membranas de impermeabilización y láminas geotextiles filtrantes

George Vié, Ing. de Minas

516-3

sinopsis

Se exponen en este artículo varios usos de productos no tradicionales:

- la membrana bituminosa, que sirve para resolver problemas de impermeabilización en depósitos y embalses, con carga de agua relativamente débil, y

- la lámina geotextil, de fibras sintéticas no tejidas, utilizada por su poder filtrante en la construcción de la pista de despegue del aeródromo de Marnane (Marsella).

Se explican también las principales características técnicas de estos materiales.

Los problemas de impermeabilidad en las obras de Ingeniería Civil se resuelven, generalmente, con el empleo de pantallas o revestimientos de arcilla, hormigón corriente u hormigón bituminoso. A estas soluciones tradicionales se ha añadido recientemente la impermeabilización mediante velos, películas y láminas delgadas así como por membranas.

En el caso de depósitos excavados en tierra firme o de embalses de agua bajo un espesor débil la impermeabilización es necesaria casi siempre. La carga de agua, los riesgos y las tensiones mecánicas son reducidos y, debido a eso y a razones de dimensión, de economía y de facilidad de ejecución, se elegirá la impermeabilización ligera.

El abanico para elegir es bastante amplio: películas de material plástico en polietil-

Recubrimiento de la lámina geotextil, no tejida, con los materiales de la calzada.

Aplicación en construcción de carretera de una lámina geotextil anticontaminante.

leno, PVC, láminas elastómeras (butilo, hypalon, etc.) o membranas bituminosas.

Esta última aplicación fue la que se eligió para el acondicionamiento de un lago artificial de unas 12 hectáreas de superficie, destinado a deportes y ratos de ocio en una aglomeración urbana, construido sobre una superficie relativamente plana pero formada por materiales heterogéneos y permeables.

La proximidad de la capa freática obligaba a aislarla del agua del lago por razones de contaminación y de mantenimiento del nivel del agua a una cota invariable.

La membrana bituminosa armada y prefabricada en taller era la que reunía las mejores características y la mejor adaptación.

La capa sobre la que se aplicó esta membrana fue un estrato de arena muy fina de 20 cm de espesor sobre el fondo de la superficie, con elementos diversos y heterogéneos, que constituyen un soporte deformable bajo la carga de agua, especialmente, en el momento del relleno del lago. Ahora bien, tales deformaciones son lentas, pero irreversibles, como ocurre en general en las obras hidráulicas cuando las capas-soporte están formadas por materiales no tratados. De ahí el interés en utilizar un material elástico si tales deformaciones tienen un carácter elástico.

Recíprocamente es necesario que el material escogido pueda deformarse siguiendo las fluctuaciones del soporte, sin agrietarse, sin tensión residual, y sobre todo, conservando su característica de impermeabilidad.

La experiencia nos demuestra que los betunes con propiedades visco-elásticas responden muy bien al fin que se persigue, debido a su comportamiento elástico para cargas de duración muy corta, o plástico para cargas de larga duración.

Una elección razonable de sus especificaciones da a estos betunes la facultad de soportar, dentro de grandes proporciones, las deformaciones lentas de las capas-soporte garantizando al cabo de los años el mantenimiento de una impermeabilidad perfecta.

Estos betunes, una vez estabilizada la obra, no estarán sometidos a una tensión residual, lo que sí ocurriría en el caso de láminas elastómeras, que por quedar en elongación, tenderían a sufrir un envejecimiento acelerado.

Sin embargo, es necesaria una armadura para mejorar las características mecánicas, tales como resistencia a la tracción, al cizallamiento y al punzonamiento. Esta armadura debe poder sufrir alargamientos importantes para amoldarse a las deformaciones del soporte.

En el caso al que nos referimos la armadura elegida fue un fieltro sintético no tejido, de una determinada calidad, para que la unión sea compatible con la calidad del betún.

En cuanto a las láminas flexibles rogamos al lector remitirse al artículo publicado en el n.º 259 de «Informes de la Construcción» con fecha de abril de 1974, págs. 63-72.

La membrana bituminosa puede hacerse en la misma obra, derritiendo un betún especial sobre el fieltro sintético no tejido, colocado directamente sobre el suelo.

En otras circunstancias, por razones de homogeneidad y seguridad es quizás preferible emplear membranas prefabricadas, especialmente estudiadas y preparadas, desde el doble punto de vista de las características de constitución y dimensión, para desempeñar el papel de pantalla impermeable que se busca en ellas, y que difiere de la clásica capa de impermeabilización usada en edificación.

El betún escogido es un betún soplado, muy poco susceptible a la temperatura, cuyas principales características son:

— Penetración a 25 °C en 1/10 mm	35 a 45
— Punto de reblandecimiento Bola-Anillo	95 a 105
— Índice de penetrabilidad Pfeiffer	+ 6,2
— Densidad a 25 °C	1,2
— Punto de inflamación en °C	> 250
— Ductilidad a 25 °C en cm	> 2
— Solubilidad en CS ₂ en % (norma ASTM)	> 99,5

— Pérdida en %, en estufa a 163 °C durante 5 horas < 0,2
 — Temperatura media de bombeo en °C 175
 — Punto de fragilidad Fraass en °C .. - 25 a - 30

Es muy importante tener en cuenta estas especificaciones.

En una proporción que no debe exceder nunca del 25 % en peso, material fino, «filler», calcáreo puede añadirse a este betún para mejorar el comportamiento en fluencia, así como algunas propiedades mecánicas.

El punto de reblandecimiento de este betún «fillerizado» es inferior a 110 °C.

La armadura de la membrana está formada por una película «polyane» anti-perforación a la que va superpuesta una lámina de vidrio, de fieltro no tejido de poliéster, recubierto a su vez por la impregnación bituminosa. Debido a esto, la membrana tiene un espesor comprendido entre 4,8 y 5,6 mm según el tipo elegido.

Hay que destacar que este fieltro de poliéster presenta características distintas según esté colocado en el fondo del lago o en las orillas o taludes de éste.

Por eso, su masa por m² de superficie se fijó en 270 gramos para la parte del revestimiento impermeable colocada en el fondo, y 340 g/m² para las partes ancladas en las orillas.

En ambos casos, el alargamiento en rotura representa del 50 al 70 %.

La membrana prefabricada sale de fábrica con un ancho de 4 m, en forma de bobina, con un peso total de 1.500

Aspecto esquemático de un rollo, de membrana bituminosa prefabricada, extendido en obra. Otros tipos de disposición sobre las orillas del lago.

kilogramos, que equivalen a una longitud útil de 65 m para un espesor de 4,8 mm, y de 55 m solamente para un espesor de 5,6 mm.

El peso por m² es de 5,5 kg en el primer caso (membrana destinada a ser colocada en el fondo), y de 6,5 kg en el segundo (destinada a anclarse en las orillas o taludes).

Las bobinas o rollos de 1,5 t cada una tienen un dispositivo para desenrollarlas unido al brazo de una pala mecánica de tipo corriente. La tensión se mantiene por frenado durante el desenrollamiento, para evitar la formación de pliegues, cosa posible si el soporte arenoso no es completamente horizontal en la superficie que forma el fondo del lago o depósito.

Las membranas se solapan con un recubrimiento de unos 20 cm como mínimo.

Para que las superficies de recubrimiento permanezcan secas y limpias, y no opongan dificultad a su soldadura, los bordes de las membranas recién salidas de fábrica se protegen con una banda de papel Kraft, que basta con arrancar para proceder a la soldadura que se realiza por simple calentamiento del betón en la zona de recubrimiento.

Esta soldadura se hace a una temperatura comprendida entre 140 °C y 200 °C, por insuflación de aire caliente producido por un hornillo de gas propano, que se puede desplazar con facilidad a lo largo de las juntas.

En los enlaces con el hormigón, el recubrimiento de las membranas bituminosas debe ser mucho más amplio. Los anclajes en las orillas se realizan en la parte alta del talud por un procedimiento sencillo y eficaz, como lo demuestra una de las figuras que ilustran este artículo.

Casi siempre, sea cual fuere el material empleado, una impermeabilización delgada lleva por encima una capa de cobertura que tiene como fin preservarla de los agentes mecánicos externos, a la vez que la hace más resistente a las subpresiones, y la protege, lo más posible, contra el envejecimiento. Tal protección es importante sobre todo para las zonas que quedan fuera del agua.

Encontramos aquí la idea que preside siempre la protección de pantallas impermeables en el paramento aguas arriba de las presas, expuesto a los rayos solares.

Es interesante mencionar la rapidez con que se coloca una membrana bituminosa. La experiencia nos demuestra que, con medios relativamente sencillos, se pueden cubrir 3.000 m² en una jornada de trabajo, incluidas las soldaduras de las juntas.

Es sabido que la mezcla agua/suelo es siempre un obstáculo en la construcción de calzadas y obras marítimas.

Nos encontramos con frecuencia pasos difíciles cuando el terreno está formado por tierras limosas, que afectan mucho a la estabilización de los suelos.

Las arcillas están formadas por partículas extremadamente finas, empapadas en agua, que al mezclarse con el material de aportación, destruyen la estabilidad del terreno. En este caso, la dirección de la obra se verá obligada a traer, a menudo desde muy lejos, grandes cantidades de zahorra para reforzar la obra e, incluso, realizar laboriosas purgas.

Ejemplo de aplicación de una hoja de estanquidad y de una lámina geotextil, tipo Sodaca, debajo de un canal de circulación de agua o de cualquier embalse.

Una lámina geotextil sirve de prefiltro y aumenta la superficie filtrante. Este dibujo muestra cómo impide la obturación de un dren enterrado.

Una lámina geotextil, no tejida, separa el sustrato del cuerpo de la calzada y su poder filtrante, aunque permitiendo la evacuación de las aguas, retiene la subida de los elementos finos o arcillosos contaminantes.

El mismo proceso de retención actúa debajo de la vía férrea evitando la deformación de la plataforma que soporta la superestructura.

El empleo de geotextil está indicado sobre todo cuando las características del suelo necesiten, o bien una separación entre dos terrenos, o bien la presencia de un filtro cualquiera.

Además, la adición de una lámina aumenta sensiblemente el reparto de las cargas.

En general, las geotextiles presentan las siguientes ventajas:

- resistencia a las solicitaciones mecánicas en las condiciones de servicio y especialmente al mojado,
- permeabilidad al agua,
- retención de los finos,
- papel repartidor de cargas,
- inercia total a los microorganismos,
- fácil puesta en obra.

Un material no tejido formado por filamentos continuos (hilatura directa) permite obtener un aditivo que presenta buenas cualidades dinamométricas (desgarramiento, estallido) y una buena isotropía. Esta isotropía se ve aún más perfeccionada por la técnica de cruzamiento de las capas elementales en el seno de la geotextil (fabricación SODOCA).

Algunos detalles técnicos harán comprender mejor: Los revestimientos de fibras sintéticas no tejidas son láminas, capas o rellenos distribuidos más o menos al azar, cuya cohesión interna es garantizada por métodos mecánicos (penetración de agujas), físicos (soldeo o disolución parcial), o químicos (encoladura), o por combinación de todos estos procedimientos.

Los métodos de fabricación difieren, pues, por el modo de formación de la capa de fibra.

La vía seca, o vía textil, se concibió en 1933 y se basa en las técnicas derivadas del textil. Las fibras se colocan en forma de capa regular mediante una carda, cuyo efecto es ponerlas paralelas a la dirección de marcha de la máquina.

En una etapa posterior varias capas pueden juntarse entrecruzándolas. Otra variante es la de realización neumática, en la que la lámina se forma sobre un cilindro de aspiración. Representa más de la mitad de la fabricación de revestimientos de fibras no tejidas.

La vía húmeda está inspirada en la fabricación del papel: las fibras se depositan sobre una alfombra a partir de una suspensión acuosa. Este procedimiento supone una instalación más costosa que la vía seca, pero la rapidez de fabricación es mucho mayor y el precio de coste mucho más bajo.

Sin embargo, la longitud de las fibras obtenidas se considera todavía insuficiente (por ejemplo 1,5 cm en lugar de 2 a 8 cm en las fibras obtenidas por vía seca).

EJEMPLO DE LAS CARACTERISTICAS TECNICAS DE LAS LAMINAS DE FIBRAS NO TEJIDAS

(Fabricación Sodoca)

Ensayos	Norma N.º o aparato	Unidad de medida	A S					F D			F J			F L			N S		
			200	250	320	420	600	200	250	200/8	250/15	320/15	250	320	115	150	200		
Resistencia a la rotura	NF G.07.001 Mojado	daN	55	60	85	110	190	55	60	50	55	60	90	100	35	50	65		
	SNV 198461 (norma suiza)	kg/5 cm	51	56	82	102	173	51	56	46	51	56	92	102	31	46	61		
Alargamiento en rotura	Mojado	%	Superior al 60 %																
	SNV 198461 (norma suiza)	%	> 60 %																
Relativo	SNV 198461 (norma suiza)	%	110	109	106	110	112	110	109	110	110	109	100	100	116	111	108		
Resistencia a la rotura	DIN 53858 Mojado	daN	90	100	130	170	250	90	100	85	90	130	110	130	55	65	90		
Alargamiento en rotura	Mojado	%	Superior al 60 % > 60 %																
Resistencia al desgarramiento iniciado	NFG 37-104 Mojado	daN	17	20	30	35	55	17	20	17	25	30	14	16	9	10	12		
Resistencia al desgarramiento por clavo	NFG 37-104 Seco	daN	32	35	40	45	75	32	35	30	45	55	40	50	20	25	30		
Punzonamiento estático	Cilindro de 2,54 cm² de sección, con una carga de 6 t		Sin perforar																
Permeabilidad al agua	bajo 0,05 bar	l/m²/s m/s · 10³	420 1,9	350 1,8	320 1,9	250 1,7	160 1,3	420 1,9	350 1,8	430 2,2	460 2,3	466 2,7	196 1,1	100 0,6	320 0,6	290 0,9	250 0,9		
Permeabilidad a los finos (% retenido)	Loess en 80 % entre 5 y 20 μ	%	30	50	80	95	95	30	50	30	5	5	Superior al 95 %.						
	Bolas de vidrio entre 100 y 200 μ		Superior al 95					al 90					Superior al 95						
Peso			210	250	300	400	600	210	250	210	250	300	500	700	125	150	200		

Las normas utilizadas son las que se aplican en general a las textiles.

Los resultados, arriba mencionados, corresponden a valores medios de ensayos de laboratorio.

NF = Norma francesa.

DIN = Norma alemana.

SNV = Norma suiza.

AS = Láminas ligeras de resistencia creciente según la numeración.

NS = Láminas de pequeño peso específico, con buenas propiedades anticontaminantes, sin solicitaciones mecánicas demasiado fuertes.

FD-FJ-FL = Otras variedades de láminas no tejidas fabricadas por SODOCA.

Lámina geotextil, tipo Sodaca, en la construcción de la calzada.

Hay, por último, el método de hilado directo (procedimiento por fundición o «spun-bonded»). Los filamentos continuos son extrusionados directamente en una hilera y estirados por un chorro de aire que los proyecta sobre una alfombra en donde se adhieren por aspiración. La materia prima es casi siempre sintética, por ejemplo: viscosa poliamida, poliéster, polipropileno. Las inversiones para crear una fabricación por este procedimiento son menores que las que se prevén para la vía húmeda.

Se espera, por otro lado, ir progresando en los procedimientos de fabricación. Las aplicaciones en las obras de Ingeniería Civil no son las mismas según los métodos de preparación (ver figuras).

Las capas de fibras sintéticas no tejidas existen, y son comercializadas bajo distintas marcas, según el modo de fabricación, por ejemplo SODOCA, BIDIN, INTISSEL, NORDLYS, DALLE LECOMTE, etc. Mencionaremos también la TERRAM, de Industrias Químicas Industriales (I. C. I.).

Describiremos, a continuación, un uso de estos materiales en trabajos marítimos (aplicación BIDIN). Se trata de la continuación de una pista de despegue en el aeródromo de Marignane (Marsella), pista cuya extensión de 500 m de longitud y 350 m de ancho concierne la parte sudeste del Estanque de Berre.

Los fondos sobre los que descansa la pista se encuentran en la cota -6 m, y están formados por cieno arcilloso de 4 a 5 m de espesor.

En la primera fase del trabajo se tuvo que construir un dique de protección, para formar el recinto de la obra. Las escolleras se vertieron directamente según el avance. Bajo el efecto conjugado del peso de estos bloques de roca y de su punzonamiento en los fangos, el dique, después de algún movimiento de asentamiento durante los meses siguientes, debía descansar sobre un substrato resistente, de cota -10 m.

Una vez construido este dique de contención y dentro del estanque así formado se construyeron otros dos diques por el mismo procedimiento formándose, en definitiva, tres estanques de 600 m × 100 m cada uno. Estos diques tenían, en su remate, 15 m de ancho para permitir la circulación y maniobras de los volquetes.

En la última fase debía realizarse el terraplenado de estos tres estanques contiguos, pero si se hubiese hecho sólo con bloques de escollera, el consumo para los fondos fangosos hubiese sido considerable.

Por eso, se decidió colocar sobre este fondo inestable una lámina sintética no tejida, de poliéster y de filamentos continuos. Aplicación BIDIM.

Recubriendo de esta manera la superficie que se debía rellenar, se aislaron los fangos de los terraplenes mediante esta capa anticontaminante permeable y se consiguió una mejor estabilidad.

Como pantalla filtro entre el fango y los terraplenes rocosos la lámina geotextil añade la particularidad de una resistencia que corresponde a las prescripciones del Pliego de Condiciones, que impone un material imputrescible, resistente a la inmersión sin fluencia o deformación permanente, y sin riesgo de rotura a la carga del terraplén.

La lámina de poliéster se llevó en rollos de 150 m × 5,3 m desenrollándose posteriormente sobre las orillas del dique y se cosió formando una lámina de 7.000 m² antes de la inmersión. Después se extendió de un dique a otro con ayuda de una barcaza.

Una vez extendida, y a medida que se va impregnando de agua la lámina desciende sola hasta el fondo del agua, y se coloca sobre el fango, quedando sujeta a las orillas por los rellenos, siendo unida a la anterior bajo el agua por escafandristas con ayuda de unos ganchos especiales.

Una vez colocada, la lámina no tejida se halla en condiciones de recibir las sucesivas capas de relleno, desde las más delgadas hasta las más gruesas, sin riesgo de ser perforada, desgarrada o deformada.

Las diferentes fases de ejecución se pueden resumir así:

- 1.^a Dos diques paralelos de 540 m de longitud cada uno, con una distancia entre los ejes de 322,5 m y un dique extremo.
- 2.^a Terraplenado de la parte interior de los perímetros así circunscritos, hasta la cota +0,40 metros.
- 3.^a Continuación del relleno desde la cota +0,40 m hasta la de + 1,80 m.

El dique que forma el recinto de la obra lleva, en total, 550.000 m³ de materiales. El núcleo del dique está formado por bloques de 0,20 m a 0,70 m de diámetro, en su parte inferior, para el punzonamiento en el fango hasta el substrato arenoso o suficientemente resistente, y de materiales de zahorra, por encima. La velocidad de colocación de los elementos rocosos de base viene determinada por el hecho de que debe permitirse una mejor reabsorción de los fangos, y evitar la formación de abultamientos debido a reflujos del material.

Análogamente para los rellenos interiores, con un total de desplome de 1.040.000 m³ hasta la cota + 0,40 m, se ha evitado provocar una rotura del equilibrio relleno-fango y, dentro de lo que cabe, la aparición de asientos diferenciales por interposición de la lámina geotextil o lámina de fieltro sintético no tejido sobre el fango existente y los primeros rellenos.

Estos últimos se colocaron sobre el revestimiento, en dos o tres capas regulares de elementos relativamente finos, con un espesor total de 1 m echándose posteriormente encima un relleno de 2 m de espesor en capas regulares de 0,50 m de materiales corrientes.

De esta forma se aseguró la estabilidad. En las zonas donde el espesor del fango se aproximaba a los 5 m, o más, se necesitaron una o dos capas suplementarias de relleno.

Debido a las características de la lámina anticontaminante se consideró innecesario colocar cañizo para hacerla descansar sobre el fango. No se ha notado, bajo la pista de despegue, la aparición de fangos alterados por efecto de la fluencia.

Para la colocación de los materiales se utilizaron embarcaciones del tipo «barcaza». Cada barcaza iba equipada de cables de anclaje y de los cabrestantes necesarios para sus desplazamientos, después de la ejecución de cada banda.

Su plataforma tenía una longitud de unos 50 m y una anchura de 8,50 m, con una delimitación y enumeración de los puntos de desplome, lo que facilitaba la ejecución regular de los rellenos y el control de sus espesores.

La barcaza se amarraba perpendicular al dique, lo que permitía verter alternativamente los materiales, bien a babor o a estribor.

Los laboratorios habían dado excelentes precisiones, acerca de las operaciones a realizar, y sobre las probables incidencias.

La delimitación de los puntos de desplome y el ritmo de avance no se determinaron, sin embargo, con exactitud hasta después de los ensayos.

Dentro del cuadro forzosamente limitado de nuestro estudio no hemos podido explicar con detalle todas las fases de ejecución. Sin embargo, hemos creído necesario indicar las principales características técnicas de las láminas de fibras sintéticas no tejidas, eligiendo una de ellas.

Concluiremos mencionando que los trabajos de prolongación de una de las pistas del aeródromo de Marseilla-Marignane, ganada al Estanque de Berre, se continuaron sin dificultad.

En primer lugar, y como medida de precaución, vías y pista se hicieron con revestimiento flexible que a continuación y, después de todos los asentamientos, se sustituyó por un revestimiento de hormigón de tipo tradicional.

En las láminas geotextiles actualmente en el mercado, la asociación de filamentos de diámetro variable, así como su entrecruzamiento multidireccional, permiten elaborar un material de filtración controlada, sin que el poder de filtración sea susceptible a ninguna variación con el alargamiento.

En la resistencia dinamométrica se debe observar:

La presencia de filamentos continuos muy resistentes y la estructura isotrópica de la lámina, proporcionan al geotextil cualidades mecánicas muy altas.

Si se considera el diagrama fuerza-alargamiento de las láminas de propileno, se ve que el trabajo necesario para llegar a la rotura es importante. Además se admite que cuanto más deformables sean las láminas, mayores sollicitaciones locales pueden aguantar sin romperse, o sea, sin producir principios de desgarramiento.

Estas láminas presentan igualmente resistencias al desgarramiento iniciado, al desgarramiento por clavo, al estallido, y al punzonamiento, muy grandes.

El material de fibras sintéticas no tejidas, por su continuidad, reparte uniformemente los efectos de la presión, y este efecto es mayor aún debido a su papel filtrante.

Una variedad de fabricación (por ejemplo la geotextil R fabricada por SODOCA) desempeña, gracias a su deformabilidad, el papel de armadura del suelo y aumenta la tensión admisible de rotura.

Otra propiedad es el mantenimiento de los efectos de la lámina una vez enterrada, debido a su absoluta insensibilidad de cara a los microorganismos destructores, al contrario de lo que se ha tenido que lamentar con frecuencia en algunos plásticos.

résumé

Membranes d'étanchéité et nappes géotextiles filtrantes

Georges Vié, ing. des mines

Différents usages de produits non traditionnels sont présentés dans cet article.

- les membranes bitumineuses, qui servent à résoudre des problèmes d'imperméabilisation pour des bassins ou des retenues d'eau sous faible épaisseur.
- les nappes géotextiles de fibres synthétiques non tissées, utilisées pour leur pouvoir filtrant dans la construction de piste d'envol de l'aérodrome de Marignane (Marseille).

summary

Water-proofing membranes and filtering geotextile coatings

Georges Vié, Mining engineer

This article deals with the various uses of non-traditional products:

- the bituminous membrane, used for solving water-proofing problems in tanks and ponds having a relatively low water load,
- the geotextile coating of non-woven synthetic fibers, used because of their filtering capacity in the construction of the runway in the Marignane (Marseille) airfield.

zusammenfassung

Geotextile filtrierende dichtungsmembranen und -fließen

Georges Vié, Bergeingenieur

Es werden in diesem Artikel verschiedene, nicht gebräuchliche Produktverwendungen beschrieben.

- die bituminöse Membrane, die zur Lösung von Dichtungs Problemen in Behältern und Stauseen mit verhältnismässig geringer Wasserlast dienen und
- die geotextile Folie aus ungewebten Kunstfasern, die auf Grund ihres Filtervermögens beim Bau der Startbahn des Flugplatzes Marignane (Marseille) Verwendung finden.

Es werden weiterhin die hauptsächlichsten technischen Merkmale dieser Materiale beschrieben.