

# Geocompuestos de drenaje de alta resistencia a compresión

JOAQUIM CASTELO NOLLA (\*) y JORGE GUTIÉRREZ CUEVAS (\*\*)

**RESUMEN** Actualmente existen en el mercado diversas tipologías de geocompuestos de drenaje que pueden ser clasificadas según su estructura de la siguiente manera: alveolares, monofilamentos, georredes y aquellos formados por la combinación de un geotextil no tejido con una serie de mini-conductos. Cada una de estas tipologías tiene su propio abanico de resistencias a compresión. Existen aplicaciones, como los vasos nuevos de vertederos y minas o las carreteras y ferrocarriles que se construyen sobre grandes terraplenes, donde la presión que se ejerce sobre el geocompuesto supera la resistencia a la compresión de la mayoría de estas tipologías. Para todas estas aplicaciones se debe asegurar que, además de proporcionar una capacidad de drenaje adecuada, la tipología de geocompuesto elegida sea capaz de resistir, sin colapsar y garantizando un adecuado factor de seguridad frente a las cargas a las que va a estar sometido. Este artículo expone que, actualmente, la única tipología de geocompuestos de drenaje capaz de soportar estas cargas, manteniendo sus propiedades de drenaje, son las georredes tri-planares de PEAD.

## HIGH COMPRESSIVE RESISTANCE DRAINAGE GEOCOMPOSITES

**ABSTRACT** *There are several typologies of drainage geocomposites available in the market which can be classified according to their structure as: cusped, monofilaments, geonets and those products formed by the combination of a draining blanket with a series of mini-pipes. Each one of them has its own range of compressive resistances. There are applications, such as are the new cells of landfills or mines and roads or railways over large embankments, where the pressure exerted on the geocomposite exceeds the compressive resistance of the majority of these typologies. For all this applications, besides providing an adequate flow capacity, it must be ensured that the chosen typology is able to withstand the required loadings without collapsing and guaranteeing an adequate factor of safety. This article will expose that, currently, the only typology of drainage geocomposites that can bear these loadings while maintaining its drainage properties is the tri-planar geonet.*

**Palabras clave:** Geocompuesto, Drenaje, Geored, Compresión, Vertederos, Minas.

**Keywords:** Geocomposite, Drainage, Geonet, Compressive resistance, Landfills, Mines.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los geocompuestos de drenaje se utilizan de manera habitual en obra civil, edificación, minería, vertederos, paisajismo y cualquier tipo de construcción o estructura que requiera una gestión adecuada del fluido a evacuar (agua, gas, lixiviados,...).

Entre todas las aplicaciones posibles para los geocompuestos de drenaje están aquellas donde el producto está sometido a altas cargas. Este es el caso de los drenajes horizontales en aeropuertos, carreteras, ferrocarriles y tranvías, los drenajes bajo altos terraplenes, las balsas y pads en la industria minera o las nuevas celdas para vertederos.

Los requisitos técnicos para los geocompuestos drenantes en estas aplicaciones no deberían limitarse a su valor más utilizado, la capacidad de drenaje, sino que deberían tener también en cuenta la resistencia a compresión del geocompuesto para asegurar su correcto funcionamiento bajo tales cargas.

Hay muchos tipos de geocompuestos drenantes en el mercado, pero no todos pueden ser utilizados para este tipo de aplicaciones.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LOS GEOCOMPUESTOS DE DRENAJE

Los geocompuestos drenantes pueden ser clasificados según su geometría o configuración estructural, su espesor, su materia prima, su capacidad de flujo a corto plazo, su comportamiento a fluencia o cualquier otra consideración dependiendo de la necesidad del estudio o proyecto.

Para abordar el objetivo de este artículo, que consiste en explicar qué tipología funciona mejor bajo presiones elevadas, los geocompuestos se clasificarán según su geometría y

(\*) Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos . Product & Export Area Manager Geosynthetics. Intermas Nets, Barcelona, España. E-mail: jcastelo@intermasgroup.com

(\*\*) Ingeniero de Minas. Manager Iberia y Latinoamérica Geosynthetics. Intermas Nets, Barcelona, España. E-mail: jgutierrez@intermasgroup.com

configuración estructural (lo cual determina su resistencia a la compresión). Las diferentes tipologías son: alveolares (Figura 1), monofilamentos (Figura 2), georredes (Figuras 3 y 4) y aquellos formados por la combinación de un geotextil no tejido con una serie de mini-conductos que recogen el fluido (Figura 5).

Cada una de estas tipologías tiene su propia gama de resistencias a compresión dependiendo de su estructura, geometría, proceso de fabricación específico de cada fabricante, etc. Sin embargo, podemos presentar valores que, de forma genérica, marcan las resistencias a la compresión máximas que se pueden encontrar habitualmente en el mercado para cada una de estas estructuras.

Hay que aclarar que el objetivo de este estudio no es ensayar o juzgar productos específicos o las resistencias a la compresión máximas exactas de cualquier fabricante en concreto. Los valores presentados pretenden simplemente dar una idea general de los diferentes productos que se pueden encontrar en el mercado junto con su rango de resistencias al aplastamiento más común para cada tipo (Tabla 1).

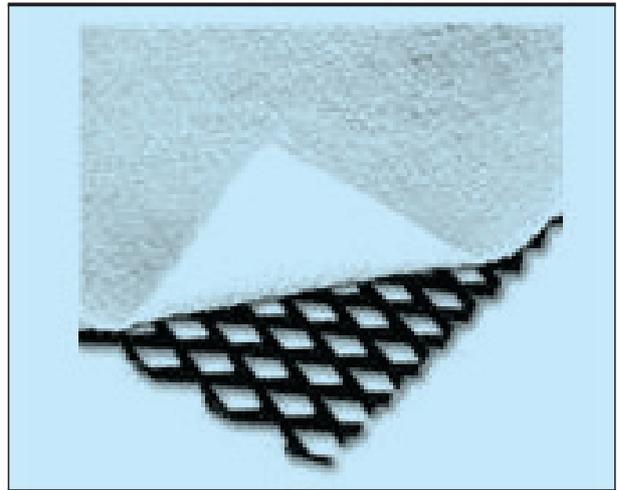


FIGURA 3. Georred Bi-planar.

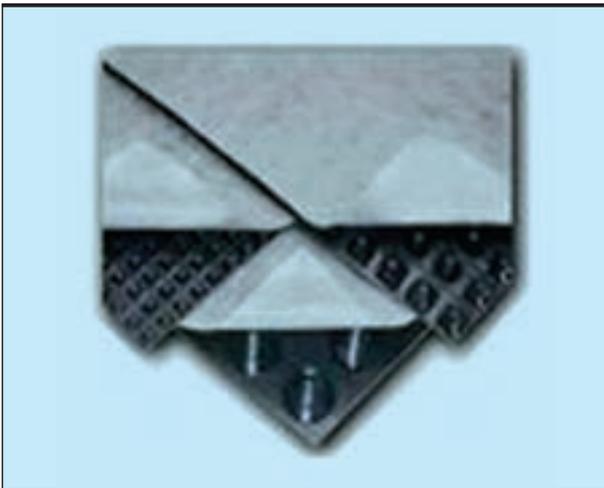


FIGURA 1. Alveolares.

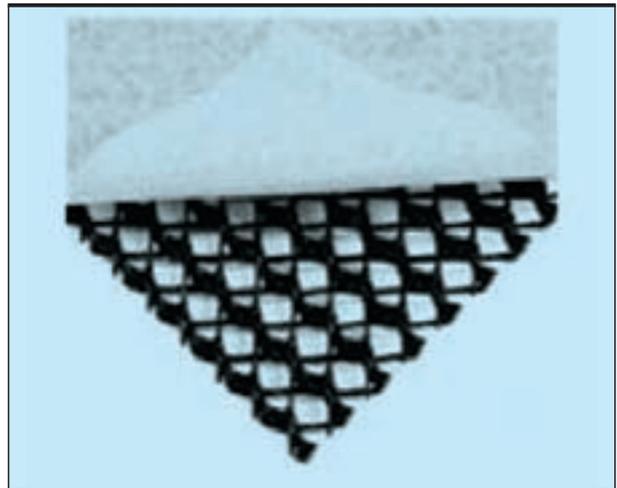


FIGURA 4. Georred Tri-planar.

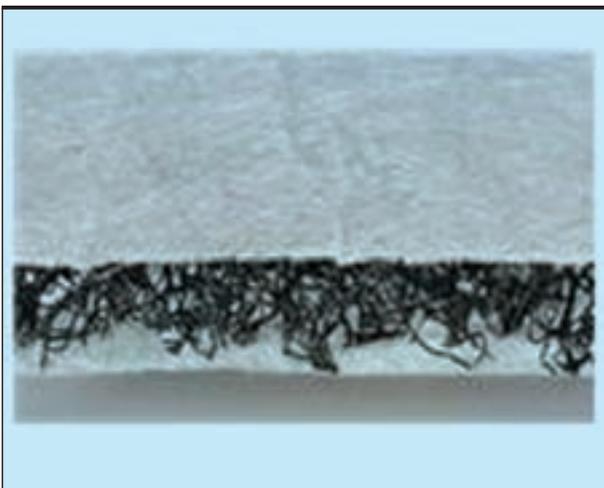


FIGURA 2. Monofilamentos.



FIGURA 5. Combinación manta drenante con mini-conductos.

Clasificación		Polímero núcleo drenante	Resistencia a compresión
			kPa
Alveolares	Simples	PEAD	125 – 400*
Monofilamentos	Dobles	PEAD	125 – 400*
	Filamentos maraña	PP	100 – 250
	Filamentos zig-zag	PP	150 – 400
Georredes	Bi-planar	PEAD	600 – 850
	Tri-planar	PEAD	1.200 – 2.000
Combinación manta drenante con mini-conductos		PP geotextil + PEAD tubos	400 – 700

\* Productos específicos pueden alcanzar valores de 700 kPa

TABLA 1. Clasificación de los geocompuestos de drenaje según su configuración.

### 3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión de los geocompuestos drenantes se evalúa según los procedimientos establecidos en las normas UNE EN ISO 604 o ASTM D 6364. La resistencia al aplastamiento se define a través del punto de inflexión en un gráfico tensión-deformación (Figura 6).

La mayoría de los geocompuestos de drenaje colapsan bajo un esfuerzo creciente. Por otra parte, los hilos de las georredes bi-planares tienden a tumbarse debido a que su sistema de hilos paralelos no son exactamente perpendiculares entre sí en los puntos de unión; aunque cabe destacar que todavía son capaces de drenar más allá de este punto (Koerner, 2012). Las georredes tri-planares no muestran ningún punto de inflexión gracias a la combinación de un hilo central más grueso y perpendicular a la tensión normal.

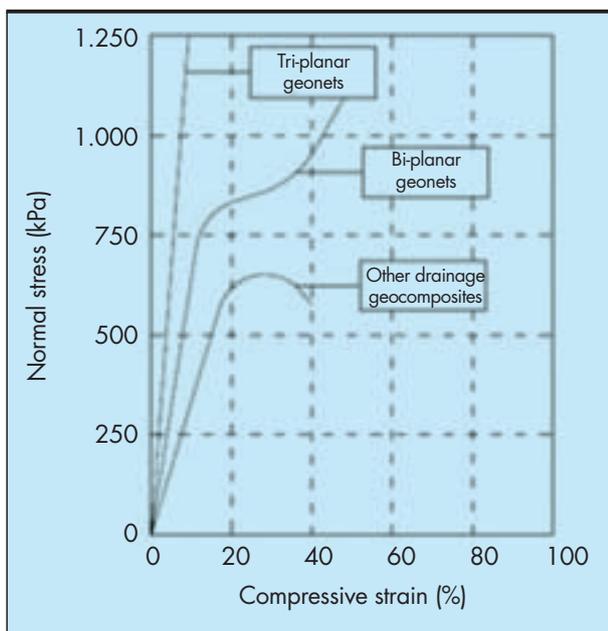


FIGURA 6. Resultados conceptuales de un ensayo de compresión para distintos tipos de geocompuestos de drenaje.

Una cuestión importante a considerar es que estos ensayos sólo pueden mostrar la resistencia a la compresión a corto plazo. Para poder establecer el comportamiento a largo plazo de un geocompuesto de drenaje debemos considerar también su fluencia. La fluencia, según la resistencia de materiales, es la tendencia que un material sólido tiene a deformarse lenta y permanentemente como resultado de una exposición, a largo plazo, a carga elevadas que se encuentran por debajo de su resistencia a compresión (Smith, 1993). El apartado 5 dará más información sobre este tema en relación con las georredes.

### 4. APLICACIONES QUE REQUIEREN DE ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Los geocompuestos de drenaje se instalan como zonas de alto flujo hidráulico bajo capas de terreno compactado, asfalto, etc. Por lo tanto, siempre existirá una carga permanente ( $\sigma_{DL}$ ) sobre el geocompuesto que es la suma del peso específico de cada una de las capas sobre él ( $\gamma_i$ ) multiplicada por el espesor de cada capa ( $h_i$ ), (Ecuación 1):

$$\sigma_{DL} = \sum_i \gamma_i \cdot h_i \quad (1)$$

Y, por supuesto, también habrá cargas variables ( $\sigma_{LL}$ ), como el tráfico en las carreteras y sobrecargas en la fase de construcción ( $\sigma_{CLL}$ ). Es evidente que, al haber capas de terreno compactado sobre el geocompuesto, los equipos de construcción y compactación tendrán que circular directa o indirectamente sobre estos geosintéticos. Estas sobrecargas de construcción fácilmente pueden alcanzar valores de 500 kPa. Recordando los valores indicados en la tabla 1, este hecho por sí solo, elimina la posibilidad de utilizar varios de los geocompuestos descritos en muchas aplicaciones de drenaje horizontal porque, aunque sean capaces de soportar las cargas de servicio, no son capaces de resistir las cargas de construcción.

Independientemente de esto, existen aplicaciones donde un geocompuesto de drenaje debe soportar sobrecargas permanentes y variables que sobrepasan los valores de las aplicaciones más habituales. Podemos exponer como ejemplos:

- Drenaje horizontal en aeropuertos. Según sea la ubicación del aeropuerto deberá existir un drenaje bajo las pistas de aterrizaje que estará expuesto a las cargas dinámicas del aterrizaje de los aviones. En este caso las sobrecargas variables serán las limitantes.



FIGURA 7. Muro verde formado por un terraplén reforzado de 30 m de altura en Bilbao, España.

- Drenaje horizontal bajo grandes terraplenes (Figura 7). En esta aplicación, las sobrecargas limitantes serán las permanentes. El geocompuesto “no se ve afectado” por la carretera, el ferrocarril o el área industrial en la parte superior del terraplén. El peso del terraplén por sí mismo, exige de una alta resistencia a la compresión. Como ejemplo, un terraplén de 30 m de altura, construido a partir de la compactación de un terreno de 20 kN/m<sup>3</sup>, sin ninguna carga en la parte superior, ejerce una sobrecarga permanente de 600 kPa sobre el geocompuesto de drenaje.
- Nuevas celdas para vertederos.
- Balsas de decantación y pads de lixiviación en la industria minera.

Estas dos últimas aplicaciones son muy similares a los drenajes bajo grandes terraplenes. En las nuevas celdas en vertederos, pads y balsas de decantación, el geocompuesto de drenaje se instala sobre (o entre) los geocompuestos de impermeabilización (GCL, GM o combinación de ambas) y una gran carga de mineral o residuos se coloca sobre estos geocompuestos. Estas cargas pueden llegar fácilmente a sobrepasar los 700 kPa. La función principal de un geocompuesto drenante en estas aplicaciones es la de recoger los lixiviados para evitar su contacto con el medio ambiente.

En todas estas aplicaciones, además de proporcionar una capacidad de flujo adecuado, es necesario asegurar que el geocompuesto elegido será capaz de soportar, sin colapsar y garantizando un factor de seguridad adecuado, las cargas a las que estará sometido durante la vida útil de la obra.

## 5. METODOLOGÍA DE DISEÑO

La capacidad de drenaje a corto plazo de un geocompuesto debe obtenerse a través de ensayos de laboratorio. Éstos se realizan con una máquina de transmisividad según las normas ISO 12958 o ASTM D 4716. La razón por la que nos referimos a esta capacidad de flujo como “a corto plazo” es la duración del ensayo, muy limitada en comparación con la vida útil de los geosintéticos (generalmente décadas). La duración del ensayo es de 100 horas, en caso de no considerar en el diseño el factor de reducción por intrusión (GRI GC8, 2001), o de varios minutos si se utiliza este factor de reducción.

La capacidad de flujo a largo plazo ( $q_{long-term}$ ) se obtiene reduciendo la capacidad de flujo del ensayo a corto plazo ( $q_{test}$ )

mediante diversos factores reductores según la ecuación 2 (Koerner, 2012).

$$q_{Long-term} = \frac{q_{test}}{RF_{in} \cdot RF_{cr} \cdot RF_{bc} \cdot RF_{cc}} \quad (2)$$

Esta metodología considera cuatro factores de reducción: intrusión de los geosintéticos adyacentes en el núcleo de la georred ( $RF_{in}$ ), fluencia tanto de la georred como de los geosintéticos adyacentes ( $RF_{cr}$ ), colmatación química o precipitación de sustancias químicas en núcleo de la georred ( $RF_{cc}$ ) y colmatación biológica en el núcleo de la georred ( $RF_{bc}$ ). Como se indica en la sección 3, la fluencia es un factor clave a considerar en el diseño, por lo que deberían realizarse ensayos de fluencia para obtener el factor reductor específico para cada georred (Giraud *et al.*, 2000).

Las georredes bi-planares están formadas por dos hilos que se cruzan entre sí en diferentes ángulos y separaciones (Figura 3), mientras que las georredes tri-planares tienen hilos centrales paralelos con hilos estructurales más pequeños por encima y por debajo que proporcionan estabilidad estructural (Figura 4). La configuración única de las georredes tri-planares les permite, no sólo tener mayor resistencia a la compresión y mejor comportamiento a fluencia, sino también presentar menor reducción por intrusión incluso a presiones de más de 700 kPa (Zaho y Montanelli, 1999).

Una vez definido el drenaje a largo plazo y seleccionado el geocompuesto adecuado para el mismo, debemos verificar que este geosintético será capaz de soportar las sollicitaciones mecánicas a las que se verá sometido durante su vida útil (incluyendo el proceso de instalación tal como se ha explicado en la sección 4).

Como recomendación, un factor de seguridad adecuado para cargas a compresión debe ser mayor o igual a 2,5 (que sería equivalente a considerar un coeficiente de mayoración de las cargas de 1,4 y un coeficiente de minoración para la resistencia a compresión de 1,8, según la metodología Load and Resistance Factor Design ampliamente utilizada en la ingeniería de estructuras). Este factor puede ser menor durante la fase de instalación ya que no se trata de una situación permanente.

Volvamos ahora al ejemplo de la sección 4: un terraplén de 30 m de altura, construido con la compactación de un suelo de 20 kN/m<sup>3</sup>, sin cargas en la parte superior. Según la ecuación 1, la presión sobre el geocompuesto drenante es de 600 kPa. Teniendo en cuenta el factor de seguridad recomendado de 2,5, el geocompuesto adecuado para esta aplicación debe tener una resistencia a la compresión mayor o igual a 1.500 kPa. Según la Tabla 1 sólo una georred triplanar es capaz de soportar este tipo de carga.

## 6. APLICACIONES REALES DE GEOCOMPUESTOS DE ALTA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

### 6.1. DEPÓSITO PARA RESIDUOS QUÍMICOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO EBRO EN FLIX (ESPAÑA)

En el río Ebro, junto al embalse de Flix, se hallaba un vertido incontrolado de residuos químicos provenientes de operaciones mineras (Figura 8). Debido al evidente daño que esto podía ocasionar sobre el medio ambiente, la Administración decidió llevar a cabo un plan de descontaminación de la zona. Para ello, se diseñó un gran vertedero controlado para poder extraer todos los residuos mineros del río y almacenarlos de forma segura.

Según la normativa para residuos químicos de la UE (1999/31/CE), se diseñaron varias capas de drenaje (con un total de 8 capas de residuos de alta densidad, Figura 9, con un espesor de 3,5 m por capa). El diseño también contemplaba dos capas impermeabilización (principal y secundaria o de se-



**FIGURA 8.** Embalse de Flix. Cabe destacar la barrera que impide la propagación de los residuos químicos.



**FIGURA 10.** Nueva celda para vertedero en Bélgica.

guridad) en la parte inferior de la celda de vertido, con una capa de drenaje para detección de fugas entre ambas. Todas estas capas de drenaje han sido construidas empleando geocompuestos de drenaje que recogen los lixiviados generados para, posteriormente, poder tratarlos adecuadamente.

La presión sobre el geocompuesto de drenaje supera los 600 kPa por lo que se requiere de una georred triplanar de PEAD de 7mm de espesor de alta resistencia a la compresión. Esta georred tri-planar tiene laminado por una de sus caras un geotextil de 200 g/m<sup>2</sup> y otro geotextil resistente a las radiaciones Ultra Violeta, también de 200 g/m<sup>2</sup>, en la cara expuesta a la intemperie. Se instalaron más de 150.000 m<sup>2</sup> de este producto en 2012.

### 6.2. VASO NUEVO DE VERTEDERO. INDAVER (BÉLGICA)

La necesidad de crear una nueva celda para un vertedero en Bélgica, con una altura total de 44 m de residuos con un peso específico de 16 kN/m<sup>3</sup>, requirió de un geocompuesto drenante para la recogida de los lixiviados con una resistencia a la compresión aproximada de 700 kPa.

Los proyectistas seleccionaron una georred triplanar de PEAD de 5mm con alta resistencia compresión, laminada por termofusión con dos geotextiles de PP de 120 g/m<sup>2</sup>.

En el año 2011 se instalaron 40.000 m<sup>2</sup> de este producto con el propósito de recoger los lixiviados tanto en los taludes y como en la base de la nueva celda del vertedero en el que, en el punto de carga máxima, el producto fue instalado con una pendiente del 2%, asegurando un correcto funcionamiento.



**FIGURA 9.** Residuos químicos de alta densidad.

La vida útil para la que se diseñó esta celda es de 20 años lo que implica la necesidad de un buen comportamiento a fluencia, como el ofrecido por las georredes tri-planares, para poder garantizar un rendimiento óptimo a largo plazo.

Una particularidad de este proyecto es que dicha celda de vertido no fue excavada en el terreno, sino que fue construida como una “montaña artificial” (Figura 10).

### 6.3. Balsa de DECANTACIÓN EN LA MINA DE KANMANTOO, AUSTRALIA

Kanmantoo es una mina de oro y cobre ubicada en Adelaide, Australia (Figura 11). Para asegurar una extracción minera adecuada medio ambientalmente fue necesaria la construcción de una nueva balsa de decantación.

El depósito tiene una altura aproximada de 40 m. Considerando, de manera conservadora, una densidad de 10 kN/m<sup>3</sup> para el agua con minerales en suspensión, la presión sobre la capa de geocompuestos de drenaje instalado es de 400 kPa.

Se instaló una georred tri-planar de PEAD de 5 mm tanto para el drenaje principal de recogida de lixiviados como para el sistema de detección de fugas debido a la gran importancia que los proyectistas dieron a comportamiento mecánico del geocompuesto, especialmente la resistencia a la compresión y fluencia.

En 2011, se instalaron más de 150.000 m<sup>2</sup> de este geocompuesto de drenaje tri-planar como sistema para detección de fugas y más de 140.000 m<sup>2</sup> como drenaje principal para lixiviados (Figura 12).



**FIGURA 11.** Construcción balsa de decantación en la mina de Kanmantoo, situada en las colinas de Adelaide a 25 km de monte Baker, Australia.



FIGURA 12. Instalación del sistema de drenaje para lixiviados en la mina de Kanmantoo, Australia.



FIGURA 14. Construcción del aeropuerto en Komo.

#### 6.4. PLATAFORMA PARA AEROPUERTO EN PAPÚA NUEVA GUINEA

Una de las mayores compañías petroleras del mundo está construyendo actualmente una gran planta de Gas Natural Licuado (inversión de 15.700 millones de dólares) en la zona de los Hides, en Papúa Nueva Guinea (Figura 13).

En primera instancia se pensó en construir una carretera para acceder a la planta, pero esto se tornó inviable dada la enorme distancia y los costes de mantenimiento asociados. Finalmente los proyectistas decidieron construir un aeropuerto en Komo para su nueva planta (Figura 14).

Debido a la ubicación remota de la planta (en los Hides de Papúa Nueva Guinea) no se disponía de suficiente cantidad de material granular de calidad para construir la capa de drenaje del aeropuerto. Por este motivo, los proyectistas se decidieron por una georred tri-planar de PEAD de 5mm con dos geotextiles de 120 g/m<sup>2</sup> de PP termosoldados a ella. La superficie drenada en el aeropuerto de Komo es de 260.000 m<sup>2</sup>.

No hace necesario explicar que lo que los proyectistas buscaban en este caso era un geocompuesto especial con un excelente comportamiento a fluencia y con alta resistencia a la compresión, que fuera capaz de soportar las cargas dinámicas que los aviones ejercen durante el despegue y el aterrizaje.

#### 7. CONCLUSIONES

Existen ciertas aplicaciones que implican altos requerimientos de resistencia a la compresión, tales como: el drenaje horizontal en aeropuertos, carreteras, ferrocarriles y



FIGURA 13. Esquema general de la planta de Gas Natural Licuado en Papúa Nueva Guinea.

tranvías, el drenaje bajo grandes terraplenes, las balsas de decantación y pads de lixiviación en la industria minera, así como la construcción de nuevas celdas para vertederos.

No todos los geocompuestos de drenaje existentes en el mercado son adecuados para estas aplicaciones, ya que el diseño estructural de cada uno de ellos limita su resistencia a la compresión. De hecho, sólo los geocompuestos basados en georredes tri-planares de PEAD pueden garantizar un funcionamiento adecuado a largo plazo bajo tales condiciones.

Los geocompuestos tri-planares han sido extensamente utilizados en los últimos años en todo el mundo para estas aplicaciones, mostrando que no tan sólo son justificables técnicamente, sino que también la experiencia apoya su uso.

Los ingenieros que trabajan con geosintéticos en estas tipologías de proyectos no deberían limitarse a asegurar que la capacidad de drenaje sea la adecuada, sino que también deberían tener en cuenta su resistencia a la compresión de manera que puedan asegurar su correcto funcionamiento a largo plazo bajo tales condiciones de carga.

#### 8. REFERENCIAS

- ASTM D4716, 2008. Standard Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head.
- ASTM D6364, 2011. Standard Test Method for Determining Short-Term Compression Behavior of Geosynthetics.
- Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.
- Giroud, J. P., Zhao, A., and Richardson, G. N., 2000. Effect of Thickness reduction on Geosynthetic Hydraulic Transmissivity. Geosynthetic International, Vol.7 Nos. 4-5, pp.
- GRI Standard GC8, 2008. Standard Guide for Determination of the Allowable Flow Rate of a Drainage Geocomposite. Geosynthetic Institute.
- UNE EN ISO 604, 2002. Plastics - Determination of compressive properties.
- UNE EN ISO 12958, 2010. Geotextiles and geotextilerelated products — Determination of water flow capacity in their plane.
- Koerner, R. M., 2012. Designing with geosynthetics. 6th Edition.
- Smith, W. F., 1993. Foundations of materials science and engineering. 2nd Edition. McGraw-Hill Book Co.
- Zaho, A. and Montanelli, F., 1999. Effect of Soil Presence on Flow Capacity of Drainage Geocomposites under High Normal Loads. Proc. of Geosynthetics'99, Boston, Vol. 2, pp. 799-812.