

# ENSAYOS APLICADOS A LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN TÚNELES

Maïkel LOPEZ y Mercedes LAGO  
Jefes de proyectos  
EFFECTIS



Organizadores / Organizers



FUNDACIÓN MAPFRE



Madrid, 20 – 22 de Febrero de 2013  
Centro de Convenciones Mapfre

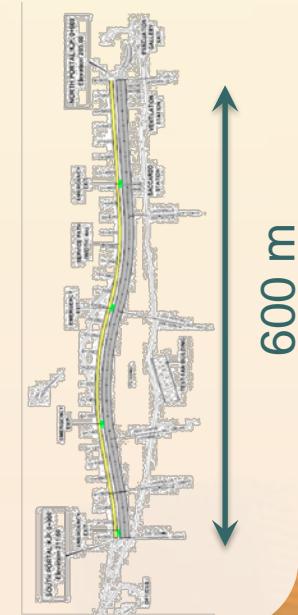
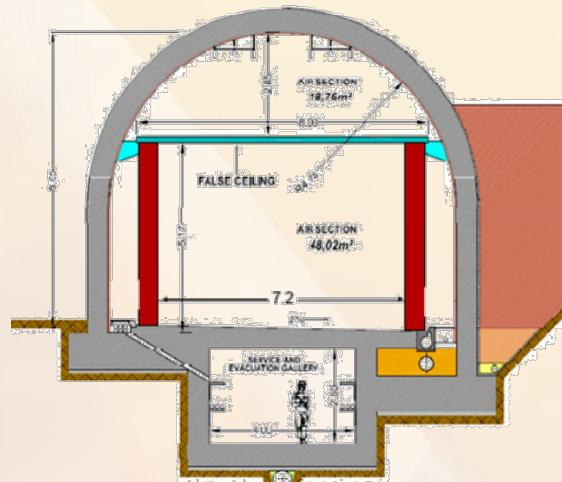
# Índice

- **Ensayos a gran escala:** Efecto de la ventilación en la eficiencia de los sistemas de agua nebulizada (WMS : Water Mist System) en los túneles
  - Escenarios
  - Instrumentación
  - Resultados
  - Conclusión
- **El desconchado del hormigón en los túneles**
  - Características del fenómeno
  - Los diferentes métodos
  - Ejemplo en laboratorio
  - Ejemplo « in situ » : Horno móvil

# ENSAYOS A GRAN ESCALA EN TÚNELES

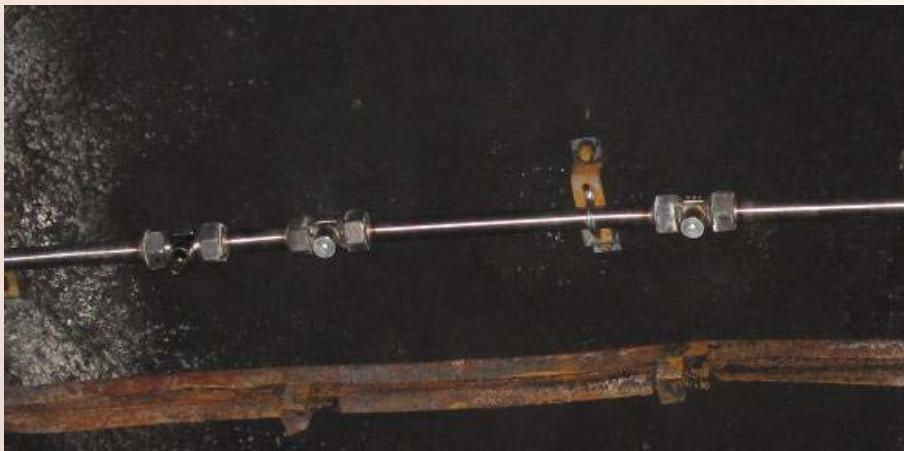
En abril de 2012 se llevaron a cabo 22 ensayos de fuego en el túnel experimental “Tunnel Safety Testing” , de Asturias.

Objetivo : Explorar las posibilidades de un sistema de nebulización de agua aplicado a túneles de carretera, teniendo en cuenta la interacción con otras medidas de protección (protección pasivas y ventilación)



# El sistema de agua nebulizada probado

- 3 tramos de 24 m: 72 m en total (dos líneas separadas 3,5 m)
  - Situación: del PK324 al PK396
  - Distancia entre boquillas: 3,2 m
  - Presión : 80 bar / Factor K : 4,2 lpm/bar0.5
  - Tiempo de activación: 5 minutos después de la ignición
  - Duración de la descarga: 20 min



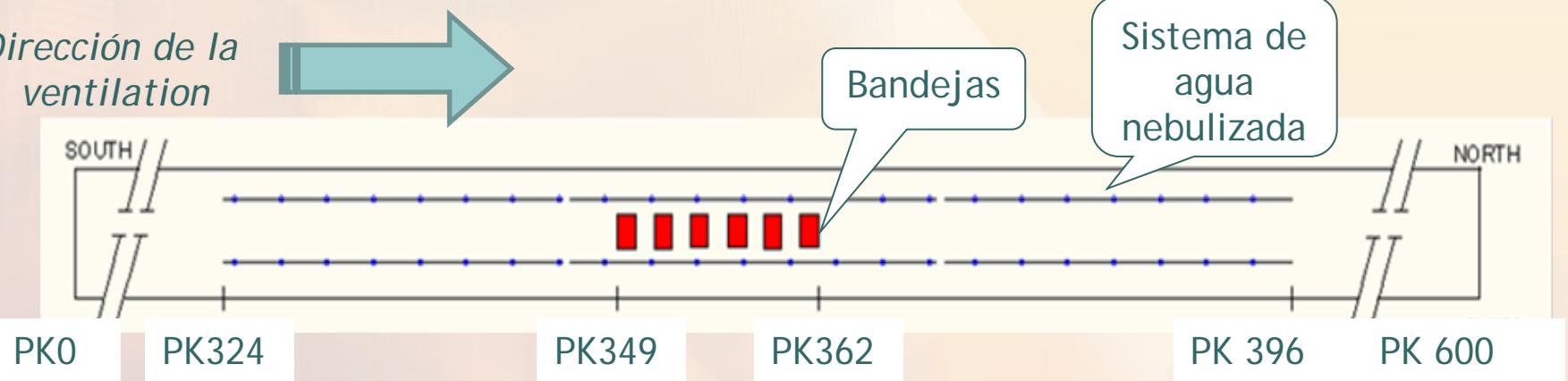
# Escenarios

- Túneles por los que no circulan camiones de gran tonelaje
  - El fuego esta representado por 1 o 6 bandejas de acero (1,2 m x 1,8 m) con 200 litros de gasoil cada una
  - Potencia calorífica estimada : de 5 a 30 MW

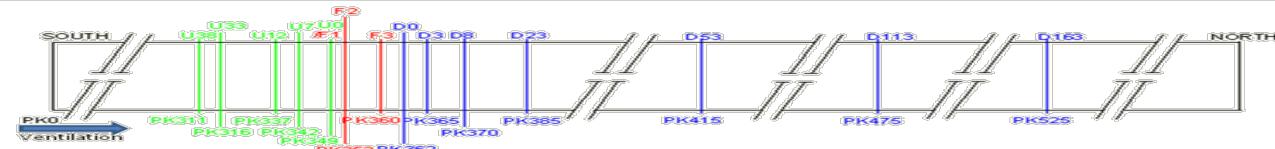
Test	Fuel (RHR peak estimated)	Ventilation (m/s)	Activation Time	Time Discharging
11	Diesel (5MW)	3	5 min after ignition	20 min
12	Diesel (5MW)	5		
13	Diesel (30MW)	3		
14	Diesel (30MW)	5		
15	Diesel I (5MW)	$\geq 0$		
16	Diesel (30MW)	$\geq 0$		



# *Dirección de la ventilation*

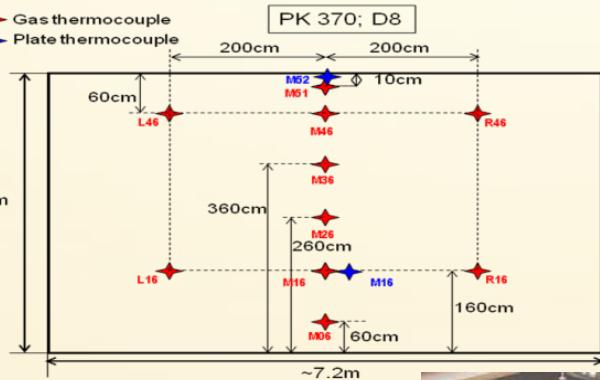
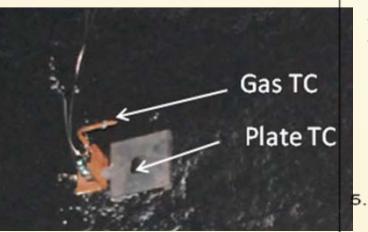


# Instrumentación



- Medición de datos térmicos :

- Temperatura,
- Flujo de radiación
- HRR (método de consumo del oxígeno)



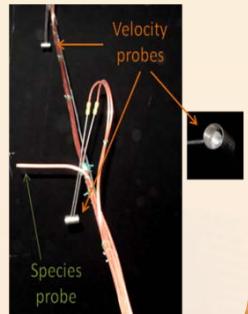
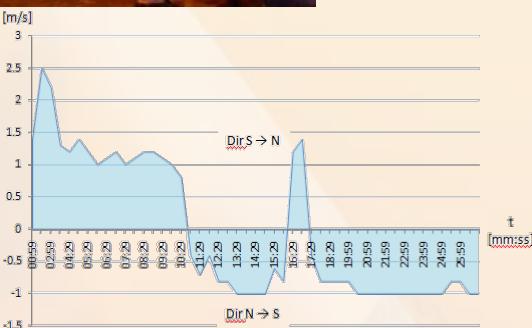
- Medición de datos hidráulicos en el sistema de agua nebulizada

- Flujo
- Presión



- Análisis de la visibilidad

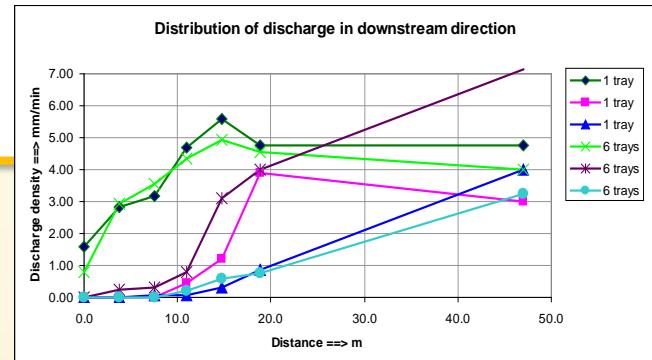
- Medición del efecto de la ventilación
- Velocidad del aire
- Cantidad de agua recogida



# Resultados (desarrollo del fuego)

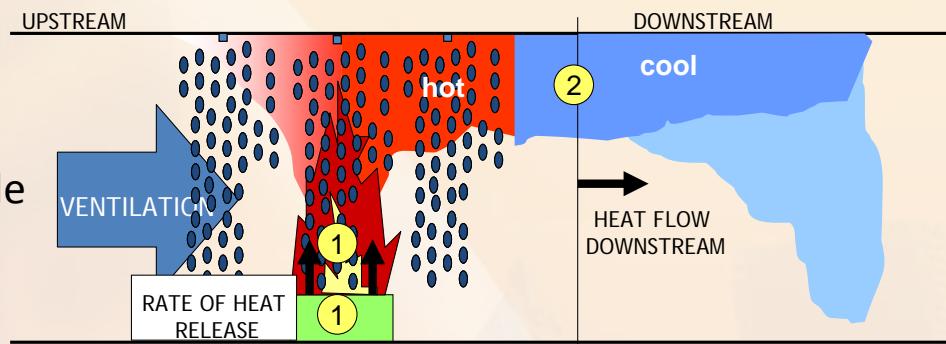
- Ventilación y densidad de flujo local de agua

- Media : 4 mm/min
- $V = 3 \text{ m/s}$  -> 4 mm/min en el suelo al final de la primera sección
- $V = 5 \text{ m/s}$  -> desplazamiento de la descarga en el suelo > 10 m



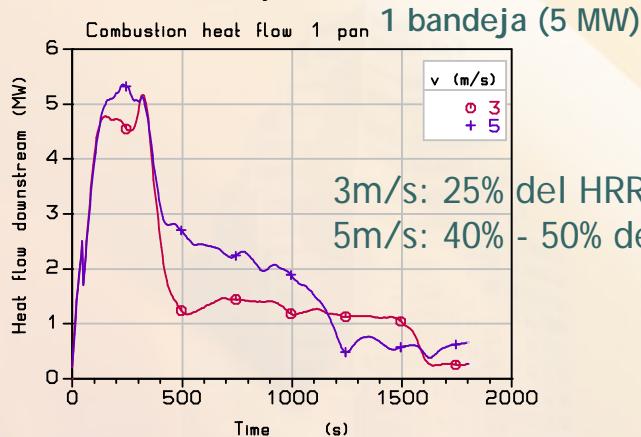
- WMS y liberación de calor

- Disminución de combustión  
-> disminución de la tasa de liberación de calor (WMS)
- Enfriamiento de los productos de combustión (gases calientes)



# Resultados (desarrollo del fuego)

- WMS y HRR

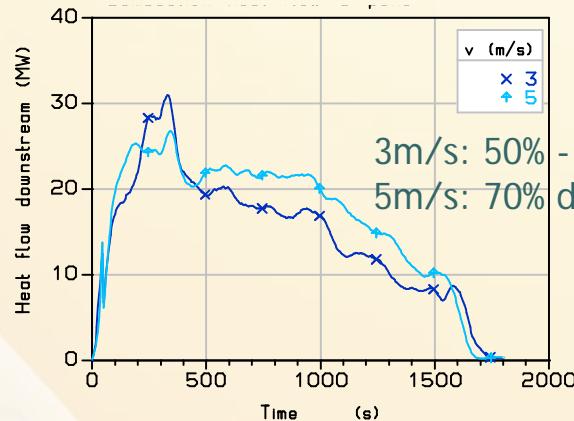


del HRR inicial  
- 50% del HRR inicial

3m/s: 25%

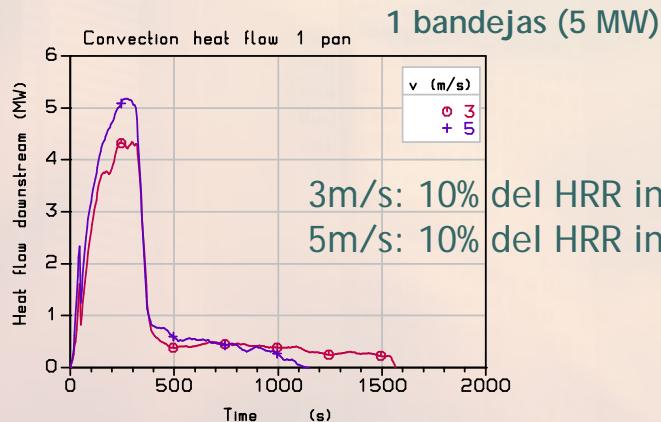
5m/s: 40%

6 bandejas (30 MW)



3m/s: 50% - 66% del HRR inicial  
5m/s: 70% del HRR inicial

- WMS y Flujo de calor por convección

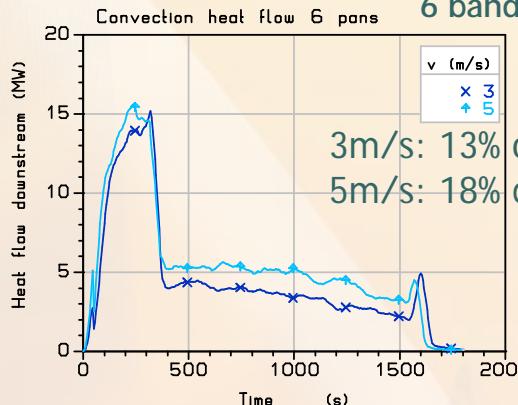


del HRR inicial  
10% del HRR inicial

3m/s: 10%

5m/s: 10%

6 bandejas (30 MW)

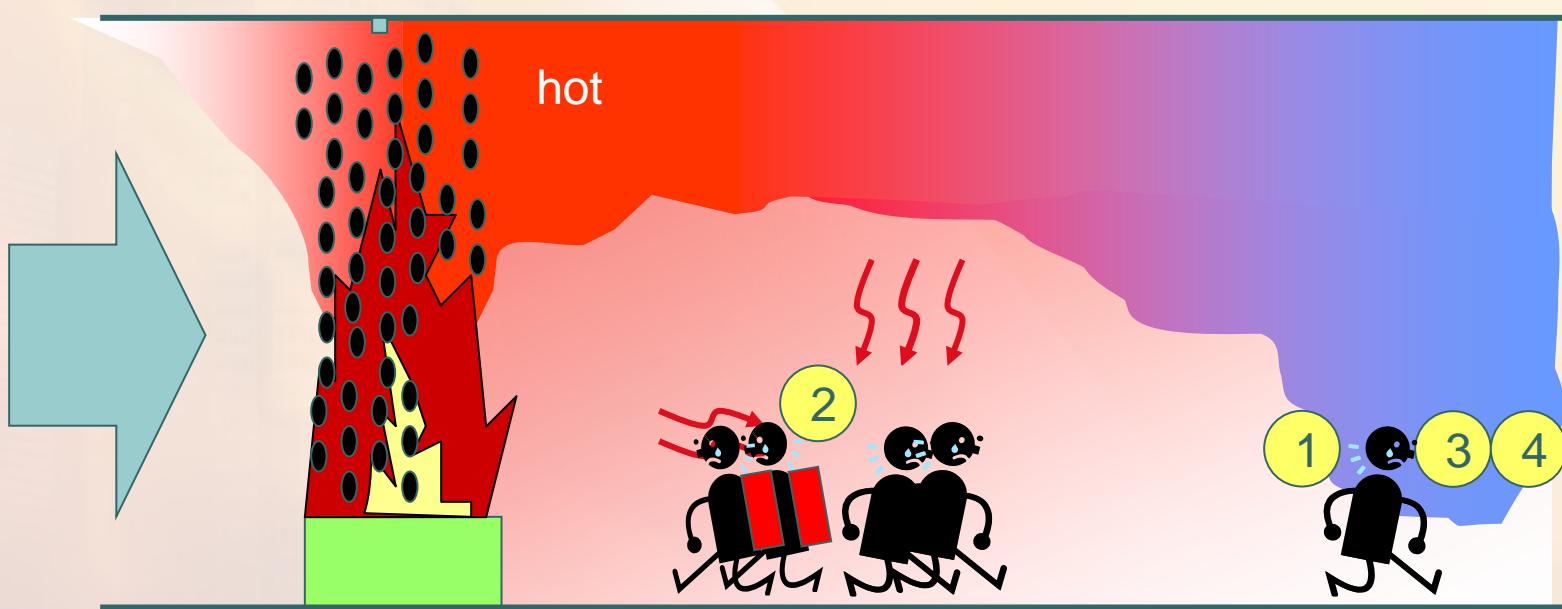


3m/s: 13% of free RHR  
5m/s: 18% del HRR inicial

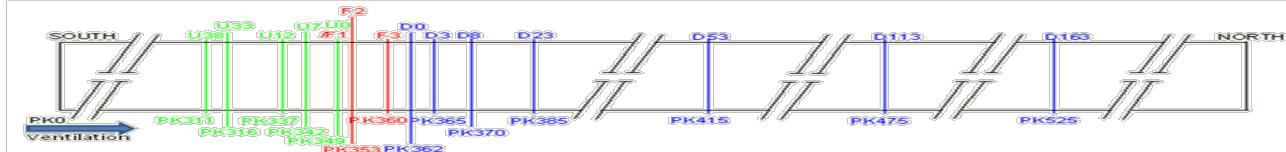
# Resultados (seguridad sobre las personas)

- 1. Temperatura de los gases :  $< 50 \text{ }^{\circ}\text{C} / < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- 2. Flujo radiativo:  $< 2.5 \text{ kW/m}^2 / 5 \text{ kW/m}^2$
- 3. Toxicidad :  $> 100 \text{ ppm CO}$
- 4. Visibilidad :  $< 10\text{m}$

*No aplica a los bomberos con aparatos de respiración*



# Resultados (visibilidad)



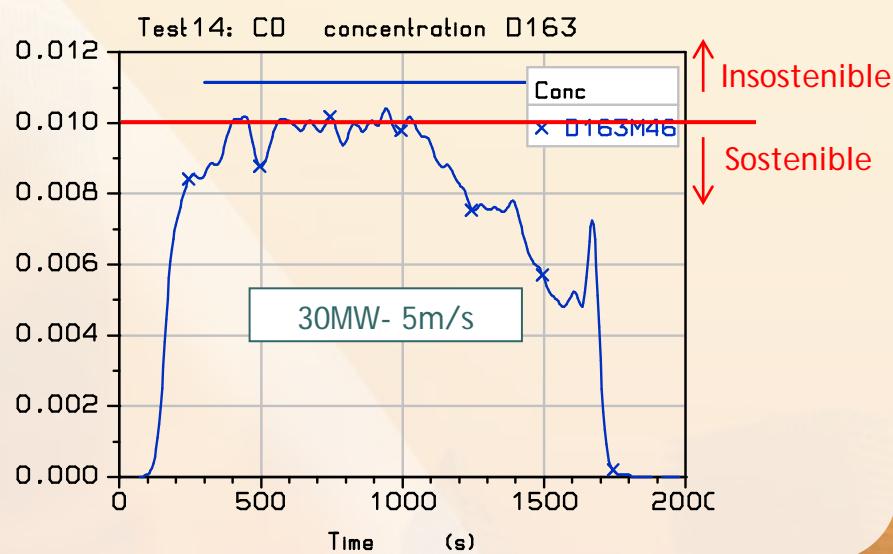
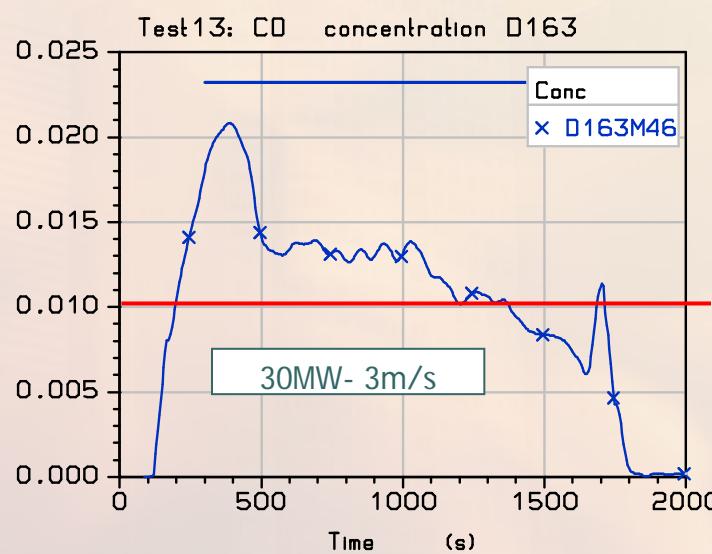
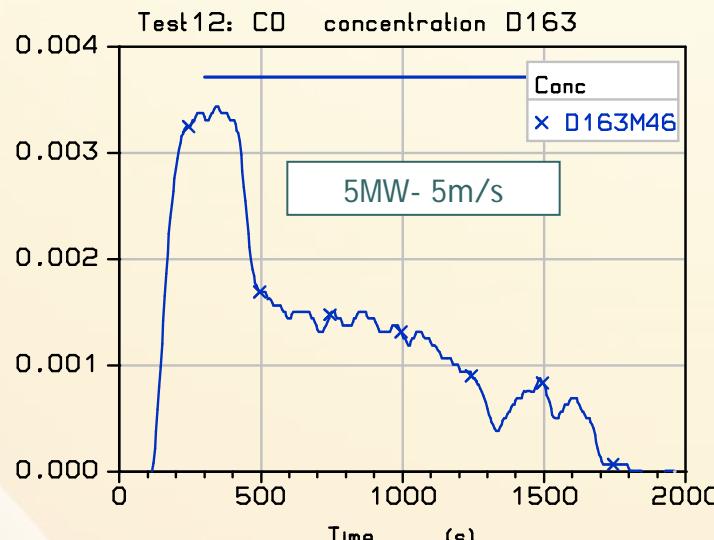
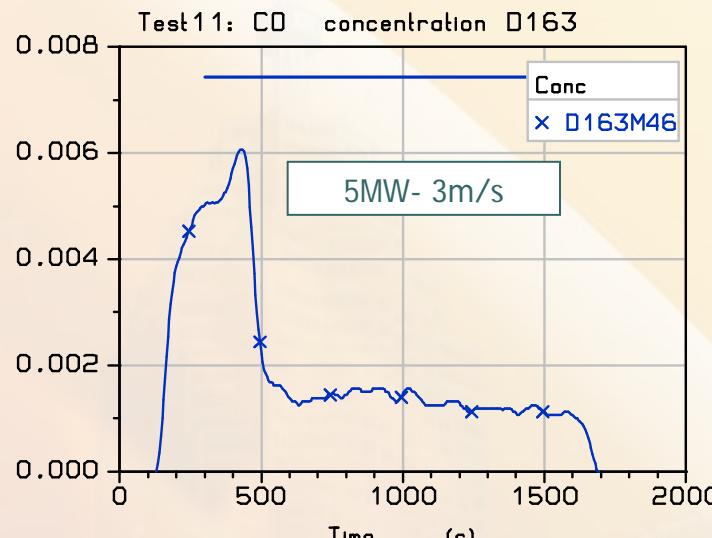
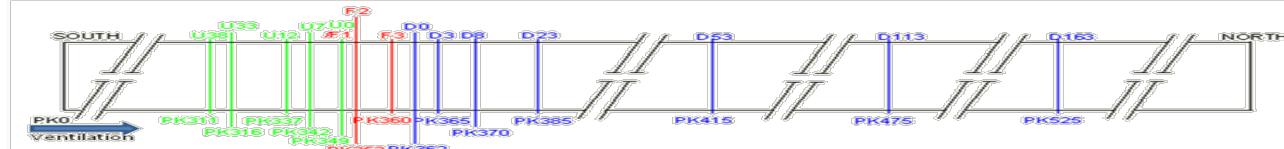
- Mayor ventilación:
  - Mayor dilución del humo -> Aumento de la visibilidad
  - PERO**
  - Mayor desestratificación -> Reducción de la visibilidad



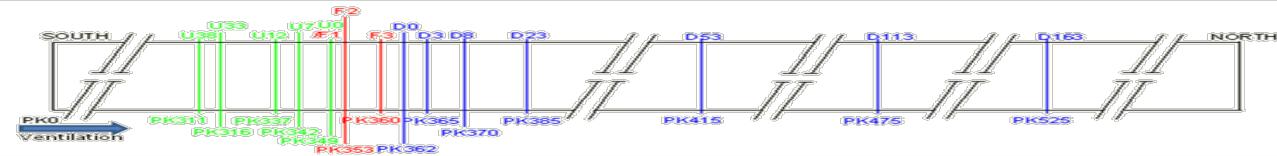
		NOT VISSIBLE AFTER [mm:ss]					
		1 pan (5MW)			6 pans (30MW)		
Distance [m]	Height [cm]	0 m/s	3 m/s	5 m/s	0 m/s	3 m/s	5 m/s
10	60	05:27	03:22	01:27	02:56	02:33	03:34
10	160	05:22	03:13	01:27	02:56	02:04	03:34
20	60	05:17	03:12	01:15	02:52	02:15	03:34
20	160	05:14	02:52	01:15	02:52	01:34	03:34
40	60	04:11	01:06	00:50	02:18	00:55	01:05
40	160	04:11	01:06	00:50	02:18	00:50	00:57

Visibility decrease due to  
WMS activation

# Resultados (toxicidad)



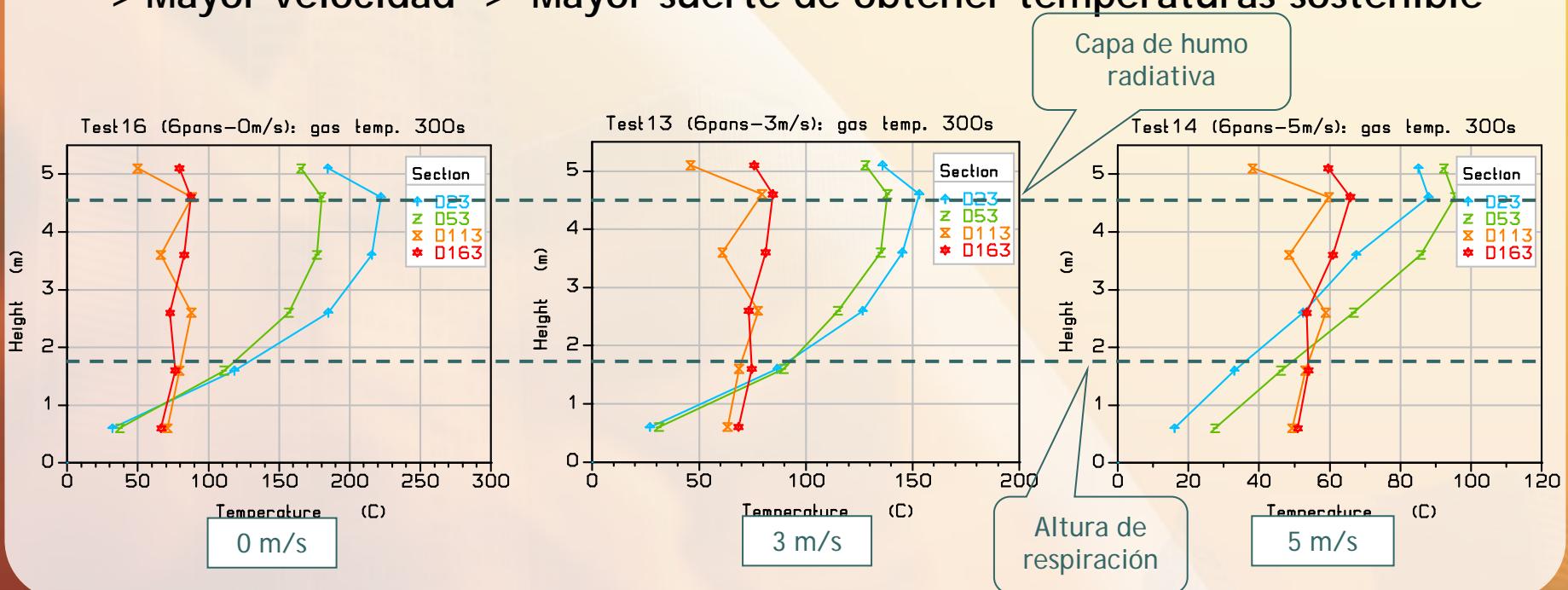
# Resultados (temperaturas)



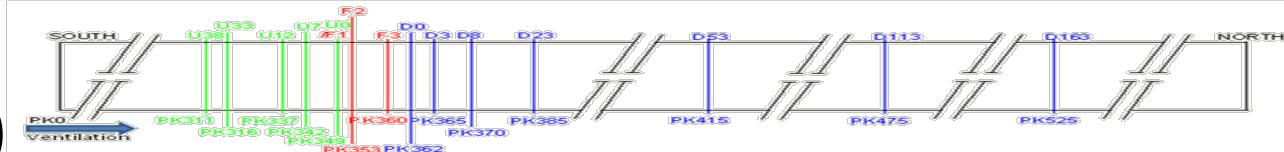
- Justo antes de la activación del sistema ( $t = 300s$ ), el nivel de temperatura para la respiración :

- Con  $V = 0m/s$  es insostenible
- Con  $V = 3m/s$  es casi insostenible
- $V = 5 m/s$ : es sostenible

-> Mayor velocidad -> Mayor suerte de obtener temperaturas sostenible

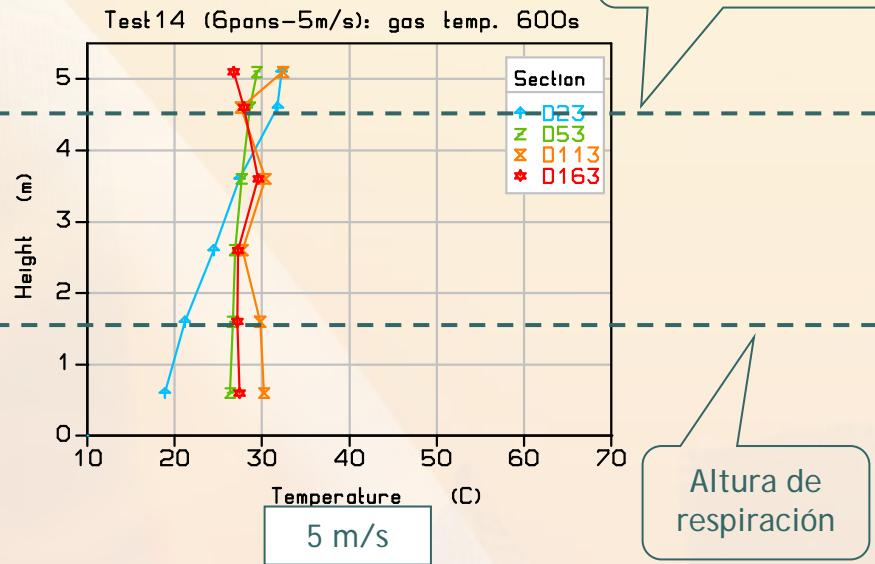
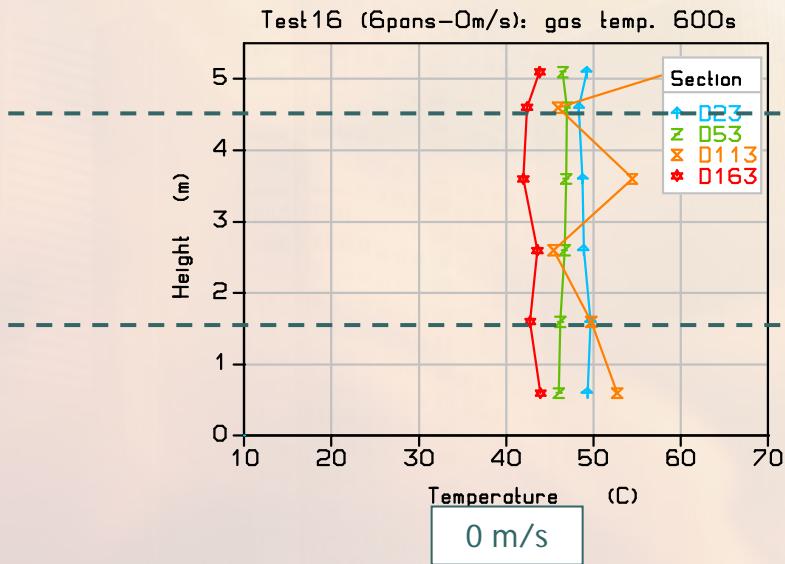


# Resultados (temperaturas)

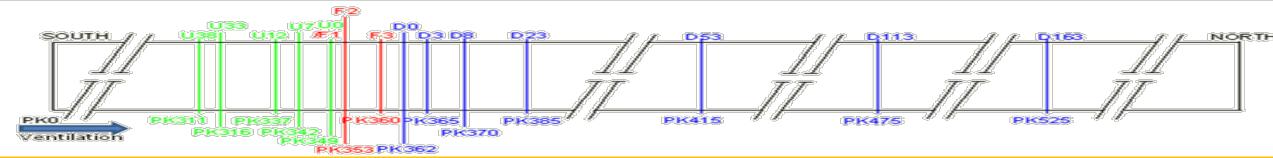


- 5 minutos después de la activación del sistema ( $t = 600s$ ), el nivel de temperatura para la respiración :
  - Con  $V = 0 \text{ m/s}$  es casi sostenible
  - Con  $V = 5 \text{ m/s}$  es sostenible

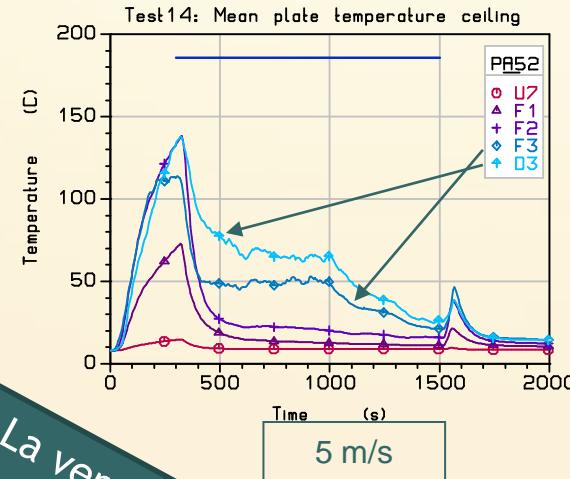
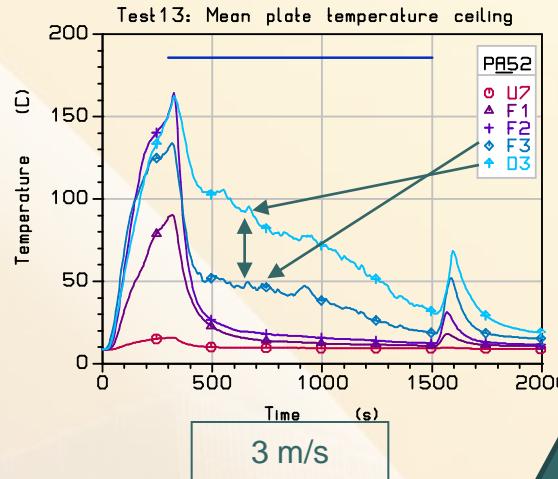
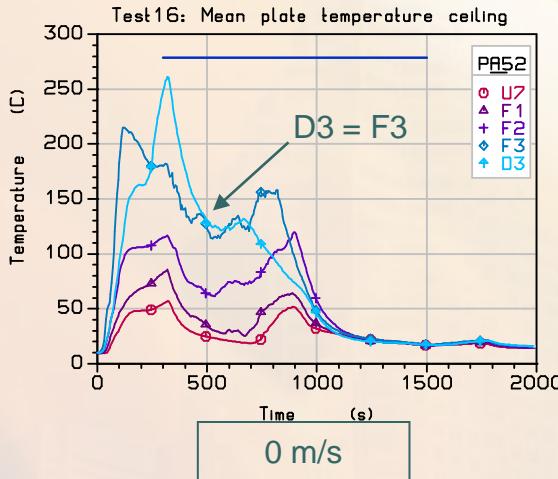
-> Mayor velocidad -> Mayor posibilidad de obtener temperaturas sostenibles



# Resultados (temperaturas)



- Acción térmica en el techo (30 MW)



La ventilación disminuye el riesgo de desconchado de hormigón

- Ventilación baja:

- Temperaturas máximas en F3 (por encima de las bandejas)
- Salto de temperatura de 250°C à 140°C en unos 2 minutos

- Ventilación moderada (3 m/s)

- Temperaturas mas altas en D3, debido a la inclinación de las llamas
- Salto de temperatura de 150°C à 100°C en unos 2 minutos

- Ventilación alta (5 m/s):

- Temperaturas mas altas en D3, debido a la inclinación de las llamas
- Salto de temperatura de 140°C à 70°C en unos 2 minutos

# Conclusiones

- El sistema es capaz de controlar el fuego de bandeja de gasóleo hasta al menos 30 MW
- La ventilación desplaza la pulverización de agua -> **Esto pone de relieve la necesidad de que el sistema se instale aguas arriba del fuego adecuadamente.**
- Antes de la activación del sistema las condiciones térmicas pueden llegar a ser insostenibles -> **Esto subraya la necesidad de una detección y activación temprana**
- Después de la activación del sistema las condiciones térmicas se vuelven sostenibles, pero el CO puede convertirse en un problema (toxicidad).
  - Con una ventilación de 3 m/s y un fuego de 30 MW no es posible permanecer en el túnel de forma indefinida, debido al nivel de CO demasiado alto.
  - Sin embargo con una ventilación de 5 m/s puede ser posible.
- La visibilidad se reduce en razón de la destratificación -> **Esto no es letal, pero puede causar desorientación y mayor tiempo de exposición a los efectos térmicos y tóxicos.**
- Una ventilación de 3 m/s disminuye significativamente la acción térmica en el techo -> **Esto puede disminuir el riesgo de desconchado de hormigón.**

Sin embargo mayor ventilación (5 m/s) no da ninguna ventaja adicional.



# EL DESCONCHADO DE HORMIGÓN EN LOS TÚNELES

# Características del fenómeno

- El mecanismo del fenómeno es complejo, se puede producir cuando la superficie del hormigón alcanza los 200°C
- Factores que pueden considerarse importantes en la aparición de este fenómeno:
  - El contenido de humedad: cuanta más cantidad de agua esté presente en el hormigón, mayor será la probabilidad de desconchado
  - La densidad del hormigón: cuanto más denso sea el hormigón mayor será la probabilidad de desconchado; generalmente la densidad está relacionada con la resistencia. Cuanto mayor sea la resistencia mayor será la densidad;
  - La carga térmica y el gradiente de temperatura sobre la sección del túnel;
  - El estado de carga: debido a los esfuerzos de compresión la probabilidad de desconchado aumenta
  - El ratio de calentamiento: cuanto mayor sea, mayor será la probabilidad de desconchado
  - Los hormigones sin protección, de alta resistencia y trabajando principalmente a compresión son los mas sensibles

# Características del fenómeno

- Las fibras de polipropileno se pueden utilizar como elemento de prevención contra el desconchado:
  - de diámetro comprendido entre 16 y 32 µm
  - de longitud entre 10 y 30 mm
  - con una concentración de 1,5 y 2 kg/m<sup>3</sup>
- El riesgo del desconchado y su efecto solo puede ser verificado a través de la realización de ensayos de fuego específicos

# Metodología de estudio



- A – Análisis de riesgo

- Estudio de la reglamentación correspondiente
- Calificación del tipo de fuego (real o normalizado)
- Definición del contexto geométrico-constructivo y ambiental



- B – Análisis termo-mecánico de la estructura

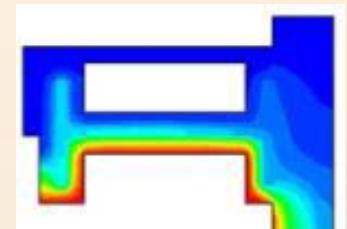
- Desarrollo del fuego y determinación de la temperatura de piel del hormigón (curvas de calentamiento normalizadas o cálculos analíticos o CFD)
- Cálculos de transferencia térmica para determinar el calentamiento de la estructura
- Cálculos mecánicos

*Aquí se necesita información sobre el comportamiento del hormigón frente al desconchado*

- C – Ensayos de desconchado (varias posibilidades)

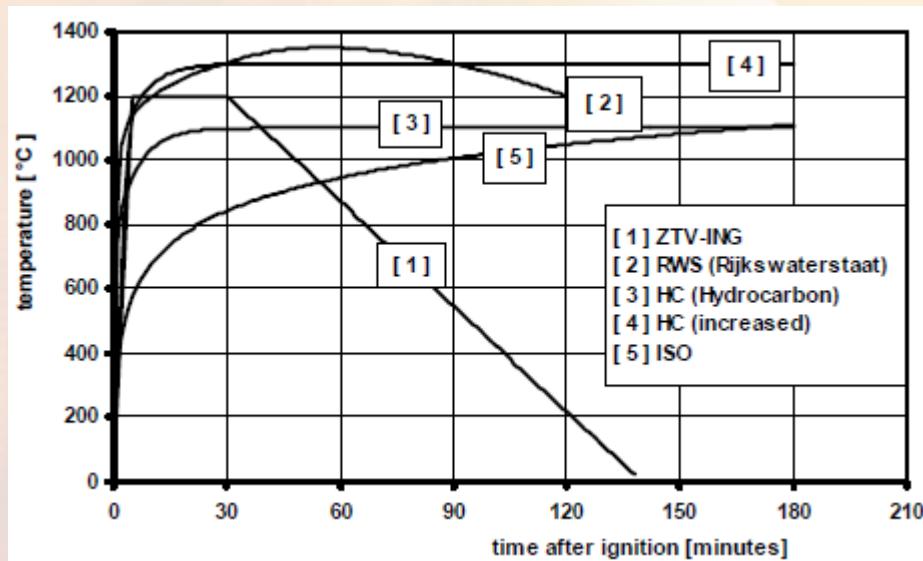


- D – Cálculos de la protección si se necesita

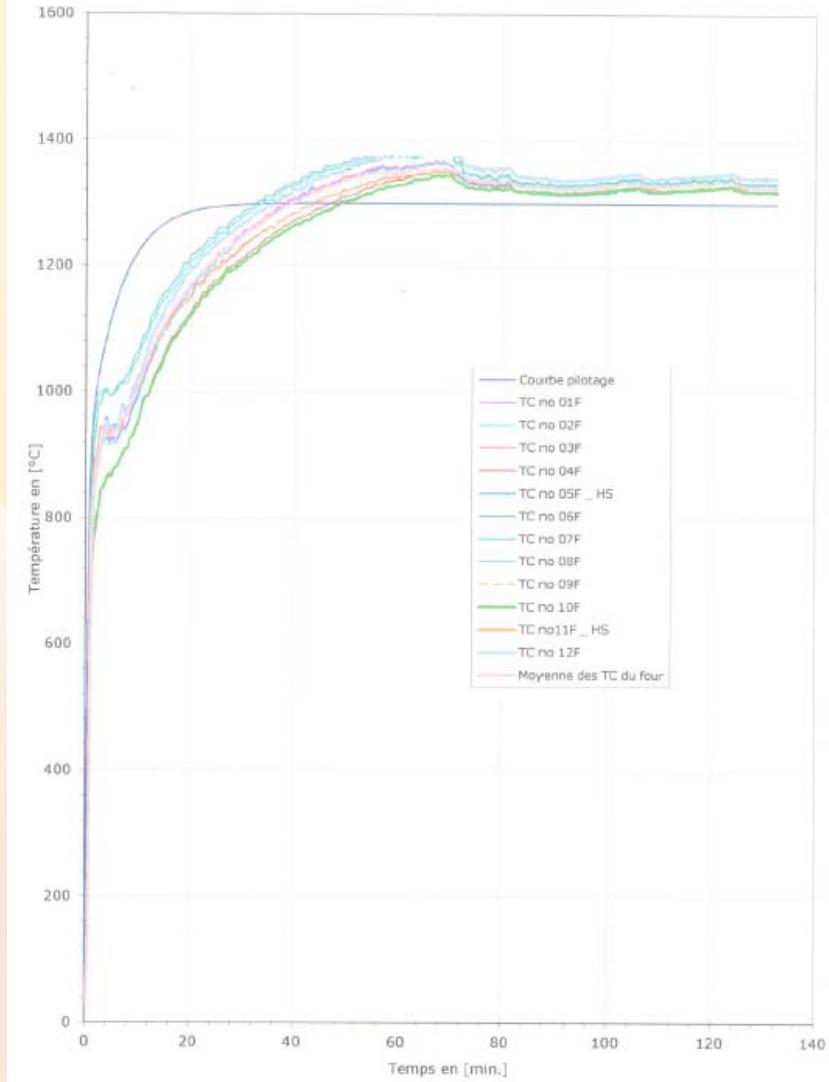
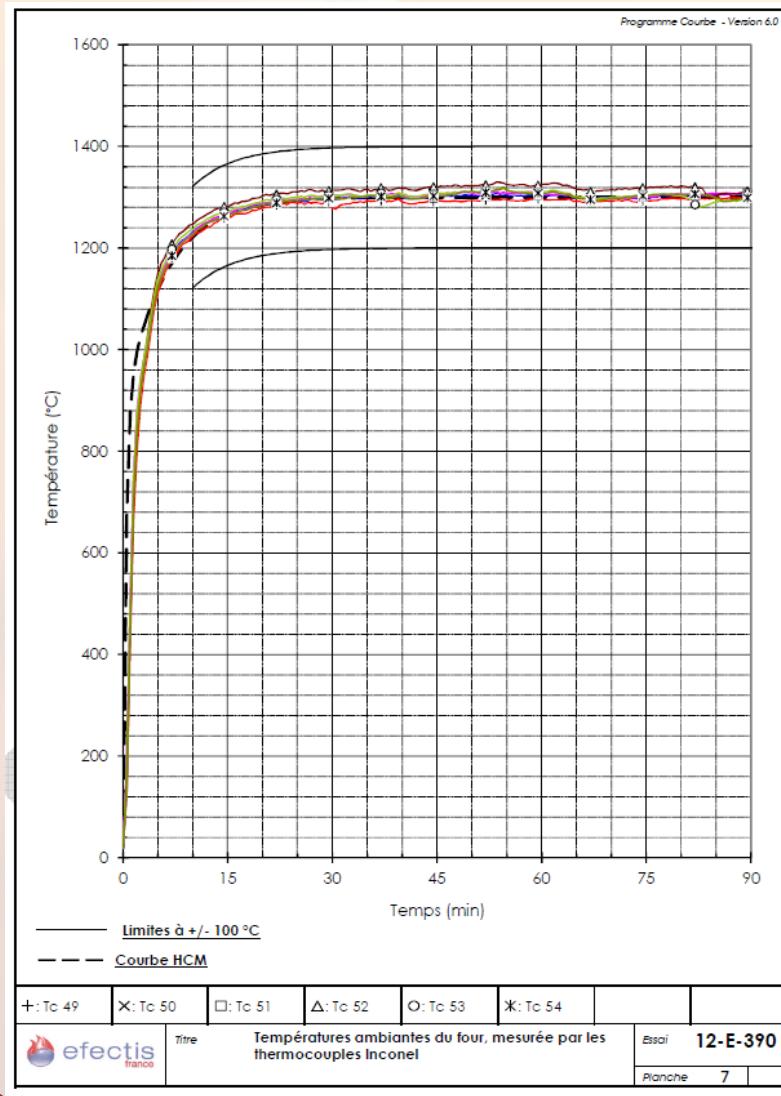


# Reglamentación

- De manera general la reglamentación exige que en caso de incendio, la integridad de la estructura de los túneles debe ser conservada durante un período de tiempo suficientemente largo para permitir el auto-rescate y evacuación de los pasajeros, así como para la intervención de los servicios de emergencia sin correr el riesgo de un colapso de la estructura (ejemplo : Directivas túneles 2008/163/CE y 2004/54/CE)



# Ejemplo de curvas HCM pilotadas en horno

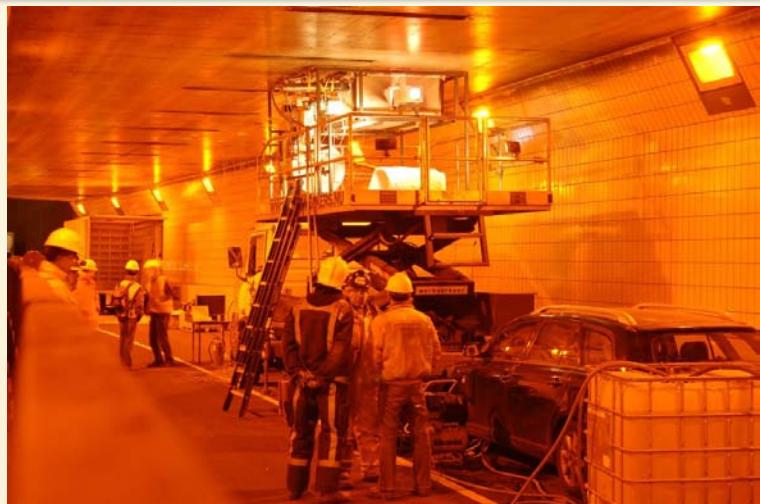


# Ensayos de desconchado

1. In situ con horno móvil (método recomendado)
2. En laboratorio, con muestras de hormigón de gran tamaño tomadas in situ
3. En laboratorio, con muestras de hormigón de pequeño tamaño tomadas in situ
4. En laboratorio, con fabricación de una nueva muestra para el ensayo de la misma formulación (si se sabe...)

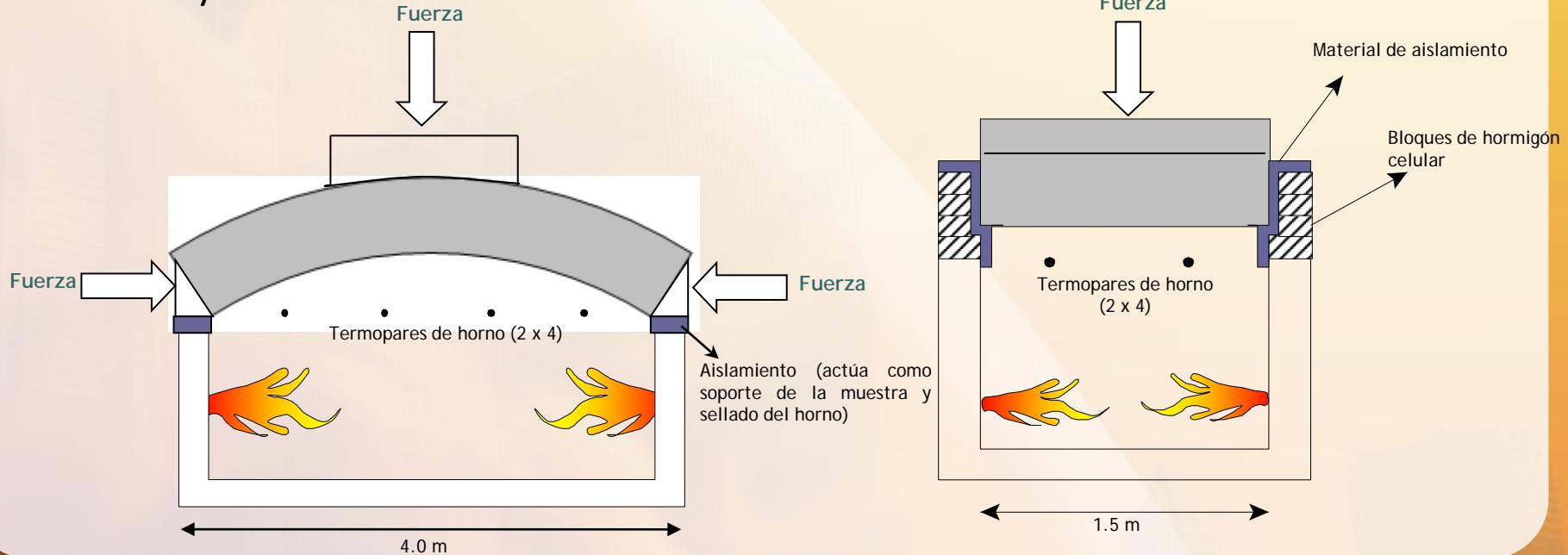
# Ensayos de desconchado : Caso n°1

- El mas representativo de la realidad  
(toma en cuenta del contexto efectivo: carga, ...)
- Rápido, fácil y poco costoso
- Destructivo pero en una superficie reducida  
y reparable



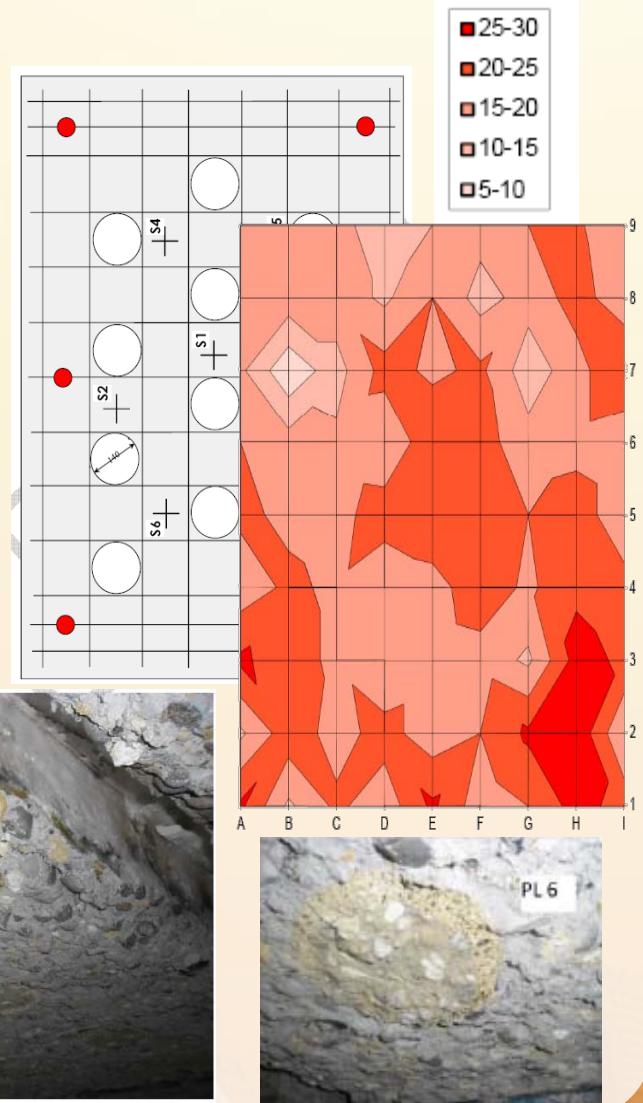
# Ensayos de desconchado : Caso nº2

- Representativo de la realidad si se carga la muestra correctamente
- Hay que sacar la muestra del túnel (obras, transporte, ...) y remplazar el trozo que falta...
- Se puede aprovechar hacer una muestra en el caso de una infraestructura nueva (tiempo de seca)
- Coste y dificultad moderados



# Ensayos de desconchado : Caso n°3

- El desconchado depende mucho del soporte de muestras recién creado (representatividad ~)
- La creación del soporte supone un largo tiempo para secar
- Hay que hacer cuidado al sacar las muestras del túnel (obras, transporte, ...) y tapar los agujeros...
- Interesante cuando no hay mas remedio y que se quiere conocer el comportamiento de hormigones diferentes al mismo tiempo
- Coste y dificultad moderados



# Ensayos de desconchado : Caso n°4

- Mismas características que el caso n°2 pero :
  - Si se trata de una muestra nueva creada especialmente para el ensayo y que el túnel existe desde hace años no se toma en cuenta en envejecimiento de la estructura.
  - La creación de la muestra supone un largo tipo de seca
- Este tipo de ensayos puede ser interesante cuando de construyen infraestructuras nuevas y que se quiere conocer el comportamiento de la receta de hormigón

Gracias por su atención  
Thanks for your attention



Maïkel LOPEZ y Mercedes LAGO  
Jefes de proyectos  
EFFECTIS

Organizadores / Organizers



Madrid, 20 – 22 de Febrero de 2013  
Centro de Convenciones Mapfre