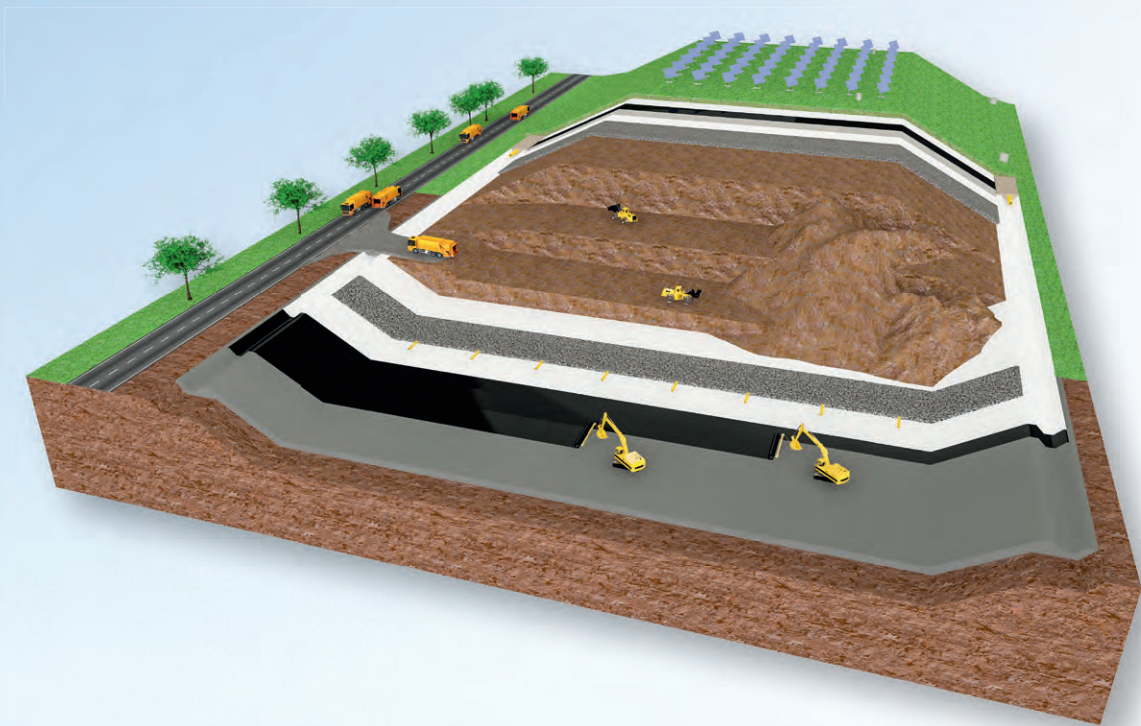


# Ingeniería de RELLENOS SANITARIOS





# INGENIERÍA DE RELLENOS SANITARIOS

Historia	3
Regulaciones	4
Funciones	5
Revestimiento de Base	8
Sistema Intermedio	10
Recubrimiento para Relleno Sanitario - Barreras	11
Recubrimiento para Relleno Sanitario - Funciones	13
Remediación y Reurbanización de Sitios Contaminados	14
Control de Calidad	16
Productos	17

# HISTORIA

Hace cincuenta años, el flujo de residuos era bastante diferente. Los orgánicos se reciclaban o incineraban en su mayoría. Los embalajes estaban hechos de madera o de papel. Los plásticos aún eran en gran parte desconocidos. En aquella época, tanto en el mundo como en Alemania, donde nacieron los geosintéticos de NAUE, no se había establecido una legislación sobre residuos y residuos, por lo que las prácticas de eliminación fueron determinadas por los órganos administrativos básicos. Los municipios se preocupaban más por la apariencia de una práctica adecuada. Sin embargo, el auge industrial de los años 60 creó un aumento sin precedentes en el volumen de los residuos que necesitan ser gestionados. La necesidad de un sistema de eliminación formal, estandarizado y diseñado ya no podía ignorarse.

La experiencia en Alemania es representativa de cómo han surgido en todo el mundo las regulaciones para el manejo de residuos. Se han creado reglas más estrictas para responder al desafío ambiental presentado por el aumento del volumen y la naturaleza cambiante de las corrientes de residuos.

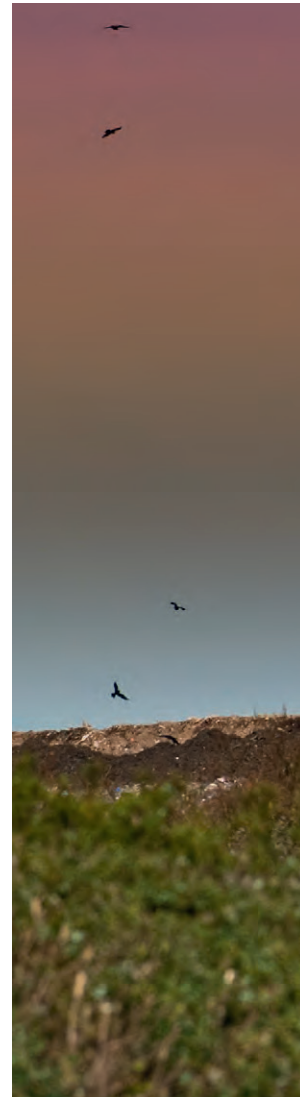
Otro factor común en todo el mundo ha sido la incorporación de geosintéticos como opciones o componentes necesarios para la ingeniería de los sistemas de rellenos sanitarios o vertederos.

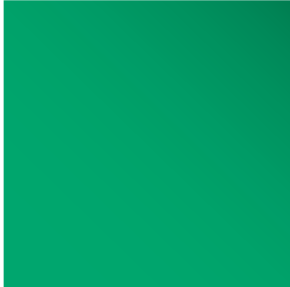
En Alemania, el avance hacia las protecciones con geosintéticos comenzó con la aprobación, en 1972, de las primeras normas reales del país para el manejo de residuos. Estas proporcionaban las protecciones mínimas obligatorias para el medio ambiente y las responsabilidades básicas sobre cómo se debe manejar la corriente de residuos. Se necesitaba cerrar los viejos "vertederos".

En los Estados Unidos, el manejo de residuos comenzó a cambiar sustancialmente con la aprobación de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) en 1976. El código RCRA Subtítulo D se refería a los residuos sólidos municipales, y para principios de la década de los 80, la Agencia de Protección Ambiental de ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (EPA) avanzaba al Subtítulo D para exigir el uso de revestimientos geosintéticos para la protección de largo plazo de los suelos y aguas subterráneas debajo de rellenos sanitarios y vertederos. Independientemente de la región global, en última instancia las regulaciones sobre residuos solo pueden proporcionar un marco para la gestión de los residuos, precisamente porque los tipos de residuos que se recogen cambian, al igual que las tecnologías y la innovación en los sistemas de contención de residuos. Los productos utilizados para proporcionar la protección esencial deben, posteriormente, ser cualificados mediante procesos estandarizados para garantizar la idoneidad y la seguridad del estado de las prácticas.

Los geosintéticos se han destacado no solo en el desempeño en los rellenos sanitarios sino también en su posibilidad para estandarizar pruebas y recopilación de datos que pueden replicarse.

NAUE ha suministrado geosintéticos para estos proyectos modernos de rellenos sanitarios más estrictos desde 1989. Los productos clave han incluido geomembranas Carbofol®, revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix®, productos compuestos para drenaje Secudrain®, geotextiles no tejidos Secutex®, geomallas Secugrid® y Combigrid®, y Secumat® para el control de erosión.





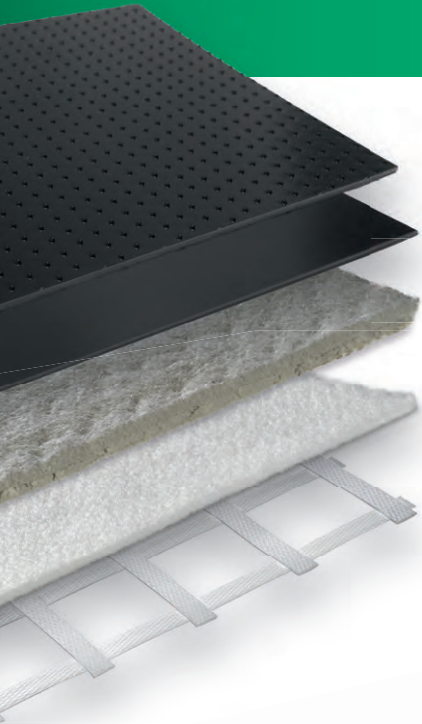
Estos materiales de alta ingeniería proporcionan una estabilidad de largo plazo eficiente y rentable a rellenos sanitarios y aplicaciones de sitios contaminados.

En este enfoque moderno de manejo de residuos, los geosintéticos brindan ventajas significativas, como ahorro de tiempo y costo en la construcción, mayor espacio para el enterramiento de los residuos, mejor desempeño ambiental, vidas útiles de servicio superiores a 100 años y una mejor huella de carbono.

Los geosintéticos de NAUE, respaldados por aprobaciones independientes y evaluaciones de idoneidad, están diseñados para cumplir con todos los requisitos estrictos y objetivos ambiciosos de la gestión de residuos y de los sectores afiliados para la remediación de zonas industriales abandonadas.



# REGULACIONES



Agencias reguladoras de todo el mundo han aceptado los geosintéticos durante mucho tiempo como una solución de diseño alternativa o han exigido directamente su utilización en ciertas aplicaciones. El sector de gestión de residuos se ha beneficiado más que cualquier otro sector, con el requisito de utilizar geosintéticos en los sistemas de cierre y contención de residuos sólidos municipales.

Europa, Alemania y los Estados Unidos brindan casos ejemplares para la incorporación de geosintéticos en las reglamentaciones ambientales para evitar o reducir al máximo cualquier impacto negativo por contaminación de aguas superficiales, aguas subterráneas, suelo, aire o salud humana. Esto se logra mediante la introducción de requisitos técnicos estrictos.

## Europa: Directiva Relativa a Rellenos Sanitarios.

La Directiva Relativa a Rellenos Sanitarios (Directiva del Consejo 1999/31/EC del 26 de abril de 1999) es una directiva emitida por la Unión Europea para ser implementada por los estados miembros a más tardar el 16 de julio de 2001.

La Directiva es aplicable a todos los sitios de eliminación de residuos y los divide en tres clases: (I) Rellenos sanitarios para residuos inertes; (II) Rellenos sanitarios para residuos peligrosos; y (III) Rellenos sanitarios para residuos no peligrosos.

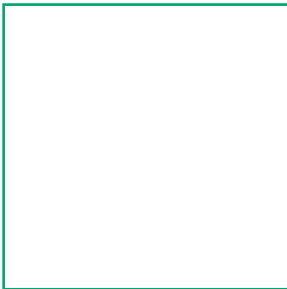
La Directiva Relativa a Rellenos Sanitarios de la UE exige la protección de suelos, aguas subterráneas y aguas superficiales, mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento inferior (donde estas barreras pueden completarse artificialmente y reforzarse por otros medios que brinden una protección equivalente, por ejemplo, con un revestimiento geosintético de arcilla) y además de la barrera geológica, la colocación de un sistema de recolección de lixiviados y un sistema de sellado artificial (por ejemplo, geomembrana HDPE de 2 mm) para rellenos sanitarios de residuos peligrosos y no peligrosos.

## Alemania: BAM y LAGA

Desde finales de los años setenta, Grupo de Trabajo Estatal sobre Residuos de Alemania (LAGA) ha emitido recomendaciones para los revestimientos de rellenos sanitarios. Las disposiciones administrativas de las Directrices Técnicas sobre Residuos (1991) y las Directrices Técnicas sobre Residuos Municipales (1993) supervisaban, entre otras cosas, la uniformidad federal de los requisitos de sistemas de sellado de rellenos sanitarios. El trabajo del LAGA ha incluido la armonización entre 40 autoridades de aprobación relevantes en Alemania para crear estándares de calidad nacionales uniformes (BQS) y evaluaciones de idoneidad específicas al producto.

Junto con el trabajo del LAGA, el Instituto Federal de Investigación y Prueba de Materiales (BAM) publicó la Directiva NRW para Geomembranas en 1986 y el Código de la Barrera de Baja Sajonia en 1989. La Directiva relativa a Rellenos Sanitarios de 2009 ayudó a establecer la plena autoridad gubernamental para el BAM dentro del sector de los rellenos sanitarios para el uso de geosintéticos. En la actualidad el BAM supervisa las evaluaciones de idoneidad relevantes para productos geosintéticos, normas que se aplican a nivel nacional.

Los productos geosintéticos en los sistemas de revestimiento de residuos sanitarios Alemanes deben ofrecer como mínimo 100 años de vida útil.





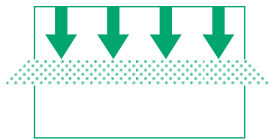
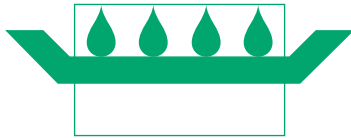
### EUA: Regulaciones del Subtítulo D

La aprobación de la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) en 1976 influyó en cierto grado en la gestión internacional de residuos, en parte debido al enorme sector de residuos enterrados en los Estados Unidos. El Código del Subtítulo D de la RCRA se refería a los residuos sólidos municipales y, a principios de los años ochenta, la Agencia de Protección Ambiental de los ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA (EPA) avanzaba al Subtítulo D para exigir el uso de revestimientos geosintéticos para la protección de largo plazo de suelos y aguas subterráneas. Esto proporcionó una fuerte conexión entre los campos de la gestión de residuos y los geosintéticos, lo que ofrecía una ventaja significativa para proyectos y estudios.

Los sistemas de doble revestimiento (revestimientos primario y secundario) se han convertido en soluciones comunes y altamente efectivas para la contención en celdas de residuos peligrosos celdas y en celdas de residuos sólidos municipales. La efectividad de los geosintéticos en sistemas de revestimiento de base y en sistemas de cobertura ha causado que la gestión de residuos o residuos sea el sector de infraestructura mejor calificado en los Estados Unidos (Informe de la ASCE sobre Infraestructura Estadounidense). Además, el sólido desempeño en los residuos sólidos ha hecho que la US EPA exija sistemas similares basados en geosintéticos para contener grandes depósitos de cenizas de carbón de la nación. En general, las experiencias de Alemania y los Estados Unidos subrayan por qué los geosintéticos son tan bienvenidos en la regulación. Están respaldados por un amplio historial de desempeño, han demostrado mejoras constantes en la eficiencia y técnicas de instalación y proporcionan pruebas y datos cuantificables y repetibles para respaldar la confianza en la compatibilidad química, la idoneidad del diseño, la selección económica y más para la gestión de residuos.



# FUNCIONES



## Sellado

Actuando como barreras de líquidos y gases, las geomembranas se han convertido en un componente fundamental en la ingeniería de rellenos sanitarios, así como en ingeniería civil, debido a la mayor necesidad de protección de aguas subterráneas. Las geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE), específicamente aquellas con certificación de reguladores gubernamentales y con espesores de más de 1.5 mm, son las más comúnmente utilizadas. El personal de aquellas empresas que han sido aprobadas por agencias de certificación, se emplea tanto para desplegar como para soldar las geomembranas en áreas que necesitan ser selladas. Para fines de sellado, las geomembranas de HDPE y los revestimientos geosintéticos de arcilla están siendo más utilizados debido a la importancia de lograr un sellado de calidad.

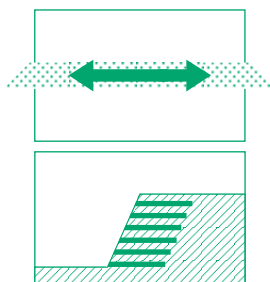
## Protección

Frecuentemente las geomembranas, estructuras, materiales revestidos y elementos de construcción relacionados deben protegerse contra posibles daños mecánicos. Sin una protección adecuada, pueden producirse daños por objetos cortantes como piedras, por la irregularidad del subsuelo o incluso por el material de la cubierta. Los materiales no tejidos perforados con aguja, así como los materiales compuestos fabricados a partir de polipropileno (PP) se utilizan comúnmente para capas de protección. Específicamente para los geotextiles no tejidos, la función de protección está directamente relacionada con el espesor y la masa por unidad de área, ya que es más probable que un material no tejido más grueso y pesado proporcione una mejor protección.

## Drenaje

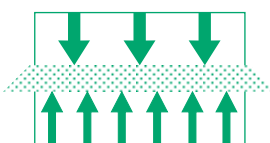
Se requieren materiales de drenaje para la recolección superficial de aguas de precipitación, para la recolección subterránea y para desviación de aguas subterráneas, además se requieren para la recolección general de fluidos y su descarga en un sistema de drenaje. Típicamente los sistemas de drenaje se diseñan con capas de material individual o en combinación con otros componentes para crear elementos compuestos de drenaje preformados. Los elementos compuestos de drenaje consisten al menos de una capa de filtrado y una capa de recolección de drenaje. La capa de recolección de drenaje es necesaria para el flujo y descarga de fluidos en un punto de recolección, sin la acumulación de presión hidráulica. Los sistemas de drenaje geosintéticos de componente único y múltiple fabricados de polietileno de alta densidad así como de polipropileno reemplazarán a menudo la capa de drenaje de minerales gruesos convencional.





### Reforzamiento

Los geosintéticos se instalan debajo o entre capas de suelo para mejorar las propiedades mecánicas de las capas de suelo al asumir las fuerzas de tracción y minimizar la deformación. Los revestimientos geotextiles, geomallas y materiales sintéticos compuestos se utilizan en aplicaciones tales como estructuras de retención de acuerdo con los principios de "suelo reforzado", estabilización de taludes o para el reforzamiento de cimientos de presas de tierra donde el subsuelo presenta poca capacidad de carga. El uso de geosintéticos para aplicaciones de refuerzo minimiza las costosas medidas constructivas, además puede reducir el entremezclado del suelo y eliminar la necesidad de capas de suelo adicionales.



### Separación

Como capa de separación, los geotextiles se utilizan para evitar que se entremezclen las capas de suelo adyacentes o los materiales de relleno.

Los materiales sintéticos no tejidos que exhiben una capacidad de elongación son los materiales preferidos en la mayoría de las aplicaciones. La selección de un producto adecuado depende del tamaño del grano de la capa base y de las cargas operacionales esperadas. El uso principal de los materiales no tejidos de separación es la construcción de carreteras y vías de ferrocarril, ingeniería hidráulica, ingeniería de rellenos sanitarios y campos deportivos.



### Filtración

En aplicaciones de filtración y sistemas de drenaje, los geotextiles no tejidos se emplean para retener las partículas del suelo y al mismo tiempo permitir el paso vertical de líquidos a través del medio filtrante. Hay dos aspectos de la filtración que deben evaluarse durante el diseño; la eficiencia del filtro mecánico (la tela tiene suficiente capacidad de retención del suelo) y la eficiencia del filtro hidráulico (se descarga el agua sin aumentar la presión hidráulica).

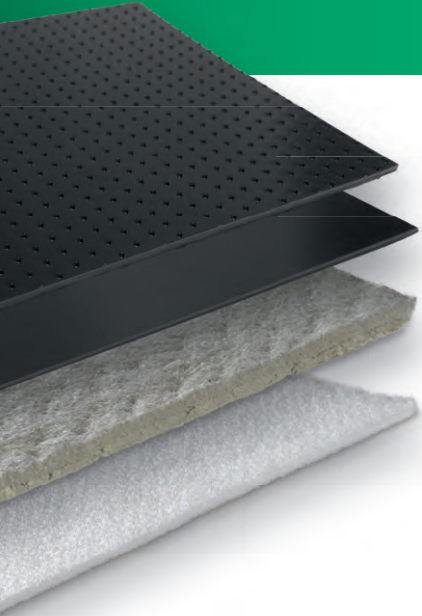
Al igual que con las capas de filtros de minerales, el espesor del geotextil beneficia directamente la eficiencia mecánica e hidráulica a largo plazo del filtro.



### Control de erosión

Los geotextiles o geosintéticos de estructura abierta tridimensionales se pueden utilizar para minimizar el movimiento de las partículas del suelo debido al flujo de agua. Al impedir que las partículas de suelo sean arrastradas por el agua en laderas o canales, se garantiza un rápido crecimiento de vegetación cuando se utilizan las esteras de control de erosión.

# REVESTIMIENTO DE BASE



Los sistemas de revestimiento de base de rellenos sanitarios proporcionan protección permanente de suelos y aguas subterráneas contra los contaminantes en la masa de residuos. A menudo los requerimientos del sistema de revestimiento se especifican en las regulaciones nacionales y los geosintéticos se han convertido en componentes comunes de estos sistemas.

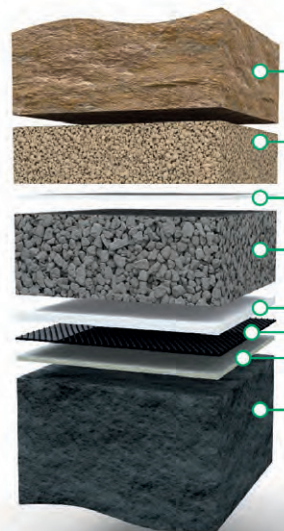
Los geosintéticos cumplen con los estrictos parámetros de contención de las normas para revestimientos de vertederos. Los geosintéticos proporcionan una barrera eficiente, significativamente eficaz y duradera para la protección del medio ambiente a largo plazo. Pero lograr esta efectividad, requieren un diseño, especificación e instalación adecuada del sistema de revestimiento geosintético. Eliminar residuos para la reparación o remediación de un sistema de barrera inadecuadamente diseñado o ejecutado es técnicamente difícil y costoso. Los geosintéticos utilizados en un sistema de revestimiento de base deben estar fabricados con materias primas de alta calidad. Los materiales geosintéticos deben ser altamente resistentes al ataque químico y biológico. Para pendientes laterales, la barrera polimérica debe tener las características de fricción apropiadas para geosintéticos-geosintéticos y geosintéticos-suelo. Comprender cómo evaluar y seleccionar correctamente estos materiales evitará una fluencia inaceptable o el desarrollo de tensiones de tracción en el sistema. La fluencia y tensiones no permitidas pueden provocar inestabilidad de la pendiente y posible falla.

El espesor de las geomembranas en un sistema de revestimiento de base generalmente se establece en las reglamentaciones. En los Estados Unidos, por ejemplo, para las geomembranas primarias comúnmente exigen geomembranas de HDPE de 1.5 mm. En Alemania, el estándar es 2.5 mm, en otros países Europeos como el Reino Unido se utilizan geomembranas de HDPE de 2 mm de espesor. En comparación con las soluciones de construcción en general, como una capa de asfalto, estos dos rangos de espesor del geosintético son significativamente más rentables y son mucho más impermeables y duraderos en la contención.

En muchos países, también se permite el uso de revestimientos geosintéticos (de arcilla GCL) en sistemas de revestimiento de vertederos como alternativa a las capas de minerales de arcilla. Los sistemas también pueden incluir geotextiles no tejidos para proteger los materiales de la barrera impermeables contra daños en la instalación y por la tensión excesiva relacionada con el lastre. Las capas de protección están determinadas por la altura del relleno sanitario, el tamaño del grano y la configuración de la capa de drenaje. Los geotextiles no tejidos también pueden actuar como una capa de separación y filtración entre la capa de drenaje de minerales y el residuo.

Componente del sistema	Residuos inertes	Residuos sólidos municipales	Residuos sólidos peligrosos
Barrera geológica	$t \geq 1.00$ m $k \leq 1 \times 10^{-7}$ m/s	$t \geq 1.00$ m $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s	$t \geq 5.00$ m $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s
Alternativa	Revestimiento Geotécnico de Arcilla <b>BENTOFIX®</b> y barrera geológica de 0.5 m de espesor.	Revestimiento Geotécnico de Arcilla <b>BENTOFIX®</b> y barrera geológica de 0.5 m de espesor.	Revestimiento Geotécnico de Arcilla <b>BENTOFIX®</b> y barrera geológica de 0.5 m de espesor.
Capa de sellado artificial	No requerido	Geomembrana <b>CARBOFOL®*</b>	Geomembrana <b>CARBOFOL®*</b>
Capa de drenaje	Agregado de minerales $t > 0.50$ m	Agregado de minerales $t > 0.50$ m	Agregado de minerales $t > 0.50$ m

\* Por ejemplo: Espesor en el Reino Unido  $\geq 2.0$  mm; Espesor en Alemania  $\geq 2.5$  mm.



**Figura 1**  
Sistema de sellado de base para residuos sólidos municipales.



## SOLUCIONES NAUE

Las geomembranas de HDPE Carbofol® proporcionan alta resistencia química y biológica y una vida útil a largo plazo excepcional para la seguridad de rellenos sanitarios. Las geomembranas Carbofol® de superficie lisa se pueden utilizar en pendientes de hasta aproximadamente 1:9. Las geomembranas Carbofol® estructuradas (texturizadas) se utilizan para pendientes más pronunciadas.

Los revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix® son materiales compuestos formados por dos capas de geotextil (capas de cubierta y soporte) que encapsulan un núcleo de bentonita de sodio en polvo de alta expansión. El perforado con agujas de los geotextiles durante la fabricación une firmemente las capas en toda la superficie del revestimiento geosintético de arcilla (GCL). Esto evita la erosión de la bentonita y aumenta la durabilidad del material. Bentofix® GCL se utiliza como una capa de sellado de minerales en diseños de barrera geosintética.

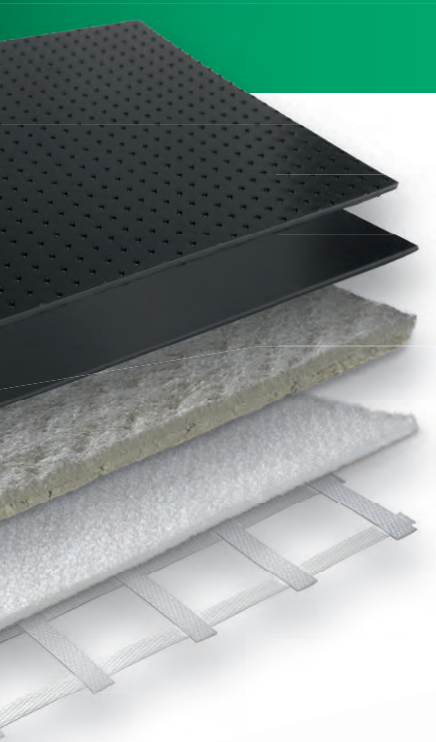
Los geotextiles no tejidos Secutex® están unidos mecánicamente (perforado con agujas) para proporcionar una protección altamente duradera y una funcionalidad de filtración y separación a largo plazo. Una variedad de pesos de los geotextiles, tales como 1,200 g/m<sup>2</sup> y 300 g/m<sup>2</sup>, proporcionan una protección sólida y una separación y filtración óptimas para el uso del diseño. Secutex® permite a los ingenieros especificar el material no tejido apropiado para satisfacer las necesidades de desempeño del relleno sanitario y las directrices de la autoridad que aprueba el producto.

Las geomallas Secugrid® y Combigrid® redistribuyen las cargas para estabilizar y fortalecer las capas de suelo. Esto permite la construcción de terraplenes empinados.



- Desechos
- Capa de minerales de los residuos
- Material no tejido de separación SECUTEX®
- Sistema de recolección de lixiviados
- Material no tejido de protección SECUTEX®
- Geomembrana CARBOFOL®
- Revestimiento Geosintético de Arcilla BENTOFIX®
- Barrera geológica de 0.5 (k<sub>s</sub> 1x10<sup>-9</sup> m/s)

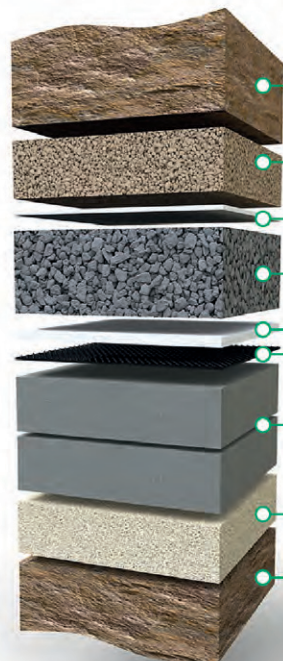
# SISTEMA INTERMEDIO



Un sello intermedio separa celdas adyacentes de un relleno sanitario. Se utiliza cuando el relleno sanitario, que se debe colindar, no tiene un sellado suficiente para servir como base o relleno apropiado debido a las diferentes clasificaciones del relleno sanitario entre las celdas vecinas. Por lo tanto, un sellado intermedio puede servir a la capa superior o capa de cierre de una celda y al mismo tiempo, como sellado de base para la siguiente.

Los sellos intermedios no están claramente descritos en la mayoría de las reglamentaciones para rellenos sanitarios, por lo que las autoridades que otorgan los permisos a menudo piden requisitos básicos para los revestimientos de base. Históricamente, se han emitido decisiones de zonificación en rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales en los que el sello intermedio debe construirse con las barreras actuales de última generación, por ejemplo, con un revestimiento geosintético de arcilla (GCL) aprobado sirviendo en lugar de un sello de minerales tradicional en combinación con una geomembrana aprobada. Las ventajas de este enfoque son claras: el sistema de barrera geosintética es significativamente más fácil de instalar y ocupa menos espacio en el relleno sanitario que un sello de minerales convencional (por ejemplo, arcilla compactada convencional o métodos de mejoramiento de suelos a gran escala). Además, la flexibilidad de las barreras geosintéticas les permite adaptarse a las condiciones específicas del sitio y ofrecen una aceptación mucho mayor de la tensión o deformación en el asentamiento. Los geosintéticos ahorran mucho tiempo y dinero, reducen la necesidad de recolección de suelo y agregados, y la alteración, reduciendo en gran medida el costo de transporte de los materiales al sitio (ya que los geosintéticos requieren muchas menos cargas de camiones que los agregados pesados). Además, las capas de geosintéticos, al ser sustancialmente más delgadas, abren espacio generador de ingresos para un relleno sanitario.

Donde la vieja celda de residuos no proporciona suficiente estabilidad para soportar la construcción de nuevas celdas, se puede requerir un refuerzo de geomalla. Este enfoque también puede crear un diseño más eficiente y ahorros de espacio, tal como se describe en las regulaciones nacionales.



**Figure 2**  
Sistema de sellado intermedio para rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales.





- Desechos
- Capa de minerales de los residuos
- Material no tejido de separación SECUTEX®
- Sistema de recolección de lixiviados
- Material no tejido de protección SECUTEX®
- Geomembrana CARBOFOL®
- Capa de arcilla compactada multinivel
- Capa base y de nivelación
- Relleno sanitario existente/desechos

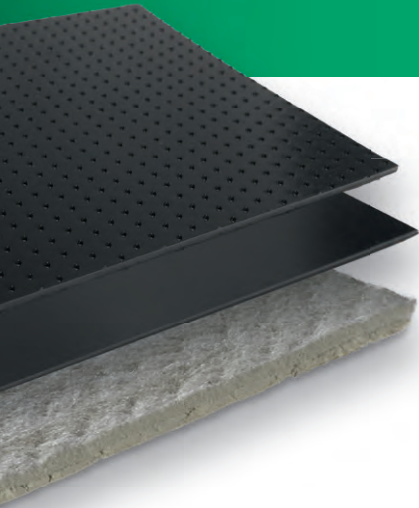
### SOLUCIONES DE NAUE: SISTEMAS DE BARRERA

Las geomembranas de HDPE Carbofol® se utilizan con la aprobación del BAM u otras aprobaciones nacionales en rellenos sanitarios con clasificación Clase 1 (residuos inertes) como el único elemento de sellado. En los Clase II (residuos sólidos municipales, residuos no peligrosos) y en los rellenos sanitarios Clase III (residuos peligrosos) se utilizan las geomembranas Carbofol® en combinación con una capa de minerales o arcilla. Esta geomembrana cumple con los estrictos requerimientos químicos y físicos que son necesarios para un relleno sanitario seguro diseñado para vida larga útil. La superficie de Carbofol® es lisa (para pendientes de hasta aproximadamente 1:9), u homogéneamente estructurada/texturizada (para pendientes más pronunciadas). Esta solución proporciona una barrera fuerte contra la infiltración de agua de lluvia y la migración de metano.

Los revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix® son materiales compuestos formados por dos capas de geotextil que encapsulan un núcleo de bentonita de sodio en polvo de alta expansión. El perforado con agujas de los geotextiles durante la fabricación y el proceso patentado Thermal Lock une firmemente las capas en toda la superficie del revestimiento geosintético de arcilla (GCL). Esto evita la erosión de la bentonita y aumenta la durabilidad del material. Los revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix® reemplazan los sellos de minerales tradicionales más gruesos y complejos de construir. El enfoque geosintético proporciona una barrera que es más resistente a la desecación y con auto-sellado contra daños en la instalación. Además, la resistencia interna al esfuerzo cortante y las características de fricción de Bentofix® son suficientes para usarse en pendientes más pronunciadas.



# BARRERAS



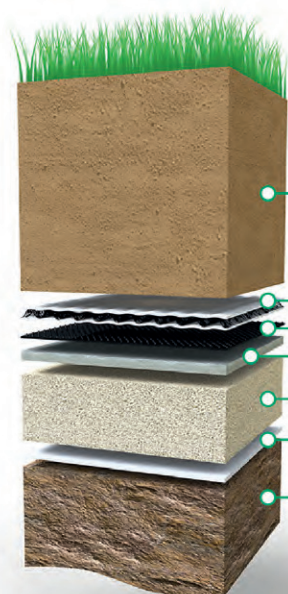
Después del cierre, los rellenos sanitarios se deben tapar. Los requisitos específicos para los sistemas de sellado permanente para los vertederos Clase I (residuos inertes), Clase II (sólidos municipales, no peligrosos) y Clase III (residuos peligrosos) normalmente se describen en las regulaciones nacionales.

Se imponen requisitos de alta seguridad en todos los componentes del sistema de sellado. Cada producto geosintético generalmente debe ser aprobado por la autoridad federal o una agencia nacional. Parte del proceso de aprobación debe mostrar, en los datos de prueba, que los componentes del sistema de sellado pueden proporcionar al menos 100 años de vida útil.

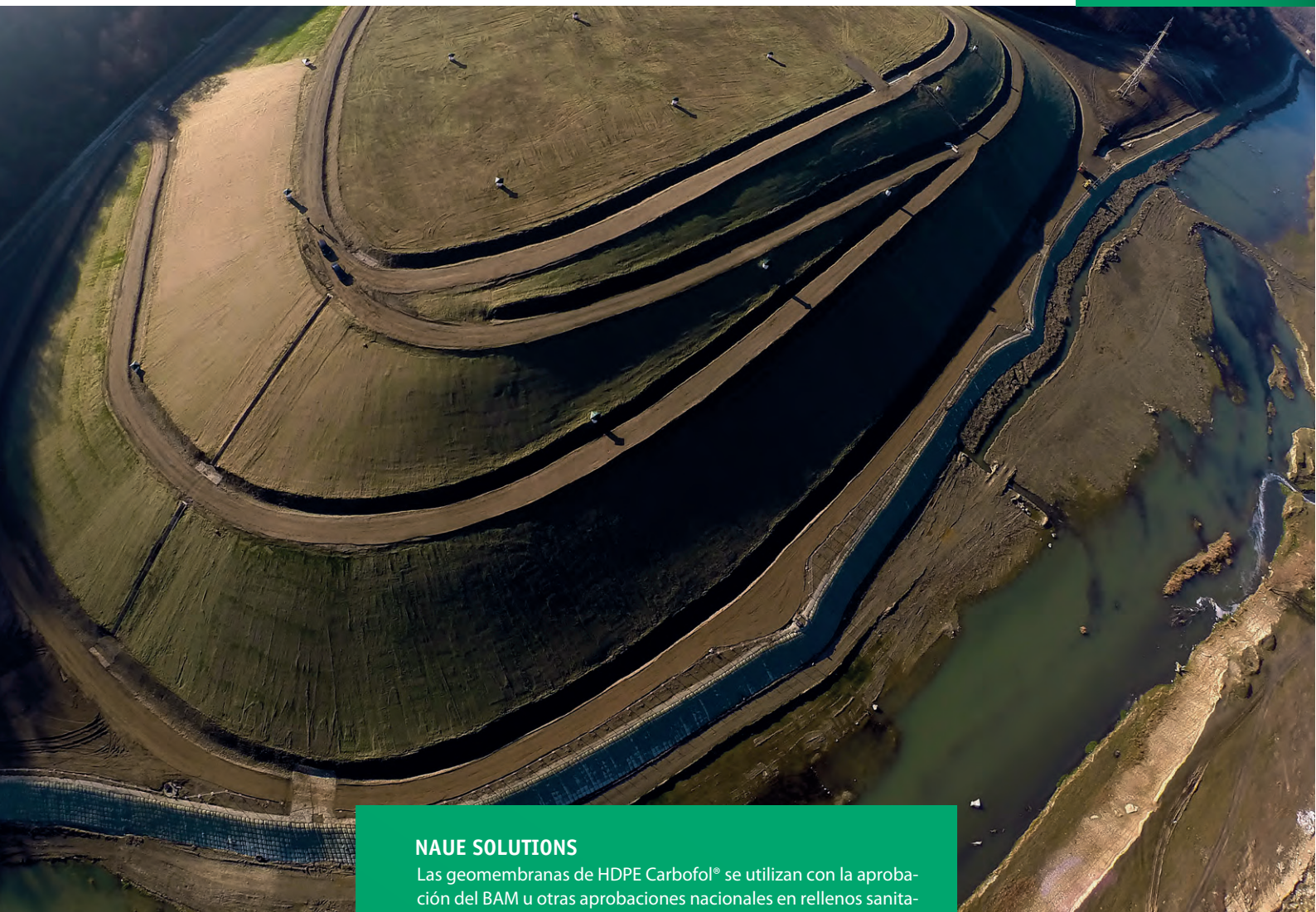
Además, el interés en la reurbanización potencial de un antiguo vertedero ha crecido sustancialmente, haciendo que los controles de cierre sean aún más importantes. Los sistemas de cubierta con geosintéticos proporcionan una solución segura, rentable y respetuosa con el medio ambiente para sellados de alta calidad repetibles. El sellado superficial de los vertederos Clase I generalmente solo necesita un único componente geosintético, como una geomembrana o un revestimiento geosintético de arcilla. Esto subraya la calidad del desempeño y la confianza en estos materiales.

De acuerdo con varias regulaciones nacionales e internacionales para rellenos sanitarios, por ejemplo, la Directiva Europea sobre Rellenos Sanitarios, los diseños Clase II deben tener dos componentes de sellado. Estos elementos deben comprobarse entre sí, por lo que deben ser de diferentes composiciones. La combinación de un revestimiento geosintético de arcilla (GCL) con una geomembrana es un enfoque seguro, admisible, bien establecido y reconocido para diseños exitosos a largo plazo.

Para lograr un revestimiento geosintético de arcilla (GCL) ecológico, económico y enfocado al desempeño para aplicaciones de rellenos sanitarios, se puede utilizar el Bentofix® GCL de componentes múltiples con revestimiento de polietileno impermeable para recubrir un relleno sanitario. Ayuda a que las instalaciones de revestimiento geosintético de arcilla sean aún más efectivas, más seguras y de mayor duración, ya que se instalan dos sistemas de barrera en un solo paso. El Bentofix® GCL de componentes múltiples mejora el desempeño general y reduce los riesgos que presenta un sistema de revestimiento de una sola capa.



**Figura 3**  
Sistema de recubrimiento y cierre para rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales.



## NAUE SOLUTIONS

Las geomembranas de HDPE Carbofol® se utilizan con la aprobación del BAM u otras aprobaciones nacionales en rellenos sanitarios con clasificación Clase 1 (residuos inertes) como el único elemento de sellado. En los rellenos sanitarios Clase II (residuos sólidos municipales, residuos no peligrosos) y en los rellenos sanitarios Clase III (residuos peligrosos) se utilizan las geomembranas Carbofol® en combinación con una capa de minerales o arcilla (por ejemplo, revestimiento de arcilla compactada). Esta geomembrana cumple con los estrictos requerimientos químicos y físicos que son necesarios para un relleno sanitario seguro diseñado para vida larga útil. La superficie de Carbofol® es lisa (para pendientes de hasta aproximadamente 1:9), u homogéneamente estructurada/texturizada (para pendientes más pronunciadas). Esta solución proporciona una barrera fuerte contra la infiltración de agua de lluvia y la migración de metano. Los revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix® son materiales compuestos formados por dos capas de geotextil) que encapsulan un núcleo de bentonita de sodio en polvo de alta expansión. El perforado con agujas de los geotextiles durante la fabricación y el proceso patentado Thermal Lock une firmemente las capas en toda la superficie del revestimiento geosintético de arcilla (GCL). Esto evita la erosión de la bentonita y aumenta la durabilidad del material. Los revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix® reemplazan los sellos de minerales tradicionales más gruesos y complejos de construir. El enfoque geosintético proporciona una barrera que es más resistente a la desecación y con auto-sellado contra daños en la instalación. Además, la resistencia interna al esfuerzo cortante y las características de fricción de Bentofix® son suficientes para usarse en pendientes más pronunciadas.

Capa de suelo superior

Sistema de drenaje geosintético SECUDRAIN®

Geomembrana CARBOFOL®

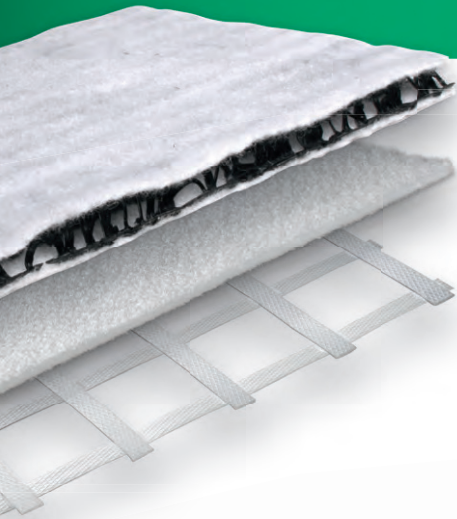
Revestimiento geosintético de Arcilla BENTOFIX®

Capa de base y de nivelación

Material no tejido de separación SECUTEX®

Relleno sanitario existente/desechos

# FUNCIONES



Por lo general se requiere una capa de drenaje en todas las principales clases de rellenos sanitarios (I, II y III). Esta capa derrama directamente la precipitación para evitar la acumulación de la carga hidráulica en el sistema de recubrimiento. La capa de drenaje debe estar protegida permanentemente contra la obstrucción por partículas de suelo de la capa de cubierta. Los materiales geocompuestos de drenaje con matrices tridimensionales y capas de cubierta de geotextil de filtro controlan las filtraciones y cuando se diseñan correctamente satisfacen los requisitos de diseño para recubrimientos de rellenos sanitarios. Los sistemas geosintéticos para drenaje de esta naturaleza están suficientemente protegidos contra el riesgo de daño que representa la instalación del suelo de cubierta. Esto permite que el sistema geosintético garantice el requisito de función de drenaje a largo plazo.

Al instalar una capa de drenaje de minerales sobre un sello geosintético, un geotextil no tejido perforado puede reemplazar la capa protectora de arena, que de otro modo sería necesaria sobre la geomembrana. En estas situaciones, también se debe evaluar si un geotextil de filtro o de separación sería una solución óptima entre la capa de drenaje y el suelo de cobertura.

En proyectos de cierre de rellenos sanitarios, es cada vez más importante utilizar pendientes más pronunciadas para minimizar la huella de alteración del suelo del sitio. Sin embargo, la naturaleza de capas múltiples de los sistemas de sellado complica este objetivo de ahorro de espacio. Esto representa un desafío particular a la resistencia esfuerzo cortante entre capas. Aquí, las geomembranas texturizadas proporcionan características mejoradas de fricción para la estabilidad de taludes. Además, las geomallas se pueden utilizar para permitir un diseño rentable y seguro de pendientes más empinadas.



Componente del sistema	Residuos inertes	Residuos sólidos municipales	Residuos sólidos peligrosos
Barrera geológica	Requerida <sup>a)</sup>	Requerida (> 1m)	Requerida (> 1m)
Alternativa	Agregado de minerales <sup>a)</sup> o <b>SECUDRAIN®</b> GDS *	Agregado de minerales t ≥ 0.50 m o <b>SECUDRAIN®</b> GDS*	Agregado de minerales t ≥ 0.50 m o <b>SECUDRAIN®</b> GDS*
Capa de sellado artificial	No requerido	Geomembrana <b>CARBOFOL®***</b>	Geomembrana <b>CARBOFOL®***</b>
Casa impermeable de minerales	Revestimiento de arcilla compactada <sup>a)</sup> o <b>BENTOFIX® GCL **</b>	Revestimiento de arcilla compactada o <b>BENTOFIX® GCL **</b>	Revestimiento de arcilla compactada o <b>BENTOFIX® GCL **</b>
Capa de drenaje de gas	No requerido	Se requiere o <b>SECUDRAIN®</b> GDS*	No requerido
Capa de nivelación	Cuando se requiera <sup>a)</sup>	Cuando se requiera	Cuando se requiera

a) Requerimientos establecidos por los Estados Miembros.

\* GDS – Sistema de Drenaje de Geosintéticos

\*\* GCL – Revestimiento Geosintético de Arcilla

\*\*\* Por ejemplo: Espesor en el Reino Unido ≥ 2.0 mm; Espesor en Alemania ≥ 2.5 mm.







### SOLUCIONES DE NAUE: PROTECCIÓN, FILTRACIÓN, SEPARACIÓN, DRENAJE, REFORZAMIENTO

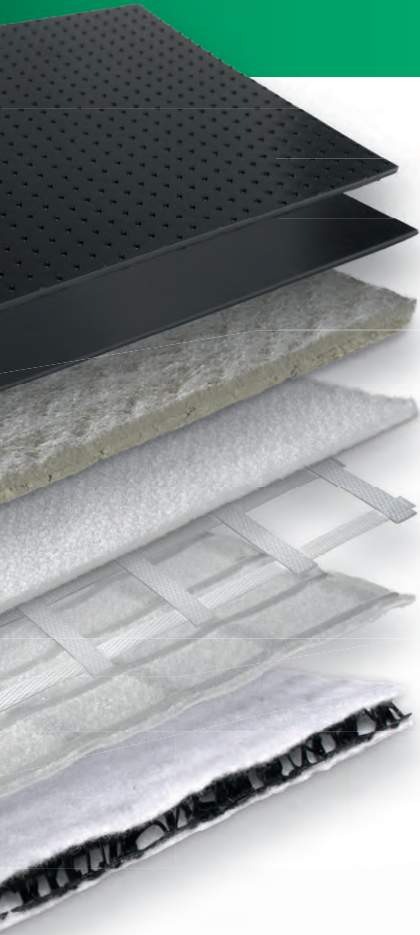
Secudrain® es un material compuesto con núcleo de drenaje polimérico y al menos una capa externa de geotextil no tejida para proporcionar funcionalidad de filtración. El geotextil evita que las partículas de suelo interrumpan la presión y el flujo de los líquidos que se están drenando. Instalado encima de la geomembrana, el lado geotextil del compuesto puede actuar simultáneamente como una capa de protección. En Alemania, el uso de Secudrain® ha sido aprobado por el BAM para sistemas supervisados por la Directiva relativa rellenos sanitarios.

Secutex® es un geotextil no tejido con unión mecánica (perforado) que se puede usar como protección o amortiguamiento, o como un geotextil de separación en sistemas de sellado de rellenos sanitarios. En Alemania, el requisito mínimo para la masa por unidad de área para un geotextil de protección es 800 g/m<sup>2</sup>. Para separación y filtración, el material no tejido debe ser de 300 g/m<sup>2</sup>.

Las geomallas Secugrid® minimizan o eliminan el asentamiento y redistribuyen las cargas. También permiten la construcción de terraplenes más empinados. Para aplicaciones de refuerzo en proyectos de rellenos sanitarios, Secugrid® de NAUE cumple con los requisitos del BAM.



# REMEDIACIÓN Y REURBANIZACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS



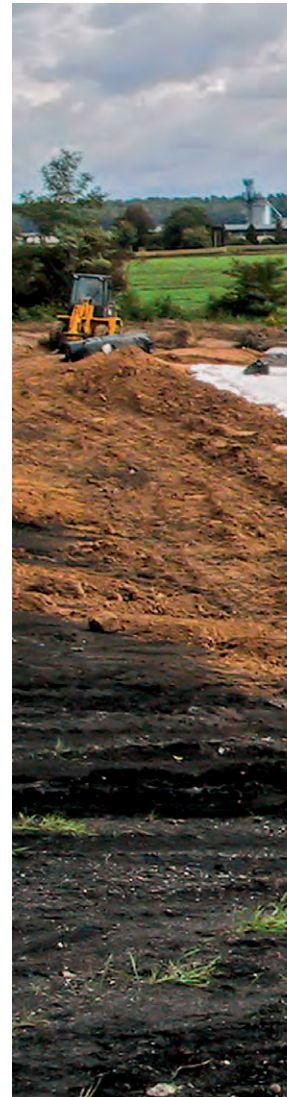
Los antiguos rellenos sanitarios y sitios contaminados a menudo son tapados o remediados. Estos trabajos de ingeniería también pueden incluir la reutilización beneficiosa de los sitios. Los contaminantes en el sitio y el asentamiento irregular del suelo sobre estas antiguas celdas de residuos presentan una serie de desafíos geotécnicos. Como tal, las medidas de tapado generalmente se seleccionan por su capacidad de aislar y contener los contaminantes. Las medidas de cierre también se pueden evaluar en cuanto a su capacidad para aumentar la capacidad de carga del sitio para una reutilización más segura.

Los sistemas de tapado para las antiguas celdas de residuo y sitios contaminados deben ser de la más alta calidad. Esto es especialmente necesario cuando se planifica la reutilización del terreno (por ejemplo, parques infantiles, jardines públicos, campos deportivos). Se requiere una mayor capacidad de carga si se pretende una reutilización más comercial, como un estacionamiento, o si una ruta de tráfico pasará sobre cualquier parte del terreno. No es poco frecuente que se reconstruyan pendientes empinadas para ahorrar espacio o funcionar correctamente dentro del diseño de reutilización. Los sistemas de tapado con geosintéticos permiten el uso eficiente de los suelos locales. Cuando se necesita reformar una cantidad considerable de terreno y se requieren fuentes externas de suelo, la capacidad de utilizar los suelos del sitio local puede proporcionar ahorros considerables en el proceso de construcción, tanto desde el punto de vista de la adquisición de materiales como en términos de plazos de construcción muy reducidos. Se pueden evitar costosas medidas de descontaminación. La reducción o eliminación del transporte pesado de material externo ahorra no solo costos, sino también la huella de carbono de un proyecto.

Las geomembranas y revestimientos geosintéticos de arcilla encapsulan las áreas contaminadas de forma segura y permanente, mitigando o eliminando la descarga de contaminantes. Estas barreras geosintéticas, como productos enrollados, se pueden instalar de manera eficiente. Sus numerosas variaciones del producto, respaldadas por materias primas de alta calidad, permiten enfocarse en los desafíos específicos del sitio, como la agresividad de los contaminantes que se van a contener, la topografía del sitio, las variaciones de precipitación y mucho más. En comparación con las soluciones de sellado tradicionales (por ejemplo, arcilla compactada y otras medidas de mejoramiento del terreno in situ), los sistemas geosintéticos son significativamente más delgados pero proporcionan una mayor seguridad. Esta ventaja presenta ahorros en los costos de tapado y permite al sitio maximizar su volumen de almacenamiento antes del cierre.

El reforzamiento con geomallas también se usa en estos sitios para permitir el tráfico o la construcción sobre suelos blandos o para estabilizar zonas contra el colapso. Los geotextiles no tejidos, incluidos los materiales no tejidos incrustados dentro de una geomalla, también se pueden usar para proporcionar separación y estabilización de suelos.

Para lograr un revestimiento geosintético de arcilla (GCL) ecológico, económico y enfocado al desempeño para encapsular sitios contaminados, se puede utilizar el Bentofix® GCL de componentes múltiples con revestimiento de polietileno impermeable. Ayuda a que las instalaciones de revestimiento geosintético de arcilla sean aún más efectivas, más seguras y de mayor duración, ya que se instalan dos sistemas de barrera en un solo paso. El Bentofix® GCL de componentes múltiples mejora el desempeño general y reduce los riesgos que presenta un sistema de revestimiento de una sola capa.



**Figura 4**  
Sistema de recubrimiento y cierre sobre suelo contaminado para permitir la reutilización futura del sitio.





## NAUE SOLUTIONS

Las geomembranas de HDPE Carbofol® encapsulan las áreas contaminadas. Son químicamente resistentes a los suelos contaminados. Las geomembranas Carbofol® texturizadas (estructuradas) permiten sellos fuertes en pendientes desafiantes, tales como n pendientes pronunciadas. El Carbofol® liso se utiliza en pendientes de hasta 1: 9, mientras que las variedades con textura homogénea se utilizan para zonas de instalación más empinadas.

Los revestimientos geosintéticos de arcilla (GCL) Bentofix® son perforados con agujas y fijados fijan con el proceso Thermal Lock de NAUE. Esto une firmemente las dos capas de geotextil y el núcleo interno de bentonita de sodio en polvo de alta expansión. La bentonita está encapsulada y protegida contra tuberías, ya que Bentofix® está perforada en toda su superficie. Bentofix® reemplaza componentes de sellado con minerales más caros y más gruesos. Estos revestimientos geosintéticos de arcilla son resistentes al secado y a daños en la instalación. La característica de expansión del núcleo de bentonita le otorga una propiedad de auto-regeneración. Además, la resistencia interna al esfuerzo cortante de Bentofix® permite utilizarse en diseños de pendientes más pronunciadas.

Los geotextiles no tejidos Secutex® protegen las geomembranas contra daños, como el causado por capas de agregados inapropiadamente gruesos y angulares. Secutex® evita que se mezclen diferentes capas de suelo y proporciona filtración de lixiviados.

Las geomallas Secugrid® y Combigrid® puentean los vacíos en los subsuelos y redistribuyen las cargas de manera eficiente. Permiten el ahorro de espacio en pendientes empinadas y la construcción sobre suelos blandos.

Combigrid® es un material de reforzamiento compuesto que incluye un geotextil no tejido incrustado dentro de una geomalla. Esta construcción combina en un solo producto las funciones de separación y filtración de Secutex® y el reforzamiento de alta resistencia de Secugrid®.

Secudrain® es un material de drenaje potente y duradero con funciones adicionales de filtrado y protección.

- Capa de suelo superior
- Capa base
- Material no tejido de separación SECUTEX®
- Capa de drenaje
- Material no tejido de protección SECUTEX®
- Geomembrana CARBOFOL® o BENTOFIX® X GCL
- Capa de soporte
- Capa base y de nivelación
- Suelo contaminado



# CONTROL DE CALIDAD



Las características de desempeño de un geosintético están determinadas por componentes tales como su polímero, paquete de aditivos, fibras y otras materias primas. Estos componentes otorgan a los productos su compatibilidad química, resistencia a los rayos UV, durabilidad estando expuestos o enterrados, resistencia biológica, elongación y otras características necesarias para proporcionar la vida útil y la resistencia adecuadas en una aplicación.

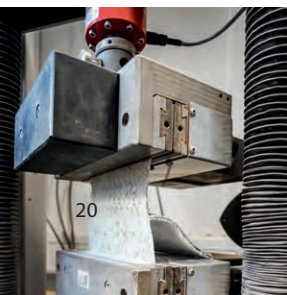
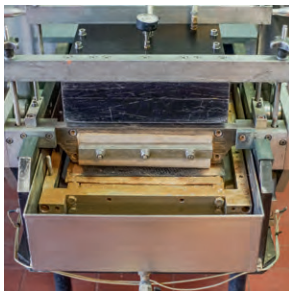
La calidad de estas materias primas, la manera como se manejan y la tecnología utilizada para fabricar el producto final influyen aún más en el desempeño del material.

Aquí, el programa de control de calidad (QC) del fabricante es de vital importancia para garantizar que un geosintético entre en servicio en el campo en condiciones óptimas.

NAUE fabrica los geosintéticos en instalaciones auditadas y certificadas por ISO 9001. Todos los productos están sujetos a un estricto análisis de materiales. Los certificados de las pruebas de aceptación, enviados por los proveedores de los materiales base, se revisan y califican de acuerdo con los protocolos específicos del producto.

Durante la producción, miembros del equipo altamente capacitados que forman parte de una división especial y autónoma realizan medidas de control de calidad adicionales. Los certificados ISO 10204 están disponibles para las medidas de aseguramiento y control de calidad de la manufactura realizada durante la producción de los materiales. Los productos se lanzan solo una vez que han pasado todas las comprobaciones y revisiones de calidad y se ha completado toda la documentación de apoyo.

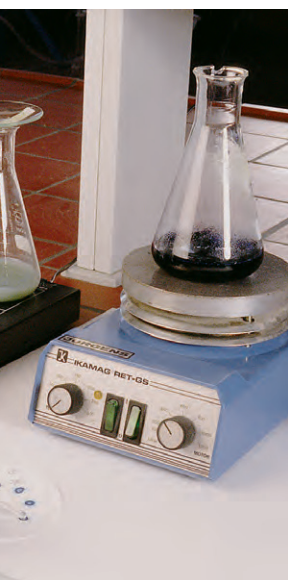
El control de calidad continuo de la fabricación es el centro de las operaciones de NAUE. Desde la adquisición de las materias primas hasta la producción y entrega del producto final, los componentes se revisan minuciosamente, el proceso de producción se supervisa de manera estrecha, la documentación es constante, y durante el almacenamiento y manejo se siguen reglas estrictas para garantizar la integridad del material. Estas medidas son la mejor garantía de desempeño del producto.



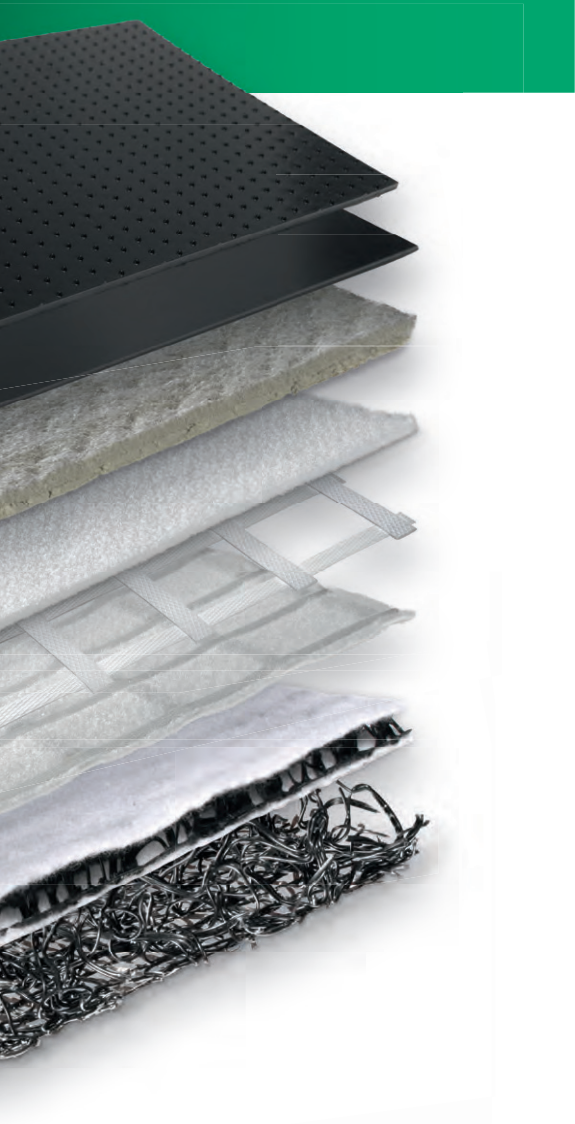


NAUE realiza una revisión independiente hecha por terceros a los procesos de calidad, datos de los materiales e inventarios de los productos. En ciertos casos específicos del proyecto, se contratan expertos independientes para probar las propiedades de los geosintéticos relacionadas con el proyecto como parte de la certificación de los resultados de las pruebas.

Además, la compañía ha hecho que el marcado CE sea obligatorio para sus productos geosintéticos desde 2002. Es otra forma en que NAUE establece calidad y confianza en cada paso.



# PRODUCTOS



NAUE es una empresa con certificación EN ISO 9001. La amplia gama de productos geosintéticos de la compañía atiende las diversas necesidades geotécnicas de la industria de los rellenos sanitarios, brindando soluciones para la contención de materiales de residuo, recubrimiento y cierre de vertederos, revestimientos intermedios de sellado de la base, almacenamiento de agua en el sitio, manejo de aguas pluviales, reforzamiento de la estructura del suelo, estabilidad de caminos de acceso y mucho más. Estos materiales están diseñados para mantener su desempeño a largo plazo, brindando economía y efectividad ambiental a las operaciones de rellenos sanitarios de todo el mundo.

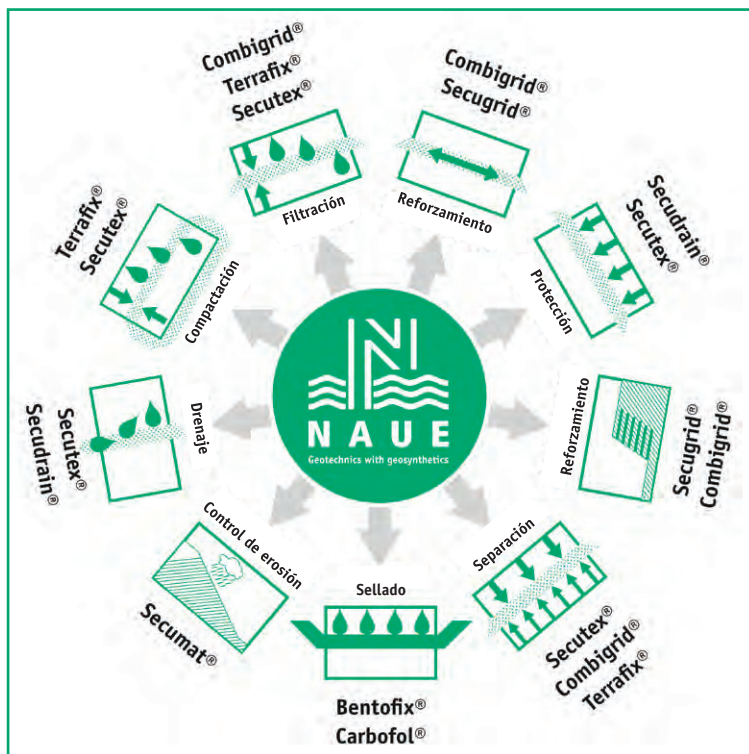
Los productos clave incluyen:

- Revestimientos geosintéticos de arcilla Bentofix®;
- Geomembranas Carbofol®;
- Geomallas Combigrid® (material compuesto de reforzamiento, filtración y separación);
- Materiales geosintéticos de drenaje y ventilación Secudrain®;
- Geomallas de reforzamiento de suelos Secugrid®;
- Esterilla de control de erosión Secumat®;
- Geotextiles de filtración, separación y protección Secutex®.

Los productos geosintéticos de NAUE se fabrican con un estricto programa de control de calidad y están respaldados con pruebas independientes, certificación ISO y auditorías de procesos, documentación sólida y un extenso registro de datos y proyectos.

La cartera de la compañía cumple con todos los requisitos de las funciones geosintéticas en ingeniería civil, tales como filtración, separación, protección, drenaje, control de erosión, sellado y reforzamiento. El desempeño de estos productos extiende la vida útil, mejora la economía del proyecto, y aumenta la sustentabilidad y la protección ambiental en trabajos de ingeniería.



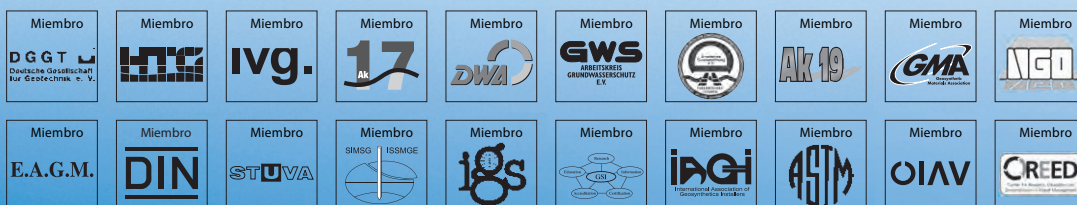




NAUE GmbH & Co. KG  
Gewerbestr. 2  
32339 Espelkamp-Fiestel  
Alemania

Teléfono +49 5743 41-0  
Fax +49 5743 41-240  
Correo info@naue.com  
Internet www.naue.com

#### Miembros de Grupo NAUE



#### Aprobaciones para el grupo NAUE

