



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS.
PROTECTION PASSIVE INCENDIE

TÚNEL SUMERGIDO

de BJORVIKA en OSLO

CÓMO SE REALIZA LA PROTECCIÓN AL FUEGO MÁS EXIGENTE DEL MUNDO



El proyecto municipal:

El ayuntamiento de Oslo decidió en 1983 mejorar el tráfico a lo largo de su fiordo (la bahía de Bjorvika). Aprovecharon esta oportunidad para dar mucho más espacio al desarrollo urbanístico, pero también para crear un sistema de transporte mucho más ecológico en el centro de Oslo. Unos 120.000 vehículos transitan diariamente por la bahía, y las autoridades de tráfico noruegas decidieron construir un túnel sumergido para reducir tiempos, ruido y contaminación. Para construir este túnel, decidieron prefabricar seis elementos de baja permeabilidad (en una fábrica de prefabricación en tierra firme ubicada en Bergen) de 112,5 metros de longitud, 10 metros de altura y 40 metros de anchura, con un peso máximo de 37.000 toneladas. Estos elementos fueron prefabricados y posteriormente transportados por mar a más de 800 kilómetros, operación que duró unos 5 días. Cuando los elementos llegan a la obra, se colocan cuatro tanques de lastre que se rellenan de agua para hundir los elementos. Esta operación llevó 14 días por elemento. El elemento del túnel se baja hasta su ubicación final en el fondo de la zanja dragada. Cada elemento se coloca contra el anterior debajo del agua. El agua restante se retira mediante una bomba de los espacios entre las mamparas. La presión estimada del agua es de unas 3.500 toneladas en el lado libre del nuevo elemento, comprimiendo el sellado de caucho que se encuentra entre ambos elementos y cerrando las juntas.

Cuando se conecte el túnel, los tanques de agua se sustituirán por hormigón, constituyendo el peso permanente del túnel sumergido. Junto y sobre el túnel se coloca material de relleno para rellenar la zanja y enterrar el túnel de forma permanente.



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PROTECTION PASSIVE INCENDIE



Cómo garantizar la máxima protección al fuego:

Metodología de cálculo térmico de las estructuras

Los diseñadores de las estructuras de túneles generalmente se basan en la normativa para edificios, es decir, los Eurocódigos. Generalmente, se calcula la temperatura del interior del hormigón, y a partir de ésta se obtiene la capacidad de carga. Estos cálculos funcionan bien con muchas aplicaciones pero tienen sus limitaciones. En la norma EN 1992-1-2, con los Eurocódigos para estructuras de hormigón, los modelos materiales sólo son válidos con tasas de calentamiento entre 2 y 50 °C/minuto porque los efectos de fluencia no se consideran de forma explícita. Las autoridades noruegas estiman que esto arroja resultados erróneos y han preferido tomar en cuenta a la hora de diseñar las estructuras de este túnel una velocidad de calentamiento más rápida, correspondiente a la curva de tiempo temperatura holandesa RWS, o velocidades de calentamiento máximas de 200 – 240 °C /minuto.

Esfuerzos inducidos por las dilataciones térmicas en las estructuras hiperestáticas

A fin de investigar en profundidad el revestimiento contraincendios adecuado, las autoridades suecas y noruegas realizaron una serie de ensayos de fuego en hormigón pesado en el año 2006 con tres productos distintos, cuyas conclusiones se detallan a continuación. La resistencia al fuego en relación a la respuesta a la temperatura y descantillado se han determinado experimentalmente para diversas calidades de hormigón. El hormigón reforzado con fibras de polipropileno obtuvo muy buenos resultados. Sin embargo, existen grandes interrogantes sobre la durabilidad a largo plazo de estas fibras, especialmente en cuanto a la resistencia a las heladas y la penetración de iones de cloruro.

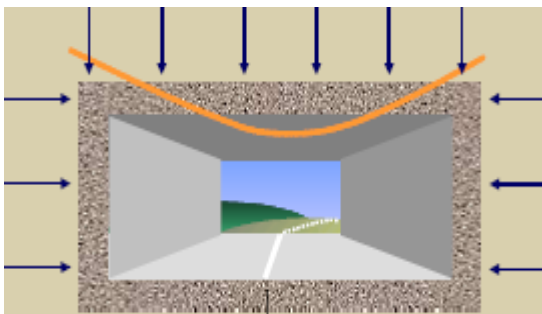


INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PROTECTION PASSIVE INCENDIE

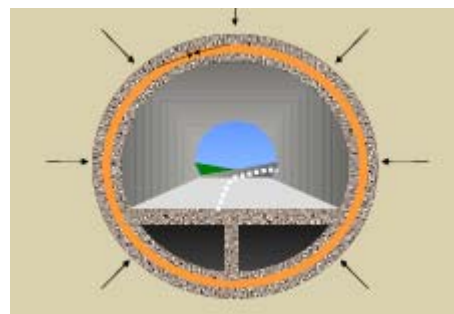
El ensayo de fuego más exigente del mundo para túneles

Los ensayos realizados en hormigón con barreras añadidas fueron insatisfactorios ya que a pesar de que los productos utilizados en los ensayos contaban con resultados previos documentados, no lograron atender las extremas exigencias de esta serie de ensayos. En el presente estudio se ensayaron tres sistemas distintos bajo losa cargada con un esfuerzo de compresión del hormigón de 5.5 Mpa, y todos fallaron. Consecuentemente, la dirección noruega de carreteras públicas emitió un informe en junio de 2007 (TR-2494), a fin de describir el método de ensayo de los sistemas añadidos contraincendios en los túneles.

Dicho informe se hace según la curva de fuego RWS, reproduciendo de la mejor manera posible el punto de inflexión de su estructura hiperestática y de esta forma poder simular el impulso plástico creado por la carga permanente bajo la subida de temperatura.



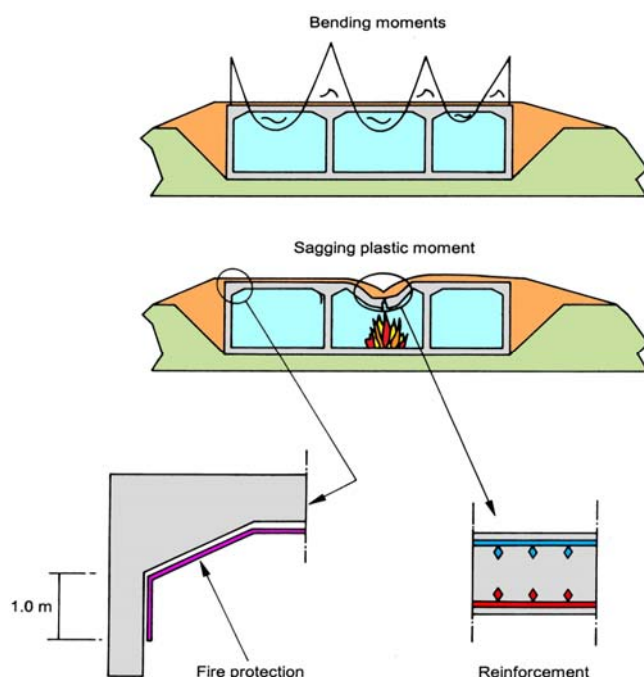
Túnel sumergido o Zanja cubierta



Túnel perforado

La dirección de carreteras no ha querido reproducir la metodología de ensayo de fuego utilizada en Holanda para los túneles perforados, que no retoma ninguna de las tensiones que se aplican a las estructuras hiperestáticas.

Por estas exigencias con grandes tensiones, cargadas, bajo un fuego de 300 MW, podemos decir que el Fire Barrier 135 realizó con éxito el ensayo de fuego más exigente del mundo en materia de túneles sumergidos y/ de estructuras hiperestáticas.



Los ensayos de fuego deberán pues realizarse sobre grandes elementos de hormigón postensado con una longitud de 3,6 metros, colocados dentro de un horno horizontal, se aplicará una carga sobre la losa de 4644 kN, para aplicar una resistencia teórica a la compresión de 12,9 MPa en la cara expuesta.

En cambio, las autoridades noruegas adoptaron la misma filosofía que la de la circular francesa 2000-63, recomendación de marzo de 2005 (anexo F3.1) para llevar a cabo el ensayo sobre grandes losas cargadas (4m x 3m), y aplicando una carga (anexo F3.3).



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PROTECTION PASSIVE INCENDIE

Los ensayos con fuego se realizarán en un laboratorio de fuego certificado con la ISO 9001 o ISO/IEC 17025. También solicitaron que el material fuera resistente a las heladas en virtud de la EN 1387-1(40 ciclos de -20 °C hasta 10°C), el ensayo de fatiga de 15 millones de ciclos, la resistencia al lavado a alta presión, la resistencia alcalina y la carbonización.

Los rendimientos del mortero proyectado Fire Barrier 135 :

INNOVATIVE FIRE SYSTEMS, distribuidor mundial exclusivo desde mayo de 2003 de FIRE BARRIER 135, ya ha firmado más de 35 contratos en túneles con su equipo en Francia, España, Mónaco, Italia y Egipto. Para este proyecto Thermal Ceramics fue el único proveedor que se arriesgó a realizar esta serie de ensayos, que representan una inversión superior a 150.000 eur. Ni el proveedor de tableros y ni el del mortero rociado de vermiculita (ambos del mismo grupo) realizaron nuevos ensayos de sus productos, tras su fracaso inicial efectuado para el metro de Malmö en Suecia en 2006.

A pesar de 15 ensayos de fuego previos con FIRE BARRIER 135 realizados en cinco laboratorios distintos (TNO; CSI; CSTB; SINTEF) con tres curvas de fuego distintas RWS; HCinc. ISO, y distintos tipos de hormigón (fuerza de compresión entre 35 y 76 Mpa), INNOVATIVE FIRE SYSTEMS & THERMAL CERAMICS decidió cumplir los requisitos de la dirección de tráfico noruega. Con el sistema de FIREBARRIER 135 pasamos un año de ensayos intensivos.

Se realizaron varios ensayos de resistencia al fuego, caracterización física y longevidad por parte del S.P. Swedish National Testing and Research Institute en Borås (Suecia). La carga de fuego está dimensionada para un fuego de 300MW durante un mínimo de dos horas, según la curva RWS. Las superficies se protegieron con 36 mm de grosor de FIRE BARRIER 135 reforzado con malla metálica de acero inoxidable de 1,9 mm de diámetro, 50 mm x 50 mm unida al hormigón con espaciadores y anclajes colocados cada 40 cm por 40 cm. Después de dos horas la temperatura media de interfaz estaba por debajo de 265 °C.

La resistencia alcalina se realizó respetando la especificación noruega. La protección contra incendios será endurecida/acondicionada para un mínimo de seis (6) semanas a 23 ± 2 °C / 50 ± 5 % RF al principio del ensayo. Una serie de ensayos (con un mínimo de 5) se realizarán durante dos (2) días en 1N NaOH (1 mol/l hidróxido de sodio) a 23 ± 2 °C, lavados con agua destilada y acondicionamiento a 23 ± 2 °C / 50 ± 5 %RF para un mínimo de cuatro (4) semanas. Paralelamente una serie de ensayos de referencia (mínimo de 5 ensayos) se acondicionarán a 23 ± 2 °C / 50 ± 5 % HR durante un mínimo de cuatro (4) semanas sin efecto alcalino previo.

Se realizaron ensayos posteriores sobre la adhesión según la NS-EN 1542:1999 en ambas series de ensayos. La adhesión de la protección contra incendios en el hormigón de referencia no se vio reducida en más del 20% por el efecto alcalino, y la protección contra incendios no mostró signos de degradación como resultado del efecto alcalino.

El ensayo de carbonización se realizó según la EN 13295: 2004. La resistencia a la carbonización, como resultado de la reacción al CO₂ procedente de la zona de tráfico, se realizó según la NS-EN 13295:2002 El ensayo de resistencia a las heladas se realizó según la EN 13687 – 1: 2002. Los ensayos terminarán tras 50 lavados de 4 horas. El ensayo consiste en la inmersión en el tanque que contiene una solución de cloruro sódico a una temperatura de (-15°C +/-2) durante 2 horas, que se almacena posteriormente en un tanque de agua a una temperatura de (21°C +/-2) durante dos horas.

El ensayo de fatiga se realizó según las especificaciones NDR: la protección contra incendios incluye anclajes mecánicos que cumplen los requisitos de las cargas de tráfico relevantes que tienen lugar en el túnel. El volumen de tráfico es de 100.000 vehículos diarios. Se aplicaron las siguientes fuerzas dinámicas de presión/succión durante 15 millones de ciclos: 1,97 adhesiones Kpa, 1,56 compresión Kpa).



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PROTECTION PASSIVE INCENDIE

El ensayo de limpieza a alta presión también se realizó respetando las especificaciones noruegas. La protección contraincendios y sus superficies debían tolerar el lavado periódico normal del túnel: se realizaron 120 operaciones de lavado a 150 baras durante un minuto sobre 1 m² con un caudal de agua variable de 10 a 25 litros/minuto/pulverizador, con una distancia entre los pulverizadores y la protección contraincendios de 500 mm, y ello para simular la expectativa de vida útil.



Las obras de instalación del mortero proyectado Fire Barrier 135:

INNOVATIVE FIRE SYSTEMS cuenta con una demostrada en aplicación del mortero Fire Barrier 135 en obras donde el factor tiempo resulta esencial. En el túnel de Bjarvika I.F.S. tenía que aplicar más de 35.000 m² de FIRE BARRIER 135 antes del comienzo del otoño. I.F.S. movilizó a 60 trabajadores y técnicos. La organización general de la obra se divide en equipos de limpieza del soporte, la instalación de la malla metálica, la instalación de junta de dilatación, la colocación de maestras, la protección-alisado del mortero y la retirada de maestras.

Se organizó un riguroso plan de calidad con retirada de los puntos de fijación de la malla metálica, ensayo de arranque de los tacos de anclaje (100 daN / unidad), espaciado del soporte para los derivadores, levantado del grosor del mortero, pero también extracción de mortero para medir su densidad, su pérdida con fuego y su resistencia a la compresión. Se llevaron a cabo ensayos de adherencia in situ cada semana (es decir, con una media de 4 veces por exigencia del cliente).



INNOVATIVE FIRE SYSTEMS. PROTECTION PASSIVE INCENDIE



Las juntas de dilatación fueron objeto de una investigación común entre Statens Vegvesen e INNOVATIVE FIRE SYSTEMS, para resolver toda la problemática de las juntas de un túnel sumergido.

- Un waterstop con una temperatura máxima admisible de 80 grados, con una exposición al fuego RWS constante
- El movimiento de dilatación supuesto es de 3,5 cm en mitad del túnel.
- La resistencia al lavado a alta presión es de 150 baras

IFS ha desarrollado un ensamblaje del producto resistente a 1400 grados compuesto de paneles de Fire Barrier 135 prefabricado y proyectado.

