimentales.

Como este procedimiento era válido para una hora, se ha admitido que también lo era para duraciones más largas. Además, los resultados finales corroboran esta hipótesis, ya que los valores obtenidos corresponden a los valores publicados sobre los geoespaciadores del tipo georredes.

### **3.1.3.5 Relación capacidad de flujo/espesor**

Como la capacidad de flujo de las georredes es proporcional a su espesor, esta relación debía ser verificada para los geocompuestos ensayados. Para cada producto se ha trazado la capacidad de flujo calculada, vinculada a su espesor, generada por los ensayos de fluencia, según el logaritmo del tiempo.

Los datos obtenidos entre dos placas de espuma han sido reflejados en las figuras 31 a 34. También se han trazado las curvas de tendencia. Indicando su coeficiente de correlación. Estas gráficas muestran que, cualquiera sea el tipo de producto, la relación de la capacidad de flujo con el espesor varía de manera globalmente lineal según el tiempo, para las tensiones ensayadas. De hecho, en la figura 31 (producto C1), las rectas son paralelas cualquiera que sea la tensión aplicada (o el tipo de soporte), excepto en el caso de 200 kPa aplicada entre dos placas de espuma. Esta última recta es casi horizontal: para C1, la relación capacidad de flujo / espesor no puede descender a priori por debajo de  $0,03 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

Las curvas han sido extrapoladas de manera que la relación no descienda por debajo de  $0,03 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ . El producto NC1 (figura 33) es un caso similar, incluso si no se ha alcanzado el valor asintótico. Así, para la extrapolación de las rectas se ha escogido la hipótesis optimista de que el último punto obtenido corresponde a este valor límite.

Las rectas han sido extrapoladas de manera que no desciendan nunca por debajo de  $0,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

Aunque la evolución de esta relación parece interesante, el valor de esta relación parece ser revelador únicamente del tipo de geoespaciador. Los valores obtenidos ( $\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) son muy distintos:

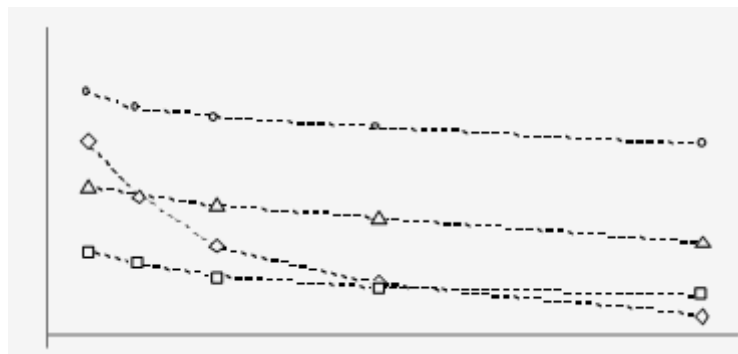
- de 0,03 a 0,18 para C1
- de 0,76 a 3,97 para C2
- de 0,30 a 1,43 para NC1
- de 1,55 a 2,95 para NC2

### **3.1.3.6 Capacidad de flujo a largo plazo**

Las figuras 31 a 34 muestran la evolución de la relación entre la capacidad de flujo y el espesor en función del tiempo. Además, la evolución del espesor en función del tiempo también se conoce, gracias a los ensayos de fluencia. El valor de la capacidad de flujo a largo plazo se puede calcular sencillamente a partir de estos dos valores.

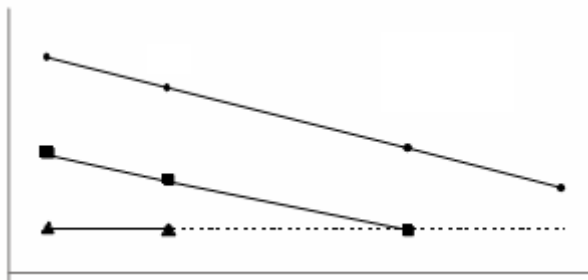
Las tablas IV a VII muestran el valor de la capacidad de flujo, medido según la norma UNE EN ISO 12958 ( $Q_i$ ), y el acercamiento de la capacidad calculada de flujo a largo plazo ( $Q_f$ ) (en este caso, el cálculo ha sido realizado para una duración de 10 años).

**Figura 30. Espesores después de 2 minutos de fluencia**



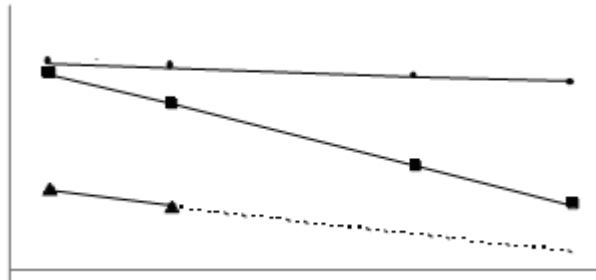
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

**Figura 31. Producto C1: Evolución de la relación Q sobre Tg**



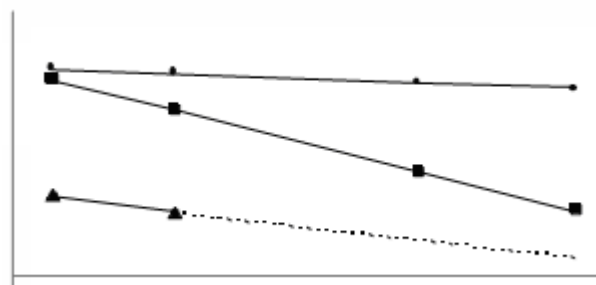
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

**Figura 32. Producto C2: Evolución de la relación  $Q / Tg$**



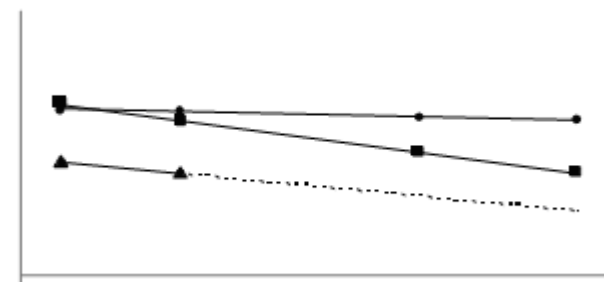
Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

**Figura 33. Producto NC1: Evolución de la relación  $Q / Tg$**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 25

**Figura 34. Producto NC2: Evolución de la relación  $Q / Tg$**



Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 26



Resulta evidente una neta diferencia de comportamiento entre los productos compresibles y los productos semicompresibles y no compresibles. De hecho, para los primeros la capacidad de flujo inicial disminuye aproximadamente en las mismas proporciones entre los dos tipos de soporte. En cambio, para los segundos, la capacidad de flujo disminuye con el tiempo mucho más entre dos placas de espuma que entre dos placas rígidas. Para el producto compresible, la capacidad de flujo disminuye con el tiempo únicamente por el fenómeno de fluencia. En cambio, para los productos semicompresibles o no compresibles, además de la fluencia de los productos, la penetración de la espuma en la estructura aumenta con el tiempo, incluso a tensión constante. Asimismo, en la tabla IV se destaca un valor: la capacidad de flujo a 10 años bajo 200 kPa es igual al 60% de su capacidad de flujo medida según la norma.

**Tabla IV. Capacidad de flujo de C1 después de 10 años**

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
	50	100	200	50	100	200
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q, l/min	0.86	0.44	0.21	0.66	0.29	0.10
Q, (10 años) l/min	0.34	0.07	0.06	0.2	0.07	0.06
Q/Q %	40	16	29	30	24	60

**Tabla V. Capacidad de flujo de C2 después de 10 años**

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
	50	100	200	50	100	200
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q, l/min	13.81	12.57	11.25	10.26	9.18	4.36
Q, (10 años) l/min	12.45	10.64	7.42	8.75	3.99	2.05
Q/Q %	90	85	66	85	43	47

Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 27

**Tabla VI. Capacidad de flujo de NC1 después de 10 años**

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
	50	100	200	50	100	200
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q, l/min	6.94	6.37	5.34	5.76	3.86	2.4
Q, (10 años) l/min	6.22	5.05	2.11	3.28	2.01	1.02
Q/Q	90	79	40	57	52	42

Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 27

**Tabla VII. Capacidad de flujo de NC2 después de 10 años**

Soporte	Placas rígidas			Placas de espuma		
	50	100	200	50	100	200
Tensiones (kPa)	50	100	200	50	100	200
Q, l/min	19.52	18.45	17.37	15.35	15.50	12.05
Q, (10 años) l/min	17.99	16.80	13.83	14.02	11.51	8.90
Q/Q %	92	91	80	91	74	74

Folleto: Ruta técnica, División de Geosintéticos de Composan. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor**, pág. 27

Este porcentaje tan alto se explica fácilmente por la naturaleza compresible del producto. Como 200 kPa es una tensión relativamente alta, la disminución de espesor debida a la fluencia es mínima con respecto a la disminución de espesor inmediata.

### 3.1.3.7 Factores de seguridad considerar

La capacidad de flujo de un geocompuesto decrece con el tiempo. Para prever esta disminución de su rendimiento, se aplica un coeficiente de seguridad al valor anunciado, es decir, medido según la norma. Este coeficiente de seguridad es en realidad el producto de coeficientes de seguridad parciales (Koerner, 1998).

Los 4 factores principales que se deben tener en cuenta son:

- Fluencia del núcleo drenante ( $RF_{CR}$ )
- Intrusión del geotextil en el núcleo drenante, vinculada a las deformaciones del geotextil con el tiempo ( $RF_{IN}$ )
- Colmatación química del núcleo drenante ( $RF_{CC}$ )
- Colmatación biológica del núcleo drenante ( $RF_{BC}$ )

Así se puede calcular la capacidad de flujo a largo plazo en el suelo ( $Q_{LTIS}$ ), en función de la capacidad de flujo medida ( $Q_m$ ), mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{LTIS} = \frac{Q_m}{RF_{CR} \cdot RF_{IN} \cdot RF_{CC} \cdot RF_{bc}}$$

En la literatura se brindan rangos de variaciones de estos factores de reducción para los productos que tienen una geomalla como núcleo drenante, según el tipo de aplicación. Así pues, el factor de reducción  $RF_{CR}$  suele estar comprendido entre 1,1 y 2,0 (Koerner, 1998) según las aplicaciones (para las geomallas). A partir de los resultados obtenidos en las tablas III a VI, vamos a poder brindar un rango de variación para los 4 productos ensayados. Sólo se toman los resultados entre placas de espuma, ya que representan mejor las condiciones in situ (suelos, residuos, etc.).

### **Producto C1**

Su geoespaciador es un geotextil. Se ha obtenido un rango de factor de reducción comprendido entre 3,3 y 4,2 para tensiones débiles a medianas. Es el único de los productos ensayados cuyo factor de reducción para tensiones elevadas es realmente más débil que para tensiones inferiores, con un valor de 1,7.

### **Producto C2**

Su geoespaciador está constituido por monofilamentos entrelazados. El rango de variación de  $RF_{CR}$  está comprendido entre 1,2 y 2,3. Cuanto más fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción. Su naturaleza semicomprimible se reconoce en los factores de reducción: para tensiones fuertes,  $RF_{CR}$  es ligeramente inferior al correspondiente a las tensiones medianas (2,1 para 2,3).

### **Producto NC1**

Su geoespaciador es una georred. El rango de variación de  $RF_{CR}$  está comprendido entre 1,7 y 2,4. Cuanto más fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción. Este rango se acerca a los valores comúnmente difundidos, aunque es ligeramente superior.

### **Producto NC2**

Su espaciador es una lámina termoformada simétrica. El rango de variación de  $RF_{CR}$  está comprendido entre 1,1 y 1,4. Cuanto más fuerte es la tensión aplicada sobre el producto, más elevado es el factor de reducción.

## **3.1.4 Protección**

Los sistemas de impermeabilización deben ser protegidos ante el empuje que ejercen las tierras sobre el muro. Se requiere de una protección efectiva de los sistemas de impermeabilización, permitiendo su correcto funcionamiento a largo plazo.

En el mercado se encuentran muchas alternativas entre ellas tenemos:

## DELTA® MS

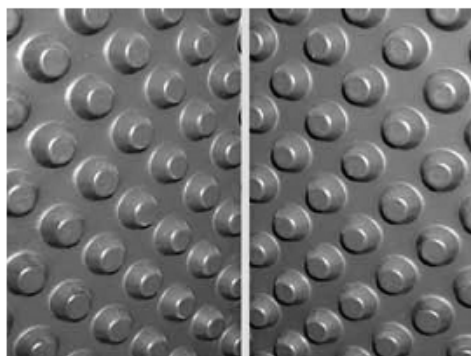
Está compuesto de polietileno de alta densidad específico que protege el sistema de impermeabilización de la estructura enterrada de punzonamientos ejercidos por el terreno. La lámina DELTA® MS cuenta con más de 1800 nódulos por metro cuadrado, lo que permite una distribución de las cargas puntuales. La resistencia a compresión de la lámina nodular es singular puesto que es de 250 kpa. (Ver fig. 35)

**Figura 35. Presentación de DELTA® MS**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 8

**Figura 36. Nódulos al tresbolillo**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 8

La lámina DELTA® MS es apta para el contacto con agua potable, es imputrescible y contribuye de manera adicional al aislamiento térmico. Los extremos de la lámina DELTA®MS, las zonas de solape, son planos, lo que permite un mejor solapado. Además, la lámina DELTA® MS se adapta con precisión a las geometrías de la obra a proteger gracias a la disposición de los nódulos a tresbolillo. Ver fig. 37

**Figura 37. Alta adaptabilidad**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 8

### **3.1.5 Alternativa a la capa de hormigón de limpieza**

Es sabido que el hierro en contacto con la tierra, con el paso de los años se deteriora. La construcción de losas de cimentación requiere la realización de una superficie plana y saneada para la colocación de los separadores, a fin de sostener la armadura de la cimentación.

La solución más tradicional es la formación de una capa de hormigón de limpieza. Esta solución requiere de una sobrexcautación de 5 cm., maquinaria de instalación del hormigón, dependencia de la disponibilidad de hormigón y un periodo de espera hasta que el hormigón alcance una dureza suficiente para que los operarios puedan trabajar encima. Asimismo, la sobrexcautación implica unos costes de vertido y transporte de tierras a lugares autorizados.

### **Figura 38. Colocación de la capa de hormigón**



Sara urbana, **Naves Industriales**, memoria, Hormigón de limpieza.

La capa de hormigón de limpieza (Ver fig. 38) puede sustituirse por una lámina de nódulos, empleada para proteger sistemas de geocompuestos, debido a que esta posee alta resistencia a compresión, es apta para el contacto con el agua, es imputrescible y contribuye de manera adicional al aislamiento térmico, por lo que puede realizar el trabajo de la capa de hormigón de limpieza, interfiriendo de manera significativa en el presupuesto de la obra, dada sus ventajas en la puesta en obra: el tiempo de instalación es mínimo, se eliminan los costes debidos a maquinaria de excavación, se elimina el coste de trasporte y vertido de tierras en depósitos autorizados y se elimina el tiempo de espera de endurecimiento del hormigón de limpieza.



Estos poseen resistencia tanto ambientes ácidos como alcalinos, aceites y disolventes. Su resistencia a compresión resiste perfectamente el peso de los operarios y de las barras de la armadura de la losa. Por tanto se podrá colocar sin problemas los separadores de la armadura directamente sobre el elemento de protección.

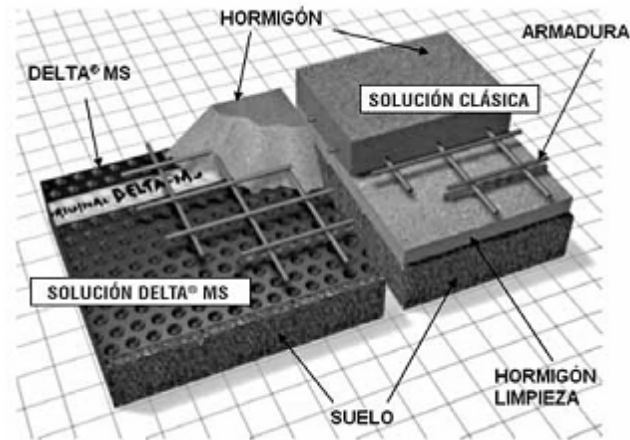
El ahorro será del entorno al 40% aproximadamente, el ahorro será mayor cuanto más grande sea la ciudad en la que se realiza la obra puesto que la distancia hasta el depósito de vertido será mayor y cuanto mayor sea la superficie a cimentar.

En el mercado se encuentran muchas alternativas entre ellas tenemos:

### **DELTA® MS**

La lámina DELTA® MS resiste tanto ambientes ácidos como alcalinos, aceites y disolventes. Su resistencia a compresión resiste perfectamente el peso de los operarios y de las barras de la armadura de la losa. Por tanto se podrá colocar sin problemas los separadores de la armadura directamente sobre la lámina DELTA® MS. (Ver fig. 37)

**Figura 39. Comparación solución clásica y solución delta® ms**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 10

**Tabla VIII. Comparativo económico entre delta ms / delta ms 20 y una capa de hormigón de limpieza.**

Comparativo económico entre <b>DELTA MS/DELTA MS 20</b> y una capa de hormigón de limpieza			
	Hormigón de limpieza	Lamina DELTA MS	Ahorro
Terreno a excavar adicionalmente	100 %	Se suprime	100 %
Costos de material	100 %	70 – 80 %	20 – 30 %
Mano de obra	100 %	3 – 6 %	94 – 97 %
Tiempo de espera 1 día	100%	Se suprime	100 %
Costos de maquinaria (bomba)	100%	Se suprime	100 %

Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 10

### 3.1.6 Rehabilitación interior de muros afectados por humedad

En numerosos casos, las paredes o muros de sótano están afectados por una elevada humedad, ya sea por filtraciones o por capilaridad (Ver fig. 40). Arreglar esta situación mediante métodos tradicionales requiere de una gran inversión para corregir la situación.

Los sistemas de geocompuestos proporcionan alternativas, los cuales permiten convertir espacios inhabitables por problemas de humedad en espacios útiles con las paredes secas y sin manchas de humedad a un coste y un tiempo de instalación reducidos.

**Figura 40. Muros afectados por humedad**



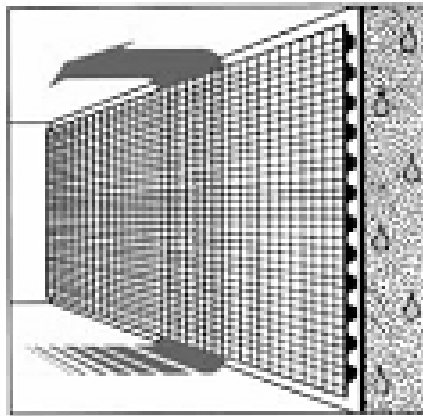
Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 11

Estos sistemas consisten de una lámina nodular de polietileno de alta densidad la cual lleva soldada una malla también de polietileno 100% virgen. Esta malla permite la aplicación y la sujeción de morteros o yesos de acabado.

Estos cuentan con nódulos de 8 mm, los cuales generan un espacio para la ventilación del muro afectado por la humedad. El sistema incluye perfiles tanto para el extremo superior como el inferior, los cuales permiten la evacuación de la humedad o agua procedente de la pared o muro.

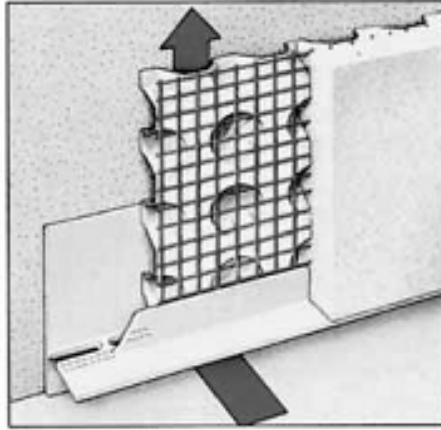
Un ejemplo de estos sistemas es, el sistema DELTA® PT (Ver fig. 41).

**Figura 41. Funcionamiento del sistema DELTA® PT**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 11

**Figura 42. Evacuación del agua por el perfil superior**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 11

**Figura 43. Colocación del sistema DELTA® PT**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 11

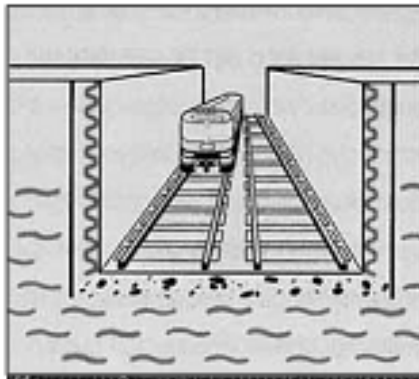
## **3.2 Aplicaciones en ingeniería civil**

### **3.2.1 Plano de drenaje en excavaciones profundas con Pantalla**

Frecuentemente se construyen grandes edificios entre medianerías o en suelo urbano ya edificado. Este contexto no permite excavar con taludes en el perímetro de la obra y en consecuencia no es posible construir muros encofrados por ambas caras. El perímetro de la excavación en estos casos, debe estar bien apuntalados a fin de no afectar a las edificaciones del entorno. La solución más habitual es la de construir pantallas como elemento de contención de tierras. Las pantallas pueden ser continuas o de pilotes.

El muro pantalla se está imponiendo en diversos sectores de la Ingeniería. Mientras que en un principio se empleaba exclusivamente para la impermeabilización del terreno por cortinas, hoy es imprescindible en excavaciones de cimentaciones profundas, suelos de poca consistencia o estabilidad, nivel freático alto y un largo etc., donde prima sobre todo la seguridad con la que ejecutar mas tarde la excavación del terreno (ver fig. 44)

**Figura 44. Uso de pantallas**



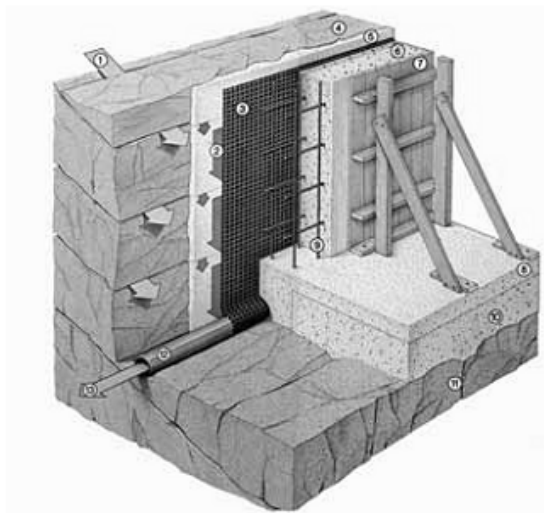
Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 12

Este sistema es más seguro para realizar un desmante, ya que los terrenos poco estables suponen un elevado riesgo a la hora de realizar el muro por bataches, al existir la posibilidad de corrimiento de tierras. Mientras que con el muro pantalla, al mismo tiempo que se desmonta el solar, se procede al anclaje del mismo asegurando de este modo, y en todo momento la estabilidad de los muros y la integridad de las estructuras colindantes, tanto en edificios como en viales.

Dadas las características de este tipo de cimentaciones, suelen requerir un plano de drenaje de altas capacidades hidráulicas. Ahora bien en lugar de tratar las pantallas impermeabilizándolas, se opta frecuentemente por la colocación de un sistema que pueda evacuar el agua que atraviesa la pantalla (Ver fig. 45). Esto se puede obtener empleando una lámina para protección de sistemas a base de geocompuestos, este está capacitado para resistir grandes esfuerzos a compresión, esta solución requiere de un muro auxiliar por el intradós y los nódulos de la lámina deben estar orientados hacia la pantalla.

La lámina nodular actúa como encofrado perdido del muro auxiliar. El hormigón del muro auxiliar se introduce en los nódulos de las láminas endureciendo dentro de ellos. Con ello se conserva el espesor del plano de drenaje con el paso del tiempo. Paralelamente, con la introducción de los planos de drenaje se ecualizan las presiones hidrostáticas en el conjunto del perímetro apantallado, evitando que se concentren en un sector en concreto con más intensidad.

**Figura 45. Forma de colocar la lámina para impermeabilizar**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 12



**Figura 46. Colocación del sistema**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 12

### **3.2.2 Túneles**

Un túnel es una obra de ingeniería que para su construcción, requiere de técnicas, productos, equipos especiales y de análisis geológicos, geotécnicos e hidráulicos; estos son realizados por especialistas en el ramo, una vez que se ha definido el proyecto de construcción de un túnel.

#### **ESTABILIDAD**

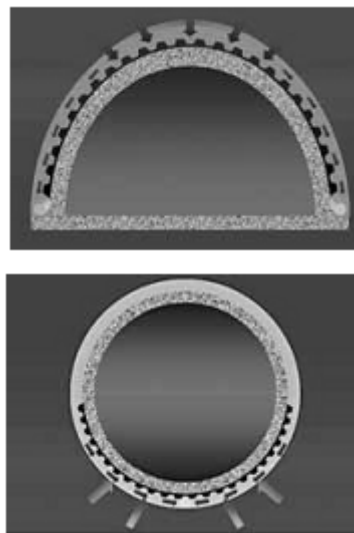
- Se conoce las condiciones y características del lugar, eligiendo el proceso constructivo que conviene para su construcción. Según las dimensiones del proyecto, se deben de considerar otros factores como son seguridad, economía y durabilidad de la obra.

- La geología se convierte en un factor determinante, se debe ubicar el túnel en una roca de alta calidad, no importa que se tenga que profundizar un poco más, ya que los costos de excavación se verán recompensados por el dinero y esfuerzo que se ahorrará en revestimiento.

## CONTROL DE AGUAS SUBTERRANEAS

En ocasiones, durante la construcción de túneles, existe la presencia de agua, ya sea por niveles freáticos altos o por cuencas subterráneas. La elección del método de inyección está en función del caudal de agua que ingresa al túnel, la presión, las fracturas y las condiciones del terreno. La inyección elimina o reduce al mínimo esta filtración de aguas subterráneas (ver fig. 47).

**Figura 47. Presión hidrostática en un túnel**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 13

Un drenaje eficiente es de especial importancia en los túneles, tanto en la fase de ejecución de la obra como durante su vida de servicio. Un túnel actúa como un dren de enormes proporciones del macizo que atraviesa puesto que altera el gradiente hidráulico original. La hidrogeología del entorno geológico atravesado, la figuración si se trata de un macizo rocoso o del nivel freático si se trata de suelos granulares, así como el diseño propio del túnel determinarán el volumen de agua a evacuar.

En este contexto es importante contar con compuestos para el drenaje que mantengan sus propiedades a lo largo de la vida en servicio del túnel para conservar los parámetros de diseño a lo largo del tiempo.

Una opción es la lámina nodular, utilizada para protección de sistemas de drenaje a base de geocompuestos, es una solución fiable para interferir el flujo de agua que penetra en el interior del túnel. Colocado entre el sostenimiento y el revestimiento final, (fig. 48) con los nódulos orientados hacia la roca o sostenimiento del túnel, genera una cámara de aire continua por la que circula el agua. De ser necesario, es posible aumentar la estanqueidad de los solapes mediante la utilización de la banda autoadhesiva.

En caso de ser necesario se puede colocar la lámina DELTA® MS 20, cuya altura de nódulo es mucho mayor que la del DELTA® MS. En concreto cuenta con una altura de nódulo de 20 mm, por lo que mantiene una cámara de aire que garantiza un drenaje eficaz ante cualquier reducción de sección drenante por convergencias o movimientos de los elementos de sostenimiento del túnel.

**Figura 48. Colocación del sistema de drenaje**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 13

### **3.2.1 Falsos túneles**

Infraestructura que se construye cuando un obstáculo natural de escasa altura debe ser atravesado por la línea ferroviaria, de manera que la perforación de un túnel se estima como innecesaria por el escaso recubrimiento, y al mismo tiempo existe riesgo de que la construcción de una trinchera convencional pueda provocar desprendimientos, por lo que se procede a cerrarla y a cubrir la vía a manera de túnel (fig. 49).

En otras ocasiones, la construcción de falsos túneles se justifica simplemente en la necesidad minimizar el impacto ambiental de la línea, especialmente cuando el trazado pasa cerca de zonas urbanas.

**Figura 49. Falso Túnel**



Fuente: Fotografía, **Nuevo acceso ferroviario Segovia-Valladolid**. Subtramo I: Nava de la Asunción-Coca

La estructura de contención de los falsos túneles está expuesta a carga hidrostática y sometida a la agresión química que supone permanentemente la humedad, puesto que ésta es un vehículo de elementos degradantes del hormigón y las armaduras.

Mediante la colocación de geocompuestos drenantes se contribuye a disipar las presiones intersticiales que actúan sobre el sostenimiento del falso túnel. Con la instalación de geocompuestos drenantes se contribuye a la durabilidad del hormigón del sostenimiento del túnel. La elección del geocompuesto dependerá básicamente del recubrimiento de tierras, la sección del túnel y el tipo de impermeabilización que se disponga sobre el sostenimiento del túnel.

Se puede requerir de geocompuestos que cuentan con un geotextil a cada lado, por tanto, el contacto con el sistema de impermeabilización sea blando, por lo que el sistema de impermeabilización no se ve alterado por punzonamientos por elementos rígidos.

Ahora bien si el espesor de tierras de recubrimiento es elevado, el geocompuesto drenante debe de contar con mayores garantías en cuanto a capacidad de drenaje, debe de responder a elevadas capacidades de drenaje bajo empujes activos elevados del terreno (fig. 50).

**Figura 50. Colocación del Sistema drenante**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 14

### 3.2.4 Rehabilitación de túneles

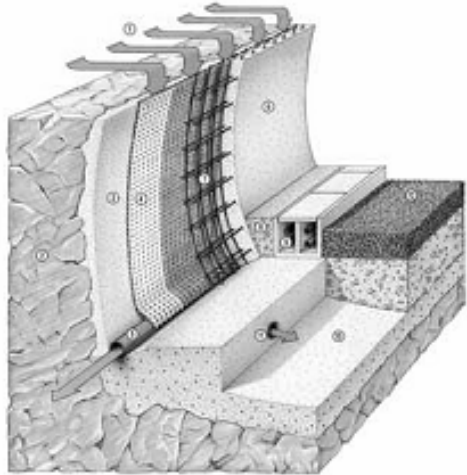
Túneles de cierta edad padecen frecuentemente de numerosas filtraciones. Esto es debido a dos factores:

- En primer lugar se debe a impermeabilizaciones inadecuadas en la ejecución de obra, lo que es comprensible si se trata de túneles antiguos.
- En segundo lugar, debido a la pérdida de monolitismo de las estructuras de sostenimiento, en las que la aparición de grietas por fatiga implica una pérdida del grado de impermeabilidad.

En numerosos casos el túnel debe ser reparado sin por ello interrumpir la actividad habitual durante el periodo de reparación, especialmente en túneles ferroviarios. En estos casos es posible reparar el túnel mediante la colocación de una lámina drenante en el interior del túnel. Dicho producto consiste en una lámina drenante de polietileno de alta densidad la cual lleva soldada una malla.

Los nódulos deben ir orientados hacia el revestimiento antiguo del túnel. Sobre la malla se aplica el nuevo revestimiento del túnel. Con este sistema se genera una cámara de aire entre el nuevo y el viejo revestimiento, espacio por el que el agua es derivada al sistema de evacuación (fig. 51).

**Figura 51. Funcionamiento del sistema drenante**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 15

Con ello se consigue una reparación del túnel manteniendo contoneo y mejorando el comportamiento del túnel ante el fuego, puesto que la lámina debe de ser ignífuga.

**Figura 52. Colocación del sistema drenante en túnel**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 15



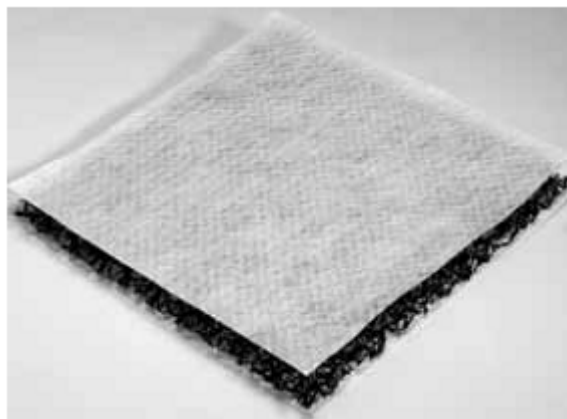
### 3.2.5 Drenaje de terrenos, balsas, vertederos

Existen geocompuestos que están especialmente diseñados para dotar al terreno de un plano de drenaje. Su resistencia al aplastamiento y la estructura del filamento drenante aseguran una elevada capacidad de drenaje incluso bajo grandes espesores de recubrimiento de tierras.

Estos geocompuestos se emplean en vertederos, tanto para la conducción de lixiviados por el fondo del vertedero, como para la conducción de gases generados por la descomposición de la materia orgánica.

También se coloca por debajo de la cubierta vegetal una vez clausurado el vertedero, para derivar las aguas pluviales hacia el exterior del recinto y así evitar que se introduzcan en el interior del vertedero en contacto con los materiales en descomposición.

**Figura 53. Geocompuesto MASTERDRAIN®**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 16

Dadas las características de estos geocompuestos también se colocan en balsas. En concreto sirven para recoger los flujos que atraviesan el vaso de la balsa por defectos de ejecución del mismo. Es especialmente indicado cuando la balsa representa un foco de contaminación de acuíferos, puesto que ofrece la posibilidad de recuperar las pérdidas.

En taludes verdes se coloca debajo de la capa superficial de tierra sembrada a fin de mejorar su estabilidad, especialmente en eventos de lluvia pronunciada puesto que gracias a este tipo de geocompuestos se disipan las presiones intersticiales (ver fig. 54).

**Figura 54. Colocación del sistema drenante**



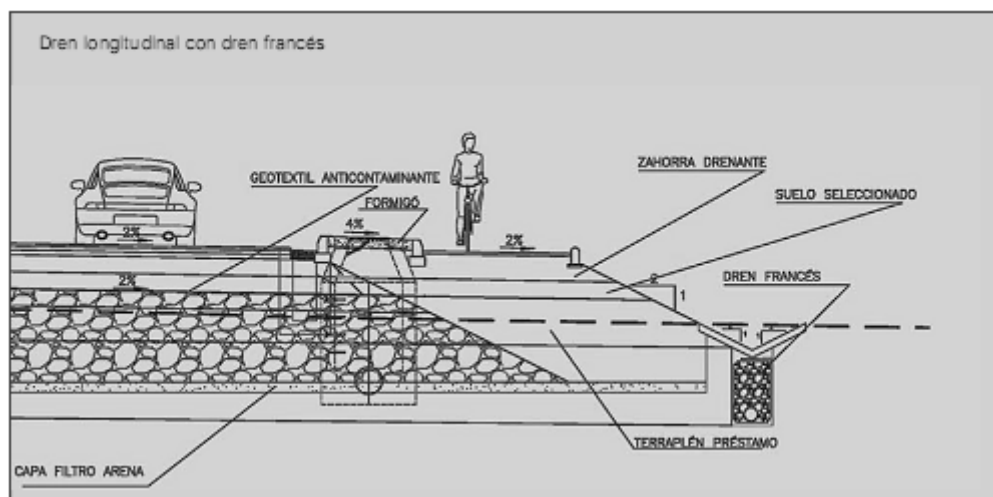
Folleto: BASF, The Chemical Company, Geocompuestos drenantes, pág. 16

### 3.2.6 Drenajes longitudinales

Los viales de carretera cuentan siempre con drenajes longitudinales a cada lado, al pie del terraplén. La manera clásica de efectuar este drenaje longitudinal es mediante la realización del denominado dren francés, el cual consta de un tubo drenante, envuelto de un paquete de gravas envueltas a su vez de un geotextil de filtro (ver fig. 55). Este modelo requiere de un gran volumen de áridos, los cuales determinan en gran medida el precio de la realización del dren francés.

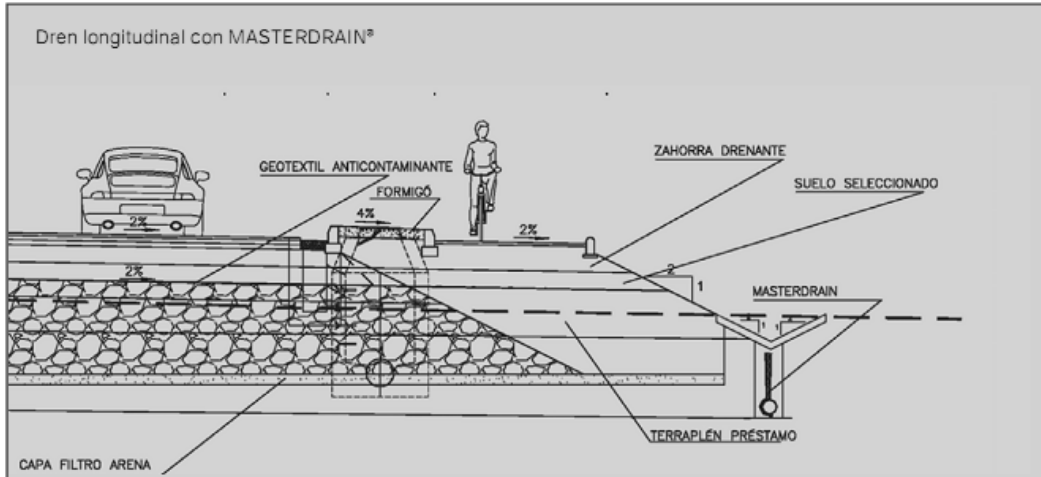
Para ello, simplemente se debe disponer de un geocompuesto adecuado, como por ejemplo el MASTERDRAIN® 8 PLUS o MASTERDRAIN® 15 PLUS en una zanja vertical (ver fig. 56). Una vez colocado el geocompuesto drenante se rellenará el espacio sobrante de la zanja con las mismas tierras procedentes de la excavación de la misma zanja.

**Figura 55. Drenaje longitudinal con drenaje francés**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 16

**Figura 56. Drenaje longitudinal con Geocompuesto MASTERDRAIN®**



Folleto: BASF, The Chemical Company, **Geocompuestos drenantes**, pág. 16

Los drenajes longitudinales pueden efectuarse sin necesidad del volumen de árido que requiere el modelo clásico.

La elección para el Geocompuesto adecuado dependerá de la profundidad de diseño a la que deberá drenar del geocompuesto y los caudales de diseño a derivar hasta el sistema de evacuación. En cualquier caso, la elevada Transmisividad hidráulica de los geocompuestos representa un gran activo para la sustitución del paquete de gravas por el geocompuesto drenante. Paralelamente la realización de drenes longitudinales con un geocompuesto adecuado implica un ahorro al no depender del precio del árido para la realización de los mismos.

### **3.2.7 Proyecto en Guatemala utilizando geocompuestos:**

#### **Estructura de Protección Hidráulica y Muro de Contención TerrameshGrid® GUATEMALA, RIO LAS ROSAS, QUETZALTENANGO**

Nombre del cliente: CONYMA

Constructor: CALSA.

Proyecto y consultaría: INGENIERIA TOAOL/MACGUA

Fecha de la obra:

Construcción: MAYO/2008

Finalización: ENERO/2009

#### **Problema**

Materiales limo arenosos sueltos, inestables; socavación en la base de los taludes provocado por el cauce del río, hacían crítica la construcción de una de las entradas principales a la ciudad de Quetzaltenango (ver fig. 57).

**Figura 57. Socavación en la base de los taludes provocado por el cauce del río**



Folleto: MACCAFERRI, **Case History, Guatemala, Rio Las Rosas Quetzaltenango**, pág. 1

## **Solución**

Construcción de una plataforma en Gaviones, protección mediante colchones y sobre esta plataforma de protección hidráulica, una estructura de suelo reforzado tipo TerrameshGrid, para habilitar el nuevo acceso a la ciudad.

Productos usados:

Gavión®: 2x1x1 ZN 2.7 mm; 1500m<sup>3</sup>

Terramesh system®: 2x1x4; 140 piezas

Terramesh system®: 2x0.5x4; 210 piezas

Colchón Reno®: 4x2x0.23; 74 piezas

Geogrilla MacGrid®: 200/5; 3100 m<sup>2</sup> y 150/5; 1100m<sup>2</sup>

MacDrain® 2L; 500m<sup>2</sup>

## **Enfoque:**

En este proyecto se involucraron distintas áreas de la ingeniería y sus aplicaciones, por lo cual se puede dar más de un enfoque, debido al tema del presente trabajo “DRENAJE Y PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS POR MEDIO DE GEOCOMPUESTOS”, el enfoque fue hecho en la parte de drenado del agua presente en el suelo, protegiendo de esta forma la estructura, ahora bien cabe mencionar que este proyecto tiene suficientes áreas para ser analizadas y evaluadas, tal es el caso del trabajo “SISTEMA DE TIERRA ARMADA CON GEOMALLA” el cual se enfoca en el Procedimiento de diseño y evaluación de estructuras existentes a base del armado con geomalla en sistemas de tierra.

A continuación se muestra el diseño para el drenaje vertical, el cual se colocó junto al talud, para lo cual se utilizó *MacDrain® 2L*, se muestra también la forma en la que se determinó la cantidad de material (500m<sup>2</sup>).

## **Drenaje vertical**

- Drenaje para un muro de contención con 7.00 m de altura ;
- Peso específico del suelo  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ;
- Flujo requerido  $q = 0,3 \text{ l/s.m}$  (DIN 4095)





De esta manera:

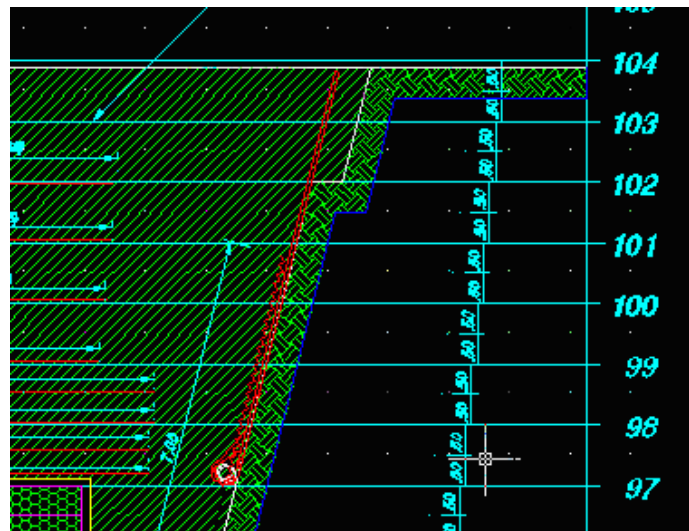
$$1.24 / 0,30 \approx 4.13 \text{ veces mayor que el flujo requerido}$$

Cuando el flujo requerido no es conocido, se puede utilizar lo recomendado por la Norma Alemana DIN 4095, que entre otras es la que exige mayor flujo requerido y desprecia la infiltración y el consumo por la vegetación.

Drenaje horizontal = 0,03 l/s.m

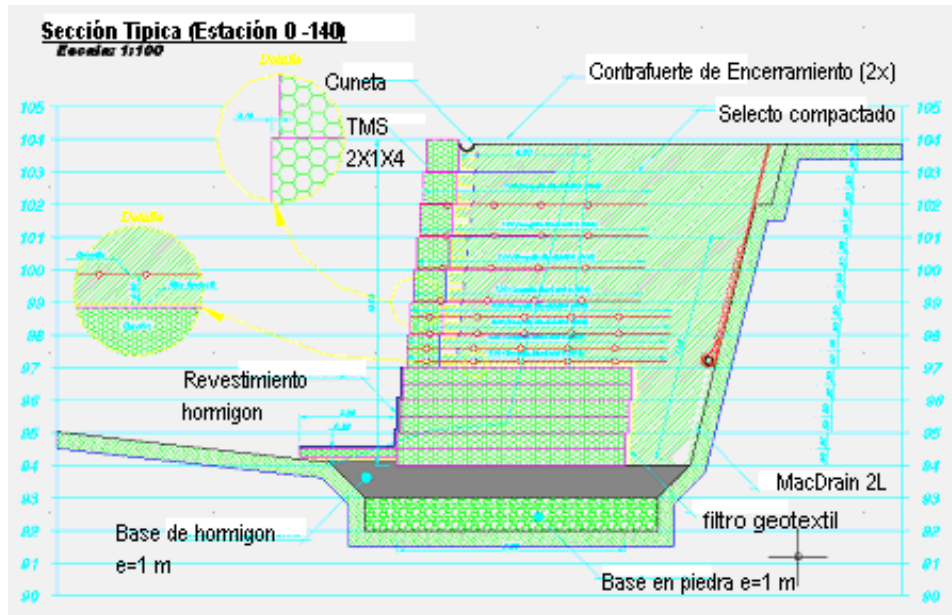
Drenaje vertical = 0,3 l/s.m

**Figura 58. Detalle del sistema de drenaje por medio de *MacDrain*® 2L**



Folleto: MACCAFERRI, Case History, Guatemala, Río Las Rosas, Quetzaltenango

**Figura 59. Detalle de la Sección Típica (Estación 0+140)**



Folleto: MACCAFERRI, **Case History, Guatemala, Rio Las Rosas, Quetzaltenango**, pág. 1

De la fig. 59 se puede ver que la altura a cubrir (de color rojo) es de aproximadamente 7.00m y la longitud de 70.00m por lo tanto se obtuvo  $(70m \times 7m) 490m^2$  lo cual aproxima a  $500m^2$  de geocompuesto *MacDrain® 2L*.

**Figura 60. Armado de gaviones**



Folleto: MACCAFERRI, **Case History, Guatemala, Rio Las Rosas, Quetzaltenango**, pág. 2

**Figura 61. Adaptación del drenaje principal**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, GUATEMALA, RIO LAS ROSAS, QUETZALTENANGO**, pág. 3

**Figura 62. Colocación del sistema interno drenante, por medio de Geotextiles**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, GUATEMALA, RIO LAS ROSAS, QUETZALTENANGO**, pág. 3

**Figura 63. Vista de la plataforma finalizada**



Folleto: MACCAFERRI, **CASE HISTORY, GUATEMALA, RIO LAS ROSAS, QUETZALTENANGO**, pág. 4

**Visita de campo:**

El día miércoles 18 de noviembre de 2009, se realizó una visita al lugar del proyecto ubicado en río Las Rosas, Quetzaltenango, Guatemala, al llegar al lugar se pudo constatar que este proyecto está funcionando de forma correcta, los pobladores del lugar manifestaron el beneficio que brindó el mismo, esto debido a que se recuperó gran parte del terreno que estaba siendo afectado por la gradación causada por el río, en la visita se logró constatar lo siguiente:

- ◆ El proyecto está reaccionando muy bien ante la agresividad del suelo y del agua. Fig. 64
- ◆ El proyecto está funcionando bien ante los agentes atmosféricos. Fig. 64

- ◆ El muro de contención no ha sido afectado por acciones mecánicas generadas por los esfuerzos de compactación del suelo. Fig. 65
- ◆ El proyecto no a sido afectado por Acciones de animales o vandalismo. Fig. 64,66
- ◆ El sistema de drenado por medio de geocompuestos esta funcionando de forma adecuada, es decir eliminando la presión hidrostática en el talud natural. Fig. 64

En dicha visita se tomaron las siguientes fotografías:

**Figura 64. Vista de la plataforma funcionando, noviembre 2009**





**Figura 65. Vista del drenaje transversal.**



**Figura 65. Vista de gaviones y Geotextil**



**Figura 66. Vista del muro opuesto al evaluado.**





## CONCLUSIONES

1. El principal papel de los geocompuestos es el de eliminar la presión hidrostática, que crea empuje sobre la estructura enterrada, gracias a su capacidad drenante, evacuando de esta forma el agua del suelo.
2. El conjunto de cargas determinarán la capacidad de drenaje del geocompuesto y se deberá evaluar qué geocompuesto es el idóneo atendiendo al diseño y requerimientos de la obra.
3. A diferencia de los sistemas tradicionales, los sistemas de drenado por medio de geocompuestos garantizan un filtrado permanente del agua procedente del terreno, asegurando la funcionalidad del sistema de drenaje en su conjunto, evitando la pérdida de finos del sistema de evacuación de agua.
4. Los sistemas de drenado por medio de geocompuestos se deforman con la presión de las tierras que la comprimen, en cuanto se ejercen presiones sobre las láminas, éstas se deforman en mayor o menor grado.

5. A mayor profundidad de soterramiento mayores presiones y en consecuencia, la capacidad drenante del geocompuesto será menor, puesto que con la presión de tierras el geocompuesto pierde espesor, y con ello sección drenante.
6. En el drenaje horizontal, el sistema de geocompuestos, una vez colocado, presenta una capacidad de flujo mayor a aquella utilizada tradicionalmente, conocida como colchón de grava, por lo tanto el drenaje construido con el sistema de geocompuestos, cumple con todas las exigencias técnicas y condiciones locales, substituyendo con eficiencia al sistema de drenaje.
7. La eficiencia, la facilidad y rapidez de ejecución, hacen de los sistemas de geocompuestos una solución en sistemas de drenaje, significando para la obra un enorme ahorro en tiempo y costos indirectos.
8. Para la construcción de obras en contacto con la capa freática, es necesario rebajar y alejar las aguas de la misma, proporcionando los sistemas de drenaje a base de geocompuestos una solución sencilla y factible, logrando la depresión de la capa freática a niveles previamente determinados.
9. La disminución del espesor de un geosintético implica una disminución de su transmisividad.

10. El proyecto realizado en Guatemala, Quetzaltenango, río Las Rosas, es una muestra de las diversas aplicaciones de los Geocompuestos.
11. El proyecto realizado en Guatemala, Quetzaltenango, río Las Rosas, muestra la facilidad en la instalación de un sistema a base de Geocompuestos.
12. El proyecto realizado en Guatemala, Quetzaltenango, río Las Rosas, muestra una de las muchas combinaciones de materiales en las que se pueden emplear los sistemas de Geocompuestos.
13. El tiempo empleado para la realización del proyecto Guatemala, Quetzaltenango, río Las Rosas, es muestra de lo eficiente que resultan los sistemas de Geocompuestos.



## RECOMENDACIONES

1. Considerar la diferencia entre la capacidad de flujo del producto, medida en laboratorio, y la capacidad de flujo a largo plazo en el suelo.
2. Para la correcta elección del geocompuesto de drenaje se deberá considerar la carga a la que estará sometida el geocompuesto. La carga sobre el geocompuesto drenante será función del espesor de recubrimiento de tierras, del peso específico de las mismas y de las cargas puntuales que se ejecutarán en superficie.
3. Incluir dentro del Programa del curso Mecánica de suelos de la Carrera de Ingeniería Civil, el tema de los geocompuestos y sus aplicaciones, ya que, en la actualidad los beneficios técnico económicos son excelentes y es una tecnología amigable con el medio ambiente.
4. Instar a los proveedores de sistemas de drenaje a base de geocompuestos, para la implementación de campañas publicitarias, a fin de dar a conocer las aplicaciones de dichos sistemas, tanto a profesionales como a estudiantes.

5. Motivar a los consultores o proyectistas del país a implementar el uso de sistemas de drenaje, por medio de geocompuestos en los diseños de edificaciones y obras de ingeniería civil, para así, obtener mejores resultados a largo plazo con un costo menor.
  
6. Proponer la verificación, mediante ensayos de laboratorio, de las propiedades de los geocompuestos y su correspondiente rendimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Adensamiento y consolidación de suelo blando.** Folleto Maccaferri. Centro América.
2. **Case history, Guatemala, río las rosas, Quetzaltenango,** Folleto: MACCAFERRI, Guatemala.
3. **Case history, dreaje horizontal en business park panama,** Folleto: MACCAFERRI, CIUDAD PANAMÁ.
4. Crespo Villalaz, Carlos. **Mecánica de suelos y cimentaciones** (Quinta Edición, México, Editorial Limusa)
5. **Drenaje componentes y sus funciones.** Folleto Maccaferri, Centro América.
6. **Drenajes subsuperficiales.** Folleto Maccaferri, Brasil.
7. **Geocompuestos drenantes.** Folleto The Chemical Company, BASF. España
8. **Informe Técnico, MacDrain® en drenaje horizontal,** Folleto MACCAFERRI, Centro América.
9. Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. **Mecánica de Suelos.** (Tomos 1 y 2, México, Editorial Limusa)

10. **Relación a largo plazo entre la capacidad de flujo y el espesor,**  
Folleto: Ruta técnica División de Geosintéticos de Compasan. Centro América.
  
11. **Soluciones ambientales,** Folleto Maccaferri. Centro América.



## **ANEXO**

### **◆ Especificación para MacDrain® 2L**