



Education and Culture DG

Lifelong Learning Programme
LEONARDO DA VINCI



**Comportamiento frente al fuego de sistemas de
forjado colaborante de acero**

Nuevas pruebas experimentales
Olivier VASSART - Bin ZHAO

Oct. 2010



Contenido de la presentación



- **Objetivos de los nuevos ensayos de fuego**
- **Ensayos a gran escala dentro de los proyectos de**
 - **FRACOF**
 - **COSSFIRE**
- **Configuración del ensayo**
- **Resultados experimentales**
 - **Temperatura**
 - **Desplazamiento**
- **Observación y análisis**
- **Comparación con métodos de cálculo simplificado**
- **Conclusión**



Por qué más ensayos de incendio?



Objetivos

Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos de
cálculo
simplificado

Conclusión

- **Antecedentes**

- **Ensayos de fuego de Cardington**

- Excelente comportamiento frente al fuego en condiciones de fuego natural
- Max θ del acero ≈ 1150 °C, duración del fuego ≈ 60 min (> 800 °C)
- Detalles de construcción en el Reino Unido

- **Objetivos**

- Confirmar un comportamiento similar con una duración de fuego superior (al menos 90 minutos de fuego ISO)
- Investigar el impacto de diferentes detalles de construcción, como la malla de acero de armadura y la protección contra el fuego de las vigas de los extremos
- Validar diferentes herramientas de ingeniería de seguridad



- **Ensayo FRACOF**

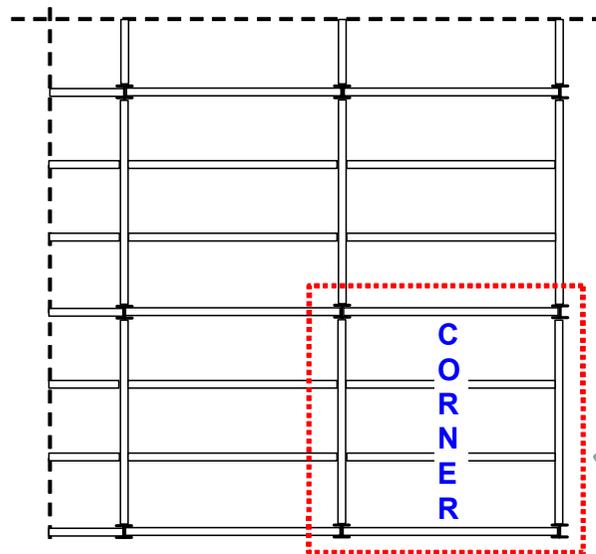
Objetivos

Configuración del ensayo

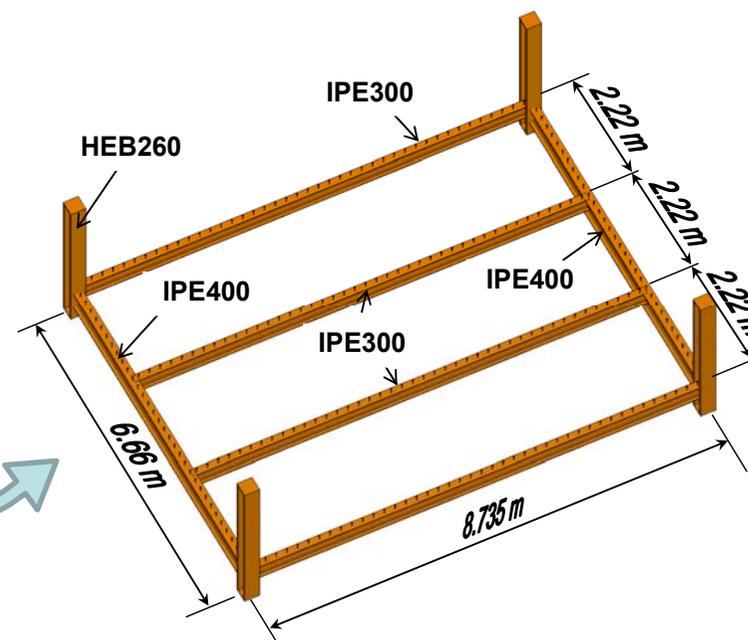
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



Red estructural de un edificio real



Armazones de acero aprobados para el ensayo de fuego FRACOF



- **Ensayo COSSFIRE**

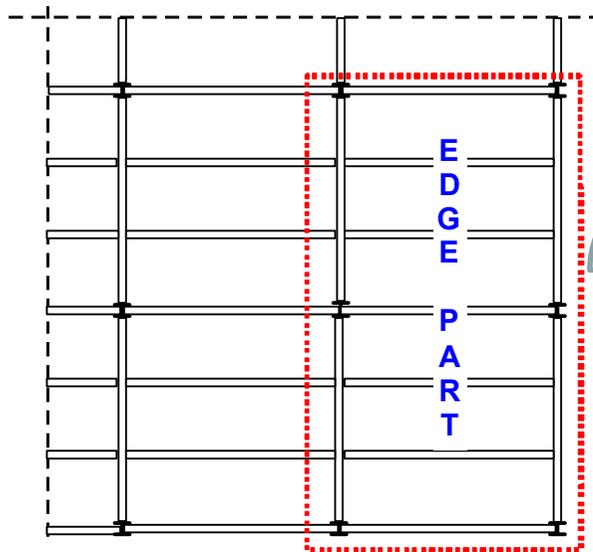
Objetivos

Configuración del ensayo

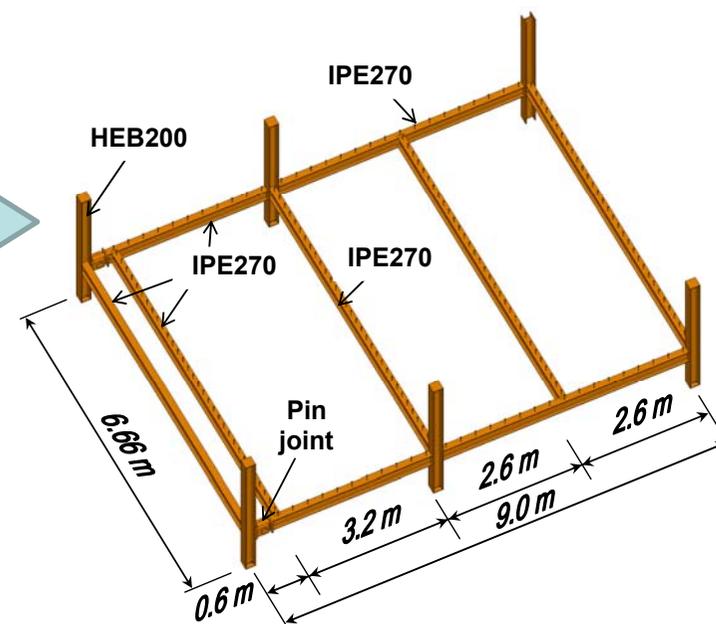
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



Red estructural de un edificio real



Armazones de acero aprobados para el ensayo de fuego COSSFIRE



- **Sistemas finales de forjado colaborante**

Objetivos

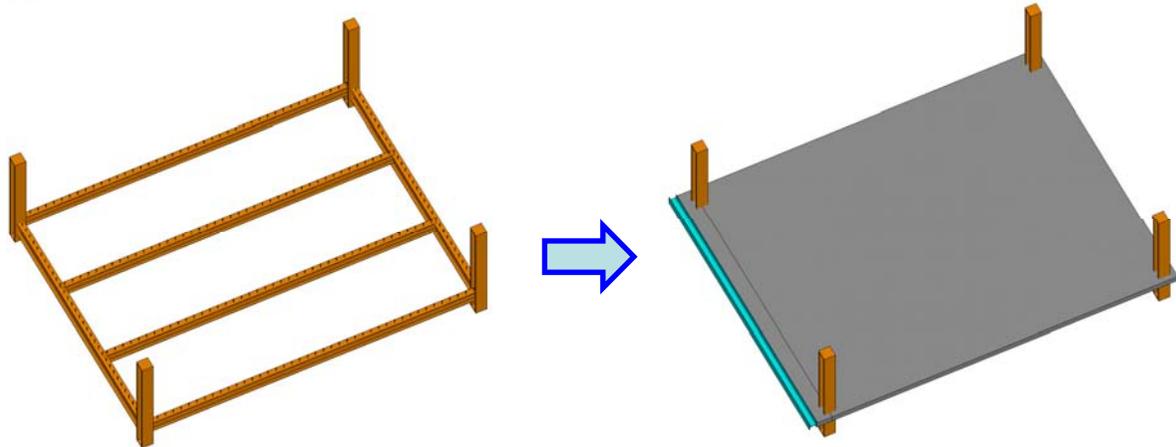
Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

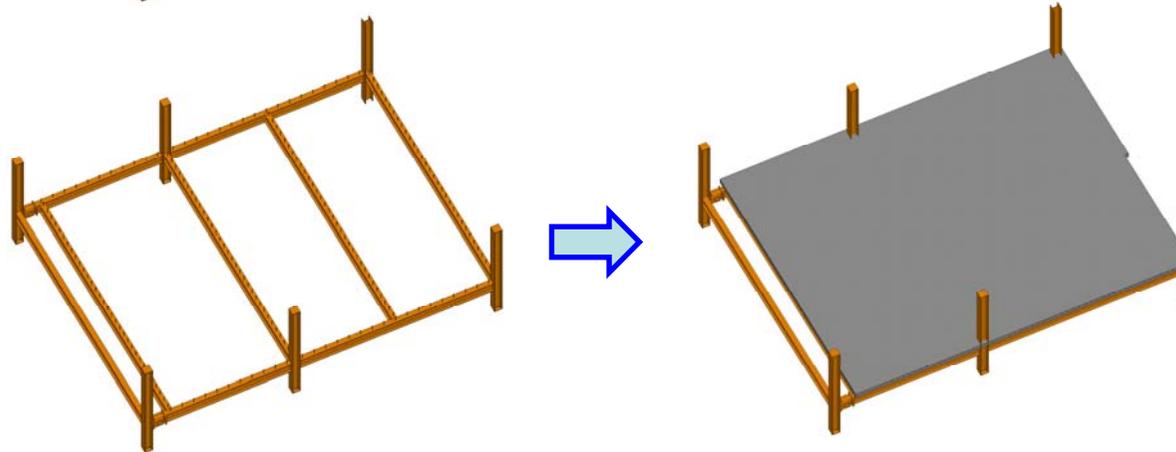
Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

FRACOF



COSSFIRE





Objetivos

**Configuración
del ensayo**

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

- **Armazón de acero**
 - Vigas colaborantes de acero y hormigón
 - **Según el Eurocódigo 4 parte 1-1 (EN1994-1-1)**
 - Columnas cortas de acero

- **Forjado colaborante**
 - Profundidad total
 - **Según el Eurocódigo 4 parte 1-2 (EN1994-1-2)**
 - Malla de acero de armadura
 - **Basada en normas de cálculo simplificado**

- **Juntas de acero**
 - Juntas de uso habitual: doble ángulo y chapa de borde
 - **Según el Eurocódigo 3 parte 1.8 (EN1993-1-8)**



Objetivos

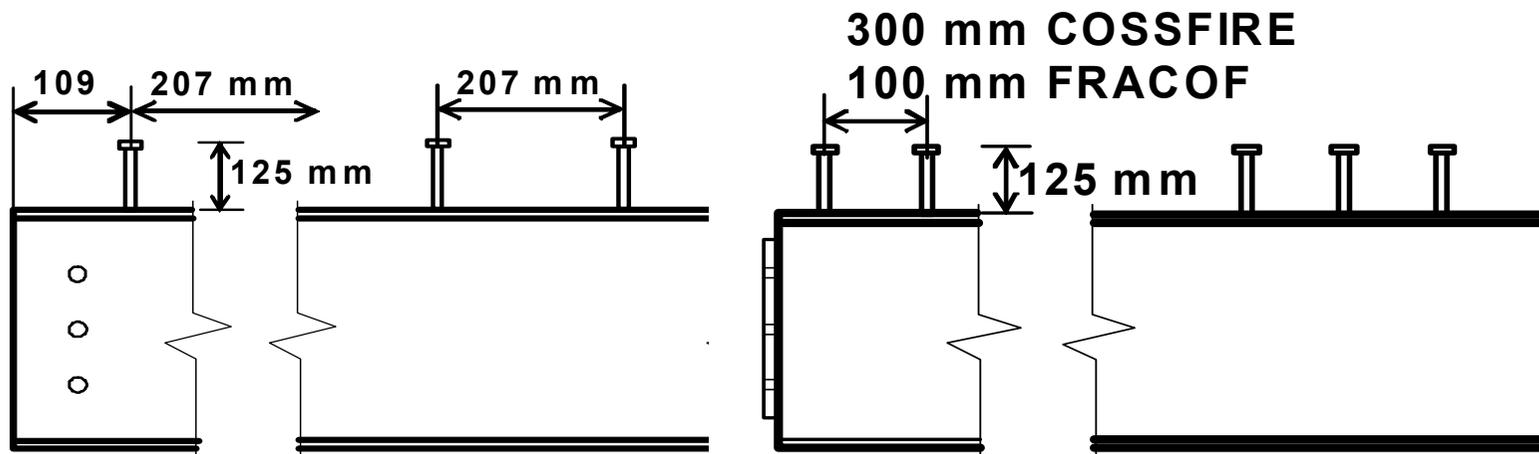
Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

- Disposición de los puntales con cabezal en las vigas de acero



Vigas secundarias

Vigas principales

- Tipo de puntales de acero
 - TRW Nelson KB 3/4" – 125 ($\Phi = 19\text{mm}$; $h = 125\text{ mm}$; $f_y = 350\text{ N/mm}^2$; $f_u = 450\text{ N/mm}^2$)



Juntas de acero



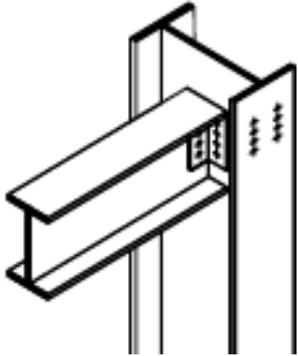
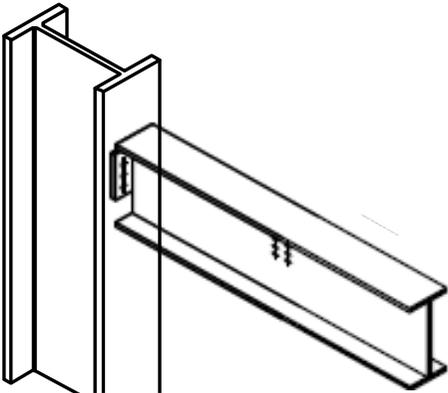
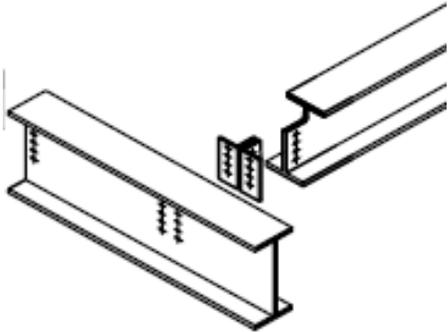
Objetivos

**Configuración
del ensayo**

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

Viga a columna		Viga a viga
Viga secundaria	Viga principal	
Uniones angulares de doble ángulo	Chapa de borde flexible	Uniones angulares de doble ángulo
		

Grado de los pernos de acero: 8,8

Diámetro del perno de acero: > 20 mm



Dimensiones de los elementos estructurales



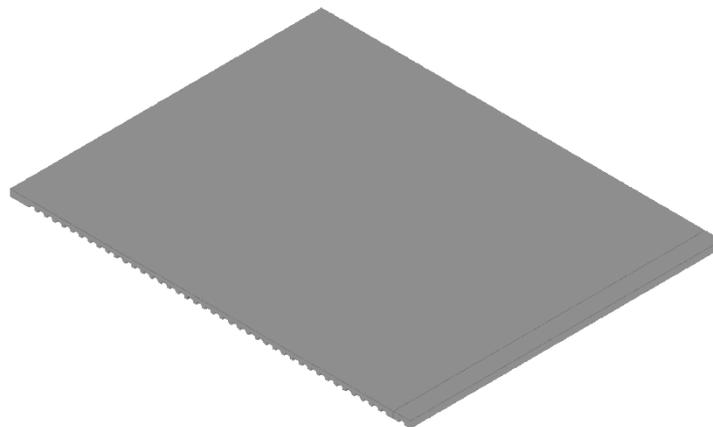
Objetivos

Configuración del ensayo

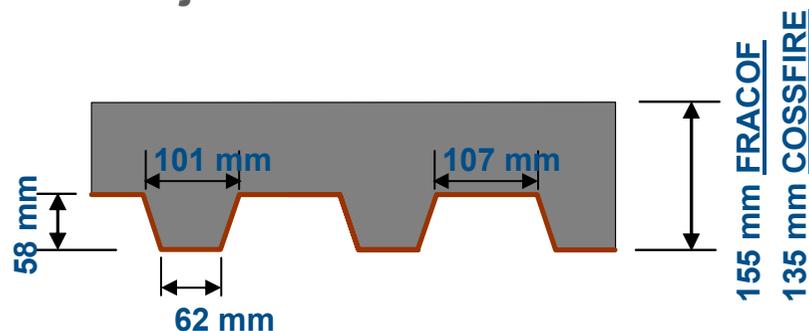
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

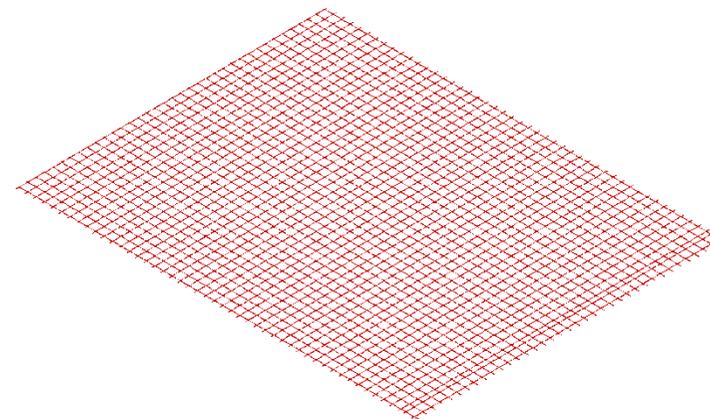


Forjado colaborante



Cubierta de acero: COFRAPLUS60 – 0,75 mm

Calidad del hormigón: C30/37



Malla de acero de armadura

Luz de malla: 150x150

Diámetro: > 7 mm

Grado de acero: S500

Distancia del eje desde la parte superior del forjado:

• 50 mm FRACOF

• 35 mm COSSFIRE



Condiciones de carga mecánica



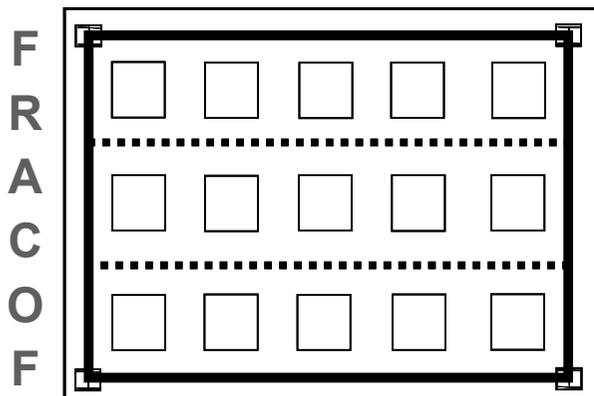
Objetivos

Configuración
del ensayo

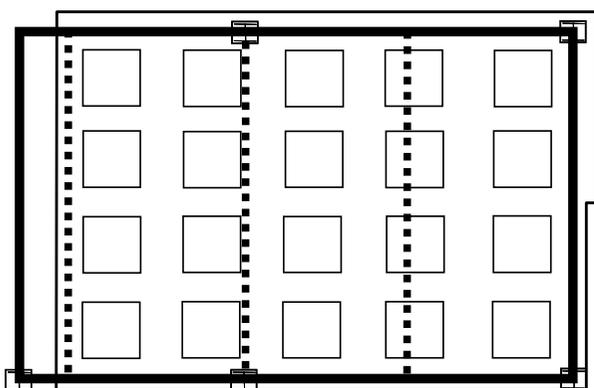
Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión



**15 sacos de
arena de 1512
kg
Carga
uniforme
equivalente:
390 kg/m²**



**20 sacos de
arena de 1098
kg
Carga
uniforme
equivalente:
393 kg/m²**

COSSFIRE



Preparación del ensayo de fuego FRAGOF



Objetivos

**Configuración
del ensayo**

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

1 →



2 →



3 →



4 →





Comportamiento del forjado durante el fuego

Objetivos

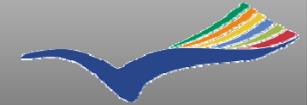
Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Objetivos

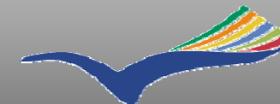
Configuración
del ensayo

**Resultados
experimentales
y observación**

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

- **Temperatura del fuego**
- **Calentamiento de vigas de acero desprotegidas**
- **Calentamiento de elementos de acero protegidos**
- **Calentamiento del forjado colaborante**
- **Flecha del forjado**
- **Observaciones del comportamiento de los sistemas de forjado colaborante**
 - **Agrietamiento del hormigón y aplastamiento del hormigón**
 - **Fallo de la malla de acero de armadura durante el ensayo**
 - **Colapso de las vigas de extremo**



- **Temperatura del fuego**

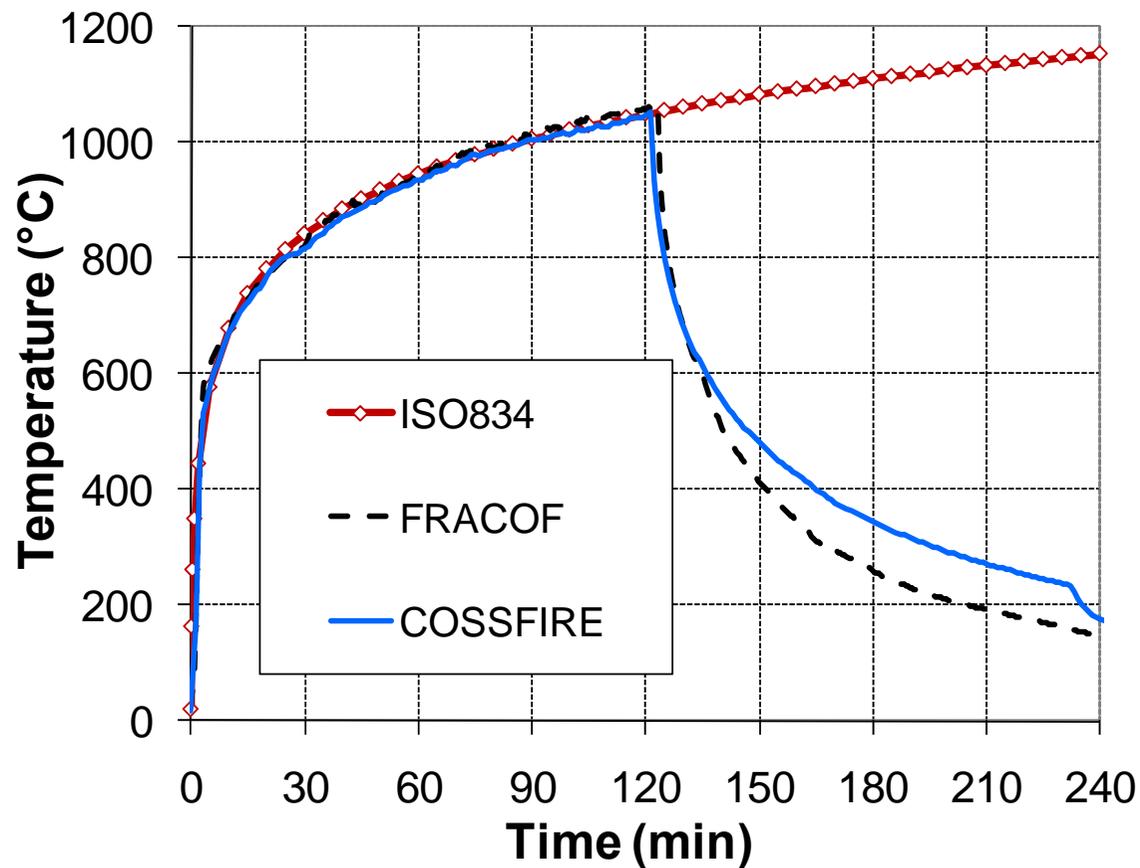
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





- **Calentamiento de vigas de acero sin proteger**

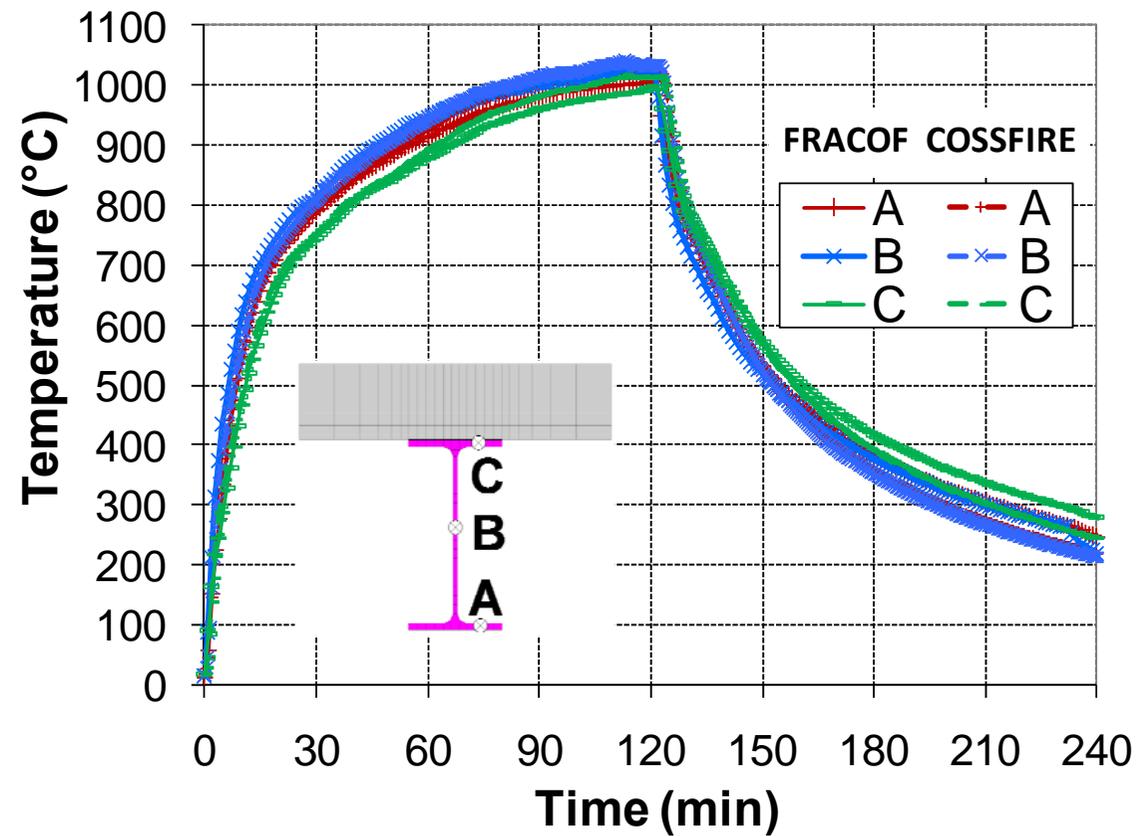
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Objetivos

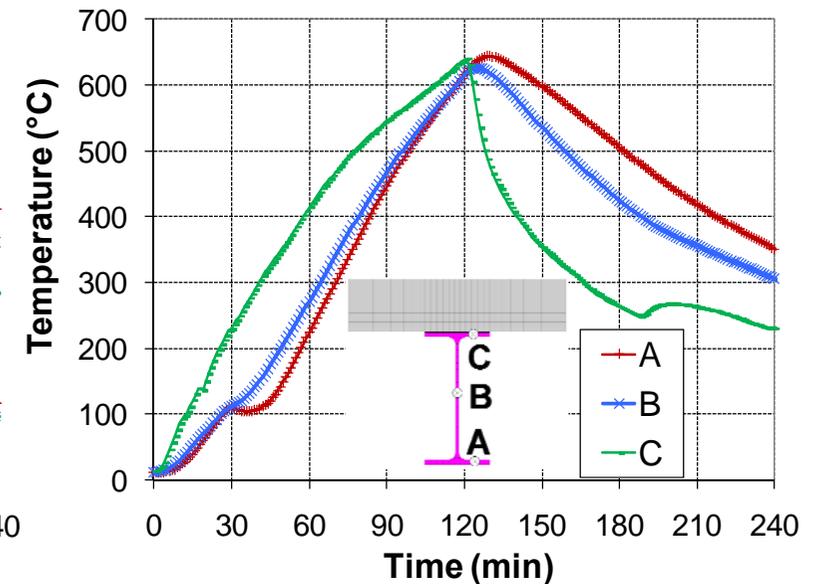
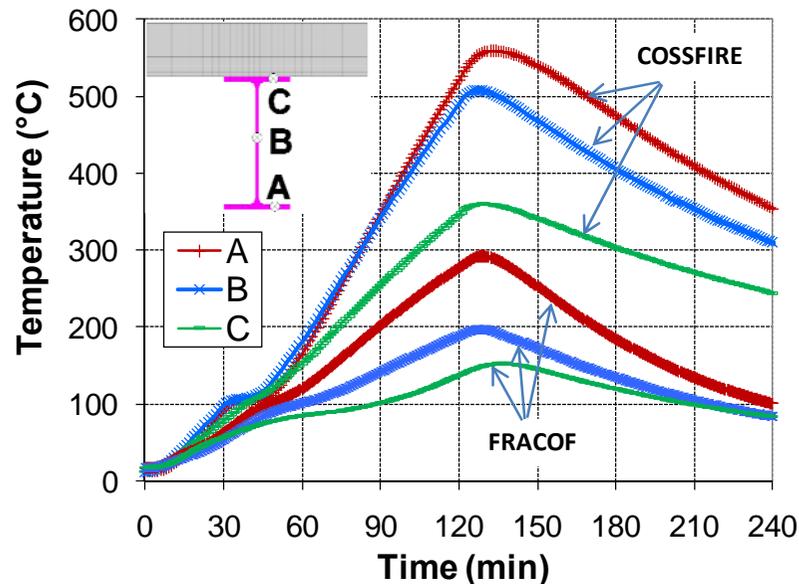
Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

- **Calentamiento de vigas de acero protegidas**



- **Observación**

- Vigas a una temperatura muy superior en el ensayo COSSFIRE ≈ 550 °C, una viga secundaria superó los 600 °C



Resultados experimentales



- **Calentamiento del forjado colaborante**

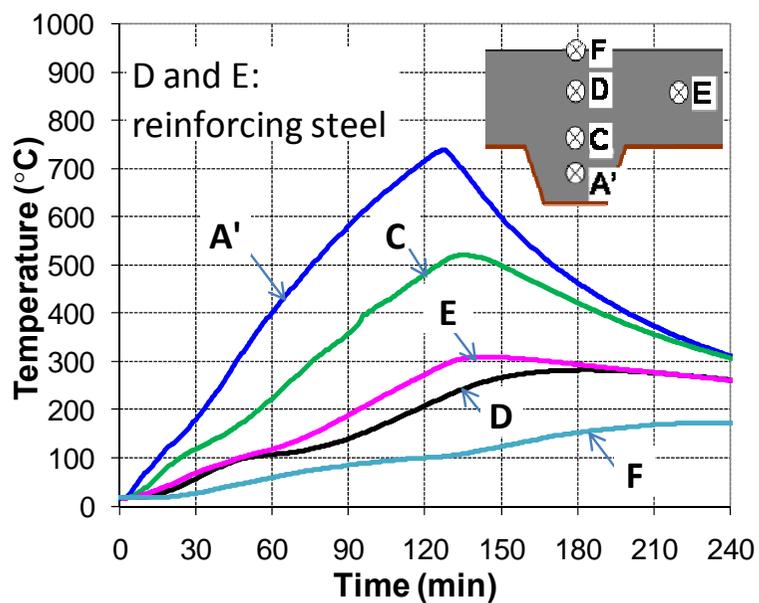
Objetivos

Configuración del ensayo

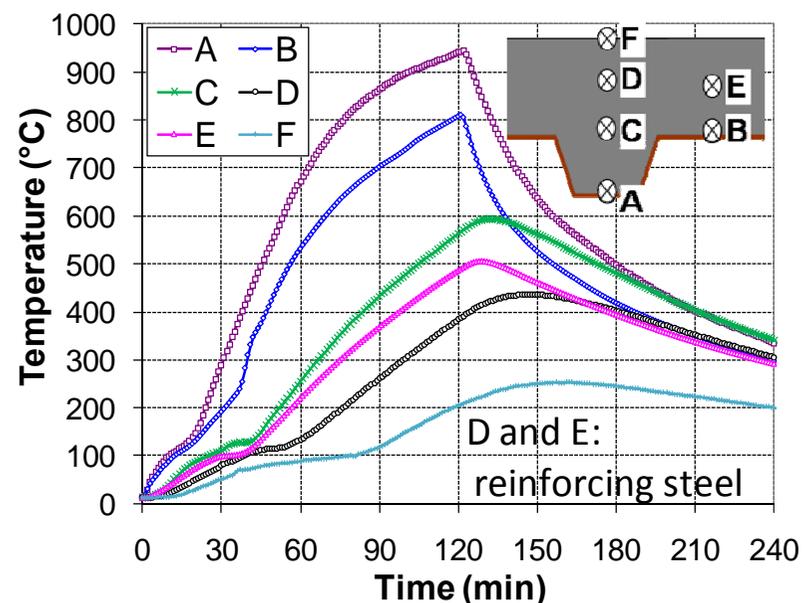
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



FRACOF



COSSFIRE



- Transductores de desplazamiento para la flecha

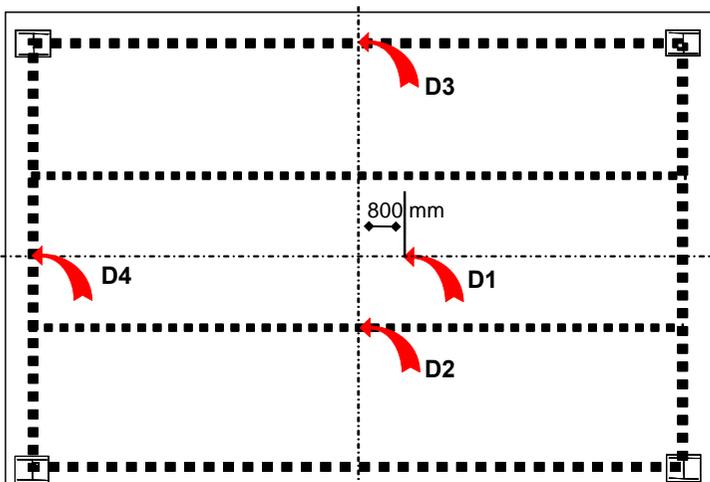
Objetivos

Configuración del ensayo

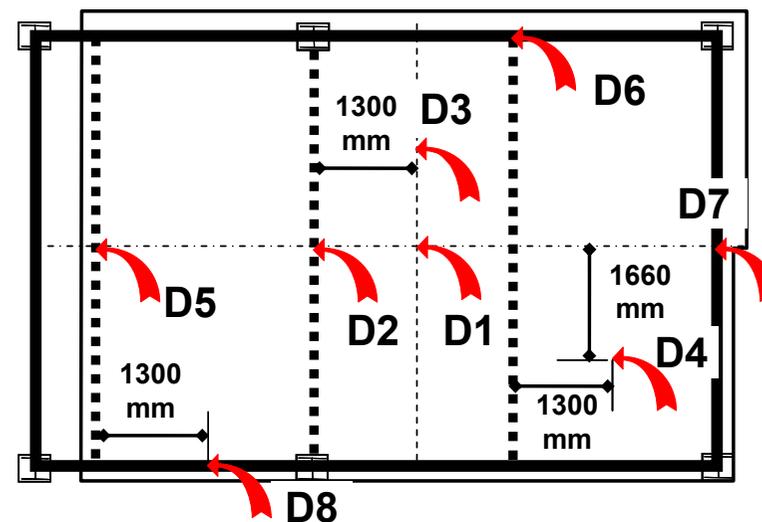
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



FRACOF



COSSFIRE



Resultados experimentales



- Flecha de los forjados

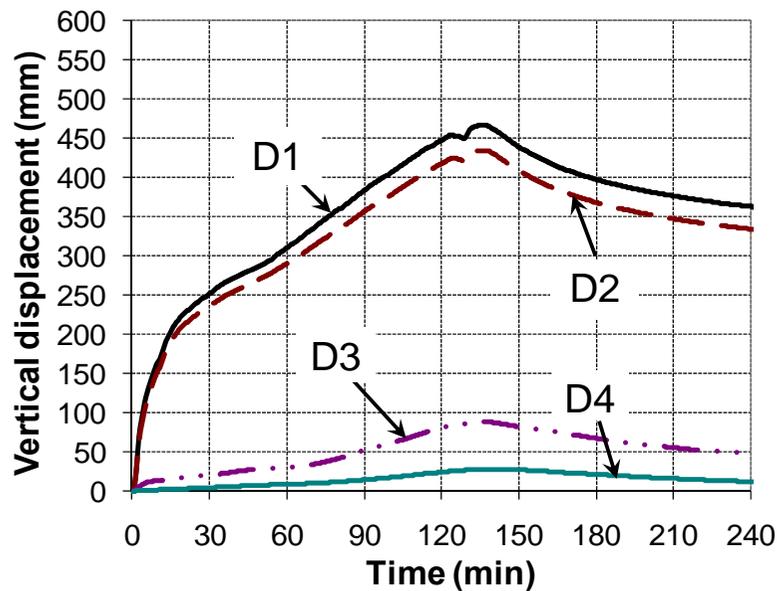
Objetivos

Configuración del ensayo

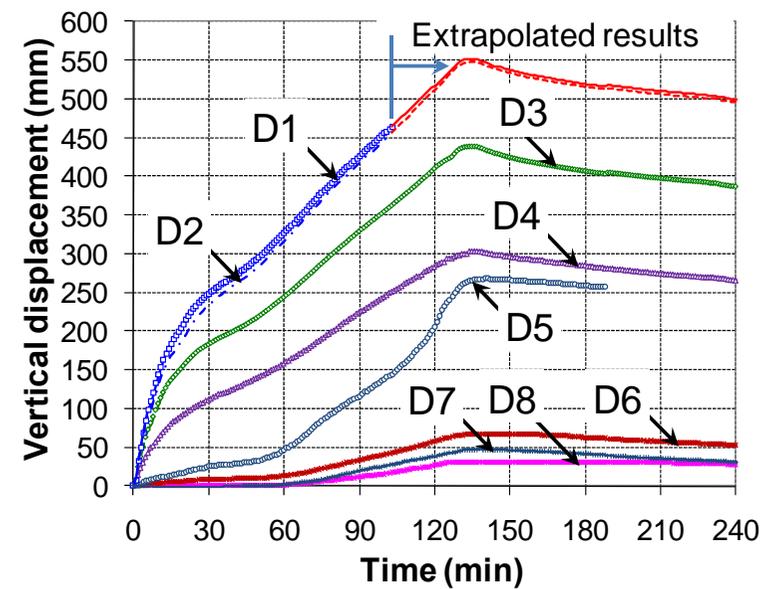
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



FRACOF



COSSFIRE



- **Agrietamiento del hormigón (FRACOF)**

Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



- **Observación**

- **Excelente estabilidad global del forjado a pesar del fallo de la malla de acero de armadura**



- **Trituración del hormigón (COSSFIRE)**

Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



- **Observación**

- La estabilidad global del forjado se mantiene adecuadamente a pesar del fallo de una viga de extremo



Comparación con normas de cálculo simplificado

Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos de cálculo simplificado

Conclusión

	FRACOF		COSSFIRE	
	Ensayo	Métodos de cálculo simplificado	Ensayo	Métodos de cálculo simplificado
Clasificación de fuego (min.)	➤ 123(*)	120	➤ 120(*)	96

(*) Se paró el ensayo sin fallo global de resistencia del forjado

- **Observación**
 - Resultados experimentales:
 - **Clasificación de fuego > 120 minutos**



Objetivos

Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos de
cálculo
simplificado

Conclusión

- **Conclusiones generales con respecto a los nuevos ensayos de fuego**
 - **Excelentes resultados de los sistemas de forjado colaborante, manteniendo la acción de membrana durante largas exposiciones a fuego ISO (>120 minutos)**
 - **Alto nivel de resistencia del sistema de forjado colaborante a pesar de ciertos fallos locales**
 - **Hay que prestar una atención específica a los detalles de construcción con respecto a la malla de acero de armadura para garantizar unos buenos resultados de los criterios de integridad**
 - **El método de cálculo simplificado resulta seguro en vista de los resultados del ensayo**
 - **No hay señales de fallo durante la fase de enfriamiento de los sistemas de forjado colaborante**