

# Del Cadí a Lötschberg: La tecnología CARFOAM®

**Eduardo Sánchez Morrondo;** *Consejero Delegado de FAGORSAN S.L.*

## Inicios

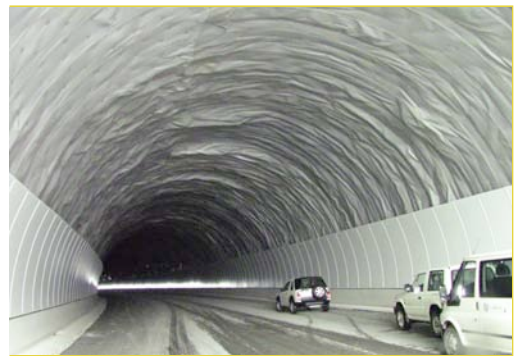
La primera experiencia coincide con la construcción del túnel del Cadí, donde las condiciones climáticas hacen necesario que se resuelva no solamente el problema de las filtraciones de agua sino también que ésta no se convierta en hielo, por lo que en realidad se está requiriendo un producto que aporte capacidad de drenaje, impermeabilización y aislamiento térmico.

CARSA, que en aquel momento trabajaba con la multinacional Dow Chemical, desarrolla un producto que da respuesta a dichos requerimientos: así nace la tecnología CARFOAM®.

Fundamentalmente estamos ante un producto que conjuga, la capacidad de drenaje, con la de impermeabilización debido al empleo de materiales plásticos impermeables, tipo polietilenos, combinados con una espuma de célula cerrada que aporta las propiedades de aislamiento térmico. De esta forma mediante un compuesto sándwich se logran los tres efectos.

La otra particularidad importante de la tecnología es su modo de instalación, en este sentido la colaboración con la empresa suiza HILTI fue muy importante ya que se estudiaron todos los métodos posibles y de ahí se desarrolló una fijación específicamente para el anclaje de la tecnología CARFOAM®. Dicha fijación plástica cumple los requisitos derivados de las características de los distintos sustratos, así como la necesidad de evitar los puentes térmicos.

El producto junto con su sistema de instalación está hoy día patentado en más de 15 países, incluidos toda la UE, EEUU y Latinoamérica.



**Túneles impermeabilizados en Bergara**

## Características

Evidentemente hay diversas soluciones de abordar el problema del agua en túneles y los productos tradicionales tipo PVC, PE, etc, son también utilizados sobre todo cuando se trata de situaciones estándar, o cuando por el diseño del túnel se puede o se debe de proteger la membrana impermeabilizante con una capa de hormigón, y en este caso el producto CARFOAM®, compite como uno más dentro de las distintas opciones.

Hay sin embargo tres tipos de situaciones donde la solución estándar no es siempre viable:

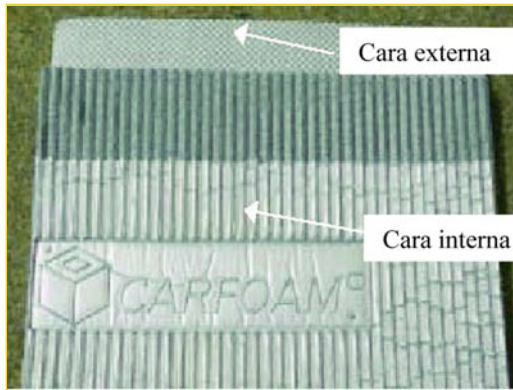
- El galibo del túnel es tal que no se permite aplicar una solución de alto espesor, tal como una lamina y un hormigón proyectado.
- Se necesita una solución de rápida ejecución, efectiva y competitiva por razones técnico-económicas.
- Estamos ante un túnel de alta montaña donde el riesgo de formación de hielo es muy alta.

En estos casos, la instalación de la tecnología CARFOAM® es la solución.

El producto no solamente ofrece unas prestaciones inigualables desde el punto de vista de aislamiento térmico, sino que al ser un sándwich cuyos componentes son todos altamente resistentes al fuego, tiene una resistencia total según el Instituto de la Construcción Francés (CSTB) de M-1, la más alta clasificación de un producto plástico, con lo que su empleo en cara vista es posible, ya que además la posible combustión en caso de fuego permanente no desprende humos tóxicos ni gotas inflamables.

Por otra parte, al tener distintas opciones tanto desde el punto de vista de la espuma como de los distintos componentes del sándwich, el producto se adapta a las necesidades de cada proyecto, bien modificando las capas exteriores, bien modificando el espesor de la espuma.

Por último, dadas las características de flexibilidad de la lamina, ésta se adapta al relieve de la superficie del túnel, con lo que se puede instalar sobre el sustrato tal y como esté, una vez realizada la perforación, sin necesidad de aplicar ningún tipo de tratamiento para hacerlo mas homogéneo.



Aspecto de nuestras láminas

## Desarrollo

Inicialmente, el producto consistía de tres capas soldadas por calor, y ambas caras eran de PE de alta densidad, y el cuerpo central consistía en una espuma de PE reticulado químicamente.

Los distintos proyectos, mas de 2500000 m<sup>2</sup> instalados, y las diversas condiciones de los

túneles tanto climáticas como de cantidad de agua a drenar, como las complejidades de instalación nos han llevado a través de un proceso de I+D+i al producto actual que si bien mantiene las características básicas conceptuales, supone una mejora espectacular sobre aquel de los inicios, y así:

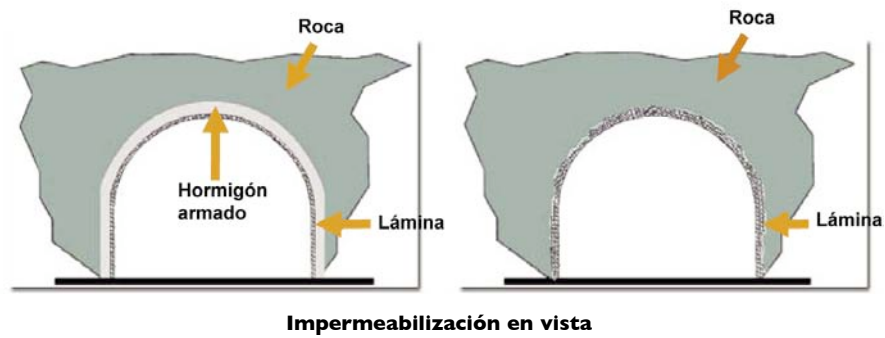
- La espuma ha pasado a estar reticulada físicamente, con lo que eliminados las barreras de los aditivos que se emplean en la reticulación química, tales como derivados de cloro y bromo, hoy en día eliminados por las directrices de la UE.
- Se ha modificado la superficie de la cara posterior para hacerla mucho mas drenante, a base de acanaladuras en el sentido vertical del túnel.
- Se han incluido nuevos polímeros en las composiciones del sándwich todos de ultima generación que aportan mayor grado de resistencias al agua y mejores propiedades mecánicas, tipo AFINITY.
- Se han introducido nuevos recubrimiento en su parte exterior para mejorar las propiedades de resistencia al fuego con film de aluminio.
- Se han mejorado las resistencias de todos los materiales tanto mecánicas como térmicas como de resistencias al fuego.

En estos momentos ya se ha conseguido un producto con resistencia aún mayor (clasificación Euroclasses: B-s1-d0) que representa el mejor comportamiento de un producto plástico en el mundo de la impermeabilización.

## Sistemas de instalación y mantenimiento

Como se ha indicado, la otra particularidad de la tecnología CARFOAM®, es su instalación y su mantenimiento.

- Hay tres formas de instalar el producto:
- Cara Vista.
  - En Sándwich.
  - En falso Túnel



**1) Impermeabilización en vista:** Es la aplicación que caracteriza al sistema CARFOAM®.

En este caso la lámina constituye el revestimiento final de la obra, perfectamente estanco y definitivo.

La impermeabilización en vista es aplicable tanto en túneles nuevos como en la rehabilitación de los ya construidos.

En el caso de túneles nuevos, la lámina puede instalarse directamente sobre la roca, una vez realizada la perforación, independientemente de las características de la superficie.

En el caso de túneles ya construidos, las láminas CARFOAM® solucionan los problemas de filtraciones de agua limitándose al gálibo que exija la estructura. Este aspecto es clave en el

caso de los túneles ferroviarios o de metro en los cuales la altura está limitada por la construcción original y no puede sufrir grandes modificaciones, el hecho de tener un producto con las características ya reseñadas, ofrece la posibilidad de dar una solución que cualquier otra tecnología no permite.

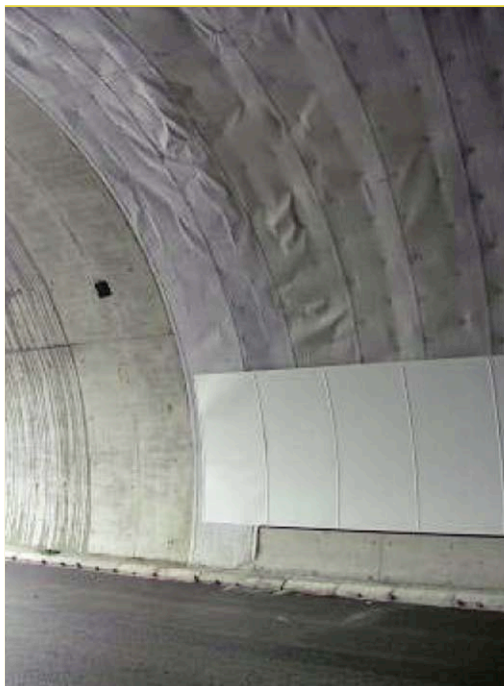
Asimismo, esta aplicación no obliga a impermeabilizar el túnel en su totalidad y así en casos donde se den fugas de agua localizadas o áreas de mas riesgo están pueden impermeabilizarse reparando los tramos mas críticos.

## **2) Impermeabilización en sándwich:**

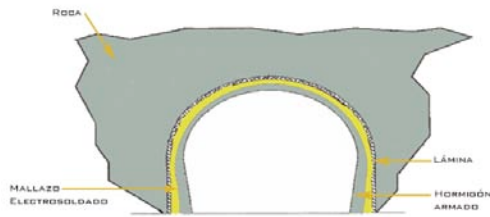
En aquellas obras en las que se requiere un revestimiento final de hormigón, la impermeabilización debe realizarse según el método tradicional en sándwich.

Nuestros productos también se adaptan a esta circunstancia y garantizan una impermeabilización total de manera definitiva con la ventaja que conlleva un proceso de instalación mucho más rápido que el de las alternativas existentes en el mercado puesto que las resistencias mecánicas y físicas de nuestras láminas aseguran la impermeabilización, el drenaje y el aislamiento térmico sin la necesidad de utilizar otros productos accesorios tales como geotextiles. El proceso de instalación más rápido y por tanto reduce costes.

Consideramos clave la posibilidad de poder observar el comportamiento de la roca detrás de las láminas y por ello se han buscado materiales que fueran transparentes al georadar. Se puede así comprobar de forma periódica el estado del terreno sin tener que desmontar las instalaciones.



**Túnel impermeabilizado en vista**

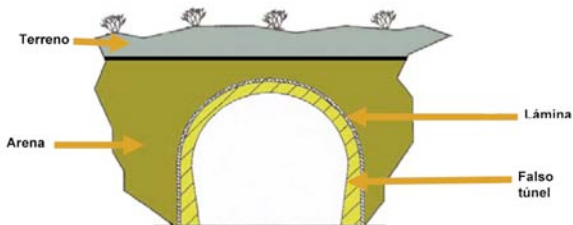


**Impermeabilización en sándwich**

Es importante reseñar en este aspecto el modelo de anclaje malla y tipo de hormigón que optimizan la instalación de CARFOAM según esta forma y que no solo abaratan el coste total sino que permiten minimizar los espesores de las distintas capas implicadas.

### 3) Impermeabilización de falsos túneles:

Las láminas CARFOAM® permiten la impermeabilización de falsos túneles y no requieren la instalación de ningún geotextil de protección pues las resistencias mecánicas son excelentes.



**Impermeabilización en falso túnel**

## El proceso de instalación de las láminas CARFOAM®

El proceso de instalación consta de 5 fases:

**1-** En primer lugar se cortan los rollos en las medidas que se necesitan. Si bien el ancho de los rollos suele ser de 1.50 metros para poder manejarlos fácilmente, el largo puede alcanzar los 90 metros.

**2-** La fijación mecánica se realiza mediante pernos inoxidables, desarrollados por HILTI en exclusiva para nuestra tecnología, tras la

perforación de orificios en la roca o hormigón a lo largo de secciones transversales, a las distancias necesarias, estableciendo tres líneas de anclaje (centro y ambos lados).

La longitud de los anclajes puede variar entre 6 y 16 cm en función de las necesidades y pueden llegar a fabricarse aún más largos si el terreno presenta características particulares tales como grandes deformaciones, agujeros de aire en la roca...

En el caso de la impermeabilización en vista el número de anclajes utilizado es superior, 5 o 6 unidades por m<sup>2</sup> mientras que en la impermeabilización en sándwich sólo son necesarios 3 por m<sup>2</sup>. Esa diferencia se explica por la utilización del hormigón en el segundo de los casos y que sujeta la lámina contra la roca.

**3-** Fijación de esta nueva tira mediante soldado por termofusión en el lateral del solape, y fijaciones mecánicas en el otro lateral y eje longitudinal.

Para realizar la termofusión nuestros equipos utilizan unas pistolas de aire caliente que pueden alcanzar hasta los 500°C de temperatura.

**4-** Impermeabilización de las fijaciones que quedan vistas con piezas de la misma lámina termosoldadas.



**Proceso de instalación: fijación de los anclajes**





**Proceso de instalación: fijación de los anclajes**

**5-** En los casos en los cuales existan venas de agua importantes, se realizan drenajes primarios con el material y método descrito, para conducir el agua a las cunetas de desagüe.

El sistema CARFOAM® busca solucionar en primer lugar las fugas más importantes y después añade una nueva lámina para garantizar que el agua se recoja correctamente en las cunetas.

Nuestros equipos, compuestos por personal formado y experto en la materia, pueden llegar a instalar hasta 400 m<sup>2</sup> de lámina por jornada de trabajo (8 horas), dependiendo de las condiciones de la superficie y del tipo de impermeabilización que se esté realizando. Dichos equipos están compuestos por un máximo de 5 personas.

## Referencias

Tal como se ha mencionado, desde la impermeabilización del túnel del Cadí, la tecnología CARFOAM®, nuestras láminas se han instalado en más de 100 túneles con un total de 2 millones y medio de m<sup>2</sup>, de los cuales más del 60% son en cara vista.

En España las referencias son múltiples y se refieren tanto a túneles de carretera como de ferrocarril y metro.

Si bien la gama de productos es estándar, según las características de los proyectos, se ha diseñado o producido un producto para cada uno de ellos.

A nivel internacional, el primer túnel se impermeabilizó en Chile. El túnel de Caracoles, situado en la Cordillera de los Andes, entre Chile y Argentina, debía cerrarse en invierno por las bajas temperaturas y la aparición de estalactitas que suponían un peligro para la circulación de vehículos.

En este caso se instalaron aproximadamente 5.000 m<sup>2</sup> de lámina y no sólo fue necesario garantizar la impermeabilización del túnel sino aislar térmicamente la estructura para evitar la formación de hielo, por lo que se utilizó una lámina en vista de 10 mm de espesor.

Entre los últimos proyectos a nivel internacional, cabe destacar los túneles en Francia y Suiza.

En el caso del túnel de la SNCF (empresa francesa de ferrocarriles), de Saut et Morillon, en el Jura francés, la situación en invierno era insostenible. Cada año, la SNCF debía designar una partida del presupuesto para pagar a aquellas personas que día tras día debían entrar en esos túneles y arrancar el hielo y las estalactitas con la ayuda de piolets. Los bloques de hielo en los laterales de las vías y en las paredes podían alcanzar los 10 cms de espesor.

Para solucionar este problema, la SNCF optó por instalar nuestros productos en los tramos en los que se encontraban las principales fugas



**Trabajos en los túneles de Saut et Morillon**

de agua. Se impermeabilizaron finalmente 1.100 m<sup>2</sup> de túnel con la lámina Top Class, nuestro último desarrollo, de 15 mm de espesor.

Otro caso particular que se nos ha presentado en Francia ha sido el túnel de Maurice Lemaire. Se trata de un túnel de carretera a rehabilitar cuyos trabajos de impermeabilización y aislamiento térmico, a realizar en sándwich, están limitados por el gálibo. Se trata de un proyecto en el que se instalará la solución con la lámina CARFOAM® en 25mm de espesor, con un anclaje especialmente diseñado, y utilizando un revestimiento de mortero corta-fuegos de 30 mm de espesor.

En el mercado Suiza, hemos tenido la oportunidad de participar en uno de los principales proyectos del año 2006, el túnel de Lötschberg. Nuestros productos se han utilizado para impermeabilizar las galerías de seguridad, un total de 15.000m<sup>2</sup> de la lámina Top Class de 4 mm han sido instalados.



**Trabajos en los túneles de Saut et Morillon**

Se trata de un túnel de ferrocarril cuya roca es muy porosa, lo que favorece filtraciones muy abundantes. La dirección de obra obtuvo conocimiento de la existencia de nuestros productos durante la feria internacional en Chambéry, y la consideraron idónea para solucionar los problemas de drenaje e impermeabilización. Dado que las temperaturas no bajan de 0°C, el aislamiento térmico no era necesario, por lo que se utilizó un bajo espesor.

[www.fagorsan.com](http://www.fagorsan.com)