

Experiencias en impermeabilización de túneles

Ing. Lina María Gaviria Valencia
Structural Waterproofing, Sika Colombia, S.A.



↑ Túnel vial de Hidrosogamoso en Colombia.

CORTESIA SIKI COLOMBIA S.A.

La impermeabilización de un túnel constituye una de las labores principales en la etapa de su construcción, ya que protege el revestimiento final contra los agentes agresores del suelo, proporcionando una vida útil superior a cien años. La impermeabilización debe garantizar la absoluta estanqueidad de la galería o túnel y se realiza, por lo general, con membranas de PVC flexible de espesores entre 1,5 mm a 3 mm, dependiendo de los requisitos particulares del proyecto.

Estos revestimientos (impermeabilización) se aplican sobre la totalidad del perímetro del túnel o en parte de la bóveda. La elección del tipo de membrana vendrá indicada por la naturaleza del terreno, el caudal del agua y por el tipo de concreto estructural. Más de un siglo de experiencia en la impermeabilización de

túneles y obras subterráneas ha dado como resultado un procedimiento para impermeabilizaciones principales basado en membranas de PVC-P para túneles a cielo abierto, galerías de presión y túneles excavados mediante el método australiano (NATM).

Este procedimiento tiene varias etapas: colocación de una capa drenante sobre el soporte excavado una vez regularizado, mediante un geotextil de polipropileno de gramajes comprendidos entre 300 y 500 g/m², sujetos mediante discos especiales de PVC; fijación de la geomembrana de PVC-P, de espesor apropiado según características determinadas, en anchos prefabricados de 2,2 m, con andamios mecanizados, y soldadura en traslapes utilizando la técnica de soldadura termoplástica, con doble soldadura y canal central para control.

Se analizan la tensión y la fuerza mecánica de la doble soldadura creada de esta manera y se comprueba que soporte una presión aproximada de 2 bares durante un período de 15 minutos y con pérdida de presión que no supere el 10%, según la Norma UNE 104481-3-2:2010 – *Método de ensayo de membranas impermeabilizantes. Parte 3-2: Ensayo de estanqueidad de las uniones entre láminas impermeabilizantes mediante el método de aire a presión en el canal de prueba.*

De acuerdo con la Norma UNE 104242-1:1999 – *Impermeabilización. Materiales bituminosos y bituminosos modificados. Láminas de betún modificado con elastómeros*, se diferencian entre láminas Tipo A (lámina armada con hilo sintético) y láminas Tipo B (lámina homogénea sin armar), diferenciando en función del tipo de tajo:

- Construcción de túneles con superficies lisas - Tipo A o Tipo B.
- Construcción de túneles con avance convencional (explosivos) o con máquina excavadora a sección parcial - Tipo B.

A continuación se mostrará la experiencia en diferentes proyectos de América Latina en la impermeabilización de túneles:

Pasos bajo nivel – Buenos Aires, Argentina

Descripción del proyecto

A partir del año 2013, comenzó la construcción de un gran número de pasos bajo nivel de ferrovías tanto en la provincia de Buenos Aires como en la Capital Federal. Estos pasos bajo nivel suprimen barreras,

permiten aumentar significativamente la frecuencia de los trenes sin perjudicar la circulación vial, mejoran la seguridad y reducen la contaminación ambiental. Los grandes beneficiarios son miles de usuarios que diariamente se desplazan entre el Conurbano y la ciudad. A su vez, favorecen la seguridad vial al evitar los riesgos por contacto de trenes de cualquier tipo con los automotores y los peatones. Mejoran, además, la conectividad entre las zonas divididas por las vías, dando mayor fluidez al tránsito. Además de disminuir los tiempos de viaje de los usuarios tanto de trenes como de automóviles y buses, los pasos bajo nivel implican una disminución en el impacto sobre el ambiente gracias a que las emisiones de los automóviles no se concentran en determinadas zonas frente a los cruces a nivel de vías férreas donde decenas de autos se concentran en un punto específico y deben esperar por varios minutos con sus motores encendidos el paso de un tren.

Requerimientos

Los pasos bajo nivel son estructuras subterráneas construidas por debajo de las vías ferroviarias que permiten el paso de vehículos y peatones de un lado al otro de dicha vía. La profundidad a la que debe excavarse para la construcción depende tanto del desarrollo del paso bajo nivel como de la altura de los vehículos que deban circular por él; pueden alcanzarse profundidades aproximadas a 10 m. Es común encontrar la capa freática en profundidades de ese orden; por lo tanto, estas estructuras estarán “sumergidas”, quedando expuestas a presión hidrostática. El desafío es evitar el ingreso del agua a la estructura para evitar inconvenientes en el tránsito, y maximizar la durabilidad de la misma antes que preservar la estética. Por lo tanto, es necesario colocar un sistema de impermeabilización capaz de resistir la presión hidrostática a la que estará sometida la estructura, y las vibraciones generadas por el paso de trenes y de vehículos.

Solución

Como solución a este problema se adopta el sistema de impermeabilización de membrana de PVC, que cumple con todos los requerimientos



↑ Paso bajo nivel construido por debajo de las líneas ferroviarias, cuya impermeabilización se realizó con membranas flexibles de PVC.
CORTESIA SIKA COLOMBIA S.A.

ya mencionados. El sistema consiste en una membrana flexible de PVC con capa de señalización. Esta membrana, al ser flexible, es capaz de resistir las vibraciones generadas por el paso del tren y de los vehículos sin presentar alteraciones. Además, dadas las características del material, resiste la presión hidrostática del agua sin presentar filtraciones.

Por ser el PVC un material que se encuentra ensayado para tener 100 años de durabilidad, la membrana empleada garantiza la estanqueidad de la estructura para toda su vida útil, además de no requerir mantenimiento alguno. Como ventaja adicional, al quedar el sistema de impermeabilización protegiendo la estructura se eliminan problemas de durabilidad de la misma.

Metro de Buenos Aires. Taller Metro Línea H

Descripción del proyecto

El Subte de Buenos Aires es la red de trenes subterráneos de la capital de Argentina, con extensión total de 53 km. La primera línea se inauguró en 1913 como la pionera de su tipo en América Latina y en todo el hemisferio Sur. La red se extendió rápidamente durante las primeras décadas del siglo, pero el ritmo de ampliación disminuyó drásticamente en los años que siguieron a la Segunda Guerra Mundial. Hacia fines de la década de 1990 se comenzó un nuevo proceso de expansión de la red, con el planeamiento de cuatro nuevas líneas. La red está conformada en la actualidad por seis líneas denominadas con letras —de la A hasta la E, más la H— e identificadas mediante colores, y una línea pre-metro. La totalidad de la red es subterránea, con excepción del pre-metro, y cuenta con 100 estaciones (83 de subterráneo y 17 de pre-metro). Es usado por cerca de un millón de pasajeros diarios durante los días hábiles. El propietario de la red, es la misma empresa encargada de estudiar, diseñar y realizar los planes de expansión de toda la red de transporte subterráneo de la ciudad. Además, es el órgano de control del operador del servicio.

En el año 2014 se inició la expansión de la línea H, la cual es fundamental, pues con su traza transversal mejora la operatividad y permite combinaciones con las Líneas A, B y E. Al finalizar la obra, conectará también con la Línea D.

Requerimientos

Los túneles son estructuras cuya vida útil debe superar los 100 años, por lo cual los estándares para construirlos son de alta exigencia, especialmente en aquellos que exigen un sistema de impermeabilización. Existen distintos grados de permeabilidad según el uso que se dé al túnel. Los talleres son espacios donde hay diversos tipos de maquinaria y personal en labor permanente.

Por lo tanto, el nuevo túnel debía ser totalmente estanco, es decir, no se admitía humedad en la superficie del mismo. Dados estos estrictos requerimientos, hubo que proyectar un adecuado sistema de impermeabilización capaz de cumplirlos. Por todo lo dicho, el principal desafío fue lograr un eficiente sistema de impermeabilización capaz de ser colocado en un ambiente húmedo, además de soportar las grandes presiones hidrostáticas y resistir los movimientos del terreno sin presentar fisuras. De esta manera, se busca evitar completamente el ingreso de filtraciones a lo largo de toda la vida útil del túnel.

Solución

El sistema de impermeabilización se proyectó con membrana de PVC, que satisface todos los requerimientos mencionados. Se colocaron rollos de membrana flexible de 2 mm de espesor con capa de señalización de color amarillo, que fijados puntualmente al sustrato mediante discos de fijación y soldados entre sí por calor con soldadura automática, lograron revestir el túnel brindando una impermeabilización que cumple con los estándares requeridos. El sistema cuenta, además, con un mecanismo de compartimentación e inyección que se logró generando recintos cerrados utilizando barreras de agua externas de 40 cm de ancho. En estos recintos se colocaron sistemas de control que dan la posibilidad de aplicar inyecciones después de construido el revestimiento final del túnel, en caso de que aparezcan filtraciones por daños en la membrana. Los compartimentos cerrados facilitan detectar daños eventuales y acotar el área de inyección.



↑ Impermeabilización de la bóveda — sistema de membrana de PVC-P de 2mm de espesor en el Metro de Buenos Aires.
CORTESÍA SIKA COLOMBIA S.A.

Metro de Sao Paulo

Descripción del proyecto

La construcción del metro de Sao Paulo comenzó en 1972 y realizó su primer trayecto comercial dos años después. En la actualidad el sistema tiene 5 líneas en operación, 75 km de red, 65 estaciones y más de 150 trenes que transportan más de 4,6 millones de pasajeros por día. El metro está integrado a otros sistemas de transporte como la CPTM (Trenes de Periferia) a los principales terminales de buses de la ciudad y

a la mayoría de corredores metropolitanos de autobuses de Sao Paulo. En 2014 fue entregada la estación Adolfo Pinheiro de la línea 5, con lo cual se amplió la malla del metro en 0,6 km. Esta línea del metro está en ampliación en la actualidad, y cuando esté finalizada alcanzará 11,5 km integrados por túneles individuales y dobles, excavados con métodos australianos y/o métodos mecánicos. Adicionalmente, la línea 5 cuenta con 11 estaciones, 13 pozos y 26 trenes que se integrarán con la línea 1, 3 y 17 (monocarril) del metro.

Requerimientos

Los requisitos de la obra exigían un sistema de impermeabilización total de la estructura que ofreciera, al mismo tiempo, un método de back-up ante la eventual necesidad de efectuar reparaciones después de finalizada la construcción. Como para otras obras de impermeabilización para túneles subterráneos, se requería total estanqueidad en la estructura y un sistema de alta flexibilidad fácil de aplicar y resistente a las exigencias de presión por el nivel freático y los movimientos del terreno.

Solución

La solución indicada fue el sistema de membranas de PVC-P, el cual cumple todos los requisitos mencionados. Se aplicó membrana flexible de 3 mm de espesor de PVC-P debido al sistema definido en el proyecto. La membrana se fijó por medio de discos de PVC colocados sobre un geotextil que separa el concreto primario lanzado (sin función estructural) del concreto secundario (concreto estructural). Como sistema de back-up, fue usado el método de compartimentación de membranas para tener áreas más pequeñas de reparación en caso de falla en alguna parte del sistema. Para realizar tales compartimientos fue utilizada una barrera externa de 40 cm de ancho. Además, y por primera vez en el metro de Sao Paulo, se especificó el sistema de mangueras de inyección a lo largo y ancho de la superficie de las membranas. Este sistema fue posicionado estratégicamente y se colocaron cajas de inspección para aplicar la inyección de resina acrílica en caso de falla en algún compartimiento en el sistema de membrana. Se determinó utilizar



↑ Construcción de la ampliación de la línea 5 del Metro de Sao Paulo, donde se observa la impermeabilización con membranas de PVC-P.

CORTESIA SIKA COLOMBIA S.A.



Túnel Sochi
Rusia



Túnel Churriana
España



Túnel RN88
Francia

**Múltiples soluciones
en sistemas de
encofrado para
construcción
de túneles.**

Tendrá éxito construyendo
con PERI

PERI

PERI S.A.S.
Encofrados Andamios Ingeniería

Bogotá
Km 2 Vía Briceño Zipaquirá
Parque Industrial TIBITOC Bodega 10A
Tel: +57 1 878 57 67
Móvil: +57 1 318 349 24 29

Medellín
Cra 35 A # 15 B OF 206 Edificio Prisma
Tel: +57 4 268 96 19
Móvil: +57 1 318 827 71 68

peri.colombia@peri.com.co
www.peri.com.co

las mangueras ante la ventaja de reinyección, que permite efectuar múltiples inyecciones a lo largo de la vida útil de la estructura.

Metro de Caracas – Líneas 3 y 5

Descripción del proyecto

La construcción de la Línea 5 del Metro de Caracas es una de las obras más representativas que se construyen en la capital venezolana. Se trata de un sistema de transporte masivo que se fusionará al existente para unir cuatro municipios del Este capitalino. La Línea 5 iniciará su recorrido en la urbanización Bello Monte y empalmará con el sistema masivo Caracas-Guarenas-Guatire para ofrecer a los habitantes de la ciudad una nueva opción de transporte. La técnica utilizada en la construcción de la Línea 5 del Metro de Caracas se conoce como túnel minero, un sistema que evitará afectar el tránsito tanto vehicular como peatonal en la ciudad. El Tramo El Valle-La Rinconada de la Línea 3 del Metro de Caracas, fue inaugurado en dos etapas. La primera el 15 de octubre del año 2006 y la segunda etapa, conformada por tres estaciones, el 9 de enero de 2010. Este tramo permite transportar a los usuarios del sector hacia otros destinos mediante una conexión directa con las Líneas 1 y 4 del sistema, a través de la estación Plaza Venezuela. La obra de gran envergadura, cuenta con casi 10 km de longitud y su puesta en marcha permite acceso a unos 260 mil pasajeros diarios.

Requerimientos

Además de garantizar la total estanqueidad a la estructura, el sistema de impermeabilización tenía que poseer

alta resistencia a los ataques químicos provenientes de gasolina, sales inorgánicas, ácido sulfúrico y otros agentes químicos. Según las especificaciones del proyecto, era necesario el uso de anclajes en el revestimiento primario los cuales servirían como zonas de amarre para la colocación del acero de refuerzo del concreto secundario y, por lo tanto, eran necesarias la protección y la seguridad adicional para estos anclajes.

Solución

Para el sistema de impermeabilización se estableció una membrana de PVC-P de 3 mm de espesor. Esta membrana tiene una alta resistencia química que la hace apta para resistir todos los requisitos del proyecto. Para realizar la compartimentación de la membrana fueron especificadas barreras externas de 50 cm de ancho. Antes de instalar la membrana se colocó una capa de drenaje conformada por el geotextil de polipropileno de 600 g/m², el cual fue fijado al concreto lanzado por medio de discos de PVC, que también sirven para la fijación de la membrana de PVC. Adicionalmente fue colocado un sistema de mangueras con cajas de control para inyectar resina acrílica, en caso de alguna falla en las membranas de PVC.

Metro de Río de Janeiro

La primera fase del proyecto de metro en Río de Janeiro fue inaugurada en marzo de 1979, con sólo 4,3 kilómetros de largo y cinco estaciones, conectando puntos cercanos a la ciudad. Después de más de 30 años, el metro de Río tiene ahora tres líneas en operación (1, 2 y 4) y en licitación las líneas 3 y 5. Hay 36 estaciones repartidas entre las líneas 1 y 2. Hay otras 28 estaciones



➔ Metro de Río de Janeiro.
FLICKR – CLAUDIO BORBA

planeadas para completar las líneas 3, 4 y 5. La línea 4 de metro está diseñada para conectarse a zona suroeste de la ciudad. La sección tendrá seis estaciones y tendrá 16 km de longitud, beneficiando a más de 300 mil personas al día. Adicionalmente retira de las calles alrededor de 2.000 vehículos en las horas pico.

Requisitos

El sistema de impermeabilización requirió modernas tecnologías, de acuerdo con los métodos de excavación elegidos. Aplicó sistemas de inyección y juntas que garantizaran la máxima estanqueidad en la estructura.

Solución

En algunas secciones de la línea 4, el sistema de membrana de PVC-P fue la solución para cumplir los requisitos técnicos de la impermeabilización de túneles. Debido a la alta complejidad del proyecto se aplicó membrana flexible de 3 mm de espesor y se fijó por medio de discos de PVC colocados en un geotextil de separación con concreto lanzado. Para el sello de juntas de construcción se utilizaron mangueras de inyección que permitan efectuar reparaciones sencillas y rápidas en caso de filtraciones que afecten la estructura.

Túneles viales Hidrosogamoso

La Hidroeléctrica del Río Sogamoso, Hidrosogamoso, es una central hídrica ubicada en el departamento de Santander, en Colombia. Forma parte de este proyecto un túnel de 1.300 metros de longitud. La especificación de impermeabilización consistió en un sistema tipo sombrilla o impermeabilización parcial mediante una membrana de PVC-P de 1,5 mm de espesor.



↑ Impermeabilización túnel vial Hidrosogamoso.
CORTESÍA SIKA COLOMBIA S.A.

Conclusión

Las membranas de PVC-P son una alternativa importante a considerar al momento de la impermeabilización de túneles y obras subterráneas, debido a su versatilidad, facilidad de instalación, rapidez y durabilidad, entre otros.

¡LLEGAMOS A CARTAGENA!

Ahora los constructores de la ciudad tienen la **libertad de elegir calidad, cumplimiento y respaldo**, con la apertura de nuestra nueva planta de Concreto en la ciudad, con la que apoyamos el crecimiento de nuestro país.



ULTRACEM
CEMENTO
La libertad de elegir



Dirección: Zona Franca Parque Central - Manzana ZF-H Lote 89
Segunda Etapa - Variante Cartagena - Sector Aguas Prietas
Línea nacional: 01 8000 123 987 o **desde el celular:** #399