

Innovación en Cimentaciones Estancas

Alberto Rey

Sika, S.A.U.

RESUMEN: En estos últimos años hemos vivido un desarrollo vertiginoso de algunas de las tecnologías relacionadas con el mundo de la construcción. Los grandes proyectos han contribuido al avance y la innovación de los sistemas empleados para alcanzar y garantizar los requerimientos exigidos. Estos avances han sido especialmente significativos en los sistemas de impermeabilización en estructuras enterradas.

En este artículo se presentan los sistemas del Proyecto Impermeabilización Técnica (EWP) con los que se persigue dar respuesta a las necesidades actuales y a las que se generaran en el futuro en relación a la Gestión del Agua, y en particular se detalla la denominada "White Box" como alternativa a soluciones tradicionales de impermeabilización.

1 INTRODUCCION

El Proyecto Impermeabilización Técnica (EWP) se compone de tres sistemas avanzados de impermeabilización destinados a garantizar la estanqueidad en cimentaciones o estructuras enterradas en presencia de agua.

- i) Sistema Activo de Control
- ii) Sistema SikaProof A
- iii) Concepto "White Box"

Generalmente, cada obra presenta una problemática propia y requiere una solución particular. Este Proyecto persigue facilitar esas soluciones complejas en función del uso y tipología de cada obra de acuerdo con las recomendaciones de filtraciones máximas correspondientes de cada país UNE 104.424 (CIRIA), BS 8102 o SIA 272.

2 SISTEMAS DEL PROYECTO IMPERMEABILIZACIÓN TÉCNICA

2.1 Sistema Activo de Control

Este sistema fue desarrollado por Sika durante la ejecución del Túnel de Gotardo (Suiza).

Frente a otros métodos de impermeabilización de túneles, este sistema no drenado, a sección completa para trabajar en condiciones de presión de agua, permite localizar y atajar filtraciones de agua, incluso antes de que se produzcan.

El Sistema Activo de Control, se compone de:

- Capa de circulación de agua (geotextil)
- Lámina flexible principal de impermeabilización (Material: PVC / TPO)
- Segunda capa de lámina de impermeabilización con nódulos de 0,3 mm de altura ocupando una

superficie < 30% del total de la lámina (Material: PVC / TPO). Entre las dos láminas se provocará un vacío para controlar el sistema

- Lámina de protección en zonas de tránsito
- Compartimentación con Waterbar
- Tubos de control de vacío y de inyección

Tanto el PVC como el TPO se han ensayado en los Túneles de Gotardo a altas temperaturas de servicio (hasta 70°C), a altas presiones de trabajo 40-160 bar, con agua enriquecida en oxígeno, y a ensayos de envejecimiento, cumpliendo con los más altos niveles de Calidad.

En relación a la compartimentación del sistema, en la Figura 1 se muestra un detalle de los solapes y las termo soldaduras.

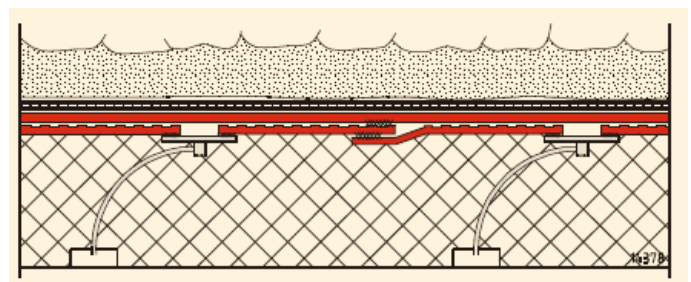


Figura 1. Solapes, soldadura y disposición de los tubos

Desde las cajas de registro en el exterior, el acceso a cada compartimento se consigue empleando tubos flexibles numerados conforme a los planos constructivos de la sección y embebidos en el hormigón de revestimiento.

Durante las labores periódicas de mantenimiento se podrá comprobar de forma rápida con el empleo de un manómetro si se mantiene el vacío en cada uno de los compartimentos.

En caso contrario, existiría un riesgo potencial localizado de entrada de agua en el mismo (ya ha entrado aire por algún poro o fallo), siendo así posible actuar incluso antes de que la entrada de agua se produzca.

Destacar, que esta actuación supondría en cualquier caso un volumen inyectado (resina, etc.) mínimo, ya que afectaría únicamente al espacio contenido entre las dos láminas y las Waterbar que limitan longitudinal y transversalmente el compartimento.

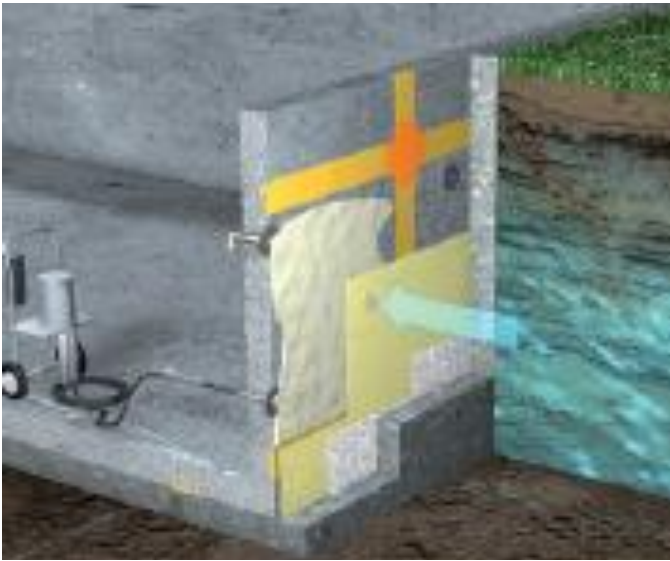


Figura 2. Inyección localizada en un compartimento

Este sistema se ha diseñado y desarrollado para estructuras enterradas que trabajen bajo presión de agua. Por lo tanto, sería también de aplicación en aquellas edificaciones construidas en suelos permeables o rocas fisuradas en zonas de costa o en riberas de ríos y lagos donde el nivel freático es un factor de diseño fundamental.



Figura 3. Disposición de compartimentos en una cimentación

2.2 Sistema SikaProof A

En este caso, se sella la estructura con una lámina de impermeabilización colocada sin holgura en el trasdós del vaso impidiendo la circulación del agua si se produjese un fallo de la misma.

La lámina se compone de tres capas:

- Lámina principal impermeabilización (FPO)
- Laminado con capa de sellado

- Geotextil no tejido (PP)

De esta forma, se consigue un doble anclaje; químico (con la capa de sellado adhesiva) y físico (al embeberse la pasta del hormigón fresco en la estructura del geotextil).

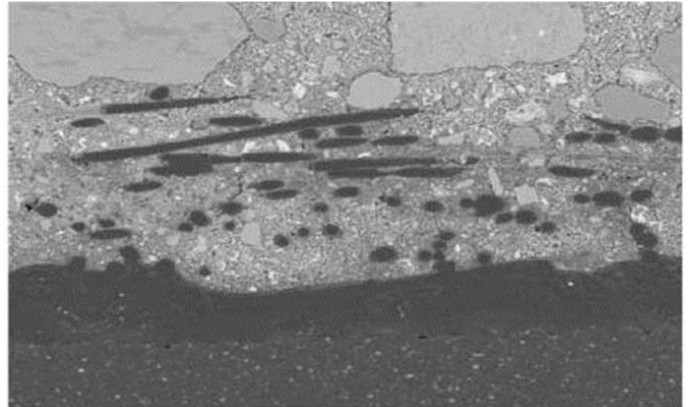


Figura 4. Anclaje físico-químico entre el hormigón y la lámina

Este efecto de micro compartimentación confina el agua que pudiera atravesar por daños la capa principal de impermeabilización y dificulta su acceso al interior de la estructura.

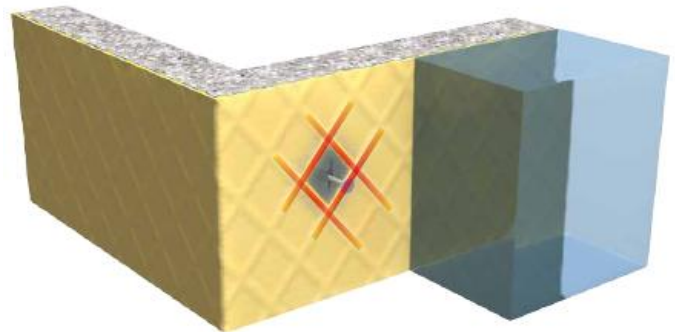


Figura 5. Efecto de confinación SikaProof A

Para evaluar y cuantificar este efecto se han realizado pruebas de acuerdo con ASTM D 5385, DIN 18195, DIN 20000-202 obteniendo el marcado CE (EN 13967 Materiales de impermeabilización de estructuras enterradas).

A diferencia del sistema anterior donde se fijan las láminas entre si por termosoldadura, las láminas adheridas se colocan sobre el soporte (encofrado, muros pantalla, etc.) solapando los rollos de material provistos de un lateral adhesivo que permite elevados rendimientos de colocación. En los extremos restantes se emplean cintas interiores y exteriores de pegado para garantizar un solape estanco.

Se puede seleccionar entre tres posibles espesores de lámina diferentes para adecuar el sistema a las condiciones de presión de agua y de esfuerzos de la obra en estudio: 0,5 mm, 0,8 mm y 1,2 mm. Los espesores totales

del sistema quedarían: 1,00 mm, 1,25 mm y 1,60 mm, y se corresponden con unas presiones de columna de agua <3 m, <5 m y <10 m respectivamente.



Figura 6. Cimentación impermeabilizada con SikaProof A

2.3 Concepto "White Box"

El tercer sistema incluido en el Proyecto de Impermeabilización Técnica se compone de las siguientes fases:

- Diseño de hormigones autocompactantes (HAC) estancos
- Diseño del refuerzo y armado de la estructura que podría incluir fibras sintéticas estructurales
- Diseño del tipo y disposición de las juntas de construcción y dilatación de acuerdo a las presiones de agua y de las resultantes de movimiento esperadas
- Colocación de las juntas por equipos entrenados de aplicadores especializados
- Supervisión por parte de equipos expertos para aprobar todos los trabajos

De esta forma se consigue garantizar la estanqueidad de la estructura eliminando oficios y tajos del Proyecto Constructivo, optimizando sus plazos y los costes. A continuación, se analiza en detalle cada una de las fases de trabajo del sistema.

2.3.1 Diseño de hormigones HAC estancos

En la actualidad no existe una definición mundialmente aceptada para un hormigón impermeable. Cada país adopta las recomendaciones de su normativa.

La EHE 08 facilita una serie de valores límite para la profundidad de penetración máxima y media bajo presión

de agua (UNE EN 12390-8) en función de la tipología de la estructura y del ambiente de exposición del hormigón.

Al tratarse de un campo fundamental y que será clave en los próximos años con el desarrollo de la gestión de agua, hemos recopilado nuestra experiencia a lo largo de todo el mundo para definir unas características de diseño de un "hormigón estanco".

En nuestro caso, el objetivo es alcanzar valores de penetración de agua sensiblemente por debajo de los recogidos en la EHE 08.

Estos hormigones especiales pueden y deben considerarse como un sistema. Por lo tanto, es difícil y se desaconseja extrapolar resultados al cambiar alguna de las variables críticas (tipo y cantidad cemento, A/C, curva y tipos de áridos, HRWR, etc.).

En cualquier caso, siguiendo esas pautas de diseño, se puede considerar como punto de partida para la dosificación por metro cúbico de la mezcla:

- Contenido mínimo cemento = 350 kg
- Máxima relación A/C = 0,45
- Empleo de un HRWR adecuado
- Sika WT 120 L
- Consistencia autocompactante (HAC)

El hecho de trabajar con hormigones autocompactantes permite optimizar los tiempos de puesta en obra y los equipos (reducción de vibrado), al tiempo que evita una serie de errores o patologías que se pueden producir durante la misma en el caso de emplear hormigones de cimentación convencionales con consistencias blanda o fluida.

2.3.2 Diseño de la armadura y refuerzo incluyendo fibras sintéticas estructurales

Los programas de diseño estructural habitualmente empleados en las Oficinas Técnicas de las Ingenierías y Estudios de Arquitectura calculan la estructura incluyendo las limitaciones de fisuración de la correspondiente Norma.

En España la EHE 08 recomienda unas fisuraciones máximas para el hormigón armado dependiendo del ambiente de exposición desde el punto de vista de la durabilidad de la estructura.

Clase	Límite de fisura (mm)
I	0,4
IIa, IIb, H	0,3
IIIa, IIIb, IV, Qa	0,2
IIIc, Qb, Qc	0,1

Por su parte, la normativa alemana vincula las dimensiones de la estructura de hormigón con la presión de columna de agua.

Este parámetro es crítico en la fase de diseño para determinar la disposición del armado tradicional metálico y el de las juntas de dilatación y hormigonado.

La filosofía del sistema busca reducir el número de juntas y optimizar su disposición, garantizando los límites de fisuración en cada caso.

Para ello, la tendencia indica que los nuevos programas de diseño estructural incluirán un armado mixto con fibras sintéticas estructurales y acero tradicional.

El uso de las fibras sintéticas estructurales está recogido en el Anejo 14 de la EHE 08 para sustituir total o parcialmente el armado tradicional de acero.



Figura 7. Fibras estructurales sintéticas. Resistencia residual

Estas fibras plásticas (poliolefinas), a diferencia de las fibras metálicas que trabajan por un anclaje físico en su extremo, basan su anclaje en la adherencia a la matriz cementosa, y contienen tratamientos químicos específicos para mejorarla.

Desde el punto de vista físico, el avance y desarrollo de estos materiales en esta aplicación concreta a posibilitado evolucionar desde valores de $E=3$ GPa hasta las fibras más recientes con $E=11$ GPa (El Módulo de Young de un hormigón es aproximadamente igual a 30 GPa).

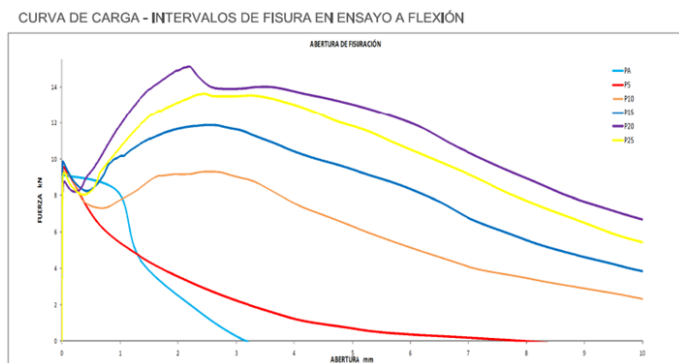


Figura 8. Comportamientos post-rotura del SFRC

Variando la dosificación de fibra se pueden obtener en el ensayo de flexotracción (UNE EN 14651) comportamientos de endurecimiento y de reblandecimiento después de la rotura de la matriz del hormigón, siendo así posible una optimización de la estructura calculándola con formulación no-lineal.

En este momento, con las fibras que se están comercializando se mejora el comportamiento a primera fisura, considerado crítico en las primeras generaciones de fibra sintética estructural, especialmente para usos arquitectónicos o cuando se incluía la impermeabilidad como factor de diseño.

Al tratarse de un armado discrecional en todo el canto de la estructura, se evitan patologías debidas a errores en la colocación del armado tradicional (Ej. Mallazos en soleas y pavimentos), y en el caso de la permeabilidad, sus consiguientes filtraciones.

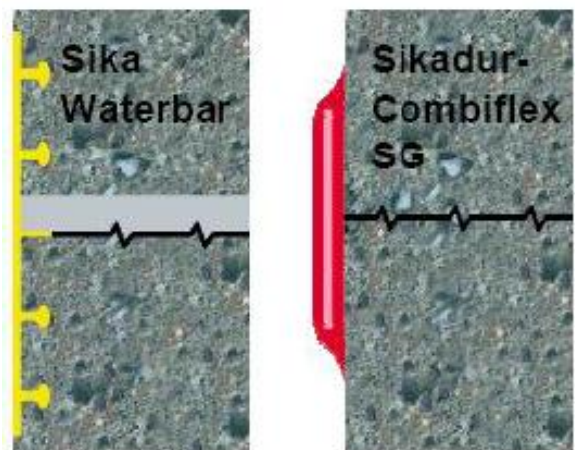
Por otro lado, estos materiales sintéticos son resistentes a los ataques físico-químicos típicos en el hormigón y no se oxidan.

El diseño estructural sintético (empleo de SFRC en la estructura) permite reducir la cuantía de acero, especialmente en muros y pantallas donde se suele dimensionar por cuantías mínimas, y posibilita un hormigonado más rápido, con menor número de "sombras" y zonas con riesgo desde el punto de vista de la compactación del hormigón para evitar filtraciones de agua.

2.3.3 Diseño del tipo y disposición de las juntas

Una vez diseñado un hormigón en masa estanco y un armado que garantice que en carga las deformaciones no producirán fisuraciones críticas desde el punto de vista de la permeabilidad y durabilidad, el siguiente paso es analizar las juntas de dilatación y construcción y su estanqueidad.

En una estructura enterrada se pueden tratar este tipo de juntas y detener la entrada de agua desde el exterior, el interior o bien inmersas en el canto de hormigón.



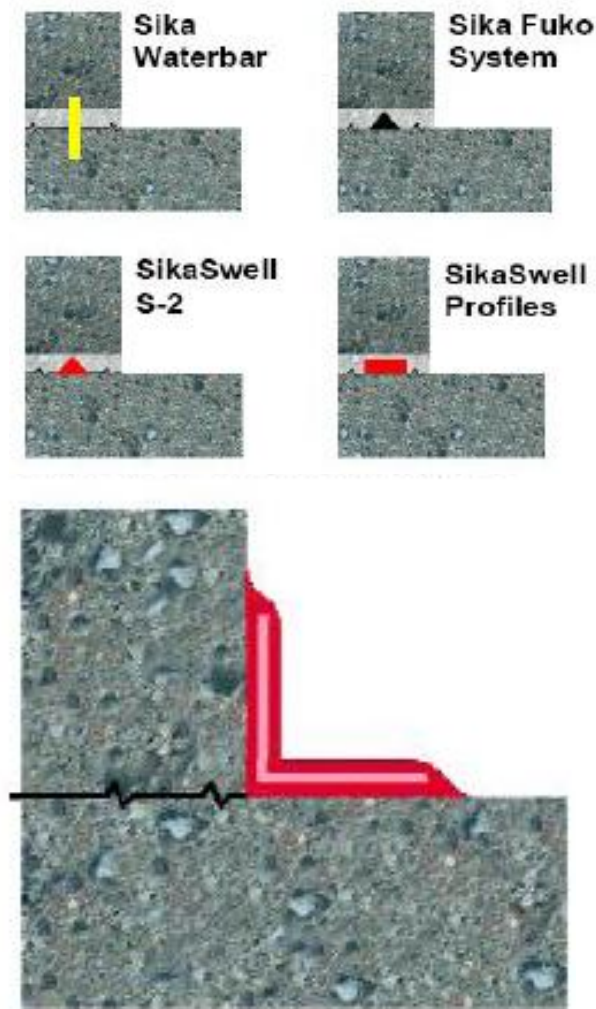
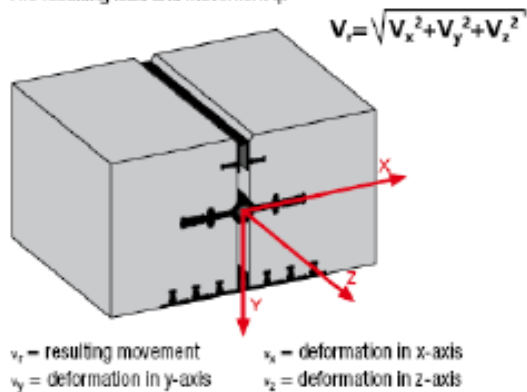


Figura 9. Sistemas de tratamiento de juntas

En el caso de las juntas Sika Waterbar, su correcta selección es función de las presiones de agua de Proyecto, y en el caso de que la junta a sellar sea una junta de dilatación, de la resultante de movimientos (x, y, z) estimados en la estructura.

The resulting load and movement v_r :



Existen en el mercado diferentes soluciones con materiales termosoldables con aire caliente o vulcanizables que garantizan un solape o unión estanca entre rollos del mismo material.

Asimismo, se pueden emplear sistemas de arco eléctrico para comprobar la soldadura de estos elementos, tal y como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Control eléctrico de soldadura de juntas

Con estos materiales se pueden proyectar soluciones prefabricadas para juntas especiales (uniones a medianerías, juntas en T, etc.).

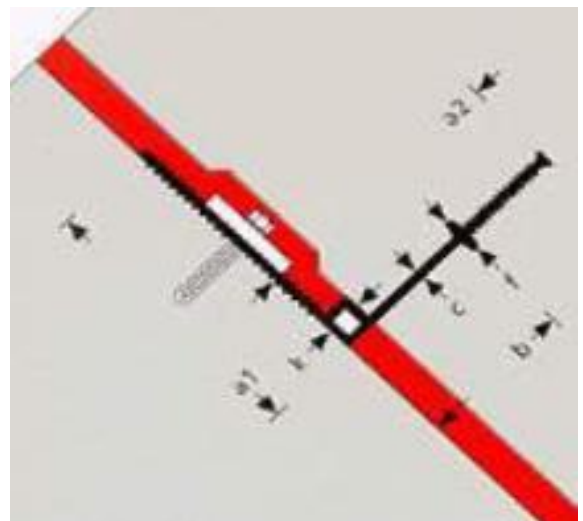


Figura 11. Detalle de una junta para medianería

Otras soluciones para el tratamiento de las juntas:

- Juntas mixtas (Sika KAB)
- Perfiles hidroexpansivos
- Tubos inyectables (Sika FUKO)
- Sistema Sika Combiflex
- Sistema Sika Dilatec

2.3.4 Colocación de los tratamientos de juntas

Una vez estudiado el Proyecto y seleccionado el sistema de tratamiento de juntas más apropiado, se recomienda contratar un aplicador especializado, con equipos entrenados y formados en estas técnicas, para garantizar la Calidad final de los trabajos.

Para ello, además de la técnica de unión empleada se pueden considerar como factores importantes el acopio y la manipulación de los materiales antes de su empleo y colocación (protección a los rayos solares, acopio sin pesos ni cargas punzonantes, organización de los tajos con otros oficios, etc.).

Una vez iniciados los trabajos, la limpieza, la correcta fijación de las juntas en las zonas de hormigonado para evitar que se muevan y se desplacen de la zona diseñada, la medida de los solapes y la ejecución de las uniones serán los aspectos claves.

2.3.5 Supervisión y aceptación de los trabajos

Finalmente, para garantizar los trabajos se propone realizar una supervisión por parte de personal de Control de Calidad igualmente formado y entrenado.

Un único error o fallo en el proceso podría invalidar su capacidad de trabajo y ocasionar elevados costes posteriores en labores de reparación.

3 CAMPOS DE APLICACIÓN

El Proyecto de Impermeabilización Técnica tiene tres campos fundamentales de aplicación:

- Túneles y Obras Subterráneas
- Cimentaciones singulares
- Gestión del Agua

Abarcando de esta forma obras de diferente naturaleza y uso como son:

- Túneles y galerías
- Minería
- Estaciones subterráneas
- Presas y estructuras hidráulicas
- Cimentaciones de edificación
- Aparcamientos y sótanos
- Depósitos y tanques

El objetivo final del Proyecto de Impermeabilización Técnica es garantizar el grado de impermeabilidad deseado para el Proyecto y reducir los elevados costes de reparación posterior en el caso de que se produzca un fallo del sistema.

CONCLUSIONES

El objetivo último del Proyecto de Impermeabilización Técnica (EWP) es garantizar un determinado grado de impermeabilidad para una estructura, y de esta forma, reducir los elevados costes de reparación posterior en el caso de que se produzca un fallo del sistema de impermeabilización.

Para ello, las tres alternativas presentadas en este artículo cubrirían los requerimientos actuales para estructuras enterradas y sus diferentes usos.

Al tratarse de sistemas complejos que condicionan el diseño estructural de la obra, se deben considerar desde la etapa de diseño del Proyecto, concentrando labores y logrando un proceso más industrializado de construcción, con menos errores y mayor calidad final.

BIBLIOGRAFÍA

- Aduvire, O. 1997 *Manual de Túneles y Obras Subterráneas*. Madrid. Carlos López Jimeno.
- Girnau, G y Haack, A. 1969 *Tunnel Abdichtungen*. Düsseldorf. Alba Buchverlag.
- Hurtado, R., Pardo, G. y Rey, A. 2010 *Túneles y Obras Subterráneas*. Madrid. Sika, S.A.U.
- Normas Españolas UNE 104.424.
- Rivas, J.L. 2001 *Túneles y Obras Subterráneas*. Madrid. Sika, S.A.U.
- Rey, A. 2005 *IV Simposio de Túneles. Principado de Andorra*
- Varios Autores. 2005 *Primer Congreso Nacional Impermeabilización*. Asociación Nacional de Impermeabilización (ANI). Madrid.
- Varios Autores. 2008 *Segundo Congreso Nacional Impermeabilización*. Asociación Nacional de Impermeabilización (ANI). Palma de Mallorca.
- Varios Autores. 2010 *Tercer Congreso Nacional Impermeabilización*. Asociación Nacional de Impermeabilización (ANI). Barcelona.