

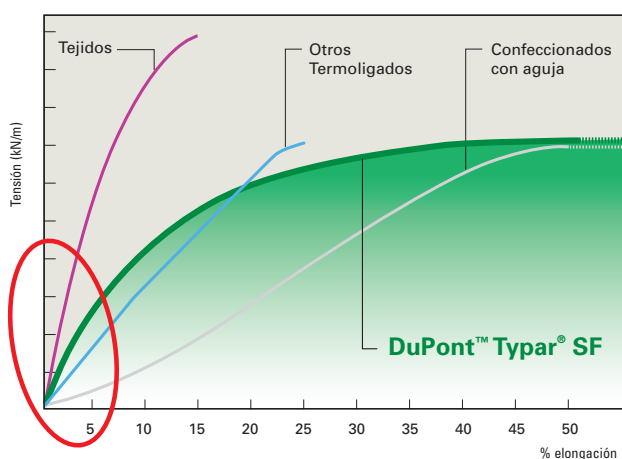
Manual técnico



DuPont™ Typar® SF

GEOTEXTIL

EXIJA MÁS ENERGÍA



- Gran absorción de energía
- Módulo inicial elevado
- Capacidad de elongación notable (> 50%)
- Filtración duradera
- Uniformidad excepcional



Typar®



Planta de Producción, Luxemburgo

Cláusula de exoneración de responsabilidad

Los consejos que se proporcionan en el presente documento corresponden al estado actual de nuestros conocimientos en relación con este campo. Se trata únicamente de sugerencias que tienen por fin promover la experimentación entre los usuarios. En ningún caso pretenden sustituir las pruebas que el usuario deberá realizar para determinar por sí mismo el grado de adecuación de nuestros productos a sus proyectos particulares. Esta información podría modificarse a medida que se adquieran nuevos conocimientos o experiencias. A falta de comprobación sobre las condiciones concretas de utilización de sus productos, DuPont no proporciona ninguna garantía y declina toda responsabilidad en relación con la utilización de la información que se ofrece en el presente documento. Esta publicación no se considerará en ningún caso como una autorización o recomendación para infringir los derechos sobre patentes existentes.

Introducción a DuPont™ Typar® SF

1.1. Introducción	3
1.2. La calidad DuPont	3
1.3. ¿Qué es DuPont™ Typar® SF?	3
1.4. La producción de las fibras de DuPont™ Typar®	4
1.5. Características	4

1. Introducción a DuPont™ Typar® SF

1.1. Introducción

La presente guía proporciona información básica acerca de nuestros geotextiles, de las funciones y propiedades que se les exigen en función de sus diversas aplicaciones. Este manual técnico ofrece consejos relacionados con el diseño, la selección y la utilización del geotextil DuPont™ Typar® SF en el marco de aplicaciones asociadas a la ingeniería civil y obras públicas, como son la construcción de cimentaciones en terrenos granulares, los sistemas de drenaje y el control de la erosión. Asimismo, incluye una descripción de los métodos de pruebas que permiten determinar las propiedades del geotextil, además de datos técnicos. Para obtener más información puede consultar nuestros folletos o visitar nuestra página web, www.typargeo.com. Para recibir más información o solicitar asistencia técnica, póngase en contacto con el centro técnico de Typar® de DuPont.

1.2. La calidad DuPont

Desde hace dos siglos, los desarrollos de DuPont contribuyen al progreso del sector industrial gracias a la creación de materiales de alto rendimiento, innovadores y completamente originales, como el Nylon, el Kevlar®, el Tyvek® y el Teflon®. Todos ellos se distinguen por su incomparable excelencia desde el punto de vista tecnológico y por su máximo nivel de cumplimiento de las normas de calidad; así, DuPont™ Typar® ofrece un rendimiento fiable y duradero en el sector de la construcción y obras públicas. Inventado hace ya 30 años y fabricado en la planta industrial de DuPont en Luxemburgo, DuPont™ Typar® SF, con su calidad y rendimiento superiores, ha sabido resistir al paso del tiempo. Con más de mil millones de m² vendidos en todo el mundo, DuPont™ Typar® SF se ha empleado para el acondicionamiento de superficies de carreteras, vías férreas y edificaciones, en todo el mundo.

DuPont™ Typar® se fabrica según las normas ISO 9001. Las rigurosas exigencias de calidad que se impone DuPont™ de Nemours garantizan que únicamente se comercialicen en el mercado productos de alta calidad. El sistema integrado de producción y de ensayos de laboratorio garantiza también la trazabilidad de las condiciones del proceso de fabricación y de los resultados de laboratorio para cada rollo producido.

El sistema de gestión medioambiental de DuPont cumple las exigencias de las normas sobre el medio ambiente definidas por la normativa EMAS (sistema comunitario de gestión medioambiental y de auditoría), así como de las normas ISO 14001. Por otra parte, el geotextil DuPont™ Typar® SF está sujeto a varios sistemas de certificación diferentes, como el sistema francés ASQUAL y el sistema alemán de auditoría externa "Fremdüberwachung DIN 18200".



1

1.3. ¿Qué es DuPont™ Typar® SF?

DuPont™ Typar® SF es un geotextil fino no tejido, permeable al agua y termoligado, compuesto en un 100% por filamentos continuos de polipropileno. Se ha diseñado con unas cualidades que le confieren un rendimiento superior: un módulo inicial elevado (rigidez), una elongación notable (por lo general, > 50%) y una uniformidad excepcional. Gracias a esta combinación, DuPont™ Typar® SF ofrece elevada resistencia y unas propiedades de filtración excelentes. DuPont™ Typar® SF es un material isotrópico, es decir, presenta las mismas propiedades físicas en todas las direcciones. Este fenómeno es importante puesto que responde a la exigencia imperante en una aplicación de tipo separación.

Además, el hecho de que DuPont™ Typar® SF esté compuesto en un 100% de polipropileno estabilizado le confiere resistencia al envejecimiento, a la humedad y a los agentes químicos, en especial en el caso de los álcalis ³.

¹ DQS – Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen mbH.

² BVQI – Bureau Veritas Quality International.

³ Para más información acerca de la resistencia a agentes químicos, consultar el capítulo 7.7 anexo.

1.4. La producción de las fibras de Typar® de DuPont

En el transcurso del proceso de extrusión de las fibras, se producen millares de filamentos continuos extremadamente finos. Previamente, se estiran por medio de un procedimiento patentado por DuPont. A continuación, estos filamentos finos pero resistentes se depositan (véase la Figura 1) formando velos de fibras isotropas que dan lugar a una capa continua que posteriormente, se liga por medios térmicos y mecánicos.



Figura 1: Filamentos depositados formando una capa.



Figura 2: Vista al microscopio de DuPont™ Typar®.

Modificando las condiciones del proceso, se puede producir todo un abanico de estructuras no tejidas de DuPont™ Typar® extremadamente resistentes. Dichas estructuras presentan diferentes propiedades de finura, así como varias propiedades físicas. La existencia de esta técnica de producción patentada de DuPont constituye uno de los principales motivos por los que las propiedades de DuPont™ Typar® SF son únicas en comparación con las de otros geotextiles.

1.5. Características

La Figura 3 ilustra el comportamiento típico de varios geotextiles con un peso similar sometidos a una tensión-deformación. DuPont™ Typar® SF se caracteriza por una elevada resistencia a la tracción, una elongación notable y un módulo inicial elevado, lo que representa la combinación ideal de propiedades para aplicaciones geosintéticas.

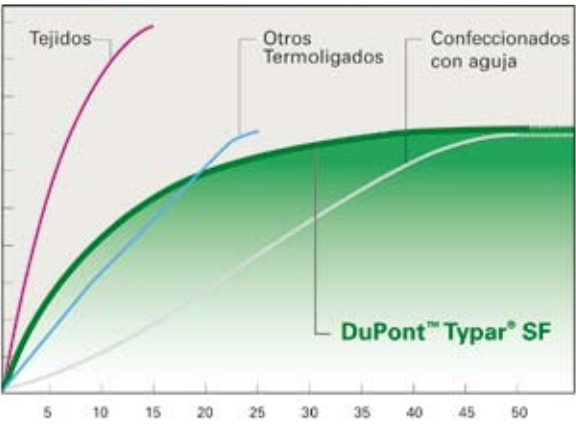


Figura 3: Curvas normales de tensión-deformación propias de DuPont™ Typar® SF y otros geotextiles.

DuPont™ Typar® SF se fabrica respetando un nivel muy elevado de uniformidad, al estar sometido a un proceso de control continuo en línea mediante rayos β y ultrasonidos. Todo producto que no se ajuste a las normas exigidas se rechaza y se recicla. Durante el proceso de fabricación, se añaden estabilizantes al polipropileno, lo que aumenta la durabilidad de DuPont™ Typar® SF. De este modo, es capaz de resistir durante varias semanas a la luz solar, aunque una exposición prolongada, sobre todo en las regiones tropicales, puede producir una pérdida de resistencia. De forma general, el geotextil ha de recubrirse lo más rápidamente posible para evitar su degradación a causa de la radiación ultravioleta, su dispersión por el efecto del viento o cualquier tipo de deterioro mecánico.

	DuPont™ Typar® SF	Tejidos	Fibras discontinuas confeccionadas con aguja	Fibras continuas confeccionadas con aguja	Otras fibras termoligadas
Energía	alta	baja	media	media	muy bajo
Resistencia a la tracción	alta	muy alta	media	alta	alta
Módulo inicial	alto	alto	muy bajo	baja	alto
Elongación	alta	baja	alta	alta	baja

Tabla 1: Propiedades de tensión-deformación para varios tipos de geotextiles.

Características y necesidades funcionales

2.1. Introducción	6
2.2. Separación	6
2.3. Estabilización y refuerzo	7
2.3.1. Retención y contención	7
2.3.2. Efecto de membrana	7
2.3.3. Refuerzo local	8
2.4. Filtración	8
2.5. Drenaje	9
2.6. Protección	9
2.7. Resistencia al deterioro durante la instalación	9
Absorción de energía	10

2. Características y necesidades funcionales

2.1. Introducción

En función de las distintas aplicaciones, la principal función de un geotextil es la de separar, filtrar, reforzar, proteger o incluso estabilizar. En la mayoría de las aplicaciones, se precisa una combinación que reúna varias de estas funciones. Además, el geotextil debe ser resistente a un posible deterioro durante la instalación.

Este capítulo tiene por objetivo proporcionar las bases técnicas esenciales que le permitirán comprender las características y las necesidades funcionales asociadas a los geotextiles, así como los distintos mecanismos que intervienen en cada función. Además, le ayudará a escoger el geotextil apropiado para una utilización específica, una tarea difícil como consecuencia de las interacciones extremadamente complejas que tienen lugar entre varios factores correlacionados, como las propiedades mecánicas e hidráulicas, la colmatación, la estructura, los efectos del paso del tiempo, la degradación, etc.

2.2. Separación

El término “separación” se define de la siguiente forma: “Impedir que suelos de diferentes tipos y/o materiales de terraplenado se mezclen gracias a la interposición de un geotextil o un producto de naturaleza similar”⁴.

Los principales campos de aplicación de un geotextil utilizado como separador se concentran en los proyectos de construcción de carreteras y de vías férreas. La utilización de un geotextil preserva y mejora la integridad y el aspecto funcional de los distintos materiales utilizados. De hecho, cuando se coloca una cimentación de áridos sobre un suelo blando y se aplica una carga vertical, intervienen dos mecanismos.

En primer lugar, el geotextil impide la pérdida de áridos en el suelo blando de la plataforma (Figura 4). Un refrán característico de los ingenieros describe muy bien este riesgo: “10 kilos de piedras colocados sobre 10 kilos de barro, al final terminan siendo 20 kilos de barro”. El geotextil permite encerrar la cimentación de áridos y obtener de este modo un mayor grado de compactación, que se traduce en una mayor capacidad de carga.

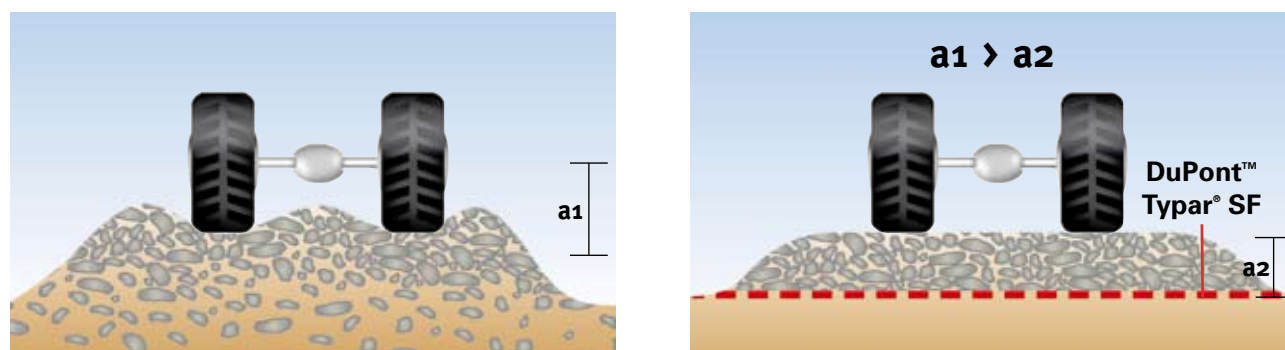


Figura 4 : arriba : Sin geotextil - pérdida de áridos en el suelo blando de la plataforma.
abajo: Con un geotextil - no hay pérdida de áridos, mayor compactación.

Por otra parte, impide que la cimentación de áridos resulte contaminada por el suelo de la plataforma, evitando que se reduzca la capacidad de carga. La migración de partículas finas del suelo hacia los áridos limpios se produce especialmente por el efecto de fuerzas dinámicas. Este fenómeno se denomina “efecto de bombeo”. Las partículas finas actúan como un lubricante entre los áridos de mayor tamaño y podrían reducir notablemente la resistencia a la cizalladura de los áridos.

Del mismo modo, los áridos no contaminados seguirán ejerciendo con eficacia su función de drenaje y mantendrán una mayor resistencia a los efectos de la expansión como consecuencia de las heladas.

En su función de separador, un geotextil puede:

- Impedir la reducción de la capacidad de carga, causada por la mezcla de granos finos de la infraestructura con el basamento de áridos.
- Aumentar la capacidad de carga impidiendo la pérdida de áridos en el interior de la infraestructura mullida y aumentando el grado de compactibilidad.
- Reducir los efectos de la expansión como consecuencia de las heladas, que deteriora las carreteras.
- Evitar tener que excavar en suelos mullidos.
- Permitir conservar la capacidad de drenaje del basamento de áridos.
- Impedir la migración de partículas finas, especialmente por el efecto de las cargas dinámicas.

2.3. Estabilización y refuerzo

Son muchas las aplicaciones en las que los geotextiles desempeñan una función de estabilización o de refuerzo ⁵. Los geotextiles, que ejercen una función de estabilización, aportan al suelo cualidades de resistencia a la tracción. De esta forma, solucionan la ausencia de resistencia a la tracción en el suelo cuando éste se ve sometido a cargas verticales.

Existen tres mecanismos distintos que permiten a un geotextil estabilizar el basamento de áridos y mejorar su resistencia a la deformación permanente por el efecto de cargas repetitivas (como se muestra en la figura 5 siguiente):

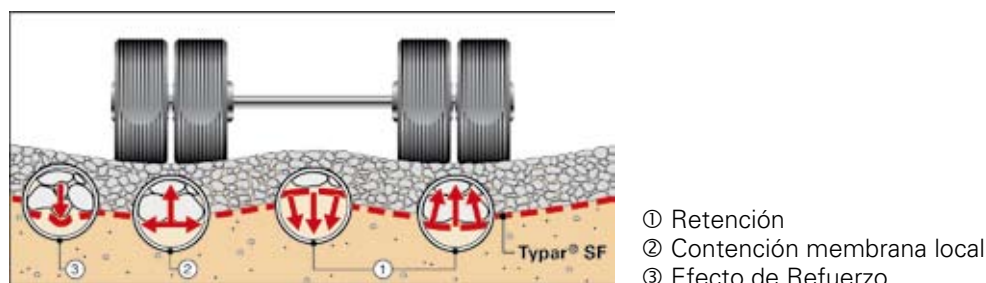


Figura 5: Los tres mecanismos de estabilización.

Cuanto más alto sea el módulo inicial del geotextil, más eficaces resultarán estos mecanismos. Los geotextiles con un módulo inicial bajo presentan importantes deformaciones y se caracterizan por una retención, un efecto de membrana o un refuerzo local escaso. Factores muy a tener en cuenta, como un módulo inicial alto y una elongación notable les permiten resistir a deformaciones locales, así como a la perforación.

2.3.1. Retención y contención

Como se muestra en la ilustración de la Figura 5, existen dos tipos de capacidad de retención. La primera se refiere a la curvatura inversa del geotextil en cada lado de paso de las ruedas, que ejercen una presión hacia abajo. El paso de las ruedas provoca una sobrecarga que aplanan las deformaciones y aplica una fuerza de compresión sobre el subsuelo. La segunda forma de retención es la que ofrece el geotextil cuando las partículas de áridos se dispersan por los efectos de la carga. El geotextil proporciona un armazón de tracción a la capa de áridos. Esta contención de los áridos aumenta la resistencia y el módulo, lo que a su vez hace que se reduzca la fuerza de compresión sobre la infraestructura, distribuyendo mejor la carga bajo la presión de las ruedas.

2.3.2. Efecto de membrana

El efecto de membrana actúa de manera eficaz cuando se coloca un geotextil sobre un suelo deformable y se aplican cargas verticales. El esfuerzo de tracción en el suelo se transmite al geotextil, aliviando las cargas sobre el subsuelo, que es incapaz de absorber dicho esfuerzo. Esta fuerza sobre el plano se equilibra con la componente horizontal de la carga proveniente de la difusión de las cargas verticales aplicadas.

Por consiguiente, este efecto tiene una importancia fundamental en la construcción de carreteras provisionales, ya que permite reducir la formación de roderas de forma considerable. Cuanto más alto sea el módulo inicial del geotextil, mayor será la posibilidad de reducir la formación de roderas. ¹

⁵ Para más información y detalles acerca de la utilización de los geotextiles en estructuras reforzadas sobre tierra, consulte la guía donde se describen los productos DuPont™ Tygar® HR y su diseño. Algunos ejemplos de aplicaciones dirigidas a estructuras reforzadas sobre tierra: muros de refuerzo, pendientes muy pronunciadas, reparaciones de corrimientos de terreno, terrazas de seguridad o taludes caracterizados por un suelo mullido, refuerzo bajo cimentaciones, refuerzo o puentes sobre zonas o cavidades kársticas, etc.

2.3.3. Refuerzo local

Las cargas que se ejercen sobre las piedras consideradas por separado pueden ser las causantes de los fallos localizados en la infraestructura. Todo geotextil caracterizado por un módulo inicial elevado permite distribuir la carga, reducir la tensión y ejercer una fuerza de resistencia al desplazamiento.

Una capacidad de alargamiento considerable evita la perforación del geotextil a nivel local, puesto que le permite extenderse alrededor de una piedra susceptible de poder penetrarlo.

2.4. Filtración

El término “filtración” se define de la siguiente forma: soporte del suelo o de otras partículas sujeto/as a fuerzas hidráulicas al tiempo que permite el paso de líquidos a través o en un geotextil o un producto asemejado a los geotextiles ⁶.

Por lo general, el tamaño de las aberturas y la permeabilidad permiten describir las propiedades de filtración del geotextil. Por este motivo, el tamaño de los poros de un geotextil eficaz ha de ser suficientemente pequeño como para retener las partículas de suelo más grandes, a fin de impedir el fenómeno de erosión. Las partículas de suelo pequeñas son las primeras que deben atravesar el geotextil. Tras la evacuación de éstas últimas, las partículas más grandes se acumulan contra el geotextil, formando de este modo un filtro natural graduado que reduce progresivamente la erosión interna hasta la desaparición de la misma. Si el tamaño de los poros de un geotextil es demasiado pequeño, las partículas pequeñas no se pueden expulsar, ocasionando así la formación de una barrera de suelo natural caracterizada por una escasa permeabilidad (Figura 6).

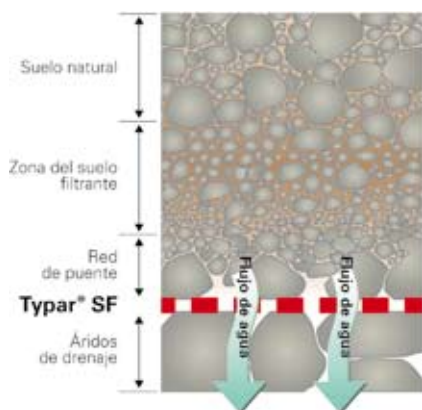


Figura 6: Filtro de suelo natural cerca del geotextil.

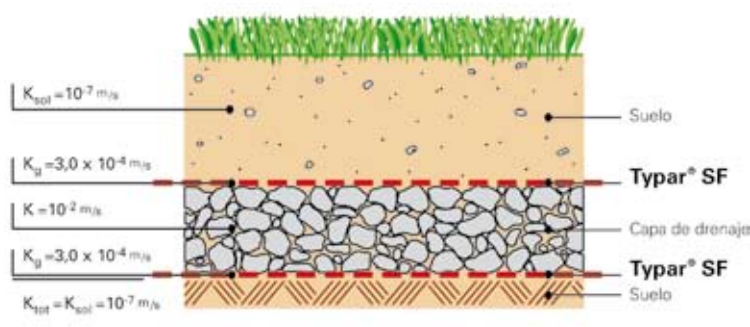


Figura 7: Sistema de drenaje, suelos y geotextil caracterizados por diferentes permeabilidades. ⁷ ktot está determinado por la capa de suelo menos permeable. ⁸

Un filtro geotextil eficaz debe tener poros con formas y tamaños diferentes, caracterizados por un reparto similar a la distribución granulométrica del suelo.

A menudo se pasa por alto que en un sistema de cimentación sobre terreno granular (Figura 7), la permeabilidad de la capa menos permeable determina la permeabilidad de todo el sistema. Normalmente, el suelo presenta una permeabilidad significativamente menor que la del geotextil ⁹.

Permeabilidades de suelos convencionales ⁶:

Grava	3×10^{-2} m/s
Limo	$10^{-9} - 10^{-7}$ m/s
Arena	10^{-4} m/s
Arcilla	10^{-9} m/s

En la permeabilidad de un geotextil también influye su capacidad de compresión. Por lo general, los geotextiles espesos están sometidos a una compresión que ha de tenerse en cuenta a la hora de especificar la permeabilidad que se exige de ellos. El espesor constituye más una propiedad descriptiva que de diseño ¹⁰.

La función de filtración está asociada a la construcción de presas, a la lucha contra la erosión, al drenaje de carreteras y del subsuelo. En este tipo de construcciones, el geotextil sustituye a un filtro convencional de lechos granulares. En un sistema de lucha contra la erosión en una ribera o en una pendiente de tierra, se utilizan habitualmente materiales de gran volumen (gaviones / escolleras) o losas de hormigón a modo de protección contra el flujo de agua o la acción de las olas. La erosión de las partículas pequeñas se impide gracias a la utilización de un geotextil como filtro.

⁶ EN ISO 10318.

⁷ consultar en el anexo 7.10 para más información acerca de la permeabilidad de suelos.

⁸ con la excepción de la arena gruesa y los cantos rodados.

⁹ En lo que se refiere a la permeabilidad, consultar también el apartado 4.4.2.

2.5. Drenaje

Antiguamente, el flujo de aguas se controlaba de forma tradicional y éstas se evacuaban por medio de materiales naturales calibrados. En los últimos 30 años, se ha extendido el uso de los filtros geotextiles para aumentar la capacidad de drenaje natural de los suelos impermeables.

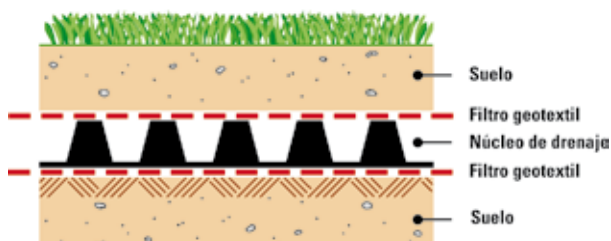


Figura 8: Elemento compuesto de drenaje.

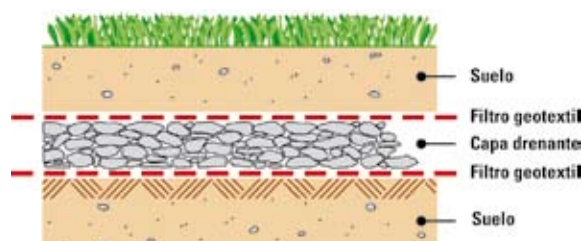


Figura 9: Capa de drenaje convencional de áridos.

Un geotextil no se debe utilizar como capa de drenaje directo, ya que aunque su capacidad de drenaje se pueda medir en laboratorio con agua limpia, en condiciones reales, en un lugar determinado, (retención de suelo en el interior de la estructura), la capacidad de drenaje resulta imprevisible. También es importante que los sistemas de drenaje puedan mantener una capacidad drenante adecuada para que resulten eficaces a largo plazo, incluso cuando se encuentren sometidos a una intensa presión por parte del terreno. Para evitar la colmatación y la contaminación de la capa drenante, se debe incorporar siempre un filtro en el sistema de drenaje. Los sistemas de drenaje artificiales que incluyen un filtro geotextil han demostrado su eficacia como solución alternativa más económica que los sistemas de drenaje de arena, los pozos filtrantes y otros sistemas tradicionales. Habitualmente, las capas de drenaje o drenajes geosintéticos se elaboran a partir de un núcleo revestido con filtros geotextiles. Es imprescindible que el material filtrante presente una calidad y unas propiedades físicas constantes, una resistencia y una durabilidad excepcionales, una resistencia satisfactoria a las tensiones ejercidas durante la instalación y un rendimiento de filtración óptimo a largo plazo. El funcionamiento incorrecto o los fallos prematuros de un sistema de drenaje pueden ocasionar en la estructura en cuestión problemas funcionales y de seguridad. En el mejor de los casos, un fallo de drenaje originará reparaciones costosas y molestias derivadas. Por ello, es esencial utilizar un material de filtración que pueda funcionar con eficacia a largo plazo, incluso en las condiciones de terreno más difíciles.

2.6. Protección

El término "protección" se define de la siguiente forma: "Función consistente en impedir o limitar los daños localizados que afectan a un elemento o a un material determinado empleando un geotextil o un producto que se asemeje a los geotextiles"¹⁰.

Por lo general, los geotextiles se emplean para la protección de las geomembranas en las descargas, para la colocación de tejados, en depósitos y en los proyectos hidráulicos.

Las propiedades más importantes de un geotextil con respecto a su función de protección son la resistencia a la perforación y la uniformidad del producto (es decir, la ausencia de puntos débiles). Además, las pruebas¹¹ de resistencia a la perforación mediante clavos han demostrado que propiedades como el espesor y el peso específico del producto no pueden garantizar por sí solas una eficacia de protección óptima.

2.7. Resistencia al deterioro durante la instalación

El geotextil no podrá seguir cumpliendo sus funciones si se destruye durante o inmediatamente después de la instalación. Los análisis efectuados demuestran que el periodo crítico en el ciclo de vida de un geotextil tiene lugar principalmente durante el proceso de colocación, antes que en etapas posteriores. El 95% de los daños se producen habitualmente en la fase de instalación. Con frecuencia, son sencillamente el resultado de daños ocasionados por impactos recibidos durante la descarga y por la compactación de los áridos. Por lo general, si el geotextil sobrevive a estos daños sufridos en el transcurso de la instalación, también podrá resistir las tensiones a las que se verá sometido durante su uso normal.

Se ha realizado un trabajo considerable para tratar de comprender la relación existente entre las propiedades físicas de un geotextil de separación y su rendimiento real sobre el terreno. Estos estudios han confirmado la existencia de una correlación estrecha entre la capacidad de un geotextil de absorber la energía del impacto y su susceptibilidad al deterioro durante la instalación¹².

¹⁰ EN ISO 10318.

¹¹ Pruebas de perforación mediante clavos que simulan el comportamiento sobre el terreno, preparadas por DuPont y realizadas por el laboratorio de DuPont para el control de calidad de DuPont™ Typar®.

Las siguientes figuras muestran las distintas formas de fallos de un geotextil y la importancia de una capacidad elevada de absorción de la energía:



Figura 10: Una gran capacidad de elongación permite al geotextil extenderse alrededor de la piedra susceptible de penetrarlo.



Figura 11: Una resistencia elevada permite al geotextil resistir la fuerza de una piedra que se desprende.



Figura 12: Deterioro del geotextil como consecuencia de una falta de resistencia o una falta de elongación.

Absorción de energía

El potencial de absorción de energía (W) de un geotextil se puede describir como la combinación de su elongación y de la resistencia que aplica. El siguiente gráfico (Figura 13) ilustra este concepto: en él se muestran las diferentes formas de potencial de absorción de energía real y teórica, definido anteriormente por la superficie que se encuentra bajo la curva.

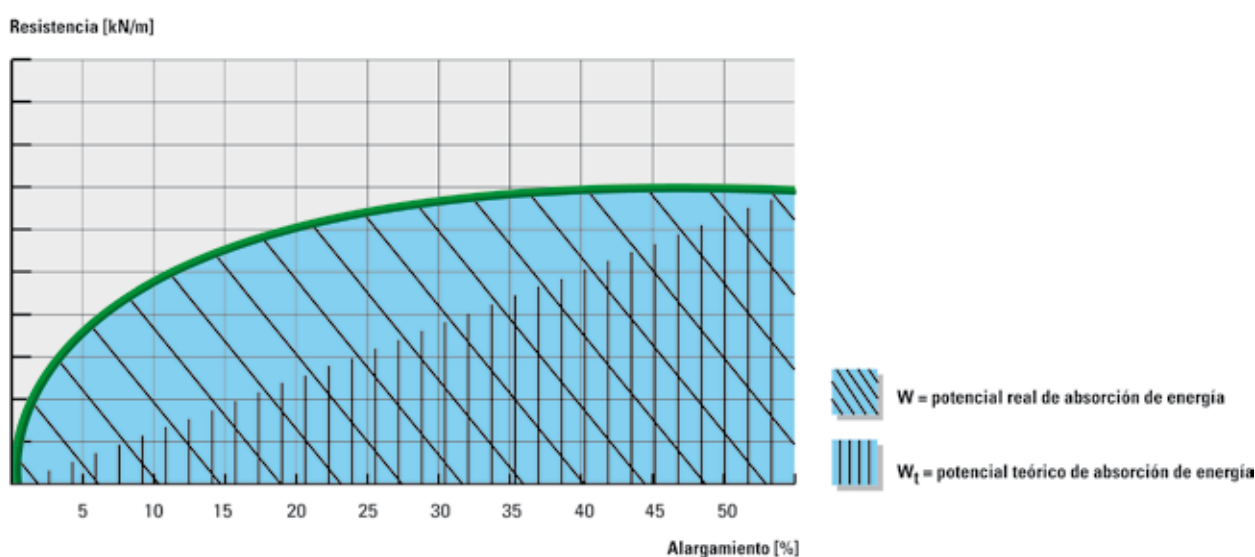


Figura 13: Comparativa del potencial real y teórico de absorción de energía.

Son varias las especificaciones a nivel nacional que están incorporando el concepto de absorción de energía. En cualquier caso, algunas especificaciones se basan más en los valores teóricos que en el cálculo de la superficie bajo la curva $W = \int T * \epsilon$. Este cálculo se simplifica mediante la fórmula $W_t = 1/2 T * \epsilon$. El resultado se traduce en una absorción teórica de energía (W_t) para determinados productos, sensiblemente más elevada, mientras que para otros, la absorción teórica de energía es menor que el potencial real de absorción de energía, medido durante la prueba de resistencia a la tracción (EN 10319).

Bibliografía

- ¹ Love, J.P., Burd, H.J., Milligan, G.W.E. and Housby, G.T. (1987). Analytical and model studies of reinforcement of a granular layer on a soft clay subgrade. Canadian Geotechnical Journal, Vol.24, No 4, p. 611-622.
- ² Koerner, Designing with Geotextiles, 4th edition 1998, p.96.
- ³ SINTEF Report, Arnstein Watn, Non woven geotextiles – Field test on damage during installation, SINTEF Civil and Environmental Engineering, Norway Evaluation of Installation Damage of Geotextiles - A Correlation to Index Tests, R. Diederich, DuPont, Luxembourg.

Cimentaciones sobre terrenos granulares

3.1. Introducción	12
Qué es el módulo inicial	12
3.2. Funciones	12
3.2.1. Estabilización	12
3.2.2. Separación y filtración	13
3.2.3. Formación de roderas	13
3.3. Diseño de cimentaciones sobre terrenos granulares con DuPont™ Typar® SF	14
3.3.1. Calzadas sin revestimiento	14
3.3.2. Calzadas con revestimiento	17
3.3.3. Calzadas revestidas con cimentación para la circulación de vehículos de construcción	18
3.4. Selección del tipo adecuado de DuPont™ Typar® SF	19
3.4.1. Influencia del tráfico	19
3.4.2. Influencia de las condiciones de aplicación	20
3.4.3. Influencia de la compactación	20
3.4.4. Criterios de filtración	20
3.5. Recomendaciones de aplicación	21
3.6. Ejemplos de diseño	21
3.6.1. Ejemplo 1 (según 3.3.1)	21
3.6.2. Ejemplo 2 (según 3.3.3)	22
3.6.3. Ejemplo 3	24

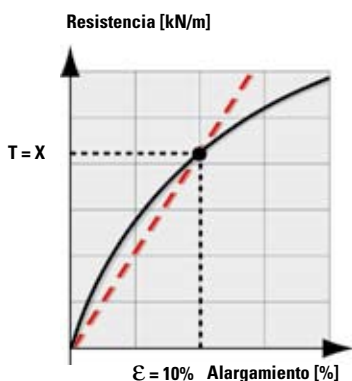
3. Cimentaciones sobre terrenos granulares

3.1. Introducción

Este capítulo constituye una guía donde se explica el diseño y la construcción de cimentaciones sobre terrenos granulares para estructuras permanentes y provisionales que soportan el tráfico por carretera y que utilizan los geotextiles DuPont™ Typar® SF. Esta tecnología se aplica a las cimentaciones sobre terrenos granulares que soportan cargas más o menos dinámicas en pistas, carreteras y autopistas, carreteras construidas para un uso o acceso temporal, zonas de almacenamiento, áreas de estacionamiento e instalaciones deportivas.

En el caso de las superficies con revestimiento, como las carreteras, autopistas y pistas, las administraciones de redes viales nacionales han sido elaborados métodos de diseño basados en las condiciones locales y en su ámbito de experiencia. Por este motivo, no es una intención de esta guía proponer nuevos métodos de dimensionamiento. Tan sólo se pretende exponer las ventajas que aporta la utilización de DuPont™ Typar® SF en este tipo de estructuras con revestimiento. Los procedimientos y métodos de diseño que se presentan a continuación se pueden aplicar a estructuras con revestimiento, teniendo en cuenta que la capa de cimentación se debe utilizar como carretera provisional destinada a la construcción mientras dure la fase de construcción.

Estos procedimientos y métodos de diseño con vistas a la utilización de DuPont™ Typar® SF son el resultado del conocimiento adquirido a partir de pruebas reales en carretera, realizadas en infraestructuras de escasa capacidad de carga y fruto de una experiencia de 30 años.



¿Qué es el módulo inicial?

El módulo del geotextil se puede describir como un módulo secante, donde para un alargamiento de, por ejemplo, $\epsilon = 10\%$, la carga es $T = X$ kN/m, lo que da un módulo $K = T/\epsilon$ (Figura 14). Cuanto más aumenta el gradiente, más alto es el módulo.

Cuando más alta es la resistencia a la tracción de un geotextil, con una deformación inicial que representa por ejemplo el 5% del alargamiento, más alto es el módulo inicial y mayor es la resistencia a la formación de roderas.

Figura 14: Módulo inicial = Módulo secante, ejemplo de valor a $\epsilon = 10\%$.

3.2. Funciones

La combinación de las funciones de un geotextil, destinadas a proporcionar una resistencia suplementaria a la cimentación sobre terrenos granulares (en comparación con un espesor igual de áridos en una estructura sin DuPont™ Typar® SF), es diferente para cada aplicación. Para las cimentaciones sobre terrenos granulares, las funciones principales son la separación y la estabilización. Los estudios realizados muestran que las funciones de estabilización dependen en gran medida del módulo del geotextil I. Además, el espesor de la capa de áridos se puede reducir sensiblemente utilizando un geotextil.

3.2.1. Estabilización

La eficacia de los mecanismos descritos en el capítulo anterior está completamente ligada al comportamiento del geotextil en situaciones de gran exigencia (ver Figura 15). Los distintos tipos de geotextiles presentan una curva de tensión-deformación diferente según cada caso. El potencial de absorción de energía W es el que mejor representa esta diferencia (véase también la sección 2.7).

Los geotextiles tejidos tienen un módulo inicial muy alto y una resistencia a la tracción máxima elevada, pero también un nivel de elongación bajo, lo que genera una energía W escasa. Los materiales no tejidos agujeteados presentan un módulo inicial bajo y se requiere una deformación previa importante antes de que puedan desarrollar una resistencia a la tracción significativa.

Esto genera un potencial bajo de absorción de energía W . DuPont™ Typar® SF tiene un módulo inicial elevado, una resistencia elevada y un alargamiento notable bajo carga máxima, por lo que su potencial de absorción de energía W es alto. Puesto que una absorción de energía elevada proporciona una resistencia alta a los daños, DuPont™ Typar® SF está especialmente adaptado a esta aplicación.

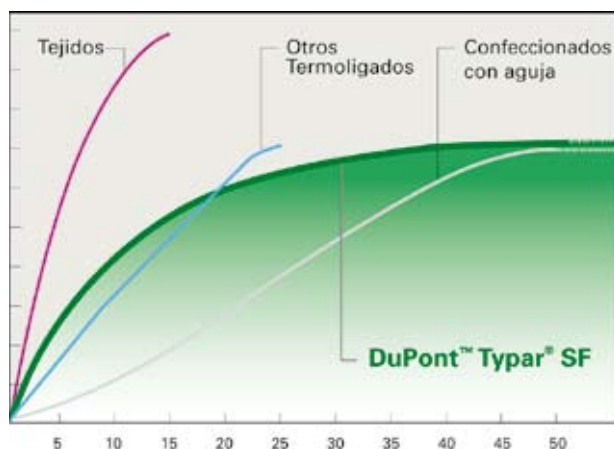


Figura 15: Curvas convencionales de tensión-deformación de diferentes geotextiles.

3.2.2. Separación y filtración

Las exigencias hidráulicas, como una gama adecuada de tamaños de poros destinados a desempeñar una función eficaz de filtración, están recogidas en la variedad de tamaños de aberturas que ofrece DuPont™ Typar® SF, similares a los tamaños de las partículas del suelo. La permeabilidad al agua de DuPont™ Typar® SF suele ser mayor que la de la mayoría de los subsuelos¹⁶. Además, la permeabilidad al agua de DuPont™ Typar® SF no se ve afectada por la compresión de la carga, puesto que existe una estructura precomprimida que contrasta con los geotextiles comprimibles más espesos.

3.2.3. Formación de roderas

La formación de roderas puede convertirse en un problema serio, especialmente en el caso de carreteras provisionales. El paso habitual de vehículos de transporte provoca una fuerza de tracción que deforma el subsuelo. Al ser diferente de la mayoría de los demás geotextiles, DuPont™ Typar® SF requiere menos capacidad de alargamiento y deformación para poder resistir a estas tensiones (módulo inicial alto) y por consiguiente, reduce considerablemente la formación de roderas. En el gráfico siguiente (Figura 16), los resultados de las pruebas donde se simula una carga debida a la circulación sometiendo varios geotextiles a 1.000 ciclos de carga dinámica muestran la diferencia entre DuPont™ Typar® SF y dos productos geotextiles agujeteados (fibras cortas confeccionadas con aguja, fibras continuas confeccionadas con aguja) con un módulo inicial bajo.

Los resultados indican una relación evidente entre el módulo inicial y la deformación (formación de roderas). El módulo inicial alto permite a DuPont™ Typar® SF absorber más tensiones externas antes de transmitir esta absorción de energía como una deformación.

Debido a su alta capacidad de absorción de energía, DuPont™ Typar® SF ofrece una excelente resistencia al deterioro en el transcurso de la instalación. Además, se requiere un alargamiento suficiente en el punto de rotura para resistir a la penetración local que ejercen las piedras y para ofrecer un margen de seguridad adecuado una vez que el geotextil está sometido a la tensión.

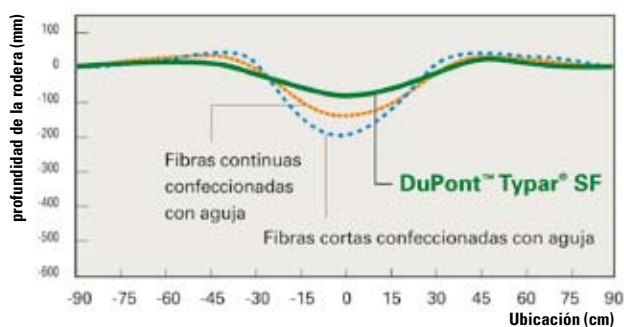


Figura 16: Cálculo de las cubetas de deflexión después de 1.000 ciclos - deflexión medida en el geotextil - productos de Clase 3¹⁷

¹⁶ con la excepción de arenas gruesas y cantos rodados.

¹⁷ según el sistema de clasificación noruego.

3.3. Diseño de cimentaciones sobre terrenos granulares con DuPont™ Typar® SF

Las principales causas de degradación de la calzada son:

- La contaminación de la cimentación sobre terrenos granulares por una infraestructura de granos finos sometida a carga dinámica ("efecto de bombeo") que causa una reducción sustancial de la resistencia a la cizalladura de los áridos. El espesor de los áridos "limpios" y, en consecuencia, la capacidad de carga de la estructura se reduce hasta niveles inaceptables.
- La contaminación de la cimentación sobre terrenos granulares, descrita anteriormente, que hace que los áridos resulten sensibles a las heladas; la consecuencia de esto es una reducción de la capacidad de carga durante los periodos de deshielo.
- La ausencia de un drenaje subterráneo.
- El aumento imprevisto del tráfico rodado.

La utilización de DuPont™ Typar® SF impide la contaminación a causa de los áridos y por consiguiente, proporciona una mayor durabilidad.

Esta guía emplea el CBR¹⁸ como medida de resistencia del suelo. Los factores de correlación entre el CBR, la resistencia a la cizalladura no drenada C_u , el módulo de rigidez E_v y el módulo de compresibilidad M_E figuran en la tabla 2 que se muestra a continuación.

Las propiedades de diseño que aquí se exponen y que se refieren a las carreteras con y sin revestimiento se basan en un tipo estándar de DuPont™ Typar® SF con un nivel de energía 2. En función de las condiciones de instalación y de circulación, se puede escoger un nivel de más alto de absorción de energía del geotextil.

Tabla de comparación para la evaluación de los índices CBR :

Muy blando				Blando		Denso		Entre denso y firme				Firme	Suelo
0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	9		CBR
20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42			C_u [kN/m²]*
2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42			C_u [psi]
2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42			M_E [MN/m²]**
2	6	10	14	18	22	26	30	34	38	42			E_v [MN/m²]

* Resistencia a la cizalladura no drenada

** Módulo de compresibilidad

Tabla 2: Tabla de correlación que permite calcular el índice CBR de la plataforma.

3.3.1. Calzadas sin revestimiento

Una calzada sin revestimiento que da acceso provisional o permanente (es decir, una carretera para la construcción o carretera asfaltada con gravilla) suele estar compuesta por una simple capa de cimentación sin ningún tipo de recubrimiento.

El método de diseño que se expone a continuación prevé que la instalación de DuPont™ Typar® SF entre la plataforma y la capa de cimentación permitirá:

- Una mejor compactación de los áridos.
- La consolidación de la plataforma bajo el efecto de las cargas dinámicas.
- El refuerzo de la estructura por el efecto de membrana y de contención.
- El aumento de la presión admisible en la plataforma hasta obtener una capacidad de carga límite $p = (\pi + 2) * C_u$.

La combinación de estas ventajas equivale a un aumento empírico del índice CBR de la plataforma de 3 puntos aproximadamente. Este método de diseño sólo se puede aplicar a las construcciones que utilizan DuPont™ Typar® SF.

El procedimiento consiste en primer lugar en determinar el espesor inicial de los áridos según las condiciones de carga y de infraestructura. Después, es necesario tener en cuenta la durabilidad y la eficacia de los áridos. Tras especificar el espesor efectivo de los áridos T_{efic} , se debe escoger un tipo de DuPont™ Typar® SF que presente un nivel de energía adecuado.

A. Espesor inicial de los áridos T_0 **B. Adaptación de T_0 a la durabilidad $\rightarrow T$** **C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia de los áridos $\rightarrow T_{eff}$**

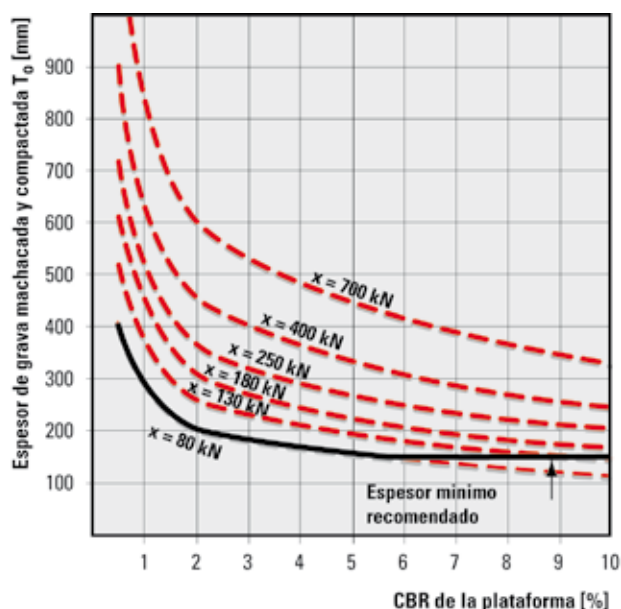
Se debe prestar especial atención a las cargas por eje > 130 kN. Se debe seleccionar la curva apropiada que permite determinar el espesor inicial de los áridos T_0 y el número real de pasadas N se emplea para determinar el factor C de adaptación a la durabilidad.

Método de diseño de las calzadas sin revestimiento**A. Espesor inicial de los áridos T_0**

Capacidad de carga del suelo CBR, C_u

Carga por eje P_i

Consulte la Figura 17 utilizando el CBR de la plataforma y la carga por eje P_i ¹⁹ para determinar T_0 , el espesor de grava machacada y compactada para 1.000 cargas por eje. De forma complementaria, en la tabla 3 se expresa la fórmula para calcular T_0 .



CBR [%]	P_1 [kN]	P_2 [lbs]
0,5	45.31	0.119
1	32.37	0.085
1.5	25.89	0.068
2	22.47	0.059
3	20.56	0.054
4	18.66	0.049
5	17.14	0.045
6	16.00	0.042
7	14.85	0.039
8	13.71	0.036
9	12.95	0.034
10	12.19	0.032

$$T_0 \text{ (mm)} = P_1 \sqrt{\text{Carga por eje (kN)}}$$

$$T_0 \text{ (in)} = P_2 \sqrt{\text{Carga por eje (lbs)}}$$

Figura 17: Calzadas sin revestimiento: espesor de la grava machacada y compactada para 1.000 cargas por eje.

Tabla 3: Factores que permiten determinar la curva P_i .

B. Adaptación de T_0 correspondiente a la durabilidad

Carga por eje P_i

Número real de pasadas N_i

Espesor de grava machacada y compactada T_0

$$T = C * T_0 = T = (0.27 * \log(\sum N_i * CESE_i) + 0.19) * T_0$$

- Cuando las cargas por eje más frecuentes son superiores a 130 kN (por ejemplo: la utilización de la Carga por Eje Estándar Equivalente (CEEE) es inapropiada y el factor C de adaptación a la durabilidad está determinado por el número real de pasadas N_i .
- La durabilidad se expresa por la cantidad total de aplicaciones de la carga por eje 80 kN. La carga por eje real se convierte en primer lugar en una carga por eje normalizada equivalente ($P_0 = 80$ kN) utilizando el factor de equivalencia CEEE :

$$CEEE_i = (P_i / P_0)^{1.95}$$

¹⁹ Si no se conocen las cargas por eje efectivas, se calcularán dividiendo el peso bruto del vehículo por el número de ejes. Para determinar el dimensionamiento, el efecto de un eje de carga P se puede comparar al de un eje estándar equivalente $P_0 = 80$ kN, mediante el factor de equivalencia E .

Carga por eje (kN)	ESAL	Carga por eje (kN)	ESAL
10	0.0003	140	9,12
20	0,004	150	11,98
30	0,021	160	15,45
40	0,065	170	19,64
50	0,16	180	24,61
60	0,32	190	30,47
70	0,55	200	37,31
80	1,0	250	90,08
90	1,59	300	185,10
100	2,41	400	576,70
110	3,52	500	1392,30
120	4,96	600	2860,80
130	6,80	700	5259,30

Tabla 4: Cargas por eje estándar equivalentes (ESAL).

En la tabla 4 se muestra el factor de equivalencia ESAL para diferentes cargas por eje.

- Multiplicando el número real de pasadas de ejes (N_i) por CEEE, el número de pasadas de cargas por eje normalizadas equivalentes (CEEE) es

$$N_E = \sum N_i * CESE_i$$

Dado que T_0 está determinado para una durabilidad de 1.000 cargas por eje aplicadas, se debe ajustar con un factor C que depende del número real de cargas estándar NE. La relación entre NE y C se representa en figure 18.

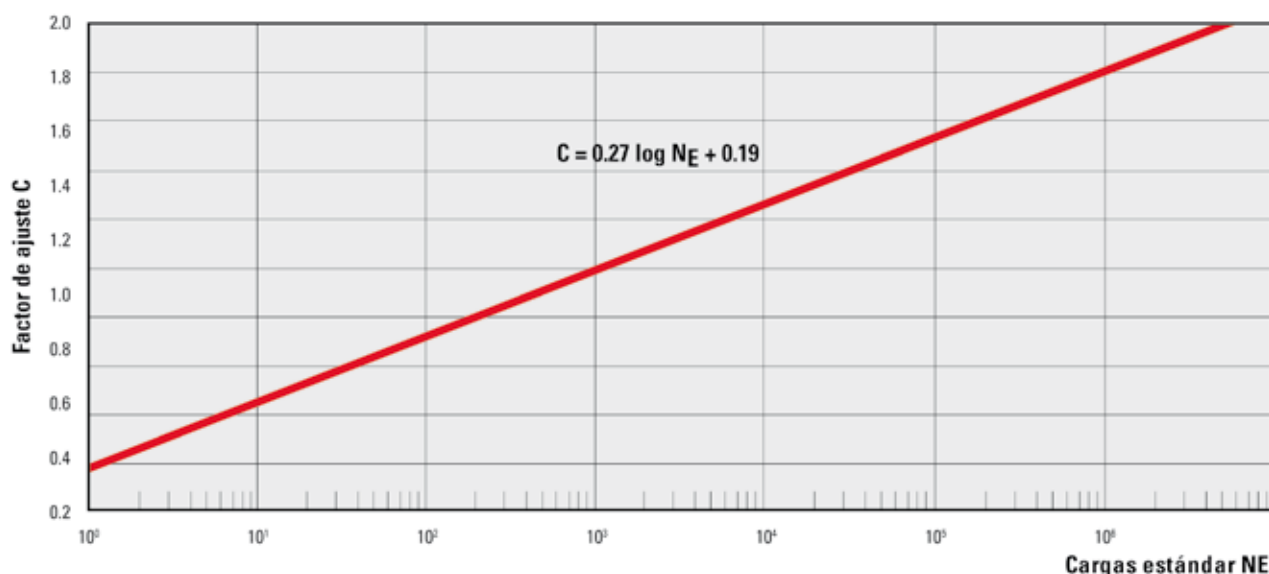


Figura 18: Factor de ajuste correspondiente a la durabilidad. "

- El espesor de los áridos T pasa entonces a ser:

$$T = C * T_0 = (0.27 * \log(\sum N_i * CEEE_i) + 0.19) * T_0$$

C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia de los áridos

$$T_{\text{efic}} = \sum T_i / \alpha_i$$

Los áridos seleccionados deben permitir la posibilidad de ser compactados. La idea consiste en encerrar toda la masa bajo la carga para poder aprovechar los mecanismos de refuerzo de DuPont™ Typar® SF. Se recomienda utilizar grava machacada, ya que se encaja correctamente y presenta una capacidad de carga elevada. También se pueden emplear otros materiales o mezclas en la medida en que estén disponibles. En la tabla 5 se indica el factor de equivalencia de un material determinado con respecto a la grava machacada convencional que se emplea para el revestimiento y las capas de base.

Material	Eficacia α
Pavimento	2
Recubrimiento en caliente (hormigón bituminoso)	2
Capa de desgaste compacta	2
Grava estabilizada con cemento (> 5M Pa)	1.5
Grava estabilizada con betún	1.5
Grava machacada de roca dura - convencional	1.0
Grava machacada de roca de dureza media (CBR > 80%)	0.8
Grava limpia, de roca dura (CBR > 80%)	0.8
Grava limpia de roca de dureza media	0.5
Grava mixta, limpia (CBR = 20 - 30%)	0.5
Caliza machacada	0.5
Grava mixta contaminada	0.4
Por ejemplo: 10 mm de recubrimiento en caliente = 20 mm de grava convencional	

Tabla 5: Adaptación correspondiente a la eficacia de los áridos.

El espesor T , pensado en un principio con grava machacada, puede sustituirse entonces por la superposición de materiales de espesor T_i y de eficacia α_i para obtener el valor de diseño final del espesor de áridos T_{efic} (espesor eficaz):

$$T_{\text{efic}} = \sum T_i / \alpha_i$$

En el apartado 3.6 se proporcionan ejemplos.

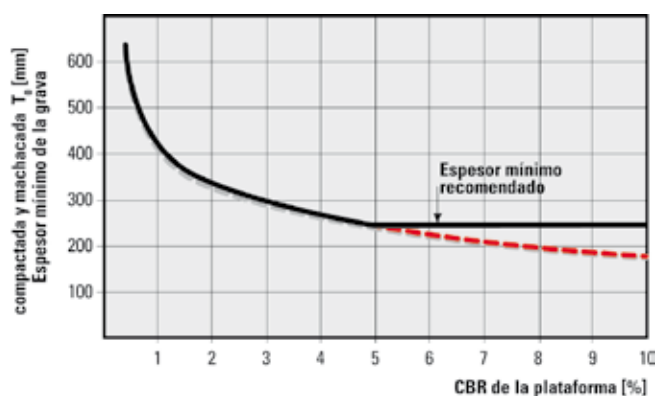
3.3.2. Calzadas con revestimiento

Las calzadas pavimentadas permanentes suelen estar compuestas por una cimentación sobre terreno granular, una capa base bituminosa y una capa de revestimiento de hormigón o betún.

El método de diseño que se expone prevé que la instalación de DuPont™ Typar® SF entre la plataforma y la cimentación sobre terreno granular de las estructuras revestidas proporcione los siguientes resultados:

- Mejor compactación de la capa de cimentación.
- Consolidación de la plataforma bajo el efecto de las cargas dinámicas.
- Prevención a largo plazo de la contaminación de la capa de cimentación de los áridos.

Estas ventajas suponen una durabilidad prolongada o, dicho de otro modo, la posibilidad de soportar más cargas ejercidas por la circulación, con un espesor determinado de la cimentación sobre terreno granular. Además, al utilizar una parte de la cimentación sobre terreno granular como ruta de acceso para la circulación de vehículos de construcción, es posible beneficiarse del efecto estabilizador de DuPont™ Typar® SF. Las funciones de separación y de filtración favorecen la consolidación de la plataforma bajo el efecto de las cargas estática y dinámica.

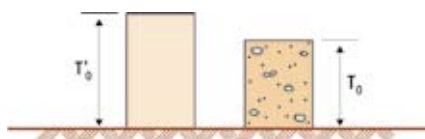
Figura 19: Espesor de la grava compactada y machacada T' .

Los procedimientos y métodos de diseño son similares a los de las carreteras sin revestimiento (véase el apartado anterior). No obstante, el espesor de la grava compactada y machacada T_0 para 1.000 cargas por eje, en lo que respecta a las carreteras con revestimiento, viene determinado por la Figura 19. Este espesor debe adaptarse a la durabilidad y a la eficacia de los áridos al igual que en el caso de la estructura sin revestimiento.

3.3.3. Calzadas revestidas con cimentación para la circulación de vehículos de construcción

Aprovechar al máximo el mecanismo de refuerzo de DuPont™ Typar® SF utilizando la Figura 16 para determinar el espesor mínimo de los áridos destinados a la creación de carreteras temporales para la construcción. A continuación, incorporar esta estructura en la construcción final de la carretera con revestimiento añadiendo los áridos restantes para conformar el espesor necesario, como se indica en la Figura 18. Las etapas de diseño se exponen con más detalle a continuación:

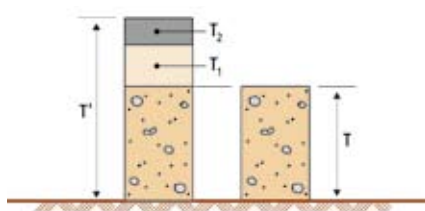
Estructura con revestimiento		Carretera de construcción sin revestimiento ²⁰	
A. Espesor inicial de los áridos T'_0		A. Espesor inicial de los áridos T_0	
Capacidad de carga del suelo	CBR, C_u	Capacidad de carga del suelo	CBR, C_u
Carga por eje	P_i	Carga por eje	P_i
Figura 19 →	T'_0	Figura 17 →	T_0



B. Adaptación de T'_0 correspondiente a la durabilidad		B. Adaptación de T_0 correspondiente a la durabilidad	
Carga por eje	P_i	Carga por eje	P_i
Número real de pasadas	N'_i	Número real de pasadas	N_i
Espesor de grava compactada y machacada	T'_0	Espesor de grava compactada y machacada	T_0

$$CEEE = (P_i/P_0)^{3.95}$$

$N'_E = \sum N'_i * CEEE \rightarrow C$ Fig 18	$N_E = \sum N_i * CEEE \rightarrow C$ Fig 18
$T' = C * T'_0$	$T = C * T_0$
$\alpha = 1$	



C. Adaptación de T' correspondiente a la eficacia de los áridos	C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia de los áridos
$T_{efic}' = T_{efic} + \sum T_i / \alpha_i$	$T_{efic} = \sum T_i / \alpha_i$
con T_{efic} espesor mínimo efectivo para la circulación de vehículos de construcción	

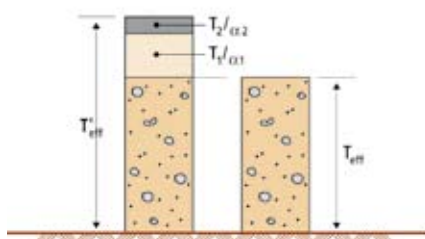


Figura 20: Tabla de diseño. ²¹

3.4. Selección del tipo adecuado de DuPont™ Typar® SF

Las líneas directrices referentes al diseño, expuestas en el capítulo anterior, se basan en un nivel de energía 1 de DuPont™ Typar® SF estándar. Se puede utilizar un nivel de energía 2, 3 ó 4 con un rendimiento más alto si se dan exigencias de diseño suplementarias para resistir a los efectos de:

- Tráfico.
- Las condiciones de aplicación.
- Compactación.

Determinar el nivel necesario de acuerdo con las Figuras 21 a 23 y seleccionar el nivel de energía equivalente de DuPont™ Typar® SF a partir de la tabla 6 que se muestra a continuación.

Nivel de energía			Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Prueba	Estándar	Unidad				
Absorción de energía (real)	EN ISO 10319/ ASTM D4595	kJ/m²	2,5	5	8	11
Resistencia a la tracción		kN/m	7	12	20	25
Alargamiento		%	45	50	50	50
Resistencia al 5% de alargamiento		kN/m	3	5	8	10
Punzonamiento CBR	EN ISO 12236	N	1000	1500	2500	3500
Perforación dinámica	EN 918	mm	35	30	25	20
Tipo de DuPont™ Typar® SF mínimo recomendado			SF 32	SF 49	SF 77	SF 94

Tabla 6: Valores mínimos para diferentes niveles de energía de DuPont™ Typar® SF. ²²

3.4.1. Influencia del tráfico:

Se requieren unas propiedades superiores del geotextil para que pueda aguantar:

- La fatiga causada por un elevado número de cargas por eje estándar equivalentes (CEEE).
- Las tensiones suplementarias causadas por los vehículos de obra (por lo general, con cargas por eje superiores a 130 kN).

El nivel de energía correcto de DuPont™ Typar® SF se puede seleccionar utilizando la Figura 21 según el valor CBR de la plataforma y el número de aplicaciones de la carga por eje.

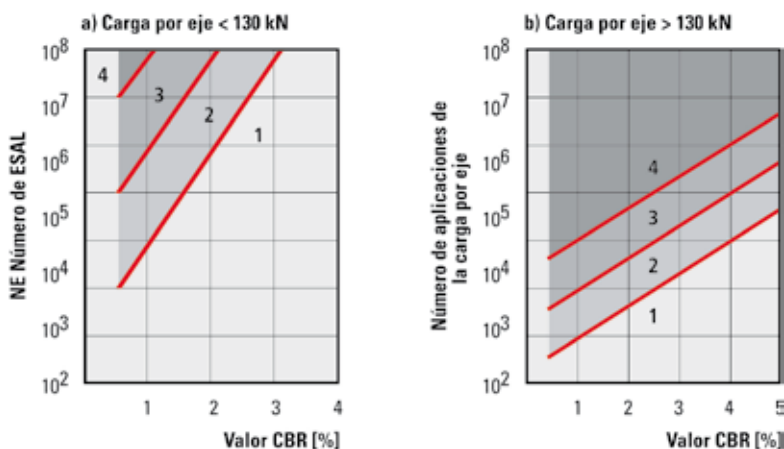


Figura 21: Niveles de energía recomendados en función del tráfico. ²³

²² Tenga presente que la selección de niveles de energía de DuPont™ Typar® puede depender de sistemas de clasificación y de especificaciones nacionales.

²³ $NE = \sum N_i * CEEE_i$.

3.4.2.
 Influencia de las condiciones de aplicación

Para poder desempeñar sus funciones a largo plazo, el geotextil debe resistir las tensiones ejercidas en la instalación, principalmente durante la descarga y la compactación de la capa de aporte. La Figura 22 indica el nivel de energía recomendado de DuPont™ Typar® SF en función del tamaño del agregado y de la altura de caída del mismo. Queda de manifiesto que la descarga y la dispersión de los áridos sobre una capa existente, en lugar de la descarga directa sobre el geotextil, permiten utilizar tipos de material con un menor nivel de energía. Se puede utilizar un tipo con una calidad menor si el material de aporte se descarga sobre una capa ya colocada y posteriormente se distribuye sobre el geotextil por medio de un vehículo provisto de una superficie niveladora.

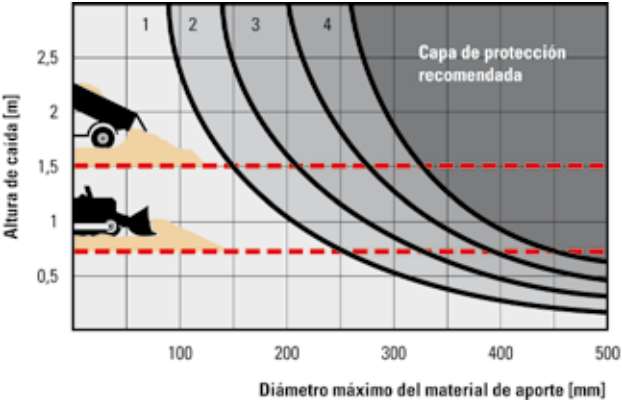


Figura 22: Nivel de energía recomendado en función del tamaño de los áridos y de la altura de caída.

3.4.3.
 Influencia de la compactación

La perforación causada por los elementos afilados durante la compactación puede afectar a la función de separación a largo plazo. En la Figura 23 se muestran los niveles de energía recomendados de DuPont™ Typar® SF en función del índice CBR del suelo y el diámetro D90 (tamaño de los elementos pasantes 90%) del material machacado en contacto con DuPont™ Typar® SF.

Observación: se pueden utilizar tipos de DuPont™ Typar® SF con un valor de energía inferior a 2 kJ/m² en caso de tráfico ligero (turismos) y con un material de aporte con unas dimensiones máximas inferiores a 50 mm.

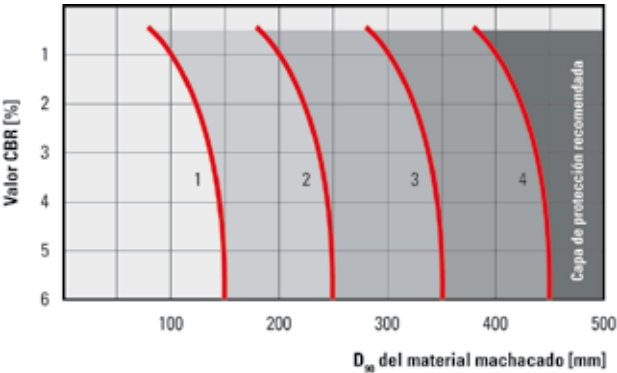


Figura 23: Nivel de energía recomendado en función del tamaño del material machacado y del CBR de la plataforma.

3.4.4.
 Criterios de filtración

Para desempeñar una función eficaz de separación y de filtración a largo plazo, el geotextil debe cumplir los criterios simplificados que se exponen en la tabla 7, donde O₉₀ se mide siguiendo el método de prueba del tamizado húmedo. (EN 12956).

suelos cohesivos, muy finos	suelos no cohesivos
D ₈₅ < 0.06, D ₁₀ < 0.002	
O ₉₀ ≤ 0.200mm	O ₉₀ ≤ 2 * D ₈₅

Tabla 7 : Criterios generales de filtración.

3.5. Recomendaciones de aplicación

Medidas a tenerse en cuenta a la hora de instalar DuPont™ Typar® SF en obras de construcción de carreteras y cimentaciones sobre terrenos granulares:

- 1) Retirar todos los residuos de gran volumen que pudieran perforar DuPont™ Typar® SF.
- 2) Desenrollar DuPont™ Typar® SF sobre una anchura mínima igual a la de la capa de cimentación.
- 3) Cuando se utilizan dos o más rollos, asegurarse de que haya un recubrimiento suficiente (por lo general, de 30 cm como mínimo).
- 4) Si hay viento, formar montones de grava en intervalos regulares para mantener DuPont™ Typar® SF en su sitio.
- 5) Descargar el material de aporte evitando circular directamente sobre DuPont™ Typar® SF mientras éste siga estando descubierto (Figura 24).

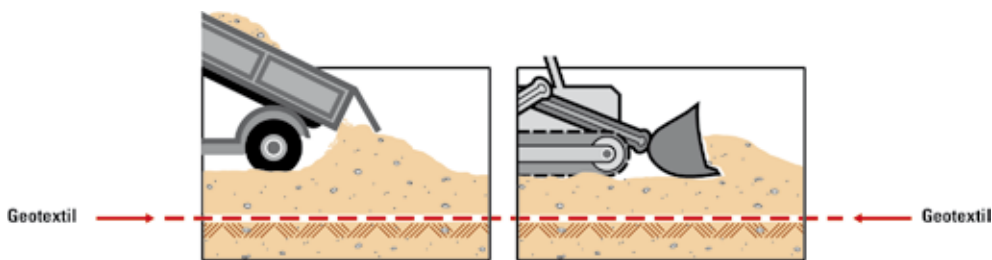


Figura 24: Descarga del material de aporte sobre DuPont™ Typar® SF sin pasar por encima.

- 6) Extender y compactar el material de aporte antes de que se produzca un tráfico intenso.
- 7) El tamaño de los elementos de mayor volumen del material de aporte no excederá una tercera parte del espesor de la capa aplicada.
- 8) Rellenar las roderas causadas por el tráfico cuando la profundidad supere 1/3 del espesor de la capa de cimentación. Se detendrá entonces la formación de roderas.
- 9) La primera capa de material de aporte debe tener un espesor aproximado de 250 mm.

3.6. Ejemplos de diseño

3.6.1. Ejemplo 1 (según 3.3.1)

Un empresario desea tener acceso ininterrumpido a la obra de un puente aislado situado en un suelo de arcilla orgánica con un índice CBR del 2,5%. Unos 6 camiones (de 3 ejes cada uno) accederán al sitio a diario durante un periodo de 5 meses.

En las proximidades de la obra, dispone de una fuente de abastecimiento mixta y económica ($\alpha = 0.4$, $D_{\max} = 100$ mm).

A. Espesor inicial de los áridos T_0	
Capacidad de carga del suelo	CBR = 2.5
Carga por eje	$P_i = 80$ kN
Figura 17 →	$T_0 = 190$ mm

B. Adaptación de T_0 correspondiente a la durabilidad	
Carga por eje	$P_i = 80$ kN
Número real de pasadas	$N_i = 6$ cargas al día
Espesor de grava compactada y machacada	$T_0 = 190$ mm

$CEEE = (P_i/P_0)^{3.95} = 1$
$N_E = \Sigma N_i * CEEE_i$ $N_E = 5 \text{ meses} * 30 \text{ días/mes} * 6$ $\text{cargas/día} * 3 \text{ ejes} * 1 = 2700$
Fig 18 → C = 1.12
$T = C * T_0 = 1.12 * 190 = 212 \text{ mm}$

C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia de los áridos
$T_{\text{efic}} = \Sigma T_i / \alpha_i = 212/0.4 = 530 \text{ mm}$

Selección del nivel de energía correcto de DuPont™ Typar® SF

CBR = 2.5%	$N_E = 2700$	Fig 21 : → nivel 1
Nivel de caída = 1 m	$D_{\text{máx}} = 100 \text{ mm}$	Fig 22 : → nivel 1
Fig 23 : aplicable solamente a los áridos machacados		
Tabla 7: suelo cohesivo	$O_{\text{máx}} \leq 0.200 \text{ mm}$	

→ SF 32

Instalación: seguir las recomendaciones de instalación. Instalar dos capas de grava mixta con un espesor de 330 de mm cada una y compactar hasta obtener 265 mm.

3.6.2. Ejemplo 2 (según 3.3.3)

Una empresa de transportes va a construir una terminal en un aeropuerto y una zona de estacionamiento con una vida útil prevista de quince años. Estas instalaciones las utilizarán 20 camiones al día y 8 de ellos circularán sin carga en un sentido. Los camiones tienen 4 ejes cargados.

Tras un estudio geotécnico, se ha obtenido un CBR del 1%. La carretera de acceso y la zona de estacionamiento van a revestirse con una capa de 70 mm recubierta de cal ($= T_{\text{recCal}}$). Se empleará una grava arenosa para la cimentación de la carretera, que estará destinada a la circulación de vehículos de construcción ($\alpha = 0.5$) y se completará con una grava redonda de buena calidad ($\alpha = 0.8$, $D_{\text{máx}} = 100 \text{ mm}$) para la estructura definitiva.

Al principio, el empresario deberá crear una plataforma de trabajo y de montaje estables hacia el terminal aéreo y alrededor de éste. Esta estructura de áridos se integrará en la estructura revestida definitiva, lo que permitirá ahorrar tiempo y dinero. Figura 20 siguiente: tabla de diseño:

Estructura con revestimiento		Carretera de construcción sin revestimiento	
A. Espesor inicial de los áridos T'_0		A. Espesor inicial de los áridos T_0	
Capacidad de carga del suelo	CBR = 1 %	Capacidad de carga del suelo	CBR = 1 %
Carga por eje	$P_i = 80 \text{ kN}$	Carga por eje	$P_i = 80 \text{ kN}$
Figura 19	$T'_0 = 420 \text{ mm}$	Figura 17	$T_0 = 280 \text{ mm}$

B. Adaptación de T'_0 correspondiente a la durabilidad		B. Adaptación de T_0 correspondiente a la durabilidad	
Carga por eje	$P_{\text{cargado}} = 80 \text{ kN}$ $P_{\text{vacío}} = 30 \text{ kN}$	Carga por eje	P_i
Número real de pasadas	N'_i	Número real de pasadas	N_i
Espesor de grava compactada y machacada	T'_0	Espesor de grava compactada y machacada	T_0

$CEEE_{\text{cargado}} = (P_i/P_0)^{3.95} = 1$	
$CEEE_{\text{cargado}} = (30/80)^{3.95} = 0.021$	$CEEE_{\text{estudio de costes}} = 3000$

$N'_{\text{cargado}} = 32 \times 6 \times 52 \times 15 \times 4 \text{ ejes} = 599040$	$N_{\text{E estudio de costes}} = 3000$
$N'_{\text{vacío}} = 8 \times 6 \times 52 \times 15 \times 4 \text{ ejes} = 149760$	
$N'_E = 599040 \times 1 + 149760 \times 0.021 = 602185$	
Fig 18 → $C = 1.75$	Fig 18 → $C = 1.13$
$T' = C * T'_0 = 1.75 * 420 \cong 740 \text{ mm}$	$T = C * T_0 = 1.13 \times 280 \cong 320 \text{ mm}$
$\alpha = 1$	

C. Adaptación de T' correspondiente a la eficacia	C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia
$T'_{\text{efic}} = T_{\text{efic}} + \sum T_i / \alpha_i$	$T_{\text{efic}} = \sum T_i / \alpha_i$
con T_{efic} espesor mínimo efectivo para la circulación de vehículos de construcción.	

En un espesor total T' de 740 mm, se han utilizado 320 mm ($\alpha=1$) para soportar la circulación de los vehículos de construcción. 70 mm de capa de revestimiento equivalen a 140 mm de material con una eficacia de $\alpha=1$. Los 280 mm (T_{rest}) restantes pueden conseguirse por medio de 350 mm ($= 280 / 0.8$) de grava redonda. El resultado es un espesor mínimo efectivo de 790 mm.

$T'_{\text{efic}} = T_{\text{efic}} + T_{\text{recCix}} / \alpha_{\text{recCal}} + T_{\text{rest}} / \alpha_{\text{rest}}$ $T_{\text{rest}} = T' - T - T_{\text{recCal}} (\alpha=1) = 740 - 320 - 140 = 280 \text{ mm}$ $T'_{\text{efic}} = 640 + 140/2 + 280/0.8 = 1060 \text{ mm}$	$T_{\text{efic}} = 320 / 0.5 = 640 \text{ mm}$
--	--

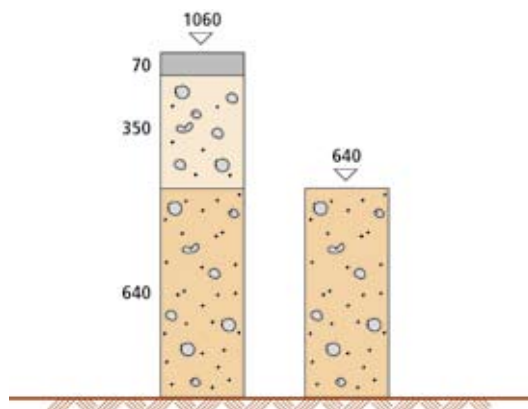
Selección del nivel de energía correcto de DuPont™ Typar® SF

CBR = 1.0 %	$N'_E = 602185$	Fig 21 : → nivel 2
Altura de caída = 1 m	$D_{\text{máx}} = 100 \text{ mm}$	Fig 22 : → nivel 1
Fig 23 : aplicable solamente a los áridos machacados		

→ SF 49

Instalación:

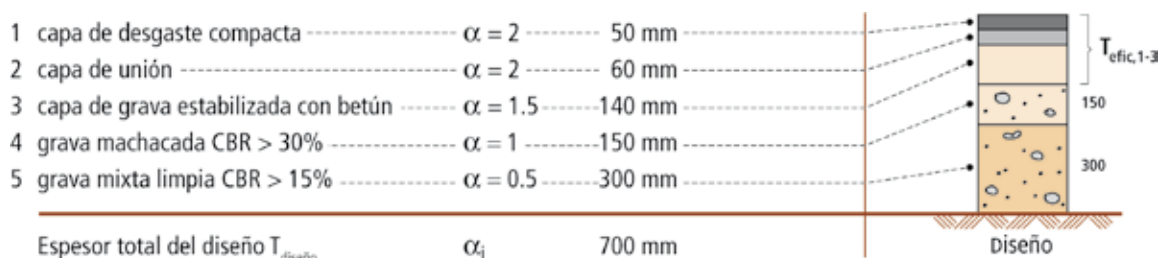
- Seguir las recomendaciones de instalación (apartado 3.5).
- Descargar 400 mm de grava redonda para la circulación de los vehículos de construcción.
- Descargar 350 mm de áridos de grava redonda y 70 mm de revestimiento de recubrimiento en caliente.



3.6.3. Ejemplo 3

Un empresario desea proponer un concepto de carretera preciso a las autoridades de la circulación vial para obtener un posible ahorro gracias al uso de un geotextil. El concepto original presentado por las autoridades de la circulación vial para la respuesta a la licitación es el siguiente:

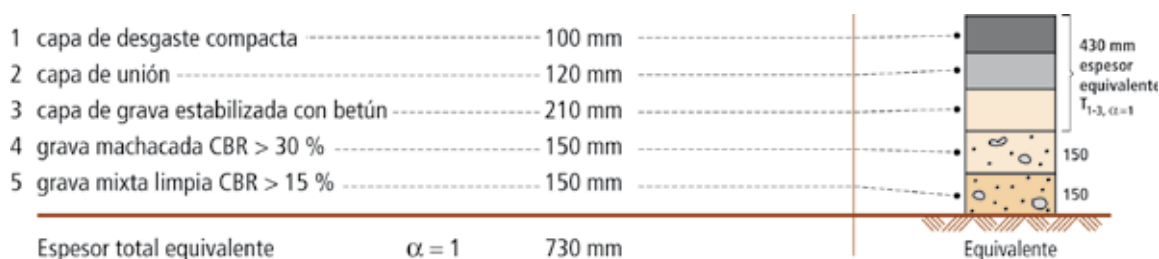
Estructura de la carretera:



Este diseño se basa en los cálculos referentes al tráfico:

- Tráfico: carga por eje igual a 8 toneladas u 80 kN
10 años de vida útil calculados
total de $15 \cdot 10^6$ cargas por eje / vida útil de la vía.
- Capacidad de carga: plataforma existente CBR 1 – 5%.

Puesto que el CBR de la plataforma existente varía, se ha determinado una nueva estructura de la carretera a partir de un CBR = 1%, 3% y 5%. Además, las capas 1, 2, 3 permanecen intactas con este espesor en el diseño de $T'_{efic,1-3} = 250$ mm y un espesor equivalente $T_{1-3, \alpha=1} = (T_1 + T_2) \cdot \alpha_{1,2} + T_3 \cdot \alpha_3 = 430$ mm utilizando los factores de eficacia de los áridos $\alpha_{1,2} = 2$ y $\alpha_3 = 1.5$. El espesor equivalente para la capa 4 es $150/(\alpha = 1) = 150$ mm; para la capa 5, el espesor es $300/(\alpha = 0.5) = 600$ mm. Todas las comparaciones siguientes se basan en una eficacia de los áridos $\alpha = 1$. La estructura equivalente de la carretera se expone brevemente a continuación:



A. Espesor inicial de los áridos T_0

Capacidad de carga del suelo	CBR = véase la tabla siguiente
Carga por eje	$P_i = 80$ kN
Figura 17 →	T'_0 = véase la tabla siguiente

CBR	1%	3%	5%
T'_0 (espesor) (fig 8) [mm]	420	300	250

B. Adaptación de T_0 correspondiente a la durabilidad

Carga por eje	$P_i = 80 \text{ kN}$
Número de pasadas (CESE)	$N'_E = 15 \cdot 10^6 \text{ carga por eje}$
Espesor de grava compactada y machacada	$T'_0 = \text{véase la tabla siguiente}$

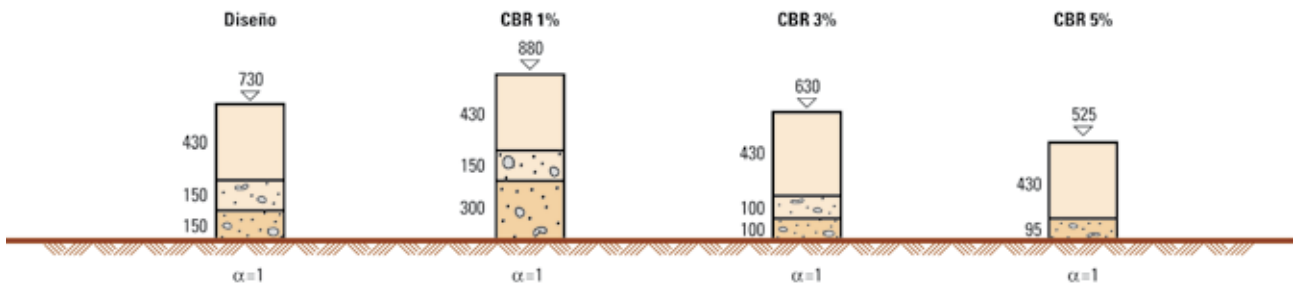
CBR	1%	3%	5%
C (adaptación a la vida útil)	2.1	2.1	2.1
$T = T'_0 \cdot C \text{ (mín. con } \alpha=1) \text{ [mm]}$	880	630	525

C. Adaptación de T correspondiente a la eficacia de los áridos

CBR	1%	3%	5%
$T_{\text{restante}} (= T - T_{1-3, \alpha=1}) \text{ [mm]}$	450	200	95

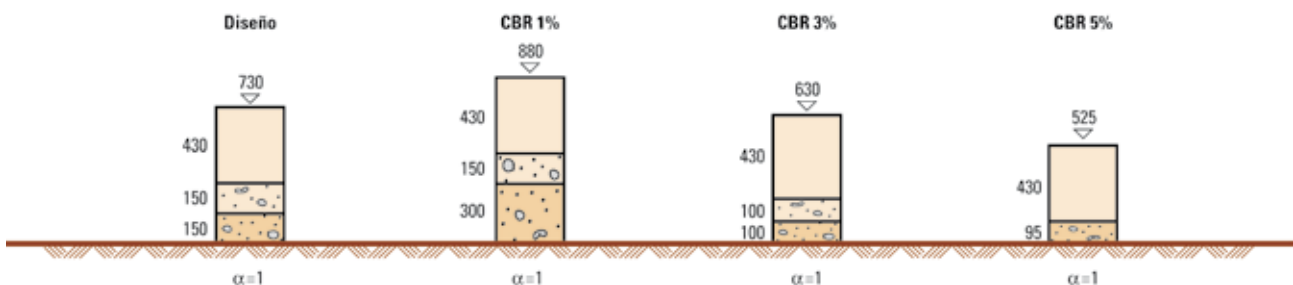
El espesor restante T_{restante} puede distribuirse entre los dos materiales disponibles de la forma siguiente:

T_4 (grava machacada convencional) [mm]	150	100	-
T_5 (grava mixta limpia) [mm]	300	100	95
Reducción (= $T - 730 \text{ mm}$) [mm]	+150	-100	-205



Esto permite obtener un ahorro con respecto al espesor efectivo según un CBR = 3% y 5% y a un aumento del espesor para CBR = 1%.

CBR	1%	3%	5%
$T_{4, \text{efic}}$ (grava machacada convencional) [mm]	150	100	-
$T_{5, \text{efic}}$ (grava mixta limpia) [mm]	600	200	190
Reducción ef. (= $T_{\text{diseño}} - T_{\text{efic}}$) [mm]	+300	-150	-260



Bibliografía

¹ Robnett, Q.L. y Lai, J.S., Fabric Reinforced Aggregate Roads – An Overview., 61st Annual Meeting of TRB in Washington, enero 1982
Lavin, J.G., Murray, C.D., Murch, L.E., Robnett, Q.L. y Lai, J.S., Prospects of spunbonded Fabrics in Civil Engineering, Proceedings of Nonwoven Fabrics Conference, University of Manchester, Institute of Science & Technology, junio 1980

Robnett, Q.L., Lai, J.S., y otros, Use of Geotextiles in Road Construction: Laboratory Study, Proceedings of First Canadian Symposium in Geotextiles, Calgary, Alberta, Canada Robnett, Q.L., Lai, J.S., y otros, Use of Geotextiles in Road Construction, Proceedings, Third Conference – Road Engineering

Association of Asia and Australia, Taipei, abril 1981. Robnett, Q.L., Lai, J.S., y otros, Use of Geotextiles to Extend Aggregate Resources, ASTM Symposium on Extending Aggregate Resources, diciembre 1980.

Giroud, J.P., Noiray, L., Geotextile Reinforced Unpaved Road Design, Journal of the Geotechnical Division, ASCE, Volume 107, GT9, septiembre 1981.

Hammit II.G.M., "Thickness Requirements for unsurfaced Roads and Airfields Bare Base Support" Technical report s. 70 – 5, julio 1970. US Army Engineer Waterway Experiment Station, Vicksburg M.S.

Sistemas de drenaje

4.1. Introducción	28
4.2. Funciones	28
4.3. Propiedades de los geotextiles	29
4.4. Diseño de los sistemas de drenaje	29
4.4.1. Criterio de retención del suelo	30
4.4.2. Criterio de permeabilidad	31
4.4.3. Suelos especiales	32
4.4.4. Comentarios y criterios de selección suplementarios	32
4.5. Sistemas habituales de drenaje	33
4.5.1. Drenajes de piedra seca	33
4.5.2. Drenaje de talud	33
4.5.3. Drenaje de superficie	34
4.5.4. Capas drenantes	34
4.5.5. Drenajes compuestos	35
4.6. Recomendaciones de instalación	36
4.6.1. Zanjas	36
4.6.2. Capas drenantes	36
4.6.3. Drenajes verticales con DuPont™ Typar® SF	37

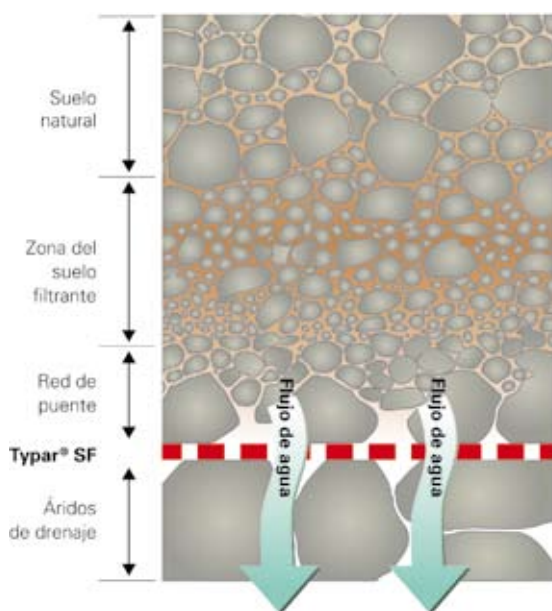
4. Sistemas de drenaje

4.1. Introducción

Este capítulo permite definir la correcta utilización de DuPont™ Typar® SF como capa filtrante, así como el concepto fundamental y la construcción de varios sistemas de drenaje típicos. Los métodos y los procedimientos de diseño que permiten utilizar DuPont™ Typar® SF son el resultado de los conocimientos obtenidos mediante pruebas en diversos laboratorios y del trabajo “in situ”, fruto de la experiencia adquirida tras miles de instalaciones efectuadas por todo el mundo.

4.2. Funciones

En las aplicaciones de drenaje (evacuación controlada de aguas), la práctica habitual consiste actualmente en sustituir el filtro granular convencional por un filtro geotextil. Un filtro geotextil realiza la misma función: impedir la colmatación del drenaje, al tiempo que ofrece la ventaja de una instalación sencilla y una calidad de filtro controlada que no se ve afectada por unas condiciones de construcción adversas. La utilización de los geotextiles genera importantes economías de escala gracias a unos plazos de instalación más reducidos, a unas obras de acondicionamiento del terreno de menor envergadura y a la utilización de una menor cantidad de materiales. En las propiedades de un geotextil influye sensiblemente su estructura. Los geotextiles tejidos en bandas suelen tener una proporción escasa de superficie de vacío. Puesto que sus poros, de número limitado, suelen presentar el mismo diámetro, están sujetos a obstrucción o colmatación causadas por las partículas del suelo. Los geotextiles espesos tienen un circuito de salida largo y tortuoso, por lo que las partículas de suelo pequeñas pueden atascarse fácilmente en los canales estrechos. Esta colmatación parcial, sumada a la sensibilidad a la compresión de los geotextiles, pueden provocar una notable reducción de su permeabilidad.



DuPont™ Typar® SF, por el contrario, ofrece unas prestaciones superiores de retención de las partículas del suelo y de permeabilidad al agua. Permite conseguir una retención óptima de las partículas del suelo gracias a su extensa variedad de tamaños y formas de los poros. Es improbable que las partículas del suelo queden atrapadas en el interior de DuPont™ Typar® SF debido a su fina estructura precomprimida. Éste es también el motivo por el que sus propiedades hidráulicas son insensibles a la compresión.

Además, el geotextil debe ser resistente a todas las tensiones de instalación para poder desempeñar su función de filtración de manera eficaz. Gracias a su alto módulo inicial y a una capacidad de alargamiento importante, DuPont™ Typar® SF cuenta con un potencial de absorción de energía elevado que le hace resistente al deterioro durante la instalación y que le confiere una estabilidad dimensional en cuanto al tamaño y la permeabilidad de los poros.

Figura 6': Filtro de suelo natural cerca del geotextil

¿Cómo funciona DuPont™ Typar® SF? DuPont™ Typar® SF permite crear un filtro de suelo natural próximo al geotextil después de la instalación. El sistema de unión resultante sólo se podrá desarrollar si el geotextil tiene una distribución correcta de los tamaños de los poros. Las siguientes recomendaciones le permitirán escoger el filtro adecuado.

4.3. Propiedades de los geotextiles

En todo el mundo, se han puesto en marcha importantes programas de investigación para definir las capacidades de filtración de los geotextiles relacionando la distribución de las partículas según su tamaño en el suelo a filtrar y las condiciones hidráulicas propias de la distribución de los poros en función de su tamaño y de la permeabilidad al agua del geotextil. Las propiedades más importantes de un filtro son el tamaño de los poros O_{90} y la permeabilidad al agua. O_{90} es el tamaño de los poros, que corresponde al D_{90} del suelo que pasa a través del producto. La distribución de los poros del filtro geotextil según su tamaño se evalúa utilizando una de las diversas técnicas de tamizado. Los resultados de estas pruebas permiten crear la curva de distribución de los poros del geotextil según su tamaño.

La propiedad de rendimiento O_{90} se puede interpretar a partir de esta curva. En los capítulos anexos, se puede consultar una descripción de los diferentes métodos existentes para determinar la distribución de los poros en función de su tamaño.

La permeabilidad k [m/s] determina la evacuación del agua perpendicular al plano. El espesor del geotextil repercute en buena medida sobre la permeabilidad bajo el efecto de la carga. Para evaluar el carácter adecuado de varios productos en función de distintos espesores, es conveniente comparar la permeabilidad bajo el efecto de la carga. En la Figura 25 que se representa a continuación se muestra cómo la permeabilidad de un geotextil no tejido espeso agujeteado cambia bajo de la presión, en comparación con DuPont™ Typar® SF precomprimido.

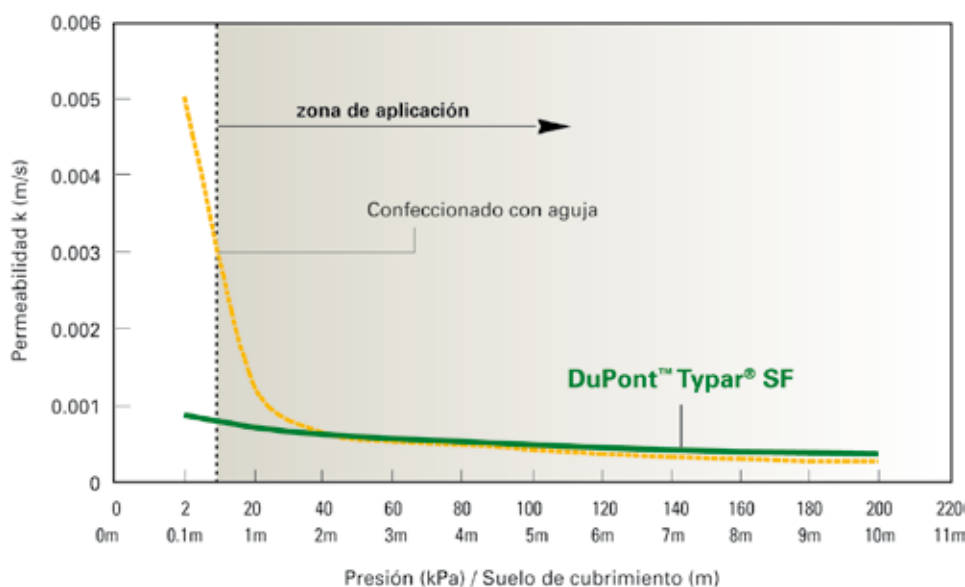


Figura 25: Permeabilidad bajo presión – Comparación de geotextiles agujeteados con DuPont™ Typar® SF.

Otra forma de describir la permeabilidad del geotextil consiste en presentarla en forma de conductividad hidráulica o caudal a un nivel normal de tensión ejercida para una pérdida de carga determinada ($l / (m^2 \cdot s)$).

La permeabilidad del geotextil ha de ser más elevada que la del suelo para no reducir el caudal de agua del suelo.

4.4. Diseño de los sistemas de drenaje

La selección de un filtro es un proceso relativamente complejo y los siguientes factores determinan la interacción entre el suelo y el filtro:

- Propiedades de los geotextiles: distribución de los poros según el tamaño (O_{90}), permeabilidad al agua, compresibilidad y estructura.
- Condiciones del suelo: distribución de las partículas según tamaño, coeficiente de uniformidad, plasticidad y cohesión.
- Condiciones hidráulicas: flujo unidireccional o reversible, gradiente y precipitación química.
- Condiciones de instalación: deterioro físico durante la instalación y contenido de agua del suelo durante la instalación.

Los dos criterios principales a tener en cuenta a la hora de diseñar una aplicación de filtro son la retención del suelo y la permeabilidad.

4.4.1. Criterio de retención del suelo

La selección comienza por determinar la distribución de las partículas del suelo a filtrar. Aplicando los criterios del Comité Suizo de Geotextiles, se pueden determinar los límites del tamaño de abertura máxima $O_{m\acute{a}x}$. Los criterios generales para las situaciones no críticas (flujo de salida regular, gradiente bajo) son ¹ :

$$O_{90} < 2 * D_{85}$$

Para las aplicaciones donde la limitación del fenómeno de socavación por filtraciones es el factor predominante, se deben aplicar los siguientes criterios:

	Suelos cohesivos, muy finos $D_{85} < 0.06$ et $D_{10} < 0.002$	Suelos muy finos, no cohesivos $D_{40} < 0.06$	Suelos gruesos $D_{40} > 0.06$
Flujo de salida regular	$O_{90} < 0.200$	$O_{90} < 6 * D_{60}$	$O_{90} < 5 * D_{10} \sqrt{C_u}$ ²⁷
Flujo de salida dinámico	Pruebas de laboratorio necesarias ²⁸		$O_{90} < 1,5 * D_{10} \sqrt{C_u}$ $O_{90} < D_{60}$

Tabla 8 : Criterios de los filtros para diferentes suelos y condiciones de flujo de salida.

En el caso de suelos con una granulometría discontinua, como se indica en el gráfico (Fig. 26) siguiente, se debe utilizar D'_{85} (el D_{85} de la parte más fina del suelo) en lugar de D_{85} . Para determinar D'_{85} , prolongar el gradiente de la parte más fina del suelo y el piso. El punto de intersección determina D'_{100} para la parte más fina del suelo. Al unir D'_{100} y D_0 es posible materializar D'_{85} .

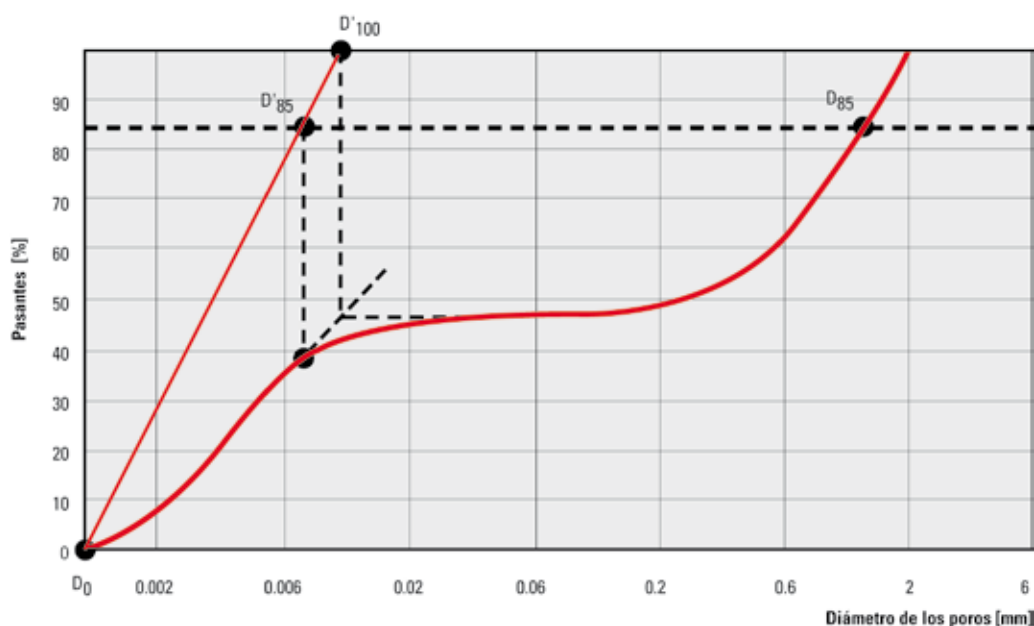


Figura 26: Suelos con granulometría discontinua.

4.4.2 Criterio de permeabilidad

Como norma general, la permeabilidad del geotextil ha de ser mayor que la del suelo que se vaya a filtrar. Cuando se comparan los filtros de granulados con los filtros de geotextiles, J.P. Giroud ⁸ sugiere que para asegurar una capacidad de caudal equivalente, la permeabilidad al agua del geotextil debe ser 10 veces superior a la permeabilidad del suelo a filtrar. Murray y McGown sugieren a su vez un factor 10 para los tejidos y no tejidos finos (≤ 2 mm) y un factor 100 para los geotextiles espesos no tejidos (> 2 mm), a utilizar para el revestimiento de la calzada y el drenaje estructural.

El valor de la permeabilidad del suelo puede determinarse a partir del valor del tamaño de las partículas D_{20} gracias a la Figura 27.

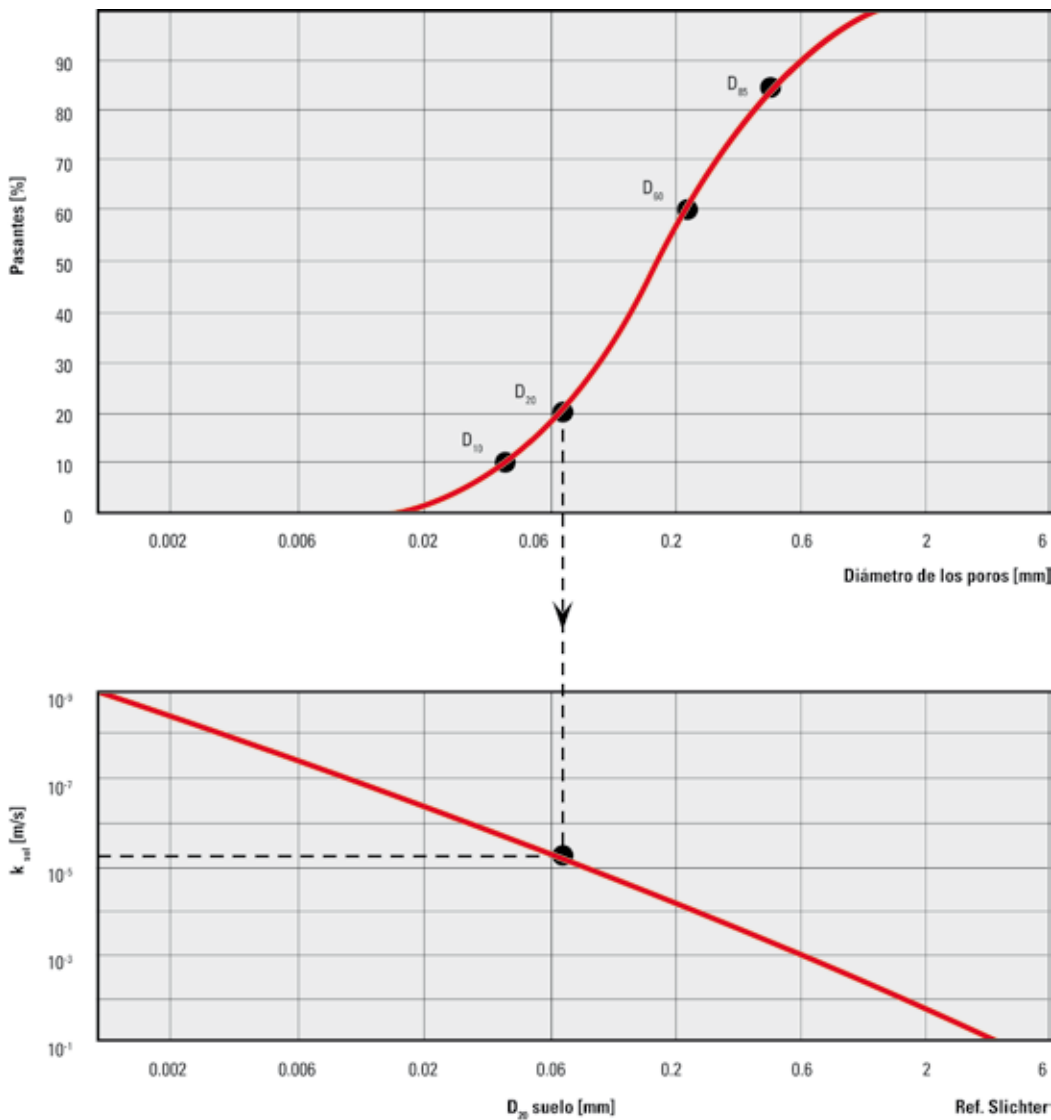


Figura 27: Determinación de la permeabilidad del suelo en función de D_{20} .

4.4.3. Suelos especiales

La Figura 28 que se muestra a continuación indica que:

- En los suelos con $C_u < 3$ y menos de 10% de partículas $< 0,002$ mm, cuya curva de granulometría se encuentra completamente dentro de la zona gris, la retención por parte de los geotextiles DuPont™ Typar® SF no será correcta. Es preciso realizar pruebas de laboratorio antes de seleccionar el geotextil. En el caso de los suelos cuya curva granulométrica atraviese las zonas grises, se pueden aplicar los criterios habituales de filtración.
- Los suelos cuya curva granulométrica atraviese el rectángulo gris de la parte inferior derecha, no cumplirán con el criterio de permeabilidad. La formación de presión hidrostática puede suponer problemas estructurales.

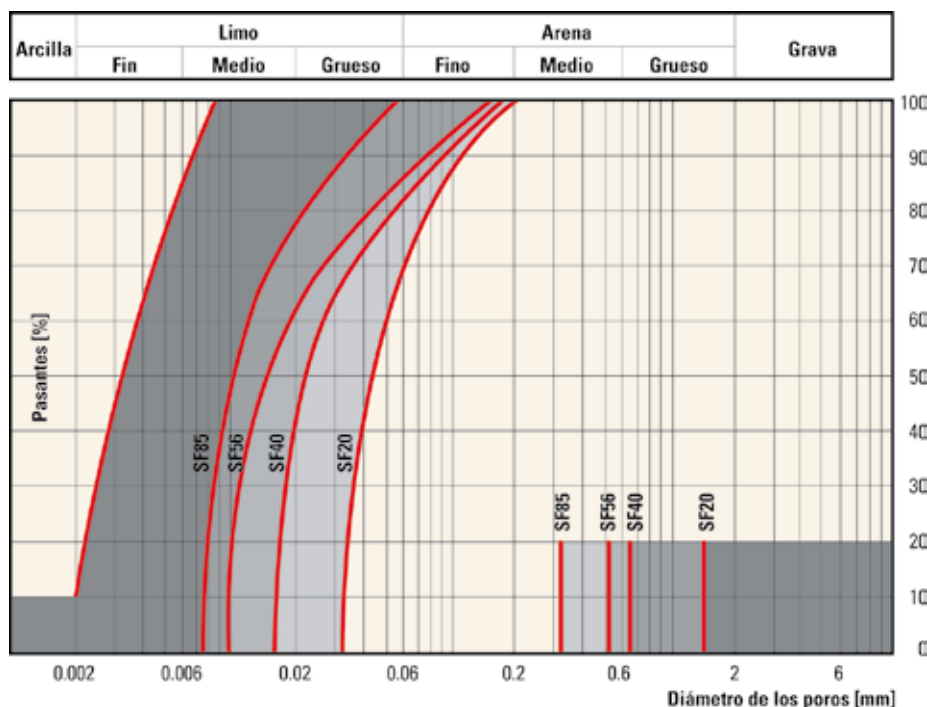


Figura 28: Suelos especiales que requieren una consideración complementaria a la hora de seleccionar el tipo de DuPont™ Typar® SF.

4.4.4. Comentarios y criterios de selección suplementarios

Las pruebas de laboratorio y la experiencia práctica han demostrado que los tipos de DuPont™ Typar® SF con tamaños de poros mayores a los que especifican los criterios de filtración anteriormente mencionados presentan un comportamiento correcto durante periodos prolongados en presencia de suelos muy finos^{iv}.

Dependiendo de las condiciones de instalación (altura de caída, tipo de áridos, compactibilidad), se podría recomendar un tipo de DuPont™ Typar® SF más pesado y resistente de lo necesario en cuanto a las exigencias de permeabilidad o filtración. Dispone de información más detallada en la tabla 9:

Aplicación	Tipo de DuPont™ Typar® SF recomendado
Drenaje agrícola	SF20 ou SF27
Sistemas de drenaje que utilizan áridos $d < 20$ mm	SF32
Sistemas de drenaje que utilizan áridos $d > 20$ mm	SF37 o superior

Tabla 9: Tipos de DuPont™ Typar® SF recomendados para diferentes aplicaciones.

4.5. Sistemas habituales de drenaje

4.5.1. Drenajes de piedra seca

DuPont™ Typar® SF se utiliza de forma habitual para la construcción de drenajes de piedra seca, en los que actúa como filtro y conserva la capacidad de drenaje de los áridos. La capacidad de caudal de los sistemas de drenaje de grava quebrada es proporcional simultáneamente al corte transversal y al gradiente.

Tamaño de los áridos	Gradiente del drenaje	Capacidad de caudal Q [l/seg]				
[mm]	[%]	0.3 x 0.3	0.3 x 0.6	0.6 x 0.6	0.6 x 0.9	0.6 x 1.2
50	1.0	0.7	1.4	2.8	4.2	5.6
	2.0	1.4	2.8	5.6	8.4	11.2
19 - 25	1.0	0.4	0.8	1.6	2.4	3.2
	2.0	0.8	1.6	3.2	4.8	6.4
9 - 12	1.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
	2.0	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6
6 - 9	1.0	0.02	0.04	0.08	0.12	0.16
	2.0	0.04	0.08	0.16	0.24	0.32

Tabla 10: Capacidad de caudal de los drenajes de piedra seca.

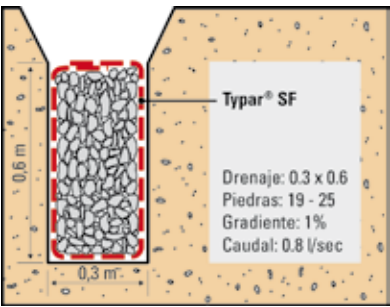


Figura 29: Ejemplo de drenaje de piedras secas.

4.5.2. Drenaje de talud

Un drenaje subterráneo de talud al borde de una vía debe permitir la evacuación rápida de las aguas de infiltración para impedir el deterioro de la capa de cimentación.

- W = carretera + anchura del talud
- L = sección de drenaje entre los canales de desagüe [m]
- i = gradiente del drenaje [%]
- R = índice máximo de precipitaciones [m/seg]
- P_R = coeficiente de penetración de las aguas pluviales [%]

La capacidad de caudal Q viene determinada por:

$$Q = 10^3 \cdot L \cdot W \cdot R \cdot P_R \text{ [l/seg]}$$

La sección de drenaje necesaria se calcula así utilizando la tabla 10 anterior.

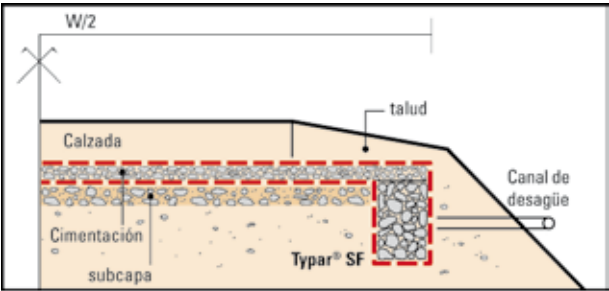


Figura 30: Sección de un drenaje de talud.

4.5.3. Drenaje de superficie

En condiciones donde la saturación superficie está causada por una cantidad excesiva de precipitaciones, la separación de los drenajes que permite bajar el nivel de las aguas subterráneas se puede determinar gracias a la tabla 11. Suponiendo que cada drenaje deberá evacuar las aguas de escorrentía y de infiltración, el caudal Q es el siguiente:

$$Q = 10^3 \cdot S \cdot L \cdot R \text{ [l/seg]}$$

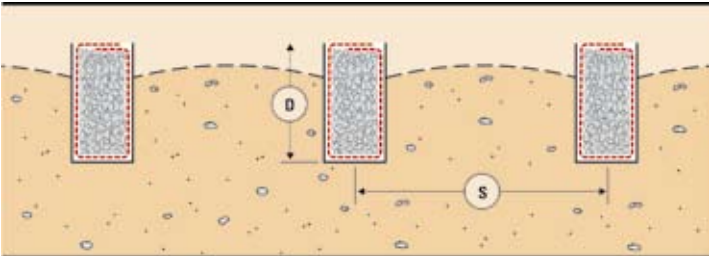


Figura 31: Sección de un sistema de drenaje.

La distancia entre los drenajes se determina entonces por medio de la tabla 11 que figura a continuación.

Tipo de suelo	Permeabilidad k [m/seg]	Separaciones de drenajes profundos S [m] para varias profundidades de zanja		
		D = 1.0 m	D = 1.3 m	D = 1.6 m
Arcilla limosa	3.0 x 10-7	5 m	6 m	8 m
Limo	5.0 x 10-6	18 m	25 m	30 m
Limo arenoso	3.0 x 10-5	47 m	62 m	77 m
Arena limosa	7.0 x 10-5	67 m	88 m	109 m

Tabla 11: Espacio necesario de los drenajes profundos

4.5.4. Capas drenantes

Los terrenos para la práctica de deportes son un ejemplo clásico de dónde no está permitida la aplicación de capas drenantes que permitan la escorrentía de aguas superficiales. Se debe colocar una capa drenante debajo del suelo y la vegetación superficiales para que el agua pueda fluir gota a gota con rapidez. La capa drenante ha de estar comprendida entre dos capas de DuPont™ Typar® SF a modo de filtro para impedir la colmatación de ésta. Al instalar una combinación de drenaje con grava quebrada y manto drenante arenoso, se deberá instalar una capa suplementaria de DuPont™ Typar® SF entre los dos suelos diferentes para evitar la contaminación.



Figura 32: Sección de dos capas drenantes diferentes que utilizan DuPont™ Typar® SF.

El espesor t del manto drenante, o la permeabilidad necesaria del manto kd se calculan de la siguiente forma:

$$t = s/2 \sqrt{R/k_d}$$

Con

- t = espesor [m]
- s = separación entre los drenajes [m]
- k_d = permeabilidad del material de drenaje [m/s]
- R = precipitación máxima [m/s]

Como margen de seguridad suficiente, recomendamos un factor de seguridad 10 para la permeabilidad k_d . La separación de los drenajes s y la sección de los drenajes se puede calcular, bien mediante la tabla 10, bien mediante la fórmula:

$$Q = 10^3 * S * L * R \text{ [l/seg]}$$

Tenga presente que el suelo superficial ha de ser lo suficientemente permeable como para permitir el flujo de salida de las aguas superficiales hacia la capa drenante.

4.5.5. Drenajes compuestos



En el transcurso de los 10 últimos años, ha surgido un nuevo tipo de material de drenaje en el mercado de los productos geosintéticos que ha adquirido un rápido reconocimiento en el sector de la construcción y las obras públicas: el compuesto de drenaje.

Un drenaje compuesto suele constar de un núcleo sintético rígido rodeado o envuelto de un filtro geotextil. El núcleo debe tener una estructura bastante abierta pero incompresible que permita el libre flujo de salida del agua, incluso después de instalado. El filtro impide que el núcleo resulte colmatado por efecto del suelo.

Figura 33: Instalación de compuesto de drenaje como sistema de drenaje de talud para carreteras.

Estos productos están disponibles en varios tamaños y formas, en función de las aplicaciones específicas para las que se empleen:

Aplicaciones para ingeniería civil

- Drenaje de carreteras: drenaje de cunetas, capas drenantes, drenaje del revestimiento bituminoso, barreras de márgenes.
- Descarga: evacuación de gases, recuperación de lixiviados.
- Mantos drenantes bajo terrenos dedicados a la práctica deportiva, etc.
- Drenaje agrícola.
- Drenajes verticales o drenaje por mecha.

Aplicaciones para la construcción

- Capas de drenaje para la protección de muros subterráneos, cimentaciones, aparcamientos, etc.
- Mantos drenantes para terrazas, terrazas encespadas, balcones, etc.

Los productos de drenaje compuesto sustituyen cada vez más los sistemas de drenaje tradicionales elaborados con áridos envueltos en un geotextil. Su fabricación industrial y su fácil instalación los convierten en una solución alternativa económica al drenaje tradicional.

Para obtener más información acerca de estos productos, sus aplicaciones y disponibilidad, póngase en contacto con su representante local de DuPont™ Tytar® SF.

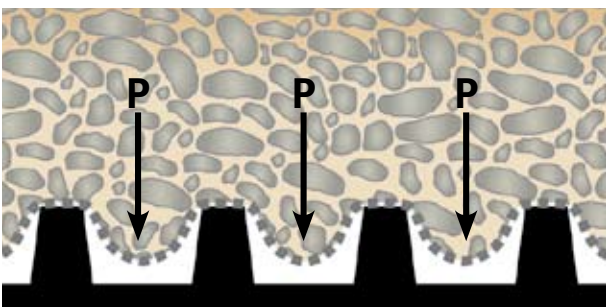


Figura 34a : Reducción de la capacidad de drenaje con un geotextil deformable.

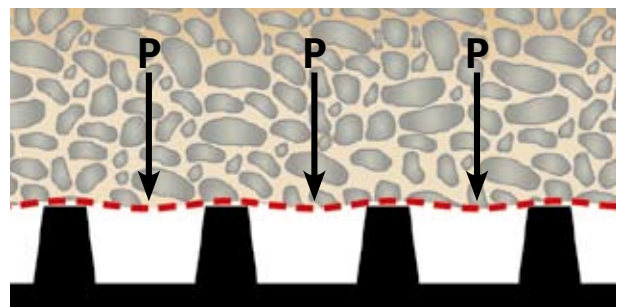


Figura 34b : DuPont™ Tytar® SF y su eficacia superior como filtro en un sistema de drenaje compuesto.

4.6. Recomendaciones de instalación

Es sumamente importante recubrir DuPont™ Typar® SF lo más rápidamente posible después de desenrollarlo. Cuando llueve, las partículas pequeñas son transportadas mediante lavado del suelo y pueden secarse sobre el geotextil, formando una capa de suelo arcilloso impermeable.

Se deben seguir las siguientes recomendaciones en relación con los distintos sistemas de drenaje a la hora de instalar DuPont™ Typar® SF:

4.6.1. Zanjas

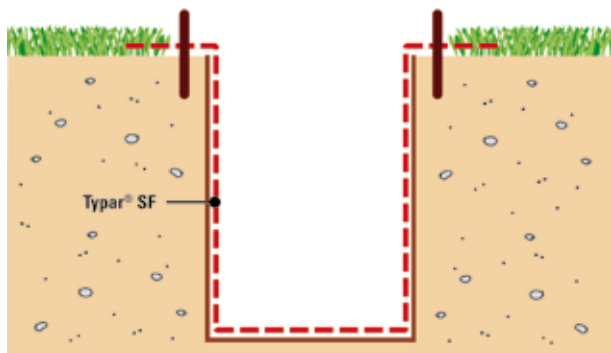


Figura 35 : Fijar DuPont™ Typar® SF para evitar que el geotextil quede desplazado hacia abajo, lo que provocaría la contaminación de los áridos de drenaje.

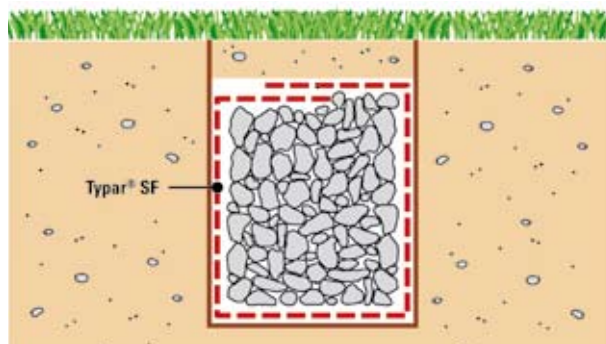


Figura 36 : Recubrir los áridos con DuPont™ Typar® SF y solapar las capas de geotextil un mínimo de 30 cm.

- Las paredes de la base y los laterales de la zanja deben presentar el menor número posible de irregularidades (orificios, raíces, etc.).
- Colocar DuPont™ Typar® SF en paralelo a la zanja y fijar los bordes del geotextil.
- No arrastrar el geotextil por el barro. Esto podría provocar el depósito de una gran cantidad de pequeñas partículas sobre la superficie de DuPont™ Typar® SF, creando de este modo una película impermeable.
- Descargar los áridos de drenaje con precaución para evitar que el geotextil se desplace hacia el fondo de la zanja.
- No utilizar piedras de dimensiones demasiado grandes para llenar la zanja. Se necesitan cantos rodados con un tamaño máximo de 2 cm para asegurar un contacto adecuado entre el geotextil y el suelo.
- Compactar los áridos y recubrirlos con DuPont™ Typar® SF antes de rellenar hasta la parte superior de la zanja.
- Solapar DuPont™ Typar® SF en toda la longitud con una anchura mínima de 30 cm.

4.6.2. Capas drenantes

- Solapar con una distancia mínima de 30 cm min.
- No desenrollar DuPont™ Typar® SF con demasiada antelación, sobre todo si hace viento.
- Utilizar áridos con un tamaño relativamente pequeño para asegurar un contacto óptimo entre el geotextil y el suelo.

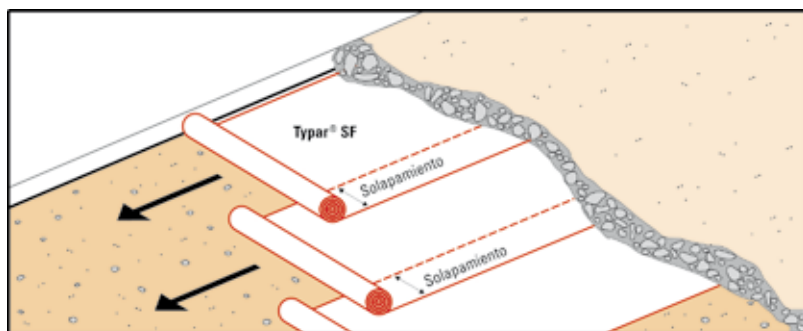


Figura 37: Aplicación de DuPont™ Typar® SF para un manto drenante.

4.6.3. Drenajes verticales con DuPont™ Typar® SF

- En determinados casos, es necesario efectuar drenajes verticales para acelerar la consolidación de suelos mullidos y saturados. Para llevar a cabo la instalación especial de drenajes verticales utilizando equipamiento pesado, hay que instalar una capa de áridos gruesos encima de DuPont™ Typar® SF. La capa de áridos actuará también como manto drenante.
- Dado que DuPont™ Typar® SF se intercala entre el subsuelo y la capa de cantos rodados, las fuerzas de fricción suelen bastar para mantenerlo en su lugar durante la perforación del drenaje vertical que se realiza con mandril.
- Para obtener información más extensa acerca de los drenajes verticales prefabricados, póngase en contacto con el centro técnico de Typar® de DuPont.

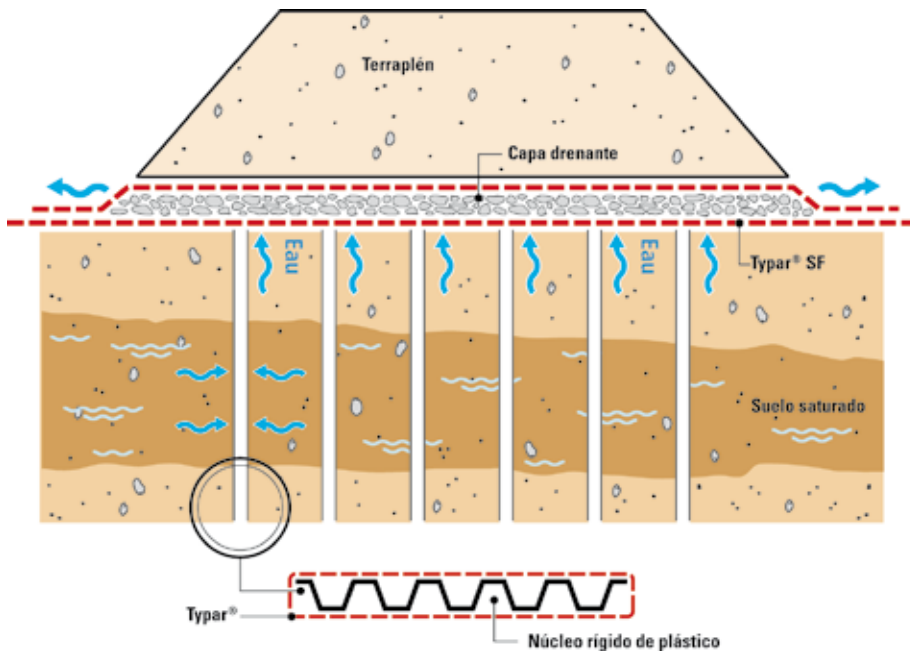


Figura 38: Eliminación rápida del agua en suelos comprimibles saturados mediante drenaje vertical.

Bibliografía

¹ selected and most suitable criteria only according to "Das Geotextilhandbuch", SVG Schweizer Verband der Geotextilfachleute, 1999.

² "Filter Criteria for Geotextiles", J.P. Giroud, Woodward-Clyde Consultants – Chicago, Ill., USA, Second Int. Conference on Geotextiles, Las Vegas 1982 p.103.

³ Ground Engineering Applications of Fin Drains for Highways, R.T. Murray and A. McGown, TRL Application Guide No.20, 1992.

⁴ "Synthetic drain envelope-soil interactions", L.S. Willardson, R.E. Walker, Journal of the irrigation and drainage division, Dec 1979, pp 367-373.

⁵ "The soil retention and waterflow performance of some drain

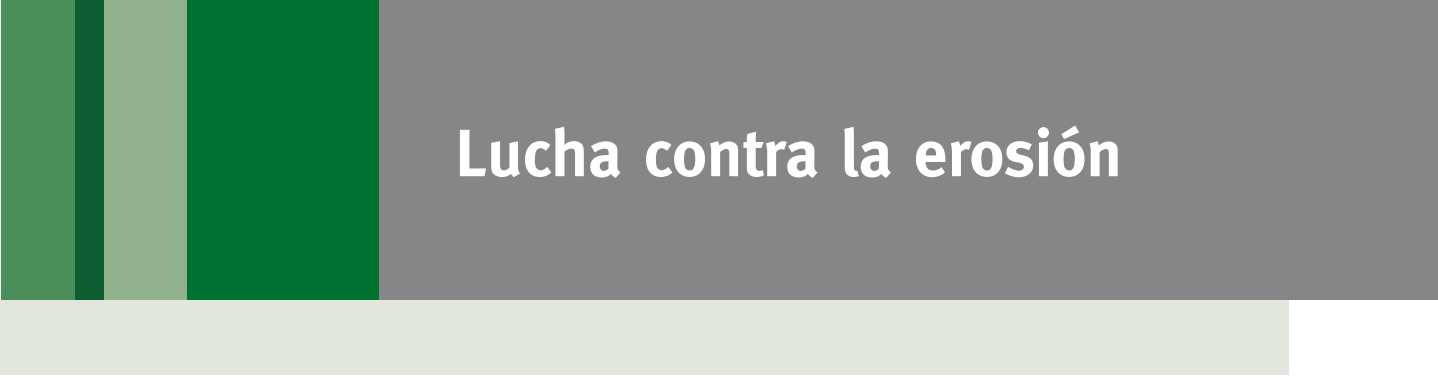
tube filter materials", R.S. Broughton, C. Damant, S. Ami, B. English, McGill University Quebec, Canada, 3rd National Drainage Symposium, Chicago, Illinois, Dec 1976.

⁶ "A laboratory test of performance of civil engineering filter fabrics", D.B. Simons, Yung Hai Chen, S.M. Morrison, P.M. Demery, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1979.

⁷ "Model tests on drainage materials", F.C. Zuiema, J. Scholten, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Smedinghuis, Lelystad, 1977

⁸ "Comparison of seven filter cloth materials as a wrap for underdrains", Department of State Highways and Transportation, Michigan, 1977.

⁹ "Seepage, drainage and flow nets", H.R. Cedergren Wiley & Sons Inc, 1967, John.



Lucha contra la erosión

5.1. Introducción	40
5.2. Funciones	40
5.3. Seleccionar el tipo adecuado de DuPont™ Typar® SF	41
5.3.1. Criterios de filtración	41
5.3.2. Criterios de energía	41
5.4. Recomendaciones de instalación: sistema de lucha contra la erosión con DuPont™ Typar® SF	42

5. Lucha contra la erosión

5.1. Introducción

La lucha contra la erosión se define de la siguiente forma: “Utilización de un geotextil o un producto de naturaleza similar para impedir los movimientos del suelo u otras partículas de la superficie, por ejemplo, de una pendiente” ³⁴.

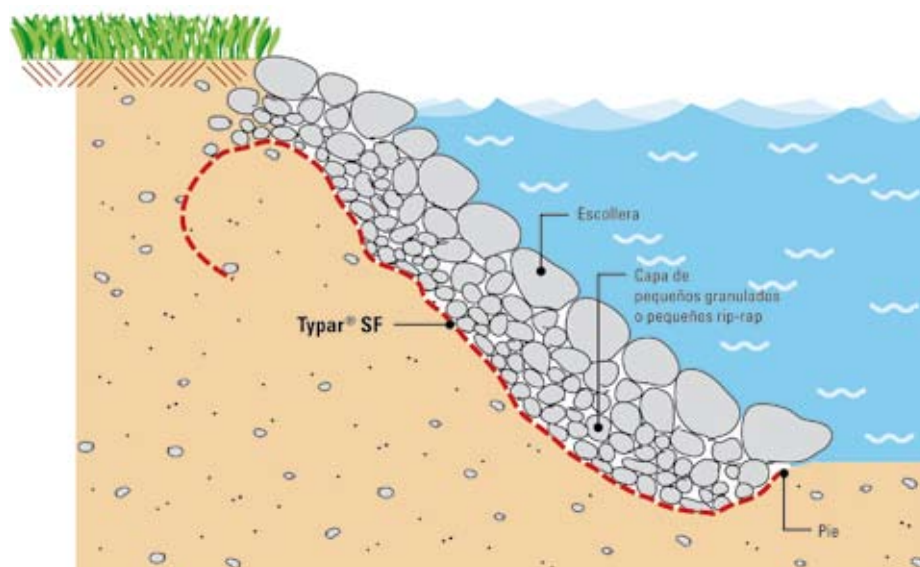


Figura 39: DuPont™ Typar® SF para la lucha contra la erosión.

El proceso de erosión es un fenómeno natural que forma parte del ciclo geológico. El agua y el aire son factores especialmente agresivos que constituyen el origen de la erosión del suelo. El geotextil se emplea como parte de un sistema de lucha contra la erosión a fin de proteger el suelo (pendientes de diques a la orilla del mar, riberas de ríos, protección de un cauce de río), de estos efectos. Según la fuerza del agua (velocidad de la corriente, acción del oleaje, movimiento de las mareas) y las características del suelo, los efectos pueden resultar devastadores (provocando, por ejemplo, corrimientos de terreno).

5.2. Funciones

La principal función del geotextil en un sistema de lucha contra la erosión consiste en retener el material sin que la presión del agua en los poros resulte excesiva. El geotextil hace las veces de un filtro convencional de gran calidad situado entre el suelo que se desea retener y los revestimientos formados por gaviones, piedras o bloques de hormigón que protegen al geotextil. El tamaño concreto de las aberturas retiene el suelo y evita una erosión de la pendiente. Además, el geotextil debe responder a las exigencias existentes en materia de resistencia.

DuPont™ Typar® SF es el filtro ideal para la lucha contra la erosión y se utiliza para sustituir los filtros de áridos multifase porque:

- Su estructura resistente, homogénea y cohesiva absorbe y disipa la fuerza frontal de las aguas de una forma eficaz que resiste a la desintegración.
- Sus características de permeabilidad permiten el paso del agua al tiempo que retiene las partículas de suelo; de este modo, eliminan la formación de una presión hidrostática a largo plazo.
- La calidad y la uniformidad de su estructura es más consistente que la de los áridos.
- Evita la formación de galerías subterráneas en las estructuras, impidiendo el efecto de socavación por filtraciones y la erosión de los suelos alrededor de dichas estructuras.

5.3. Seleccionar el tipo adecuado de DuPont™ Typar®

Los elementos importantes que el ingeniero debe tener en cuenta al diseñar los sistemas de drenaje son la topografía, la capa freática, la composición del suelo y las características del sistema de drenaje y del filtro que se van a utilizar. Para la selección del filtro geotextil, se debe considerar también el filtro y la absorción de energía.

5.3.1. Criterios de filtración

El geotextil utilizado en los sistemas de lucha contra la erosión debe cumplir los criterios de filtración en condiciones de flujo de salida dinámico (flujo de salida reversible), es decir, en condiciones que permitan satisfacer las exigencias de permeabilidad, el tamaño de abertura máximo del geotextil (O_{95}), que debe ser lo más pequeño posible. Por ejemplo, para suelos gruesos ($D_{40} = 0,06 \text{ mm}$), se deben respetar las siguientes condiciones:

$$O_{90} \leq D_{60} \text{ y } O_{90} \leq 1.5 * D_{10} * \sqrt{Cu}$$

En lo que se refiere a la permeabilidad, se deben tener presentes los siguientes aspectos:

- Condición de contacto entre el suelo y DuPont™ Typar® SF: En las aplicaciones de lucha contra la erosión, se puede observar una falta de contacto entre el geotextil y el suelo como consecuencia de un efecto de inflado. Dicho inflado se debe a un flujo de salida reversible de las aguas, que es el causante de la licuación del suelo por debajo de los geotextiles y de la descomposición de la capa natural de filtración debajo de los geotextiles. En cualquier caso, gracias a la utilización de cantos rodados de pequeña dimensión (de 50 mm a 100), se puede garantizar el contacto entre el geotextil y el suelo subyacente.
- La influencia de la capa superior sobre la permeabilidad: La permeabilidad de DuPont™ Typar® SF se adapta a la del propio suelo. No obstante, en determinadas situaciones, es necesario adaptarla a la permeabilidad de la capa superior. Por ejemplo, si se colocan los bloques de hormigón directamente sobre DuPont™ Typar® SF y existe un espacio mínimo entre el geotextil y los bloques, la permeabilidad de DuPont™ Typar® SF seguirá siendo la misma, pero no se puede aplicar en toda la superficie. El agua proveniente del subsuelo debe dirigirse en primer lugar hacia las aberturas entre los bloques. La superficie permeable efectiva se reduce. Para suprimir este efecto y generar una protección suplementaria contra los daños producidos durante la instalación, se colocará una capa de piedrecitas redondeadas o de arena entre el geotextil y los bloques de hormigón. Por otra parte, con ello se conseguirá proteger el geotextil de la exposición a la radiación UV.

5.3.2. Criterios de energía

Durante la construcción del sistema de lucha contra la erosión, se puede producir la caída de piedras de gran tamaño sobre el geotextil. En ese caso, se precisa un tipo de DuPont™ Typar® SF con un alto potencial de absorción de energía, por ejemplo, uno con un nivel de energía 3 (véase la Fig. 21).

Cuando el suelo se deforma de manera localizada, aunque las zonas próximas resulten intactas, se puede producir una deformación de tracción importante a nivel local en el geotextil. Esta deformación local activa dos mecanismos: asentamiento no uniforme y transporte de materiales por debajo de DuPont™ Typar® SF. El asentamiento diferencial puede deberse a una variación de la capacidad de carga del subsuelo, a una variación de la carga superficial, a un reblandecimiento o a la deformación plástica. Un módulo inicial elevado permite estabilizar el suelo subyacente y reducir el asentamiento no uniforme. El transporte de materiales por debajo del geotextil puede estar causado por excavaciones efectuadas a lo largo del borde del geotextil o por un deterioro debido al desgaste. Un geotextil con un nivel de absorción de energía elevado está perfectamente adaptado para resistir a estas condiciones de instalación difíciles y minimizar los posibles daños.

5.4. Recomendaciones de instalación: sistema de lucha contra la erosión con DuPont™ Typar® SF

- Si es posible, igualar y compactar las pendientes.
- Si la anchura de la pendiente es inferior a 8 m, desenrollar DuPont™ Typar® SF sobre la mitad inferior de la pendiente y después, colocar DuPont™ Typar® SF sobre la mitad superior de la misma con un solapamiento de 0,5 a 1 m.

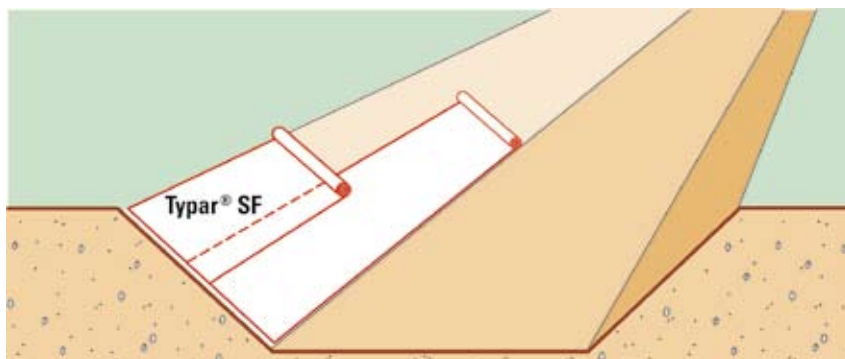


Figura 40: DuPont™ Typar® SF desenrollado en primer lugar sobre la mitad inferior de la pendiente y después, sobre la mitad superior.

- Si la anchura de la pendiente supera los 8 m, colocar DuPont™ Typar® SF en toda la anchura de la misma, de arriba hacia abajo. Realizar el solapamiento en la dirección del flujo de salida de agua.
- Excavar fosas para fijar DuPont™ Typar® SF en la parte superior y en el pie de la pendiente. El pie constituye la cimentación de la estructura y debe recibir una especial atención para impedir que se formen galerías por debajo de él.
- Al colocar las escolleras o los gaviones, comenzar por el pie y continuar el trabajo en la pendiente, hacia arriba, para impedir que se produzcan corrimientos. Instalar la escollera con precaución, sin soltarla de la altura elevada donde se encuentra encima de DuPont™ Typar® SF.
- Para asegurar un contacto óptimo entre el geotextil y el suelo, colocar en primer lugar una capa de material de asiento (cantos rodados o arena) encima de DuPont™ Typar® SF. Esta capa impedirá la perforación gracias al elevado peso que ejerce la escollera.
- Fijar el geotextil en la fosa del borde superior de la pendiente con el suelo y la vegetación. Este método de anclaje en profundidad impedirá que un importante volumen de aguas superficiales pase por debajo del geotextil y levante toda la estructura.

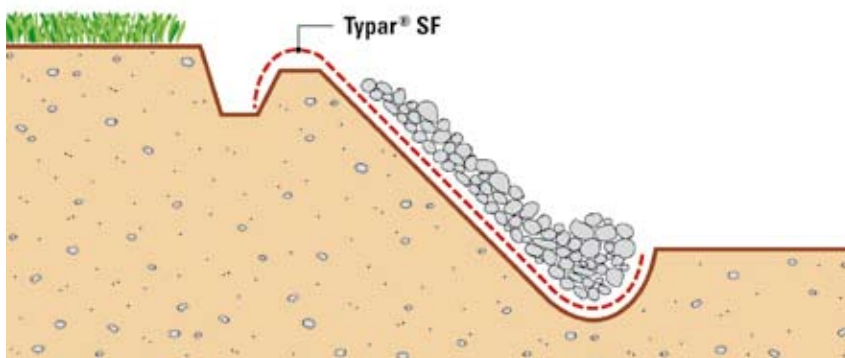


Figura 41: Fijación de DuPont™ Typar® SF en el borde superior de la pendiente.

Aplicaciones hidráulicas:

A la hora de instalar el geotextil bajo el agua, DuPont™ Typar® SF tenderá a flotar, puesto que la densidad del polipropileno (0,91) es menor que la del agua. Para mantener el geotextil en su posición, se debe colocar arena o cantos rodeados sobre el geotextil inmediatamente después del paso de la máquina que realiza la aplicación del mismo.

Para llevar a cabo una instalación rápida y eficaz, colocar barras de acero (por ejemplo: barra de refuerzo convencional con un diámetro de 6 mm) cada 5 metros. Dichas barras mantendrán el textil sobre el plano, permitiendo un solapamiento regular (no se requieren buceadores, menor solapamiento = ahorro económico).

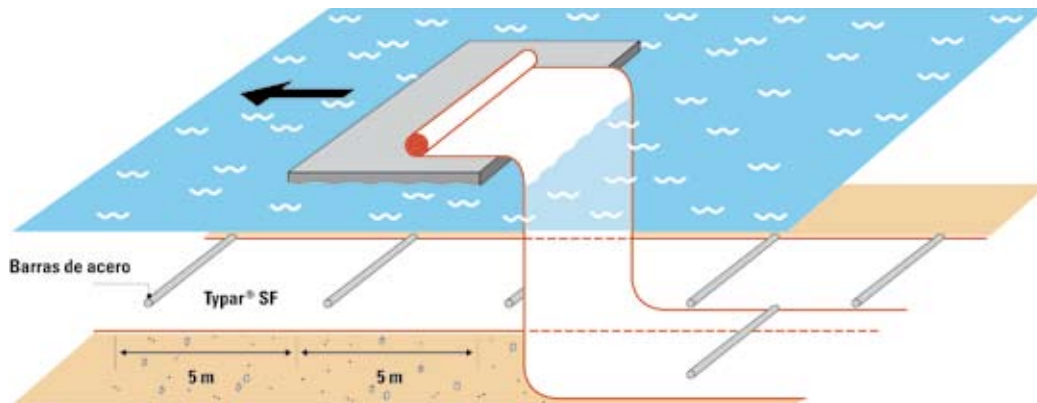


Figura 42: La colocación de barras de acero en DuPont™ Typar® SF mantiene el geotextil plano y permite su instalación bajo el agua.

Sugerencias de aplicaciones

Comprobación del ascenso capilar de las aguas salinas	46
Jardines en terrazas	46
Irrigación de la vegetación en carreteras	47
Pistas con losas de hormigón o piedras de revestimiento	47
Drenaje de los muros de cimentación	47
Drenaje de los cimientos de edificios	47
Brecha capilar para la construcción de muros	48
Saneamiento doméstico individual	48
Conductos sobre suelo mullido	48
Playas artificiales en lagos	49
Protección mediante revestimiento	49
Ferrocarriles, vías nuevas y renovación de las existentes	49
Drenajes agrícolas y conductos de drenaje	49
Rompeolas y espigones sobre suelo mullido del fondo del mar	50
Saneamiento de terrenos mediante terraplén hidráulico	50

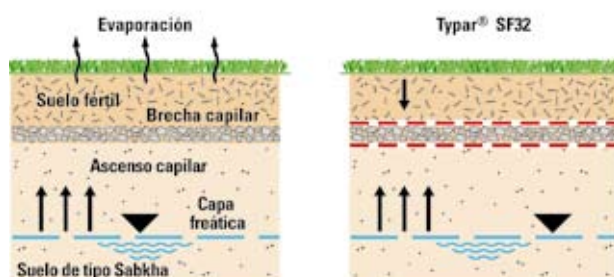
6. Sugerencias de aplicaciones

Al margen de las aplicaciones más corrientes, en los proyectos de construcción de cimentaciones sobre terrenos granulares, de drenaje y de lucha contra la erosión, el uso de los geotextiles también está generalizado en muchas otras aplicaciones, como por ejemplo:

- Sistemas de colocación de cubiertas.
- Acondicionamiento paisajístico.
- Cimientos de edificios.
- Senderos pedestres, etc.

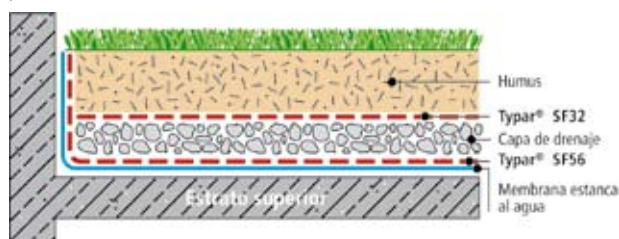
A continuación, se presentan varias aplicaciones específicas de DuPont™ Typar® SF.

Comprobación del ascenso capilar de las aguas salinas



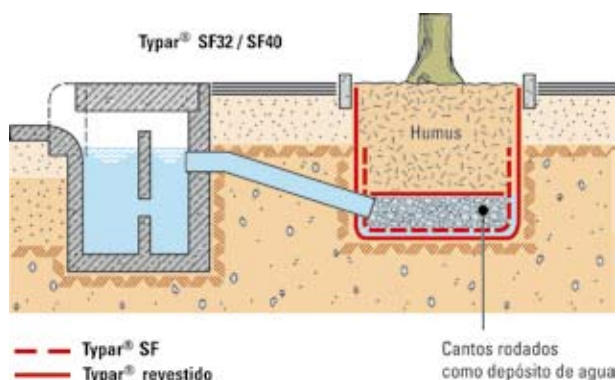
- En los países que ocupan regiones áridas, una evaporación superficial intensa provoca el ascenso capilar de las aguas salinas subyacentes al suelo fértil, en detrimento de la vegetación.
- Una brecha capilar granular impide el ascenso capilar de las sales. No obstante, el arrastre hacia abajo del suelo fértil termina llenando el material granular e incluso favorece el proceso capilar.
- El filtro DuPont™ Typar® SF impide este arrastre del suelo hacia abajo.
- La separación eficaz gracias a DuPont™ Typar® SF permite instalar una capa de brecha capilar más fina.
- La instalación de DuPont™ Typar®, con su revestimiento impermeable, en el fondo de la brecha capilar retiene las aguas de irrigación y/o permite la alimentación de aguas de irrigación a través de la capa granular, reduciendo de este modo las pérdidas por evaporación y favoreciendo el crecimiento de raíces profundas.
- Este sistema también se puede utilizar en condiciones normales, donde la capa granular actúa simplemente como una capa de drenaje o de irrigación.

Jardines en terrazas



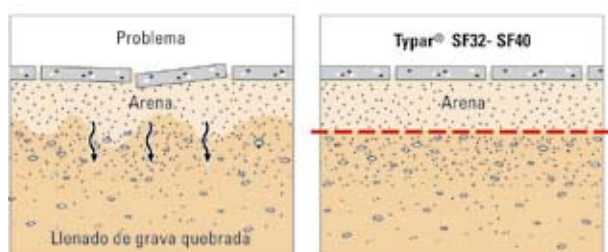
- La capa superior de DuPont™ Typar® impide el arrastre del humus hacia la capa de drenaje.
- La capa inferior de DuPont™ Typar® SF impide que la membrana estanca al agua resulte perforada y actúe como una barrera para las raíces.

Irrigación de la vegetación en carreteras



- El exceso de precipitaciones puede utilizarse para el riego de las plantas.
- Si el suelo es demasiado poroso, se puede utilizar DuPont™ Typar® SF para impedir una absorción rápida del agua.
- DuPont™ Typar® SF impide el lavado del humus.

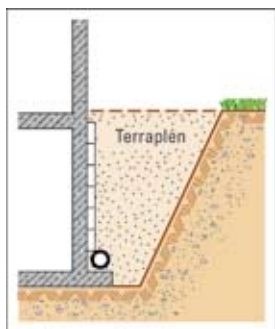
Pistas con losas de hormigón o piedras de revestimiento



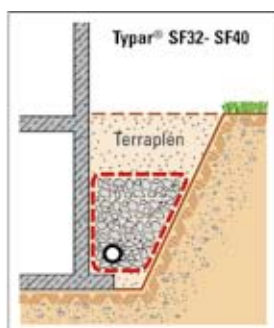
- DuPont™ Typar® SF impide el arrastre de la arena que se emplea para colocar las piedras de revestimiento y las losas de hormigón.
- DuPont™ Typar® SF minimiza el hundimiento de las losas.

Drenaje de los muros de cimentación

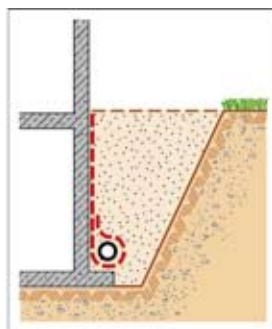
Los sistemas de drenaje con DuPont™ Typar® SF son más fáciles y rápidos de instalar. DuPont™ Typar® SF impide la colmatación del conducto de drenaje y mantiene un rendimiento eficaz.



Convencional.



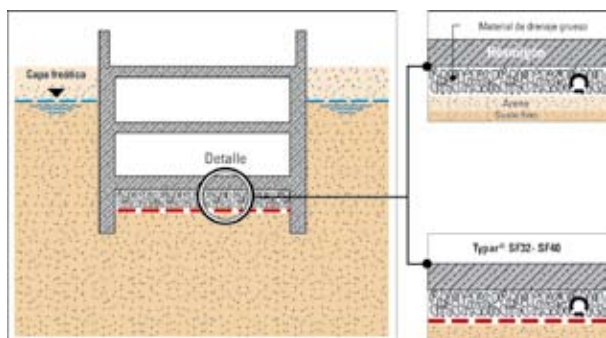
Con DuPont™ Typar® y cantos rodados.



Con DuPont™ Typar® combinado con un estrato drenante de tipo placa de drenaje de plástico estriado/poliéster expandido (drenaje compuesto).



Drenaje de los cimientos de edificios



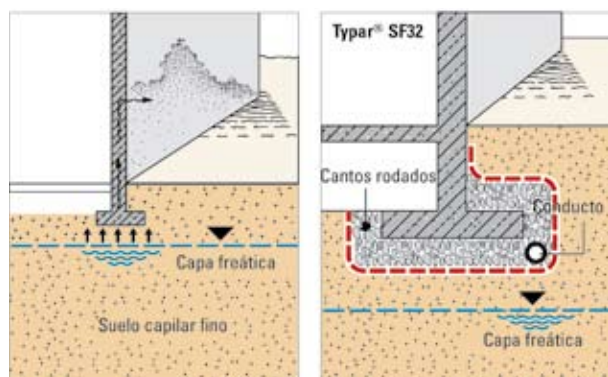
Solución convencional:

- Filtro granular calibrado.
- Riesgos de colmatación del sistema de drenaje.
- Instalación difícil y desigual en condiciones húmedas, con riesgo de contaminación del filtro.

Solución con DuPont™ Typar® SF:

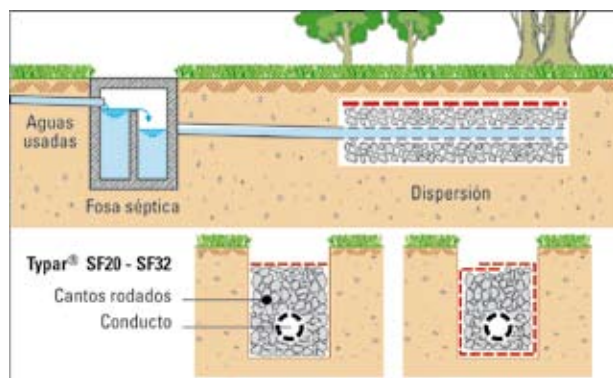
- Fácil de instalar.
- Impide la contaminación de la capa de drenaje.
- Áridos con granularidad extendida.

Brecha capilar para la construcción de muros



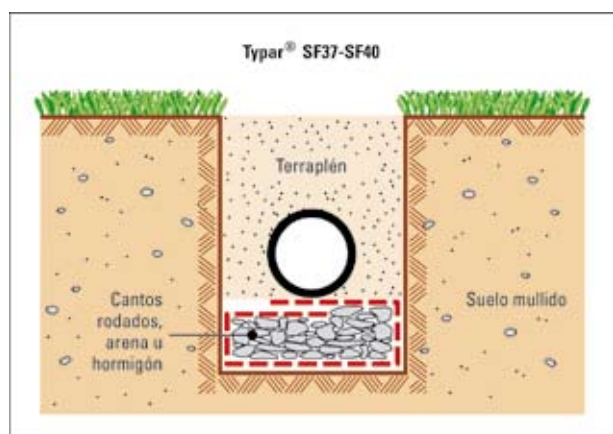
- En los suelos finos, una capa freática próxima a la superficie puede ascender debido a la capilaridad de los muros de la construcción, provocando la humidificación de los muros y la degradación del revestimiento.
- Una capa de áridos gruesos producirá una brecha capilar.
- DuPont™ Typar® SF impide que el suelo fino contamine la brecha capilar.

Saneamiento doméstico individual



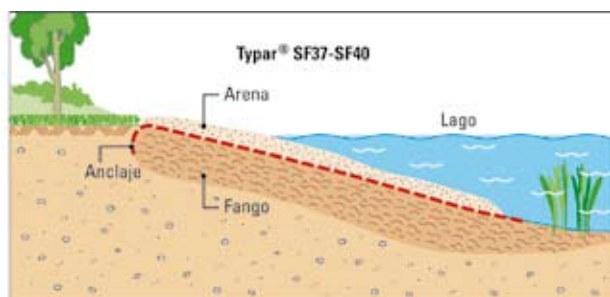
- DuPont™ Typar® SF impide que el suelo contamine los cantos rodados. Permite una transformación biológica eficaz gracias a una aeración óptima de los cantos rodados.

Conductos sobre suelo mullido



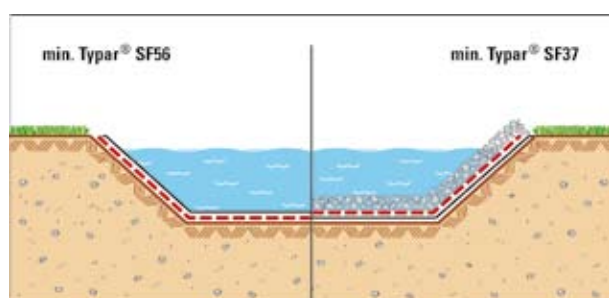
- DuPont™ Typar® SF permite una instalación adecuada del material de sujeción de los conductos.
- Se puede obtener una mejor compactación.
- DuPont™ Typar® SF minimiza el asentamiento diferencial.

Playas artificiales en lagos



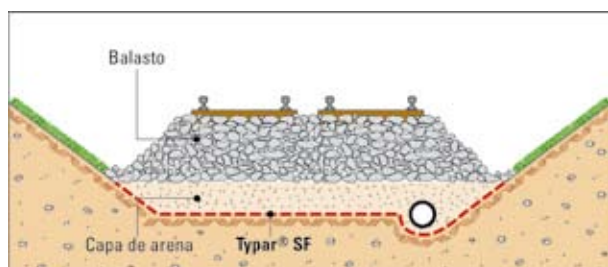
- DuPont™ Typar® SF impide la erosión de la ribera.
- DuPont™ Typar® SF se instala fácilmente.
- En los países septentrionales, DuPont™ Typar® SF y la arena se pueden colocar en la superficie congelada de un lago. Cuando el hielo se derrite, se depositan en el fondo del lago.
- DuPont™ Typar® SF impide el crecimiento de maleza.

Protección mediante revestimiento



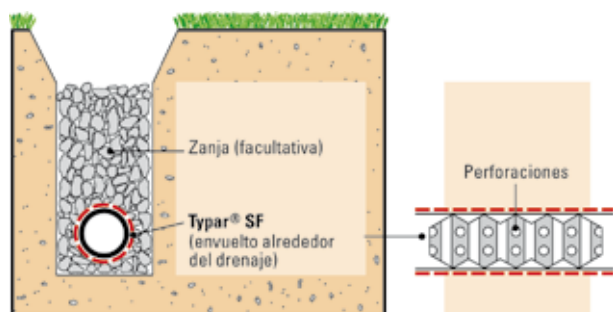
- DuPont™ Typar® SF entre el revestimiento de la cuenca y el suelo: SF56 (min).
- DuPont™ Typar® SF entre los bordes de la cuenca y la capa de protección de arena: SF37.
- DuPont™ Typar® SF protege contra la perforación.

Ferrocarriles, vías nuevas y renovación de las existentes



- DuPont™ Typar® SF evita la contaminación del balasto por el efecto de bombeo como consecuencia de la carga dinámica y las vibraciones debidas a la circulación de los trenes.
- Permite una mejor compactación y un ahorro de áridos.
- DuPont™ Typar® SF retiene las partículas de suelo sin que se produzca colmatación.
- Asegura una mayor longevidad de la vía férrea.

Drenajes agrícolas



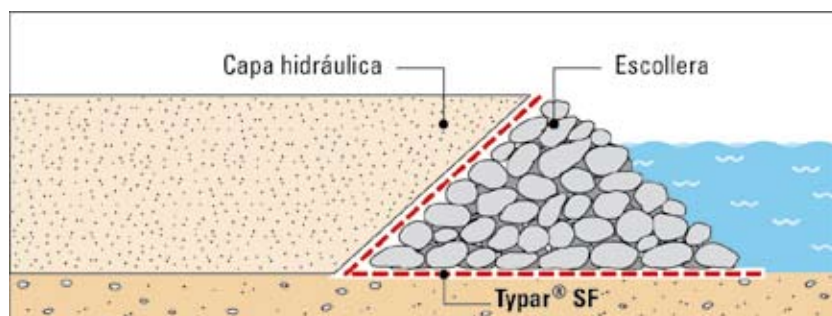
- Un conducto ondulado envuelto con DuPont™ Typar® SF se puede colocar en el subsuelo con o sin zanja.
- La superficie de drenaje del conducto ondulado aumenta hasta 90 veces.
- La zona de influencia del drenaje envuelto es más alta.
- La separación entre los drenajes se puede aumentar.
- La rigidez de Typar® SF impide que el geotextil se deforme al plegar el conducto.

Rompeolas y espigones sobre suelo mullido del fondo del mar



- Una capa de separación de DuPont™ Typar® SF impide que la escollera se desmorone sobre el suelo mullido.
- DuPont™ Typar® SF debe protegerse mediante una capa de piedras pequeñas.

Saneamiento de terrenos mediante terraplén hidráulico



- La capa de separación y de filtración de DuPont™ Typar® SF permite retener el terraplén hidráulico.
- DuPont™ Typar® SF evita la utilización de capas filtrantes muy costosas y de difícil instalación.

Anexo

7.1. Métodos de pruebas estandarizados	52
7.1.1. Propiedades descriptivas	52
7.1.2. Propiedades mecánicas	52
7.1.3. Propiedades hidráulicas	53
7.2. Absorción de energía	54
7.3. Comparación de propiedades	55
7.4. Materias primas	55
7.5. Radiación UV y resistencia química	56
7.6. Resistencia a la temperatura	58
7.6.1. Temperaturas bajas	58
7.6.2. Temperaturas elevadas	58
7.7. Métodos de ensamblaje	58
7.7.1. Ensamblaje por costura	58
7.7.2. Solapamiento	59
7.8. Datos útiles	60
7.9. Pliego de condiciones	64
Geotextiles empleados para separar los materiales de explanación	64

Anexo

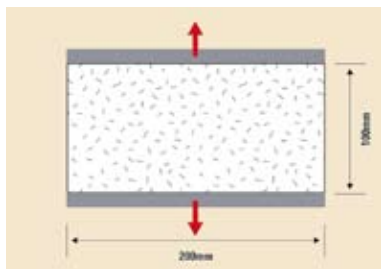
7.1. Métodos de pruebas estandarizados

Dado que los geotextiles han sido confeccionados por la industria textil, sus propiedades se han medido en un primer momento por medio de pruebas textiles. Enseguida ha quedado de manifiesto que dichas pruebas no estaban adaptadas al comportamiento específico del geotextil, en particular cuando éste se pone en contacto con el suelo.

Organismos de distintos países han elaborado nuevos equipos y métodos de pruebas más apropiados para los usos finales del geotextil. Sin embargo, esta circunstancia ha dificultado más aún la comparación de los distintos productos provenientes de cada país. Desde hace varios años, las normas de Pruebas estandarizadas europeas proporcionan una base común para las mediciones (véase el apartado 7.1.1 – 7.1.3) y están aceptadas no sólo en el conjunto de la Unión Europea, sino también en toda Europa y han sido ampliamente adoptadas por la ISO (Organismo internacional de normalización).

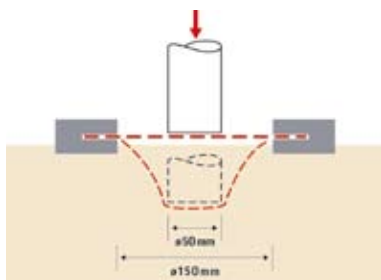
7.1.1. Propiedades descriptivas

7.1.2. Propiedades mecánicas



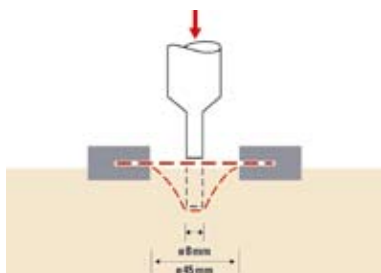
Prueba de resistencia a la tracción de bandas anchas EN ISO 10319

Esta prueba se realiza con todo tipo de geotextiles y georrejillas en un tubo de ensayo de 200 mm de ancho y 100 mm de longitud. Se aplica una fuerza longitudinal al tubo de ensayo hasta que éste se rompe. Se mide la resistencia de tracción máxima, la elongación y la absorción de energía. La principal diferencia entre este método y otros como DIN 53857, ASTM D1682, etc. es la anchura del tubo de ensayo o el índice de deformación.



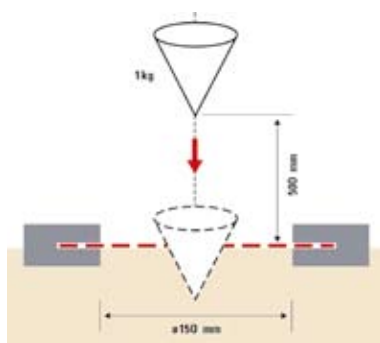
Prueba de resistencia al punzonamiento estático (CBR) EN ISO 12236

Se empuja un pistón de acero (con un diámetro de 50 mm) a una velocidad constante hacia el centro de la muestra hasta que la atraviesa. Se mide la resistencia máxima y el desplazamiento del pistón.



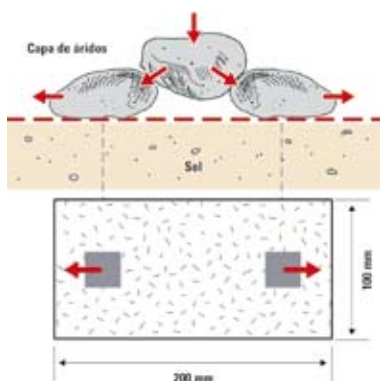
Prueba de resistencia al punzonamiento (barra EE.UU.) ASTM D4833

Esta prueba es similar a la de punzonamiento estático (CBR), pero en este caso, se emplea un pistón diferente ($\varnothing$ 8 mm) y el tubo de ensayo es más pequeño. Koerner recomienda no obstante la prueba CBR, puesto que proporciona resultados más coherentes.



Prueba de perforación dinámica (caída de cono) EN ISO 13433

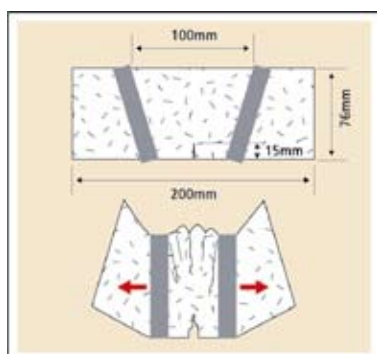
Se suelta un cono de acero desde una distancia de 50 cm sobre un tubo de ensayo de geotextil sujeto a dos paredes. El grado de penetración se mide por el diámetro del orificio.



Prueba de resistencia al arrancamiento ASTM D4632

Se aplica una carga creciente de forma longitudinal en el tubo de ensayo y se continúa la prueba hasta que se rompe el tubo. Se miden los valores correspondientes a la resistencia de arrancado y a la elongación máxima del tubo de ensayo.

Esta prueba simula el comportamiento del geotextil mientras permanece sometido a la tracción y se aplica presión de superficie de tal forma que la piedra tiende a desplazarse hacia los lados.



Resistencia al desgarro ASTM D4533

Se recorta un tubo de ensayo y se registra la resistencia de propagación del desgarro.

Se emplea una membrana de caucho inflable para deformar el geotextil en un hemisferio de 30 mm de diámetro hasta que estalla. Debido al tamaño reducido del tubo de ensayo, los resultados de esta prueba varían de forma significativa, sobre todo de una organización a otra.

7.1.3. Propiedades hidráulicas

El caudal de agua a través de una capa sencilla de geotextil, que discurre normalmente sobre el plano del geotextil, se mide según condiciones específicas $[l/(s \cdot m^2)]$.

Método de carga constante: una capa sencilla de geotextil se somete a un flujo unidireccional de agua normal al plano según una serie de alturas de agua constantes. Método de caída del agua: igual que el método de altura de agua constante, pero con una caída de agua. El resultado es el índice de velocidad (VI_{H50}) en m/s correspondiente a una pérdida de carga de 50 mm a través de un tubo de ensayo, expresada en mm-1.

La permeabilidad perpendicular al plano se mide bajo una altura de agua constante y según una serie de cargas diferentes. Esto resulta especialmente interesante cuando se comparan geotextiles de espesores diferentes.

La permeabilidad k [m/s] (velocidad del flujo de salida de agua) describe el flujo de salida del agua perpendicular al plano y se mide por medio de un permeámetro con agua desmineralizada y desaireada. La medición del caudal Q y del gradiente hidráulico i permite determinar el coeficiente de permeabilidad del agua $K_n = Q/i$ para un flujo laminar constante. El gradiente hidráulico i se define de forma general como la relación entre la pérdida de carga dH y el espesor del material: $i = dH/t$. En el caso de los geotextiles, se adapta esta fórmula introduciendo el espesor del geotextil t_g : $i = dH/t_g$. Para los geotextiles, sería preferible utilizar un gradiente hidráulico igual a 1 para suprimir la influencia del espesor. Sin esto, los

geotextiles con espesores diferentes pero que presentasen la misma velocidad de flujo de salida del agua tendrían permeabilidades diferentes, lo cual es incorrecto. Por ello, es conveniente determinar la permitividad del geotextil.

Ψ

La permitividad $\Psi = K_n / t_g$ [s⁻¹] es la relación de K_n del geotextil dividida por el espesor del geotextil. Este valor permite comparar los geotextiles con espesores distintos.

Θ

La transmisividad $\Theta = k * t_g$ [m²/s] describe la permeabilidad en el plano del geotextil. La cantidad de partículas de suelo atrapadas en la estructura del geotextil (efecto de colmatación) y la presión que ejerce el suelo sobre el geotextil tienen un efecto directo sobre la transmisividad del geotextil. Al contrario que la presión del suelo, la colmatación no se puede reproducir en un laboratorio, por lo que no se puede prever con anticipación. Por ello, la transmisividad se encuentra mucho mejor adaptada a los materiales geosintéticos compuestos por un estrato drenante y un filtro (compuestos de drenaje) y describirá la capacidad del drenaje para mantener el flujo de salida del agua a largo plazo. La transmisividad de los geotextiles “espesos”, medida en laboratorio, no refleja el flujo de salida real del agua una vez instalados.

Se coloca una muestra de geotextil en un bastidor de tamiza y se ponen bolas de vidrio dimensionadas sobre el geotextil. El geotextil y el bastidor se someten a vibraciones para que las bolas pasen a través del tubo de ensayo. El procedimiento se repite en la misma muestra con distintas distribuciones de las bolas de vidrio según su tamaño hasta que su tamaño de apertura aparente O_{95} sea determinado a partir de la distribución de las partículas que han atravesado el tubo de ensayo.

Se trata de un procedimiento similar al tamizado en seco pero que incorpora una vaporización suplementaria de agua en un material granular específico, el cual se debe tamizar a través del geotextil. O_{90} es el tamaño de apertura característico del geotextil, determinado a partir de la distribución de las partículas que han atravesado el tubo de ensayo.

7.2. Absorción de energía

- Definición: “la absorción de energía W ” – trabajo realizado para deformar la muestra; definido como la integral de la curva tensión-deformación (en un punto escogido) y expresado en kJ/m². La absorción de energía W bajo carga máxima (según EN ISO 10319).
- Calcular la absorción de energía W , expresada en kilojulios por metro, directamente a partir de los datos obtenidos durante las pruebas de tracción, utilizando la siguiente ecuación:

$$W = \int_0^{\epsilon} Ff(x) dx * c * d \text{ [kJ/m}^2\text{]}$$

$F(x)$ es la función guardada de la curva fuerza-deformación y se obtiene mediante la ecuación (1) o la ecuación (2), según la que resulte más apropiada:

Para los materiales no tejidos, tejidos o similares,

$$c = 1/B \text{ (1)}$$

Donde B es la anchura nominal de la muestra en metros

Para los geotextiles tejidos brutos, las georrejillas o los materiales con estructuras abiertas similares:

$$c = N_m / N_s \text{ (2)}$$

Donde

N_m es el número mínimo de elementos sometidos a la elongación en una superficie de un metro de ancho del producto probado

N_s es el número de elementos sometidos a la elongación en toda la superficie del producto probado

$$d = 1/H$$

Donde H es la altura nominal de la muestra en metros.

7.3. Comparación de las propiedades

Con frecuencia se pide a los ingenieros que comparen las propiedades de diferentes geotextiles. A menudo, las propiedades se proporcionan a partir de diferentes normas, o bien los productos difieren mucho entre ellos (como un tejido y otro no tejido), lo que hace difícil la comparación. Un método sencillo para comparar estos productos consiste en comparar los valores de absorción de energía según la técnica recomendada por el Comité Suizo de Geotextiles. Se trata de una comparación más pertinente, puesto que la absorción de energía es una combinación de propiedades. Asimismo, hay que destacar que este cálculo solamente ofrece un valor aproximado de la energía absorbida real determinada durante las pruebas de tracción, pero que no obstante permite comparar el rendimiento de distintos productos.

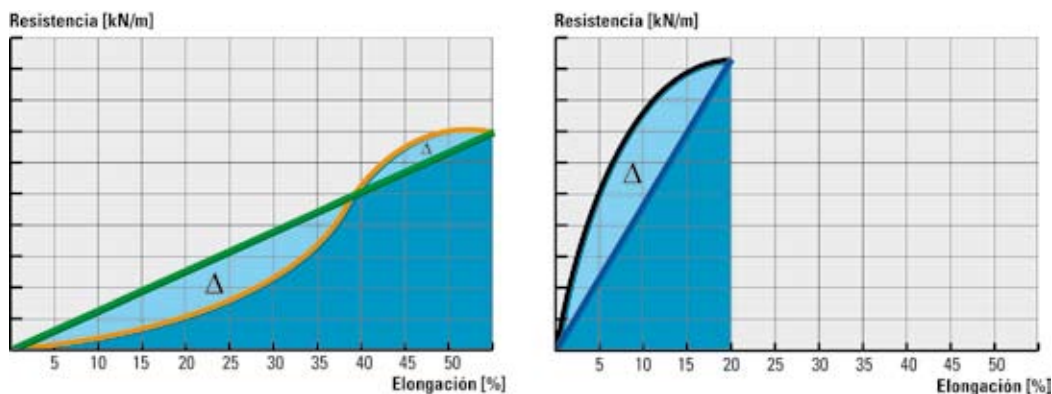


Figura 43: Diferencia entre potencial de absorción de energía real y teórica ilustrada por dos curvas de tensión-deformación diferentes.

También se trata de una comparación de la resistencia con las tensiones de instalación y de construcción. Como se indica en el segundo capítulo, la resistencia del geotextil al deterioro es una combinación de alta resistencia a la tracción y alta elongación (absorción de energía).

En varios países, la absorción de energía teórica ($W_{\text{índice}} = 0.5 \cdot T \cdot \Sigma$) se utiliza mediante simplificación. El potencial de absorción de energía real W es más preciso y sus distintos valores deben compararse, puesto que tienen en cuenta las características de la curva de tensión-deformación (por ejemplo, el módulo inicial).

7.4. Materias primas

Se utiliza un extenso abanico de diferentes polímeros para la producción de geotextiles; los más habituales son el polipropileno y el poliéster. Cada polímero presenta sus propias ventajas y desventajas. La densidad y la temperatura de fusión habituales se enumeran en la siguiente tabla:

	PP	PET	PA	HDPE
Densidad (g/cm³)	0.91	1.38	1.12	0.95
Temperatura de fusión (°C)	165	260	220-250	130

- El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico de cadena larga, caracterizado por una gran rigidez, excelentes propiedades de tracción y una resistencia óptima a los ácidos y bases.
- La poliamida (PA) es un termoplástico caracterizado por una gran resistencia a las temperaturas elevadas, una resistencia al desgaste y a la abrasión y una excelente resistencia química.
- El polietileno (PE), utilizado en su forma de alta densidad HDPE, es un termoplástico caracterizado por una alta resistencia y rigidez y una excelente resistencia a los productos químicos.
- El poliéster (PET) es un termoplástico con una resistencia elevada a las temperaturas altas, un índice bajo de deformación de fluencia y una excelente resistencia química a la mayoría de ácidos y a un gran número de disolventes. Aunque son de sobra conocidos en aplicaciones de poliéster en entornos altamente alcalinos con un $\text{pH} > 10$, especialmente en presencia de cal, cemento u hormigón, se deberían llevar a cabo pruebas suplementarias.

7.5. Radiación UV y resistencia química

En el proceso de producción, se añaden estabilizantes al polipropileno para aumentar la durabilidad de DuPont™ Typar® SF. Puede resistir hasta varias semanas a una exposición directa a la luz natural, pero una exposición prolongada al sol, sobre todo en los países tropicales, puede ocasionar una pérdida de resistencia. Por lo general, un geotextil ha de recubrirse lo más rápidamente posible una vez colocado para evitar la degradación del material a causa de la radiación ultravioleta, de la acción del viento o el deterioro mecánico.

DuPont™ Typar® SF no se degrada por la acción de los ácidos y las bases presentes en la naturaleza. Las pruebas en las que el geotextil se ha puesto en contacto con los productos siguientes no han revelado degradación alguna de Typar®:

- Ácido láctico (pH 2.4) 15 días a 50°C,
- Carbonato de sodio (pH 11.6)) 15 días a 50°C,
- Hidróxido de calcio Ca (OH)₂ (pH 12.5) 10g/l, 15 días a 25°C

En la tabla siguiente se muestra de forma sumaria la resistencia del geotextil DuPont™ Typar® SF a una lista más extensa de sustancias químicas.

La concentración química y la temperatura influyen en gran medida en la resistencia química de DuPont™ Typar® SF. No se ha medido ninguna pérdida de resistencia cuantificable según SN195808/Iso 105/B04.

Agente	Conc. %	Temp. C°	Tiempo, Horas/Meses	Efecto sobre DuPont™ Typar® SF ¹
Ácidos				
Acético	100	20°	6 meses	Ninguno
Crómico	10	21°	10 horas	Ninguno
Bromhídrico	10	21°	10 horas	Ninguno
Clorhídrico	10	21°	1000 horas	Ninguno
Clorhídrico	37	71°	10 horas	Ninguno
Nítrico	10	99°	10 horas	Ninguno
Nítrico	70	21°	10 horas	Ninguno
Nítrico	95	21°	1000 horas	Considerable
Fosfórico	85	21°	10 horas	Ninguno
Sulfúrico	60	99°	10 horas	Ninguno
Sulfúrico	96	21°	1000 horas	Ninguno
Fórmico	100	20°	6 meses	Ninguno
Clorhídrico	30	60°	6 meses	Ninguno
Clorhídrico	30	100°	6 meses	Degradé
Sulfúrico	98	20°	6 meses	Ninguno
Sulfúrico	98	60°	6 meses	Considerable
Sulfúrico	98	100°	6 meses	Descompuesto
Bases				
Amoniaco	30	20°	6 meses	Ninguno
Amoniaco	58	21°	1000 horas	Ninguno
Sosa	50	21°	6 meses	Ninguno
Sosa	50	60°	6 meses	Ninguno
Hopoclorita de sodio	20	20°	6 meses	Ninguno
Hopoclorita de sodio	20	100°	6 meses	Considerable

Agente	Conc. %	Temp. C°	Tiempo, Horas/Meses	Efecto sobre DuPont™ Typar® SF ¹
Química orgánica				
Acetona	100	20°	6 meses	Ninguno
Acetona	100	56°	6 meses	Ninguno
Benceno	100	21°	1000 horas	Ninguno
Benceno	100	20°	6 meses	Moderate
Benceno	100	60°	6 meses	Considerable
Tetracloruro de carbono	100	20°	6 meses	Considerable
Ciclohexano	100	20°	6 meses	Ninguno
Ciclohexano	100	60°	6 meses	Considerable
Etanol	96	20°	6 meses	Ninguno
Etanol	96	60°	6 meses	Ninguno
Etanol	96	81°	6 meses	Ninguno
Etilenglicol	100	20°	6 meses	Ninguno
Etilenglicol	100	60°	6 meses	Ninguno
Dimetilformamida	100	93°	10 heures	Ninguno
Dimetilformamida	100	153°	10 horas	Degradado
Dimetilsulfóxido	100	93°	10 horas	Ninguno
Gasolina	100	20°	6 meses	Considerable
Aceite de lino	100	20°	6 meses	Ninguno
Aceite de lino	100	60°	6 meses	Ninguno
Cloruro de metileno	100	20°	6 meses	Considerable
Tetracloroetileno	200	93°	10 horas	Considerable
Tetracloroetileno	250	121°	10 horas	Degradado
Disolvente Stoddard	100	93°	10 horas	Ninguno
Aceite aislante para transformador	100	20°	6 meses	Ninguno
Aceite aislante para transformador	100	60°	6 meses	Considerable
Tricloroetileno	100	20°	6 meses	Considerable
Terebentina	100	100°	6 meses	Ninguno
Metaxileno	100	93°	10 horas	Ninguno
Metaxileno	100	20°	6 meses	Considerable

¹ Cambio de la resistencia a rotura causada por la exposición

Ninguno: 90 % a 100% de la resistencia original conservada

Moderado: 60% a 79% de la resistencia original conservada

Considerable: 20% a 59% de la resistencia original conservada

Degradado: 0% a 19% de la resistencia original conservada

7.6. Resistencia a la temperatura

7.6.1. Temperaturas bajas

La resistencia a las bajas temperaturas es importante cuando el geotextil se tiene que utilizar en regiones frías, como Alaska, el norte de Escandinavia, etc. En condiciones de frío extremo, la resistencia a la tracción aumenta, mientras que el alargamiento se reduce varios puntos porcentuales. Este efecto es reversible a medida que aumenta la temperatura. No se ha observado ninguna modificación significativa de la resistencia a la tracción en un DuPont™ Typar® SF de 200g/m² después de 4 ciclos de 0 a -18°C en condiciones húmedas y secas. Puesto que DuPont™ Typar® SF no absorbe el agua, los rollos no se congelan.

7.6.2. Temperaturas elevadas

La resistencia a la tracción disminuye y el alargamiento aumenta en condiciones de temperaturas elevadas. Las propiedades hidráulicas apenas resultan afectadas.

Para obtener más detalles, póngase en contacto con el centro técnico de materiales geosintéticos Typar® de DuPont.

7.7. Métodos de ensamblaje

7.7.1. Ensamblaje por costura

El ensamblaje por costura de DuPont™ Typar® SF que permite obtener una gran anchura en las instalaciones de drenaje y de lucha contra la erosión es un método práctico de eliminación del solapamiento del geotextil, con el consiguiente ahorro de costes. La costura es el método de ensamblaje más apropiado, especialmente porque se puede realizar fácilmente sobre el terreno, mientras que la soldadura y el pegado requieren un espacio de trabajo limpio y seco.

La costura a utilizar se representa en la ilustración siguiente. La máquina de coser ha de estar ajustada para efectuar 2 puntadas por cm. Aunque un ensamblaje por costura resulte preferible, el ensamblaje por soldadura o por pegado también pueden proporcionar buenos resultados en lo que se refiere a la resistencia a la tracción.

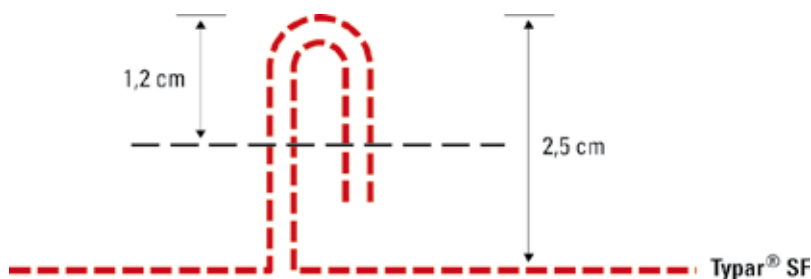


Figura 44: Tipo de costura recomendado.

7.7.2. Solapamiento

Los solapamientos necesarios en los lados y en los extremos dependen de las propiedades del suelo (CBR), del tipo de proyecto y de las deformaciones que pudieran aparecer. En general, se emplean los siguientes solapamientos:

- Carreteras provisionales, sistemas de drenaje: mín. 30 cm.
- Aparcamientos, carreteras permanentes: de 30 a 50 cm.
- Sistemas de lucha contra la erosión: de 50 a 100 cm.
- Carreteras provisionales: véase la Figura 45.

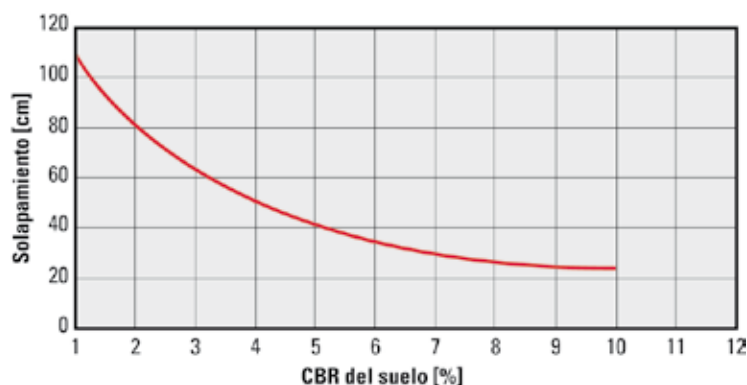


Figura 45: Solapamiento de DuPont™ Typar® SF.

En el siguiente gráfico se describe la cantidad suplementaria de DuPont™ Typar® SF necesaria para el solapamiento en función de la superficie y de la anchura del solapamiento. En él se demuestra claramente el potencial de ahorro que se puede conseguir gracias al ensamblaje por costura o soldadura en lugar de emplear el solapamiento.

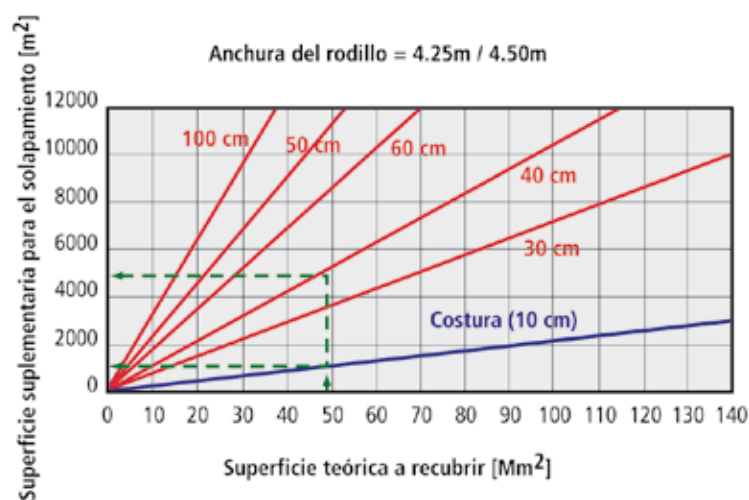


Figura 46: Superficie necesaria según la anchura del solapamiento.

En las aplicaciones donde DuPont™ Typar® se utiliza a modo de refuerzo, el solapamiento precisa una atención especial. Pueden resultar necesarios cálculos efectuados por ingenieros de diseño para verificar la correcta transmisión de las tensiones.

7.8. Datos útiles

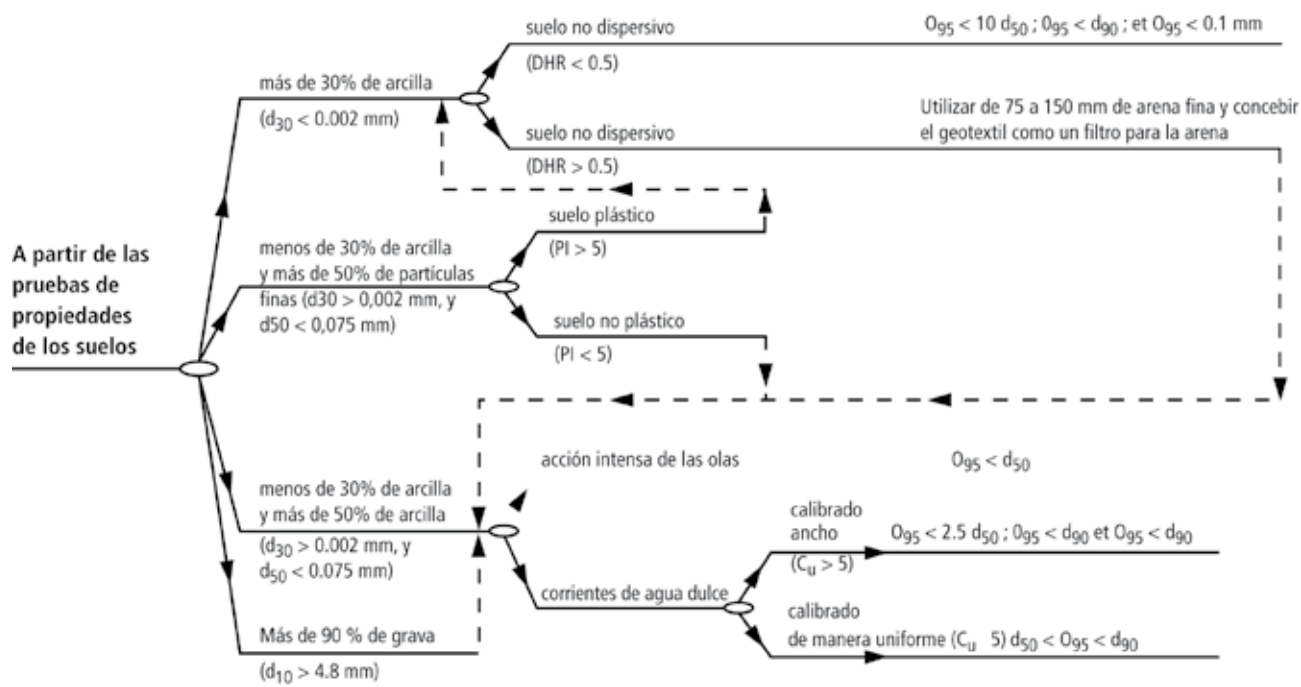
Conjunto aproximado de propiedades de suelo para los tipos de suelo más comunes (para el diseño preliminar).

Peso por unidad, suelo seco	γ	kN/m ³	17	18	19	18	20	17	17	19
suelo saturado	γ_g	kN/m ³	19	20	21	20	21	-	-	20
Porosidad	n	%	45	35	25	25 - 45	20 - 35	40 - 60	40 - 50	25 - 45
Coefficiente de permeabilidad	k	cm/sec	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸
Altura de ascenso capilar	h _k	cm	20	25	30	1 - 5	25	-	-	20
Densidad de Proctor simple	γ_p	kN/m ³	17 - 20			19	22	-	-	-
Contenido óptimo de humedad	W _{opt}	%	6 - 10			5	7	-	-	-
Módulo de rigidez	E _s	MN/m ²	20 - 50	40 - 100	80 - 150	100 - 200	150 - 250	100 - 200	100 - 150	150 - 250
Módulo de deformación	E _{v1}	MN/m ²	15 - 40	30 - 60	50 - 80	70 - 120	100 - 150	70 - 120	60 - 100	100 - 150
Valor CBR	CBR	%	10 - 20	20 - 30	30 - 40	50	70	90 - 100	100	90 - 100
Ángulo eficaz de fricción	φ'		30	32,5	35	37,5	37,5	40	35	37,5

Tabla 12: suelos no cohesivos.

	símbolo										
Peso por unidad	γ_g	kN/m ³	19	18	17	21	21	19	18	15	11
Porosidad	n	%	50	60	70	30	30	40	40	60	90
Contenido natural de humedad	w	%	20	30	40	10	15	20	30	80	400
Límite líquido	WL	%	40 - 100			30	20 - 40		15 - 30	70 - 120	-
Límite plástico	W _p	%	20 - 30			15	10 - 20		10 - 15	20 - 30	-
Índice de plasticidad	I _p	%	20 - 70			15	10 - 25		5 - 15	50 - 90	-
Coefficiente de permeabilidad	k	cm/sec	10 ⁻¹ - 10 ⁻⁸			10 ⁻⁶	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁸		10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻⁸
Altura de ascenso capilar	h _k	m	5 - 100			1 - 5	1 - 5		1 - 5	1-5	-
Densidad de Proctor simple	γ_p	kN/m ³	14 - 17			18 - 22	17 - 19		17-19	14-17	-
Contenido óptimo de humedad	w _{opt}	%	15 - 30			10 - 15	12 - 20		12-20	20-25	-
Módulo de rigidez	E _s	MN/m ²	5 - 10	2 - 5	1 - 3	30 - 100	5-20	4 - 8	3-10	1-5	0,5 - 2
Módulo de deformación	E _{v1}	MN/m ²	3 - 8	1 - 4	0,5 - 2	15 - 50	5-15	3 - 6	2-8	1-3	0 - 1
Valor CBR	CBR	%	2 - 5	1 - 3	0 - 2	10 - 20	3-10	2 - 5	1-5	0-2	0
Ángulo eficaz de fricción	φ'	.	20	17,5	15	15	25	22,5	25	17,5	15
Cohesión eficaz del suelo	c'	MN/m ²	25	20	10	25	10	0	0	10	0
Resistencia ef. a la cizalladura	c _u	MN/m ²	40 - 100	20 - 60	5 - 40	200 - 500	50 - 200	40 - 100	20 - 100	5 - 40	0
Coefficiente de consolidación	c _v	m/sec	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁹			-	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁷		10 ⁻⁶	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹	10 ⁻⁷

Tabla 13: suelos cohesivos.



NOTAS:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

d_x = tamaño de partículas de las que x porcentaje son más pequeñas

PI = índice de plasticidad del suelo

DHR = doble relación hidrométrica del suelo

O_{95} = tamaño de abertura del geotextil según ASTM 04751-87

Figura 47: Criterios de retención del suelo para el diseño de un filtro geotextil en condiciones de flujo de salida dinámico. [6]

	Designación	% partículas			Índice de plasticidad I(%)	Tipo de permeabilidad K(m/s)
		<0.006	0.06-2mm	>2mm		
GW	Cantos rodados con granulometría continua, grava arenosa	< 5	VAR	> 50	-	$10^{-1} - 10^{-4}$
GP	Cantos rodados con granulometría baja, grava arenosa	< 5	VAR	> 50	-	$10^{-1} - 10^{-4}$
GM	Grava limosa, G + S + M	< 15	VAR	> 50	< 7	$10^{-5} - 10^{-8}$
GC	Grava arcillosa, G + S + C	< 15	VAR	> 50	> 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
SW	Arena con granulometría continua, arena gruesa	< 5	> 50	VAR	-	$10^{-2} - 10^{-5}$
SP	Arena con granulometría baja, arena gruesa	< 5	> 50	VAR	-	$10^{-2} - 10^{-5}$
SM	Arena limosa	< 15	> 50	VAR	< 7	$10^{-5} - 10^{-8}$
SC	Arena arcillosa	< 15	> 50	VAR	> 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
ML	Limo, arena muy fina	> 50	~ 50	VAR	< 4	$10^{-5} - 10^{-8}$
CL	Arcilla	> 50	~ 20	VAR	> 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
GM - ML	Grava limosa	> 15	VAR	> 40	< 4	$10^{-5} - 10^{-8}$
GM - GC	Grava arcillosa limosa	> 15	VAR	> 40	4 - 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
GC - GL	Grava arcillosa	> 15	VAR	> 40	> 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
SM - ML	Arena limosa - limo arenoso	15 - 50	~ 50	VAR	< 4	$10^{-5} - 10^{-8}$
SM - SC	Arena arcillosa - limosa	15 - 50	~ 40	VAR	4 - 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
SC - CL	Arena arcillosa - arcilla arenosa	15 - 50	~ 40	VAR	> 7	$10^{-8} - 10^{-10}$
CL - ML	Limo arcilloso	> 50	VAR	VAR	4 - 7	$10^{-7} - 10^{-10}$
OL	Limo orgánico	> 50	VAR	VAR	> 10	-
OH	Arcilla orgánica	> 50	VAR	VAR	> 20	-
PT	Turba	-	-	-	-	-

Tabla 15: Clasificación de los suelos.

Datos útiles relativos a los suelos y a los conductos

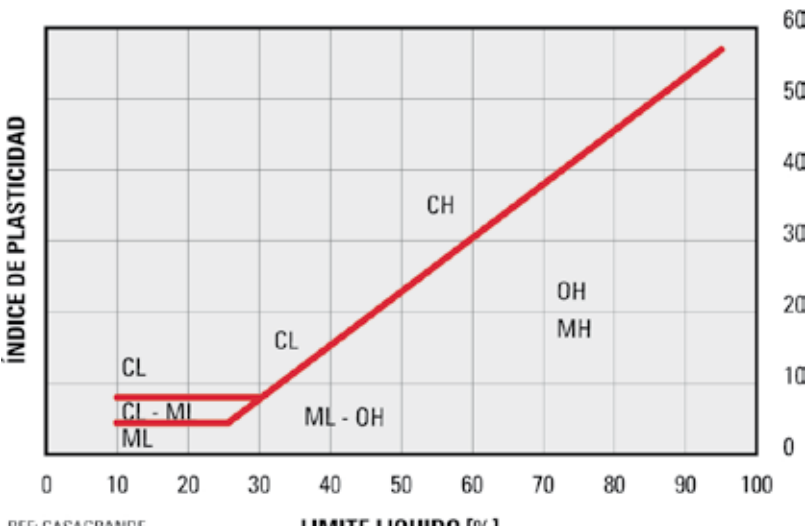
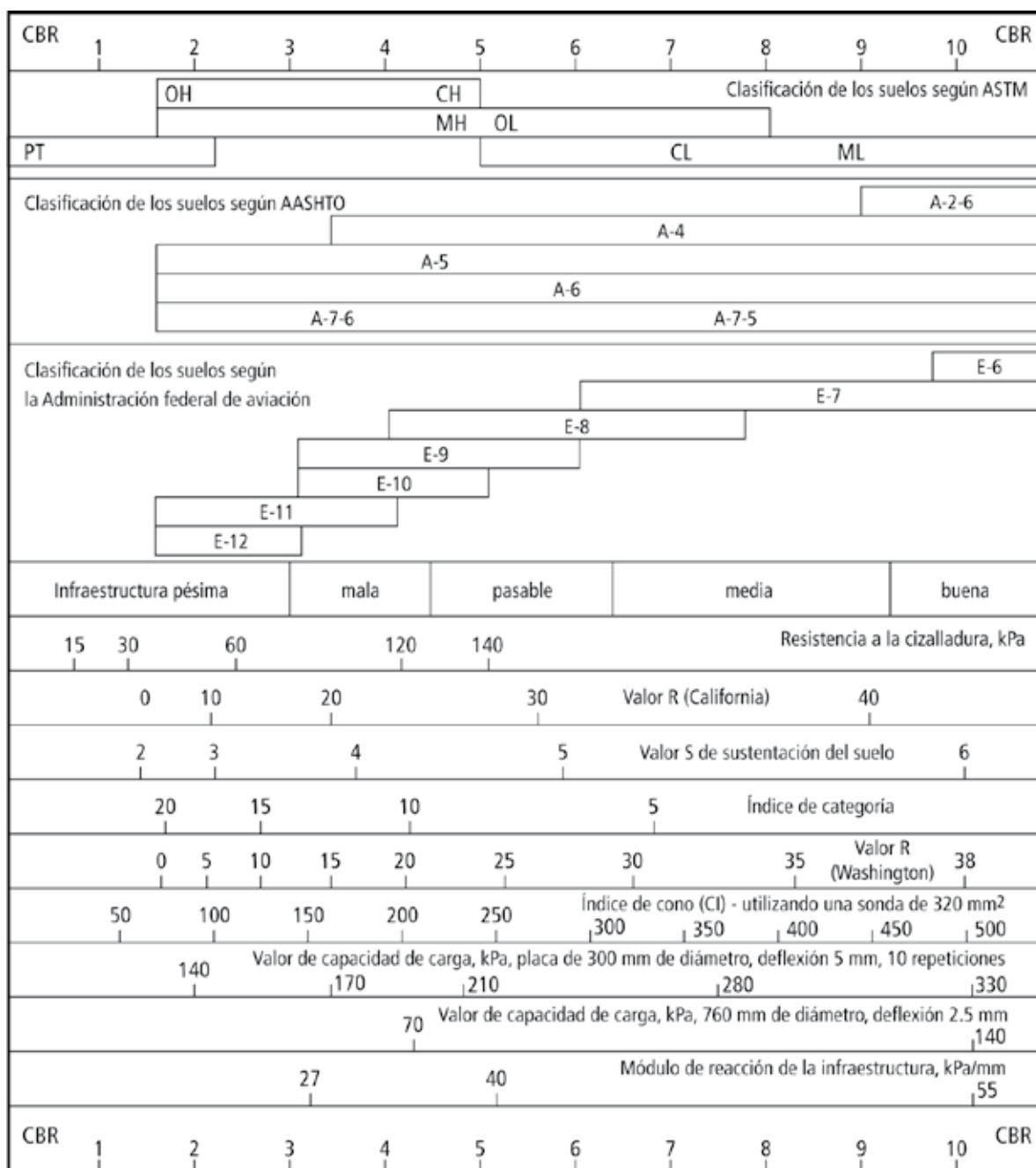


Figura 48: Clasificación de los suelos USCS basada en el índice de plasticidad.



CBR aproximado	Procedimiento de identificación	Símbolos de categorías	Nombre de la categoría del suelo
Menos de 2	Fácilmente penetrado con un dedo	ML	Limo
2-3	Esfuerzo de penetración moderado con un dedo	MH	Limo micáceo
3-6	Penetrado con un dedo	OL	Limo orgánico
6-16	Penetrado con una uña	CL	Arcilla limosa
Más de 16	Difícil de penetrar con una uña	CH	Arcilla altamente plástica
		OH	Arcilla orgánica
		PT	Turba y barro

Tabla 16: Tabla de correlación que permite calcular los valores de CBR no saturados correspondientes a la resistencia o a los valores de propiedades del suelo.

7.9. Pliego de condiciones

Geotextiles empleados para separar los materiales de explanación

Se entregarán e instalarán _____ m² de geotextiles

Pliego de condiciones de DuPont™ Typar® SF __ o equivalente.

Producto fabricado termoligado no tejido

- a partir de filamentos continuos 100 % polipropileno.
- conforme al sistema de calidad ISO 9001, ISO 14001, EMAS.
- conforme al marcado CE.

Relación de compresibilidad a 200kN/2kN	EN 964	< 15 %
Absorción de energía	EN ISO 10319	≥ ____ kJ/m ²
Resistencia a la tracción	EN ISO 10319	≥ ____ kJ/m
Resistencia a la tracción al 5% de alargamiento	EN ISO 10319	≥ ____ kJ/m
Alargamiento	EN ISO 10319	≥ ____ %
Punzonamiento CBR	EN ISO 12236	≥ ____ N
Perforación mediante cono dinámico	EN 918	≤ ____ mm
Resistencia al desgarro	ASTM D4533	≥ ____ N
Caudal a 10 cm WH	BS 6906 : parte 3	≥ ____ litros/m ² /s
Permeabilidad a 20kN/m ²	DIN 60500	≥ ____ 10 ⁻⁴ m/s
Abertura de filtración O ₉₀	EN ISO 12956	≤ ____ _m (micras)

El geotextil estará estabilizado contra la radiación UV y será inerte a los productos químicos normalmente presentes en el suelo y el agua.

Los rollos de geotextiles se proporcionarán con un embalaje de protección apropiado y cada rollo estará etiquetado para identificarlo en el emplazamiento de la obra y por motivos de comprobación de stock y control de calidad.

La superficie destinada a la recepción del geotextil se preparará en intervalos relativamente regulares, de forma tal que esté desprovista de obstáculos, depresiones y residuos. La instalación del geotextil se deberá realizar en la dirección de la construcción. Las juntas longitudinales en el tejido tendrán un solapamiento mínimo de 30 cm y se coserán o unirán siguiendo las instrucciones del ingeniero correspondiente. En el caso de utilizar vehículos de obras públicas para la colocación del geotextil, la plataforma de trabajo destinada a los vehículos deberá ser el suelo o la capa de granulados dispuesta y compactada con anterioridad, y no el geotextil colocado previamente.

DuPont™ Typar® geosintéticos

Otras publicaciones

Otras publicaciones referentes a los geosintéticos Typar® de DuPont:

- Folleto de Typar® SF
- Tipos de Typar® SF recomendados
- Fichas técnicas de Typar®
- Folleto de Typar® HR
- Manual técnico de Typar® HR
- Estudios de casos reales de Typar®

Para obtener más información, póngase en contacto con nosotros:

DuPont de Nemours (Luxembourg) S.à r.l.
DuPont™ Typar® Geosintéticos
L-2984 Luxemburgo
Tel. : +352-3666 5779
Fax : +352-3666 5021
www.typargeo.com
E-mail: typargeo@lux.dupont.com



The miracles of science™