



Comportamiento frente al fuego de sistemas de forjado colaborante de acero

Nuevas pruebas experimentales

Dic. 2012



Contenido de la presentación



- **Objetivos de los nuevos ensayos de fuego**
- **Ensayos a gran escala dentro de los proyectos de**
 - FRACOF (Test 1 Fuego ISO)
 - COSSFIRE (Test 2 Fuego ISO)
 - FICEB (Test 3 Fuego Natural y Vigas Alveolares)
- **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



- Test 1 (FRACOF)

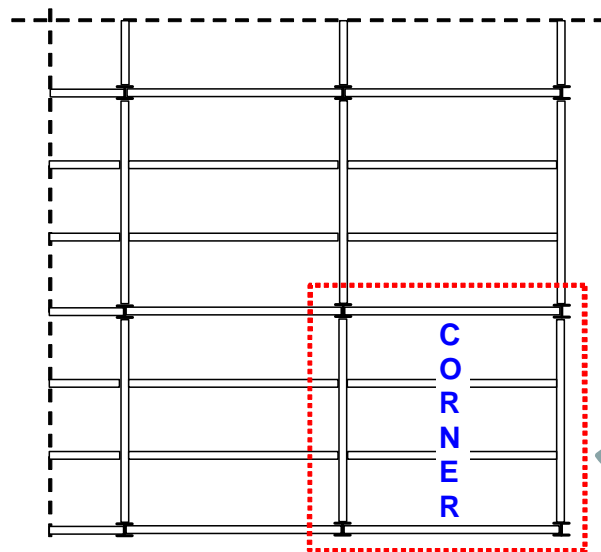
Objetivos

Configuración
del ensayo

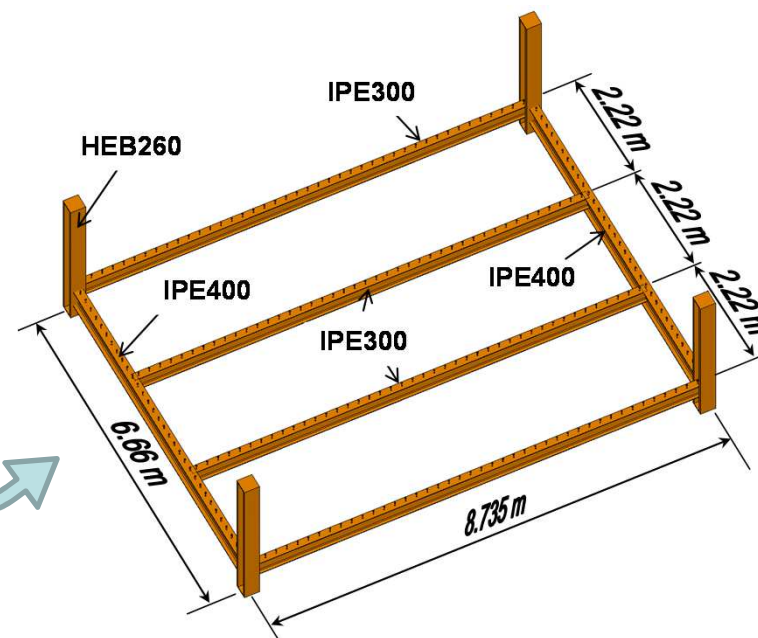
Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión



**Red estructural
de un edificio real**



**Secciones de acero
adoptados para el
ensayo de fuego Test 1**



- **Test 2 (COSSFIRE)**

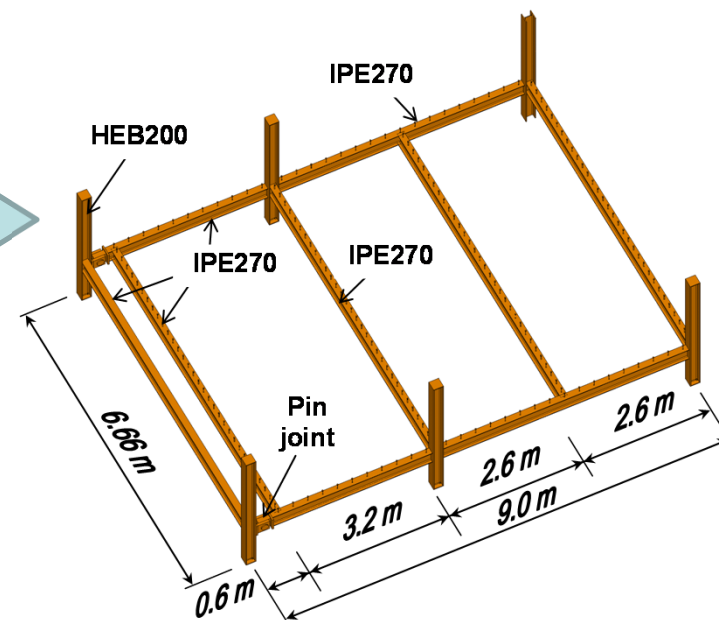
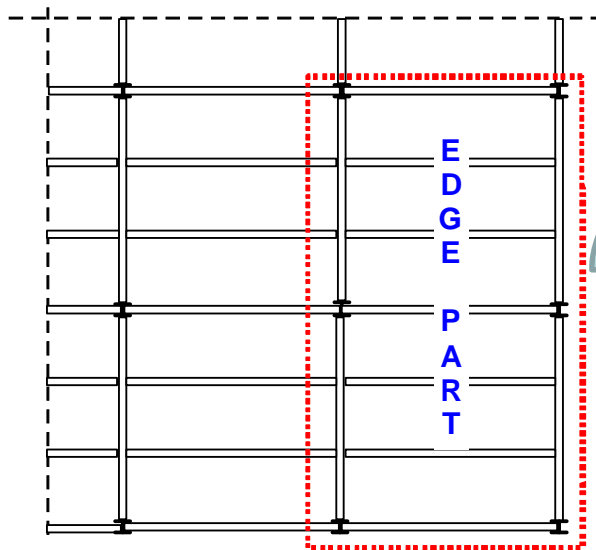
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



Red estructural de un edificio real

Secciones de acero adoptados para el ensayo de fuego Test 2



- **Sistemas finales de forjado colaborante**

Objetivos

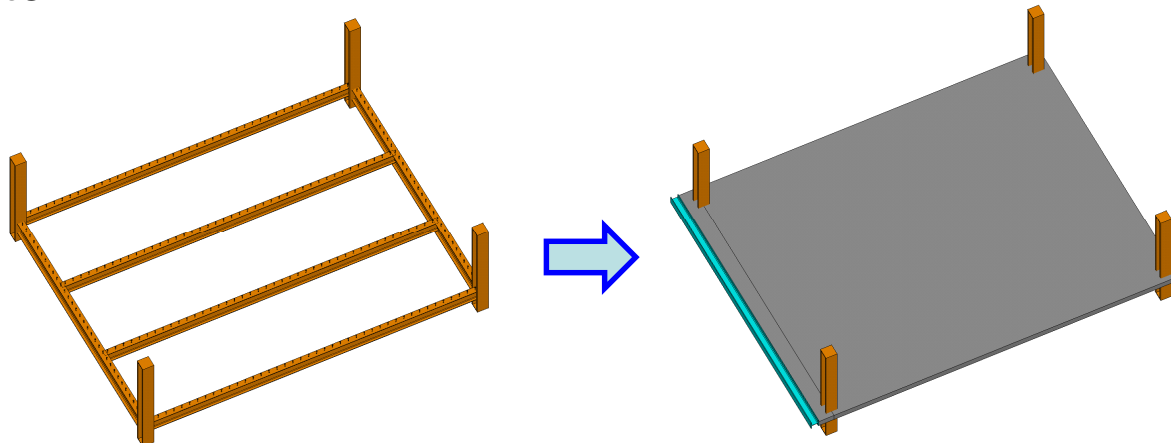
Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

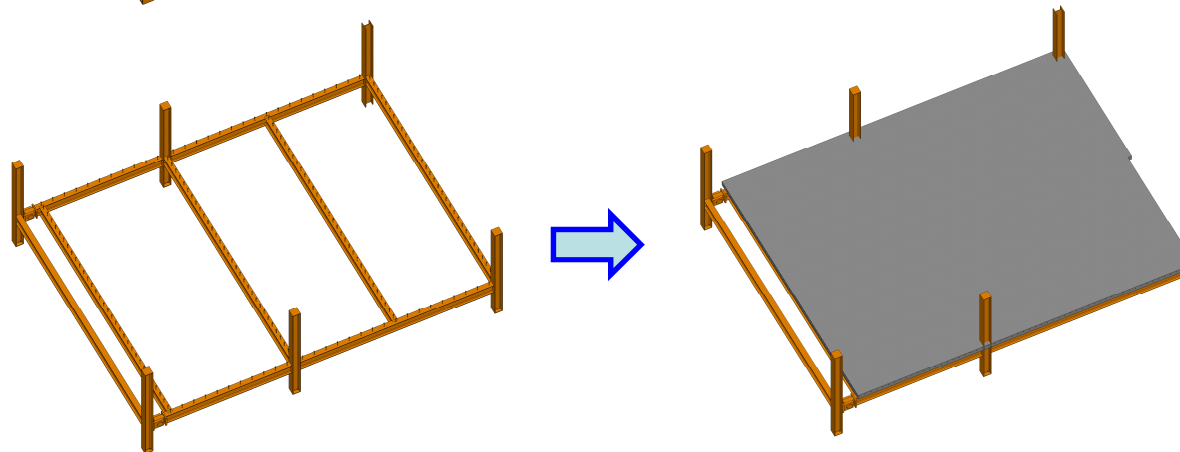
Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

TEST 1



TEST 2





Objetivos

Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

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



Objetivos

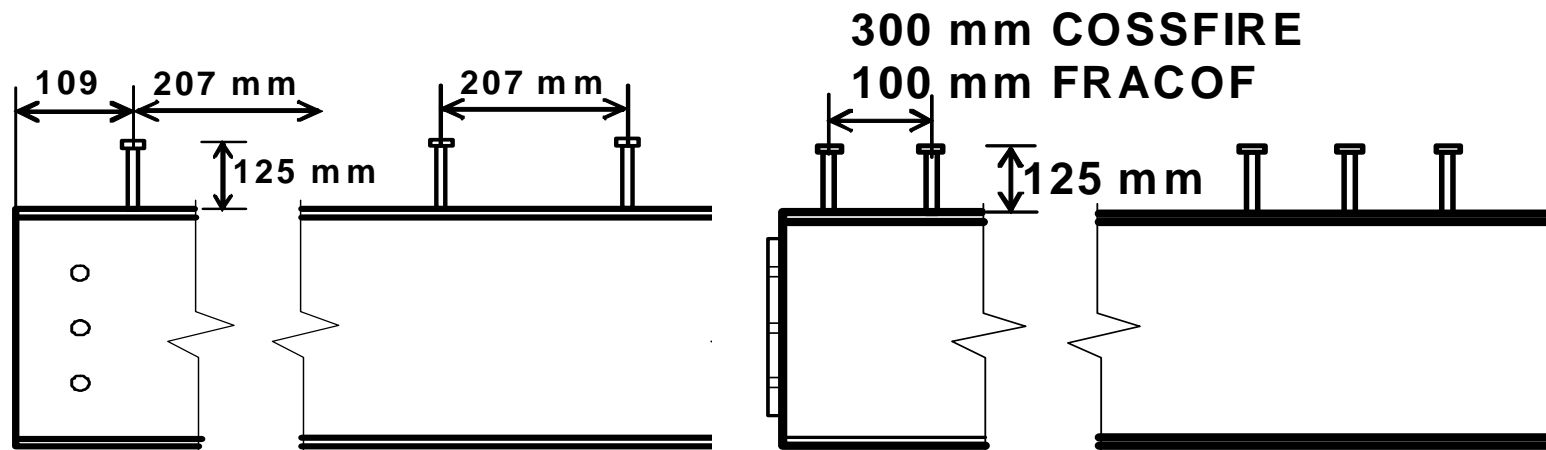
Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión

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



Vigas secundarias

Vigas principales

- Tipo de conectores 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



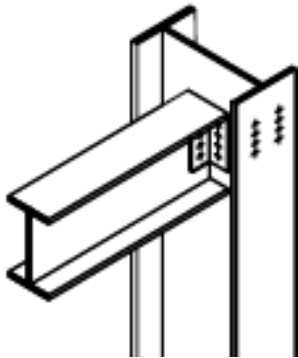
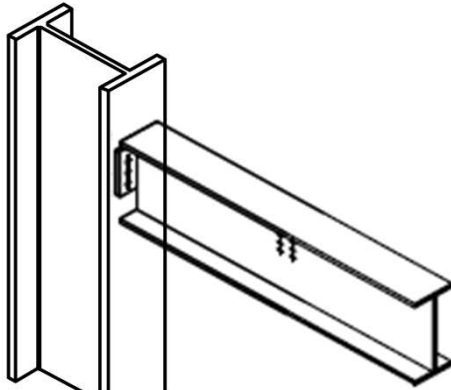
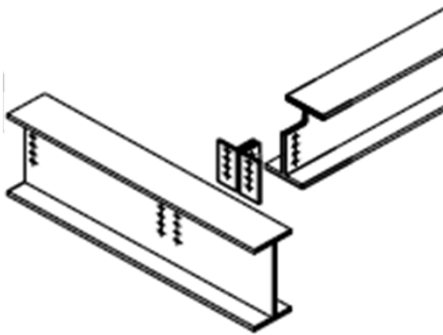
Objetivos

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



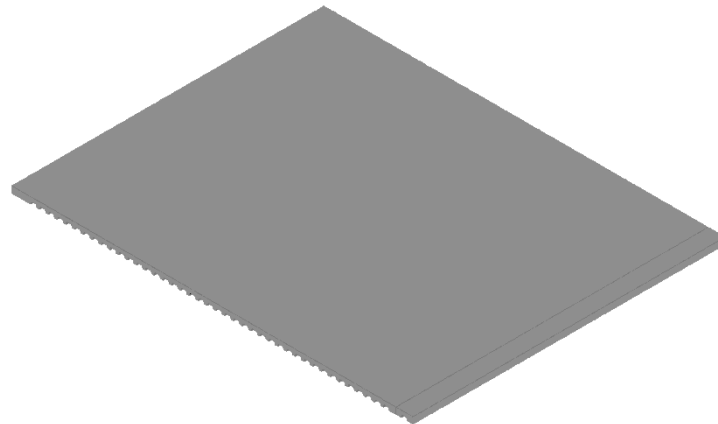
Objetivos

Configuración del ensayo

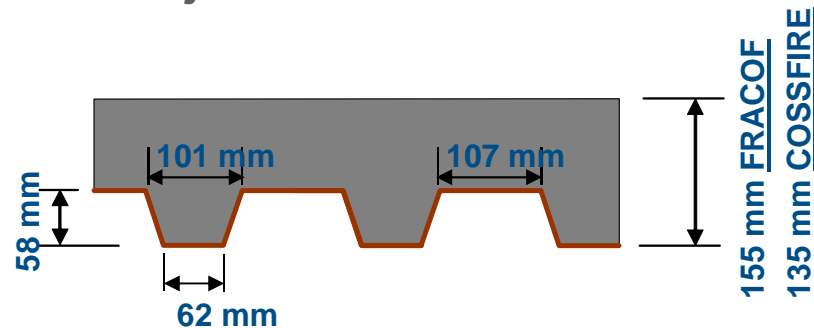
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión

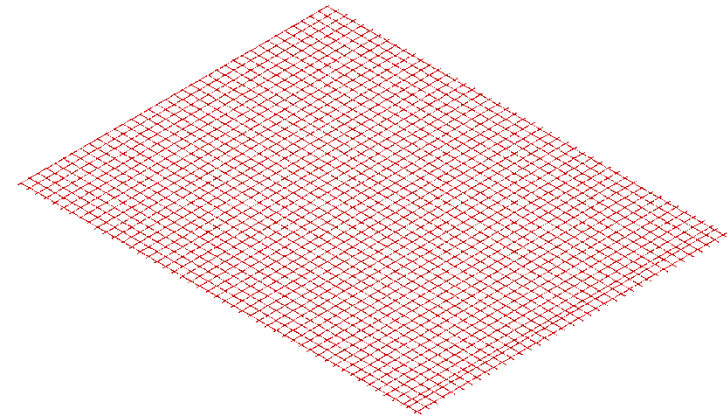


Forjado colaborante



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 Test 1
- 35 mm Test 2



Condiciones de carga mecánica



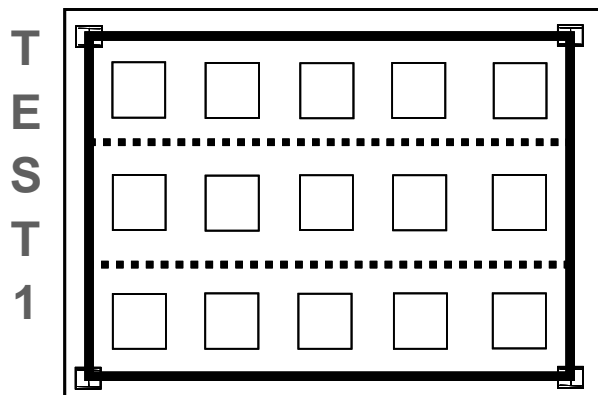
Objetivos

Configuración
del ensayo

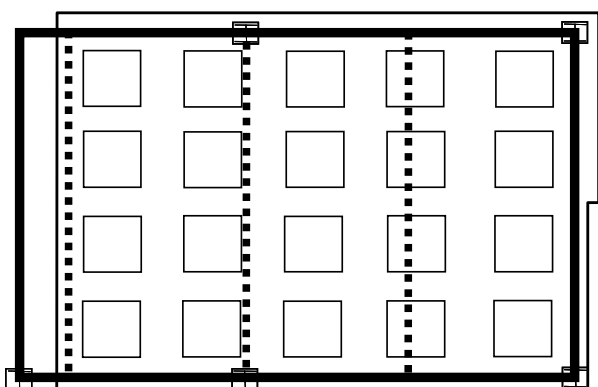
Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión



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



T E S T 2



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



Preparación del ensayo de fuego FRACOF



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





Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



Objetivos

Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión





Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



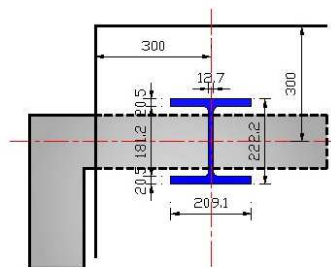
Objetivos

Configuración del ensayo

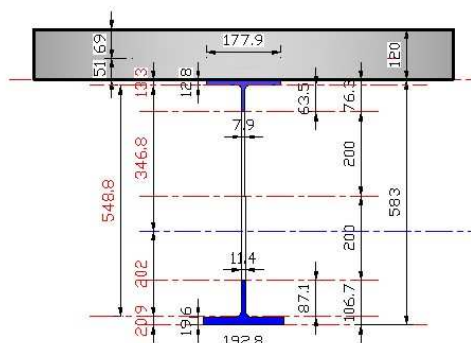
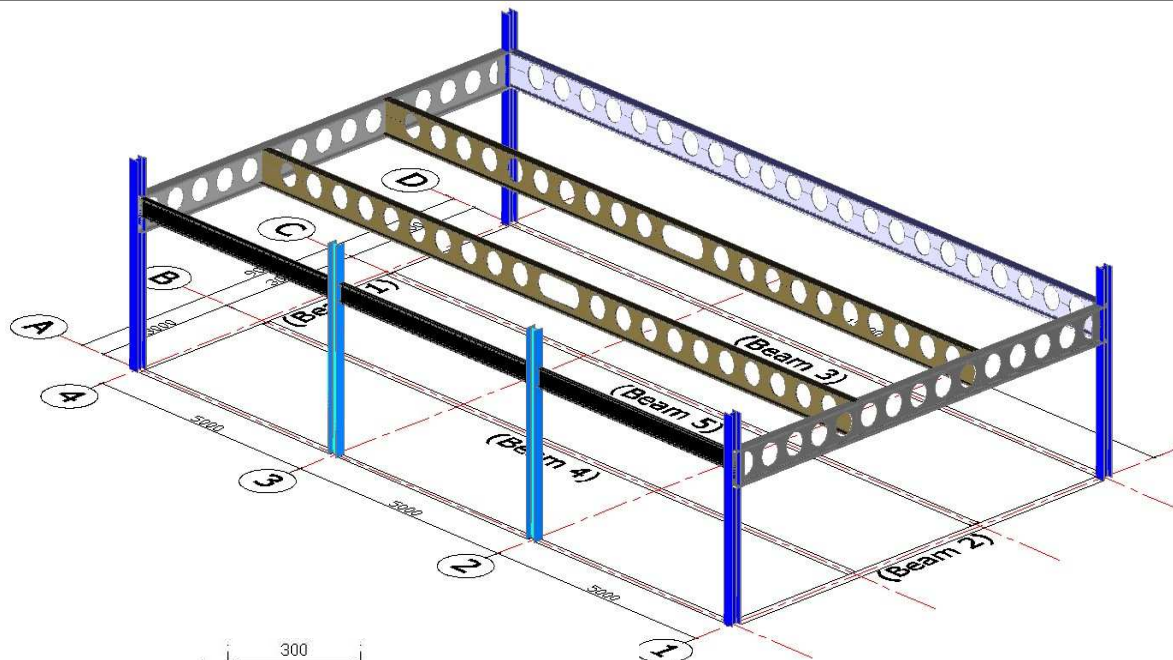
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

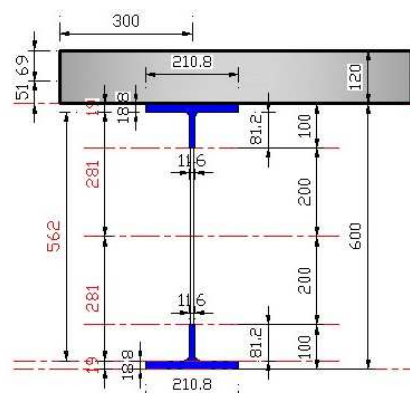
Conclusión



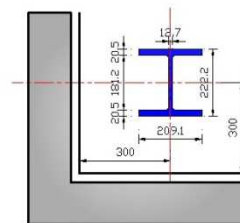
(Column GL-A)



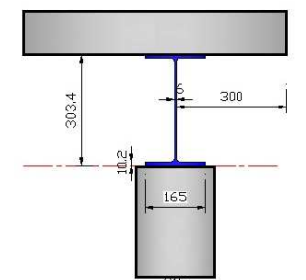
(Beam 3/4/5)



(Beam 1/2)



(Column GL-D)



(Solid Beam)



Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



Uniones viga - viga

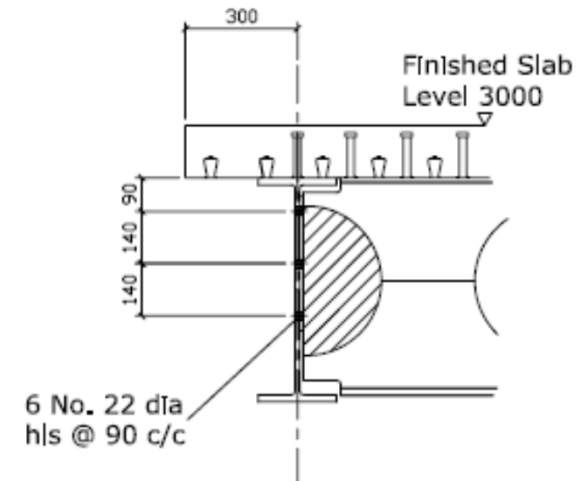
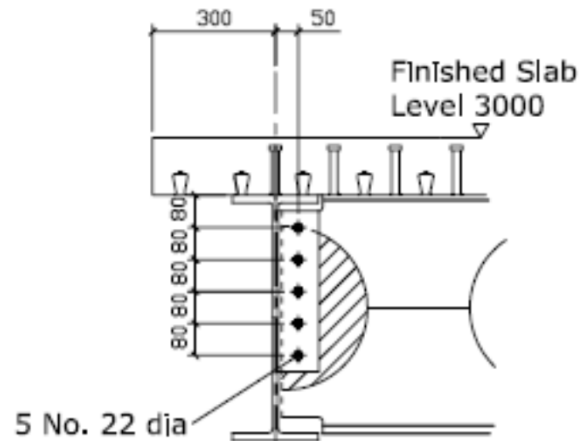
Objetivos

Configuración
del ensayo

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión





Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



Uniones Vigas - Columna

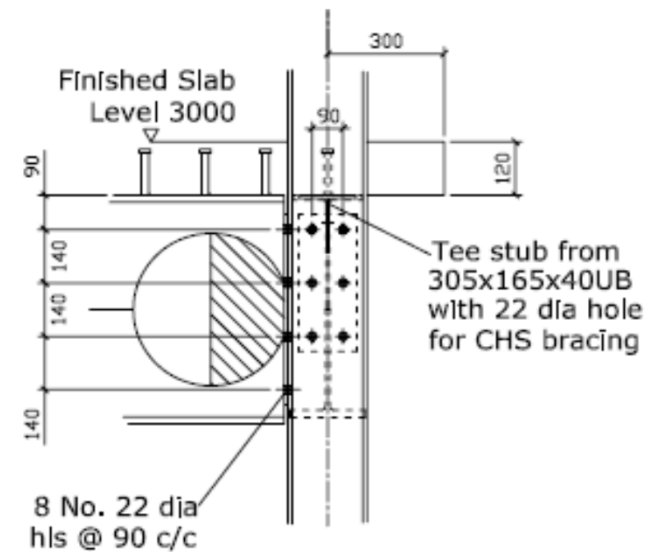
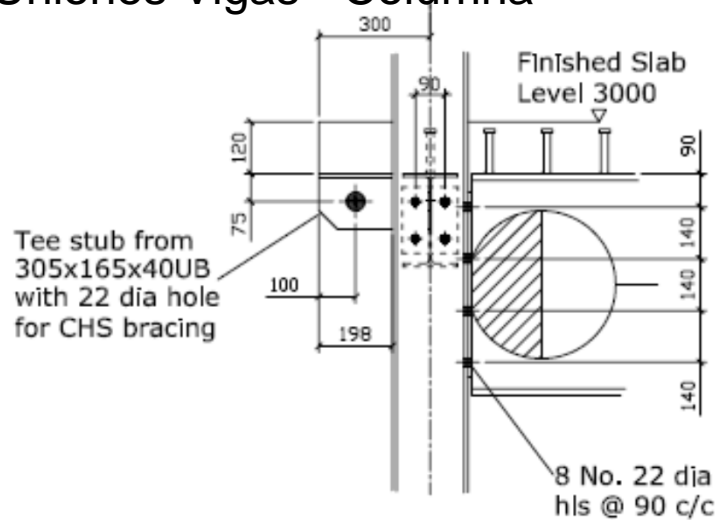
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



Objetivos

**Configuración
del ensayo**

Resultados
experimentales y
observación

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión



A393 Refuerzo de malla, diametro 10mm



Interaccion completa: entre forjado y vigas a través de conectores, diametro 19, h=95mm

Barras de refuerzo en U al rededor de todo el forjado para asegurar el correcto refuerzo. Ver detalle.



Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



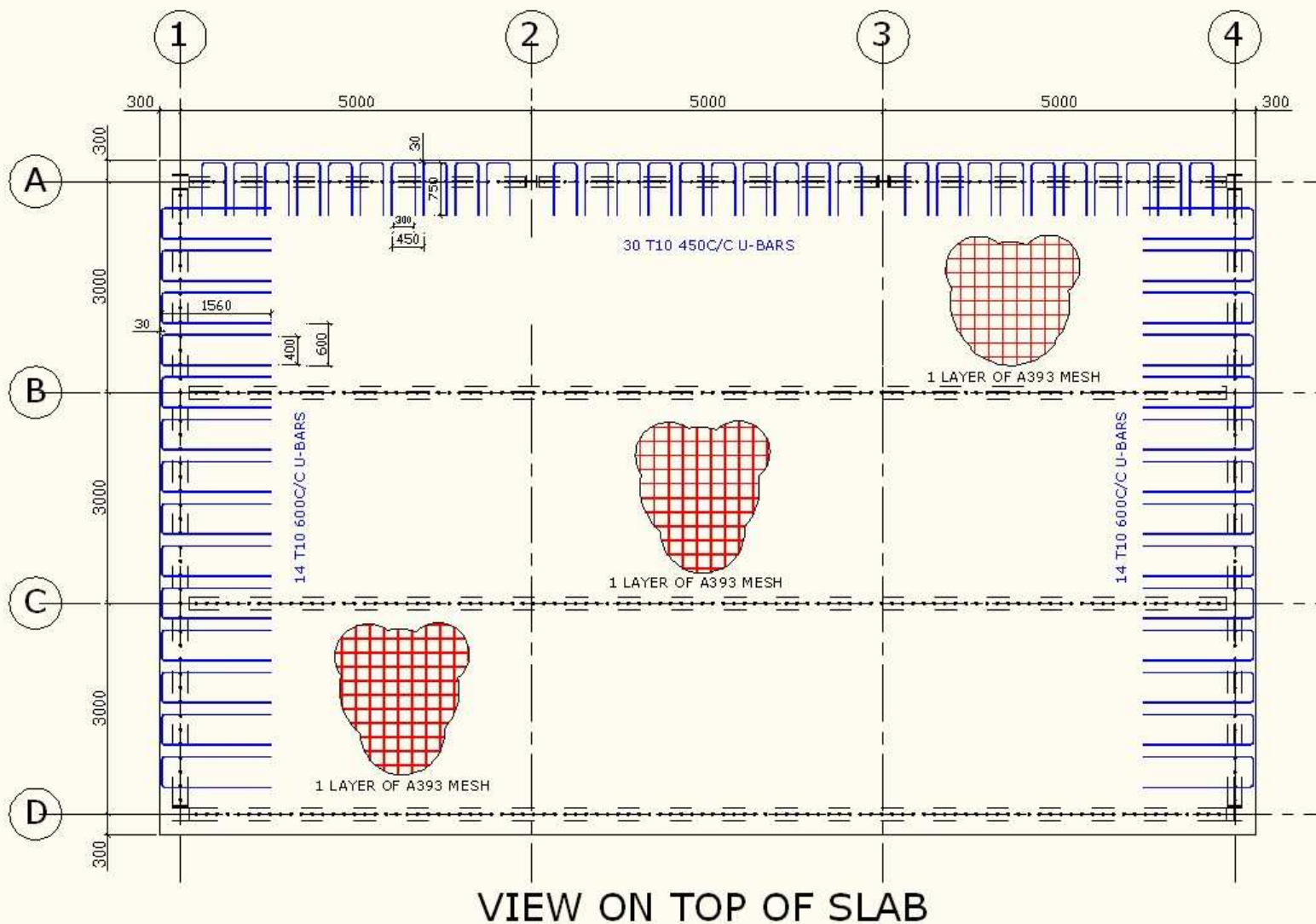
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Estructura del ensayo Test 3 (FICEB)



Objetivos

Densidad de carga de fuego fue 700MJ/m^2

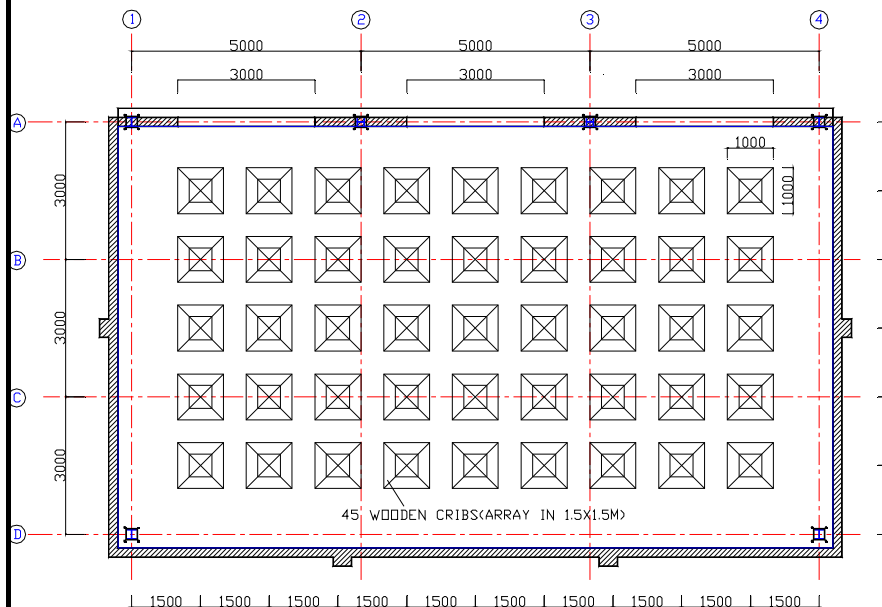
Esta carga de fuego se puede conseguir con 45 palets standar de madera (1m x 1m x 0.5 m high), posicionados alrededor del sector de incendio (9.0m x 15.0m).

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Resultados experimentales



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**

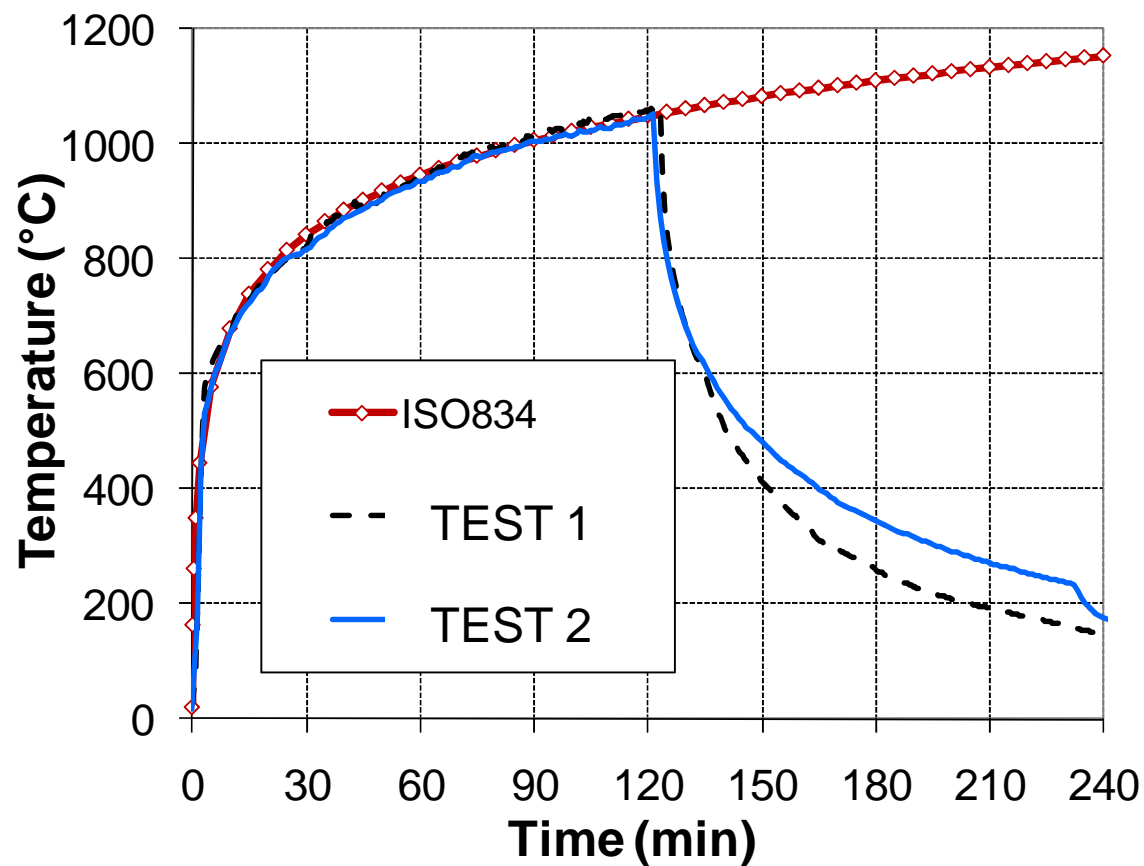
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





Resultados experimentales



Objetivos

Configuración del ensayo

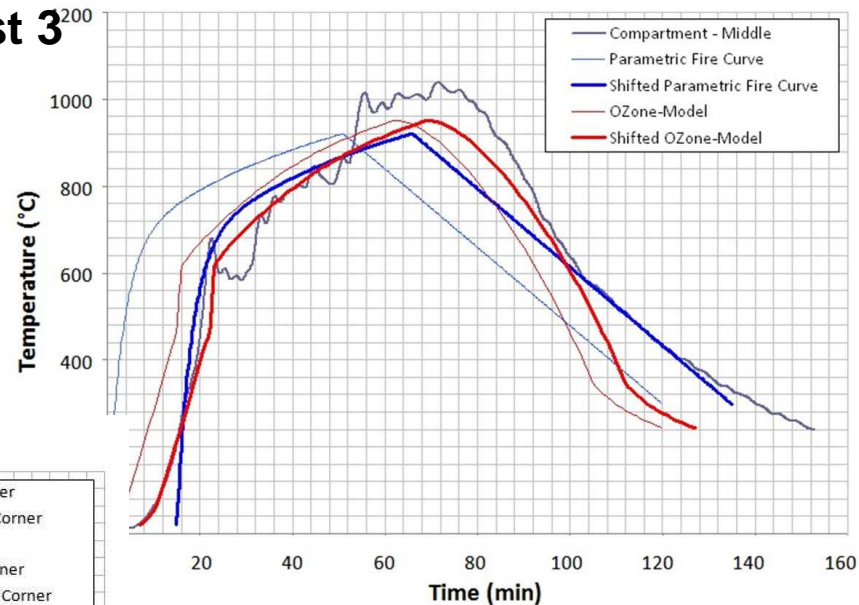
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

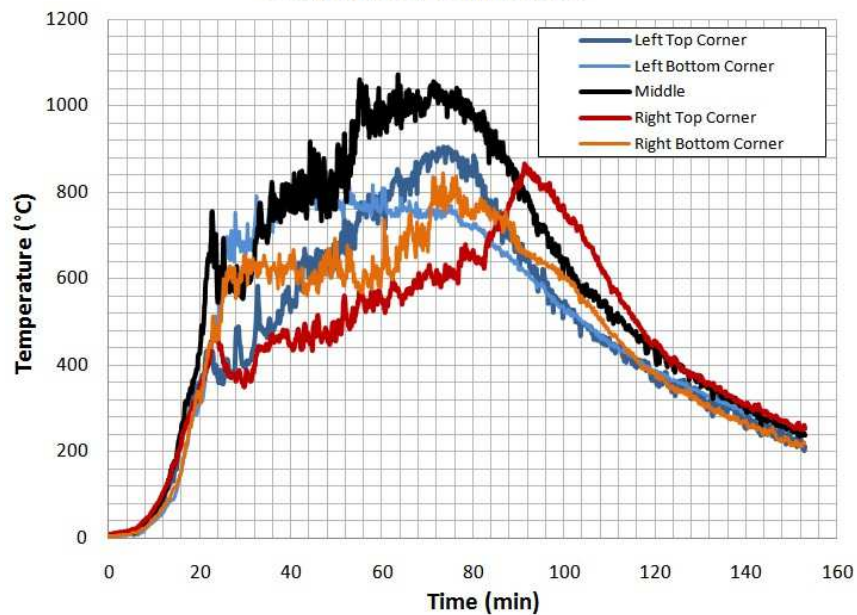
Conclusión

- **Temperatura ensayo Test 3**

Temperature in the Middle of Compartment



Compartment Temperature





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

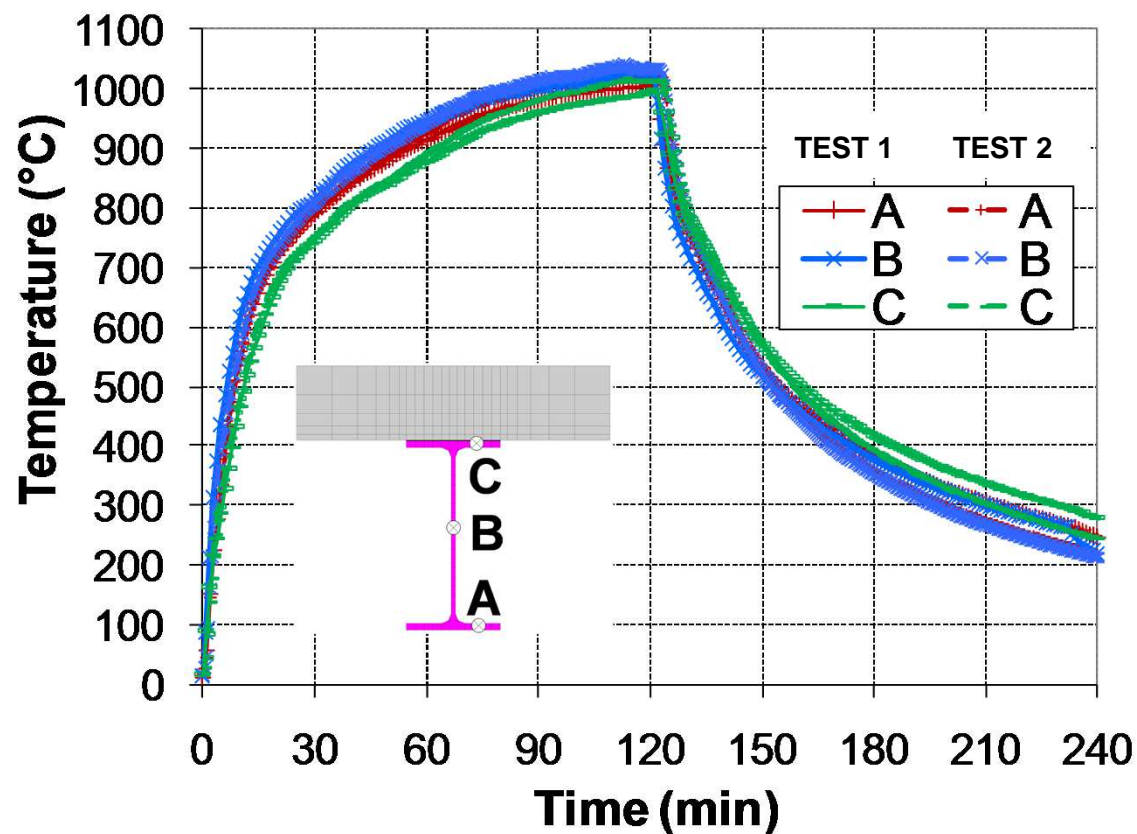
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





- **Test 3 Calentamiento de las vigas desprotegidas**

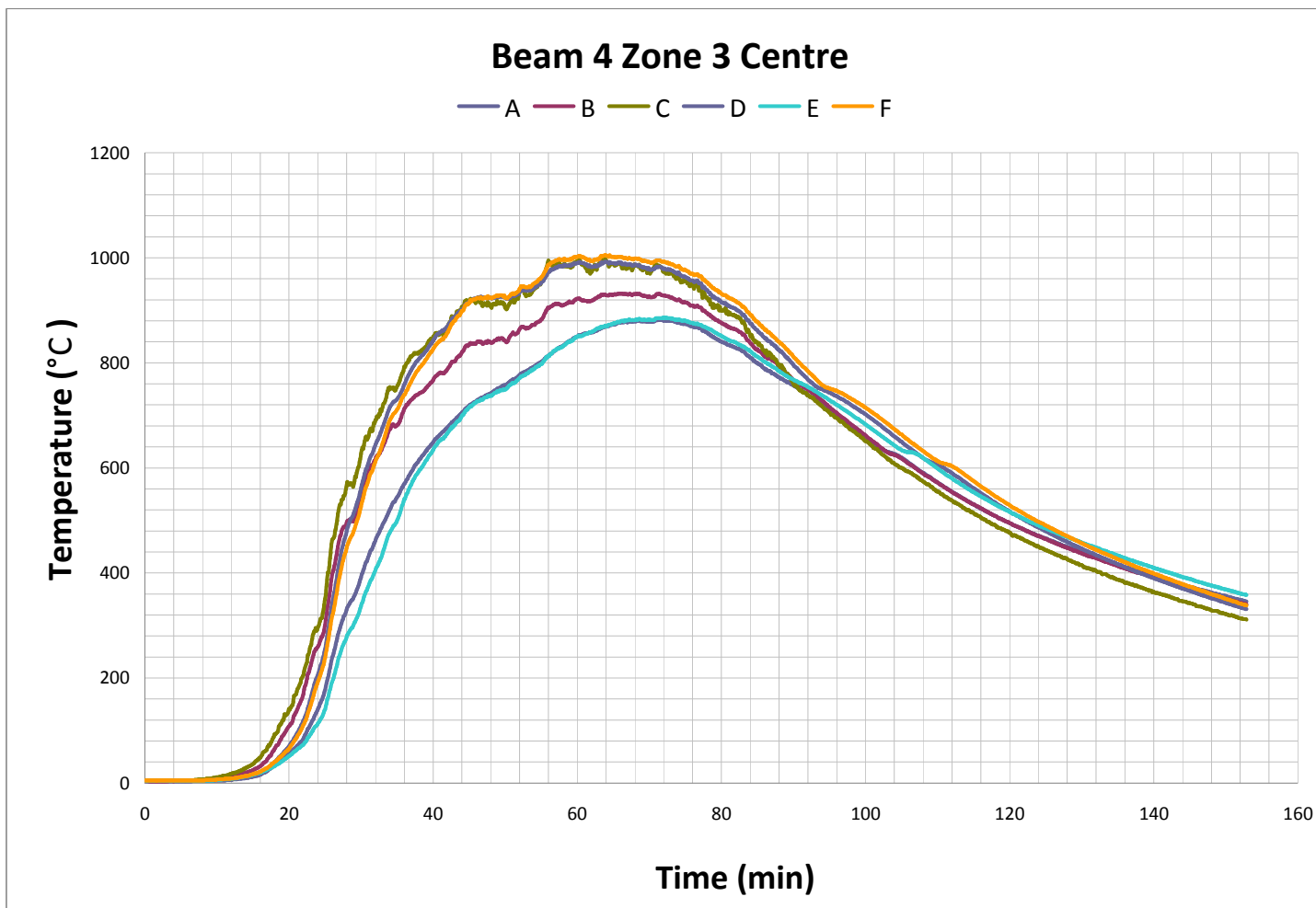
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





- **Calentamiento de vigas de acero protegidas**

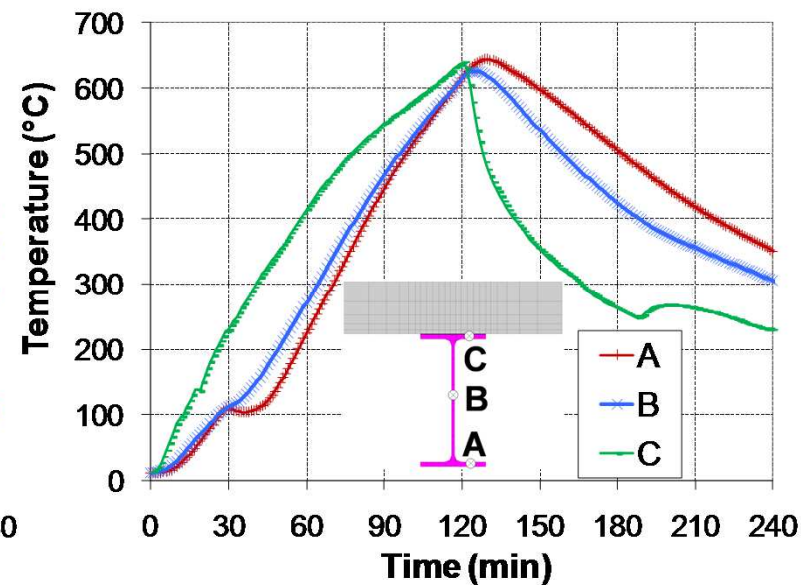
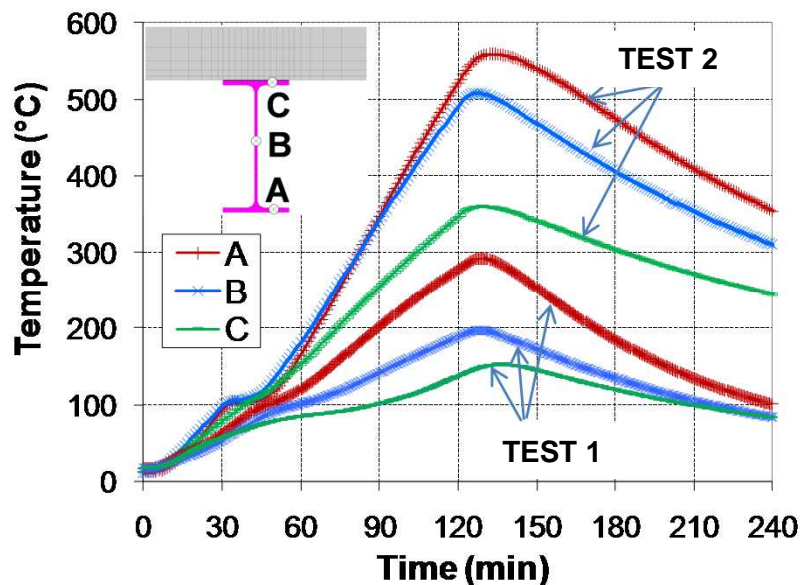
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



- **Observación**

- Vigas a una temperatura muy superior en el ensayo Test 2 ≈ 550 °C, una viga secundaria superó los 600 °C



Resultados experimentales



- **Calentamiento del forjado colaborante**

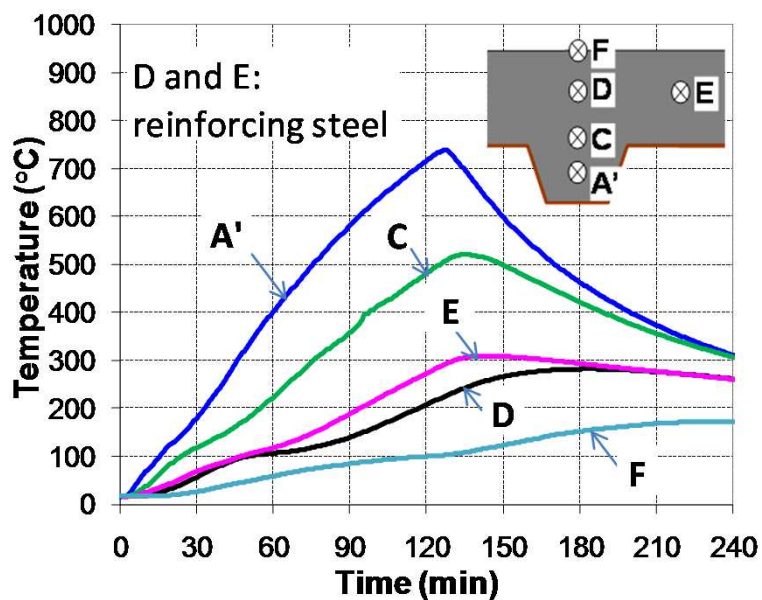
Objetivos

Configuración del ensayo

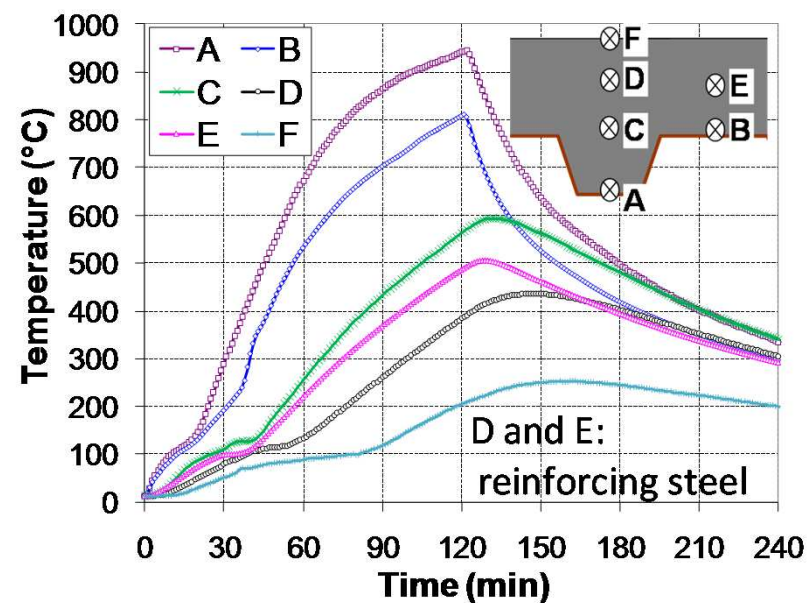
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



TEST 1



TEST 2



- **Calentamiento del forjado colaborante TEST 3**

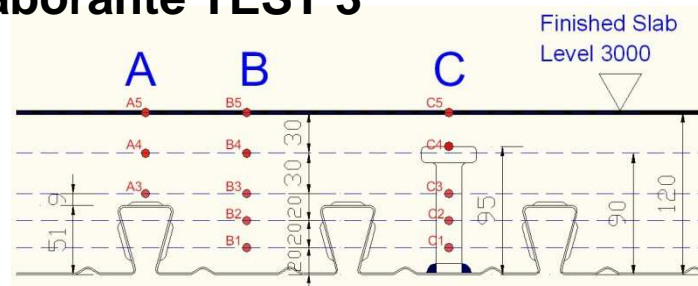
Objetivos

Configuración del ensayo

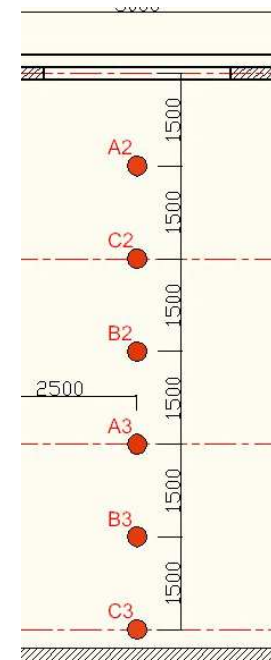
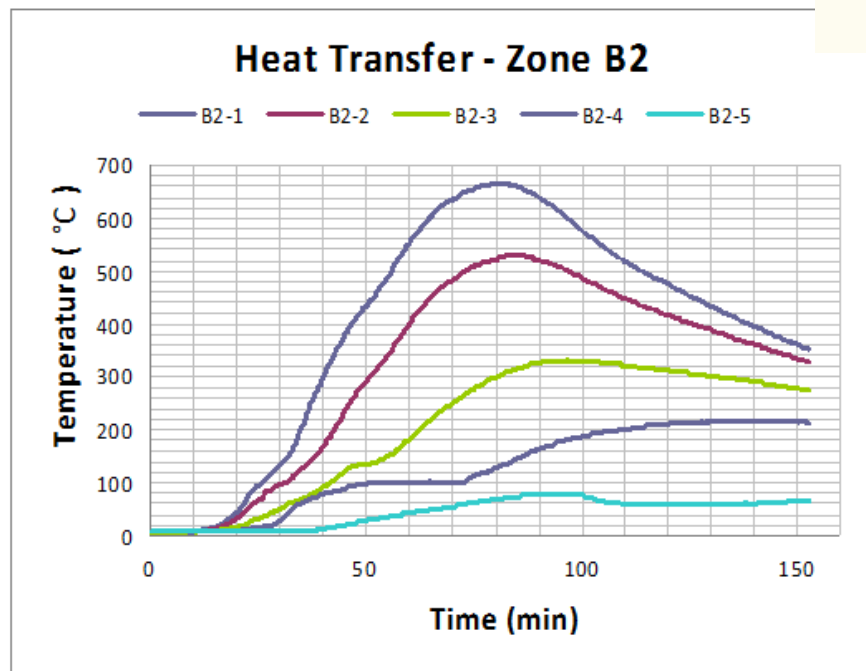
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



T/C IN SLAB / SHEAR STUD





- **Transductores de desplazamiento para la flecha**

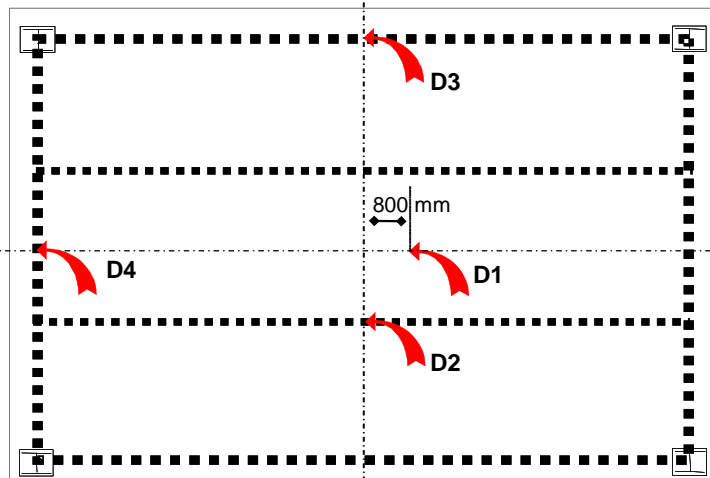
Objetivos

Configuración del ensayo

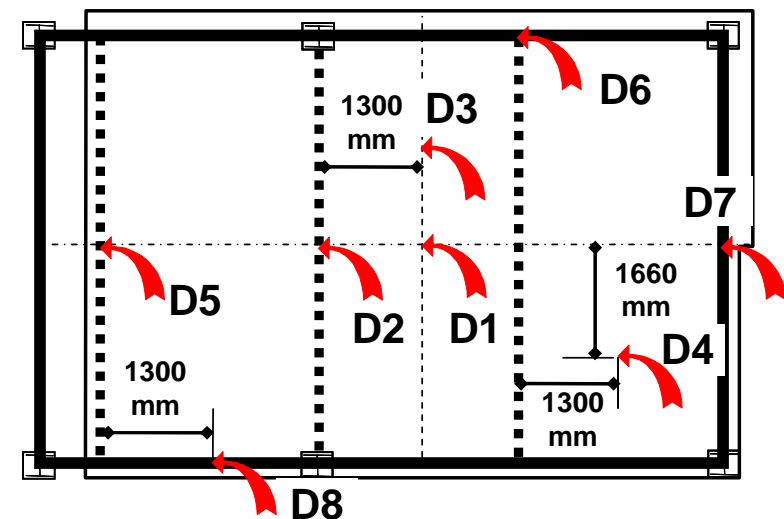
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



TEST 1



TEST 2



Resultados experimentales



- Flecha de los forjados

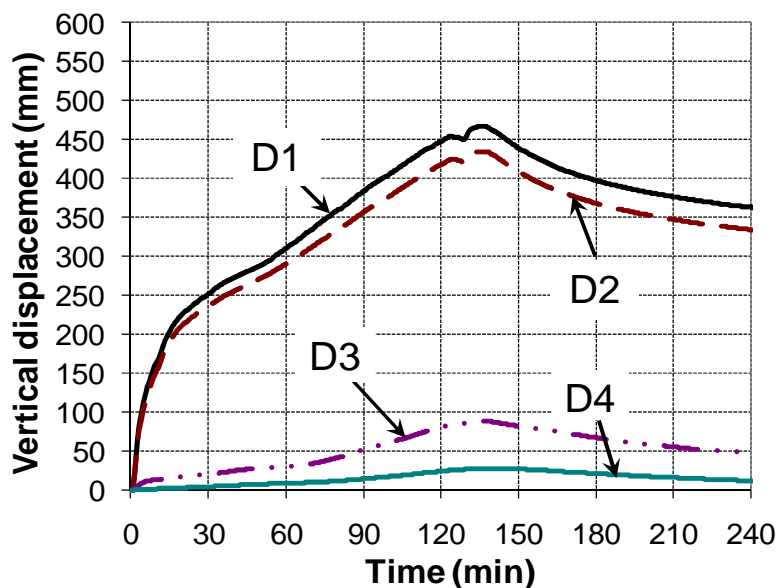
Objetivos

Configuración del ensayo

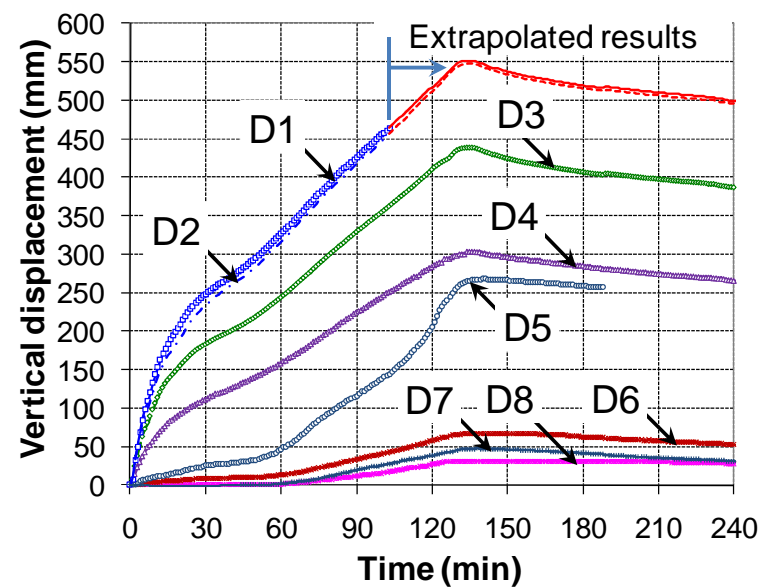
Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



TEST 1



TEST 2



- **Test 3 Transductores de desplazamiento (flecha)**

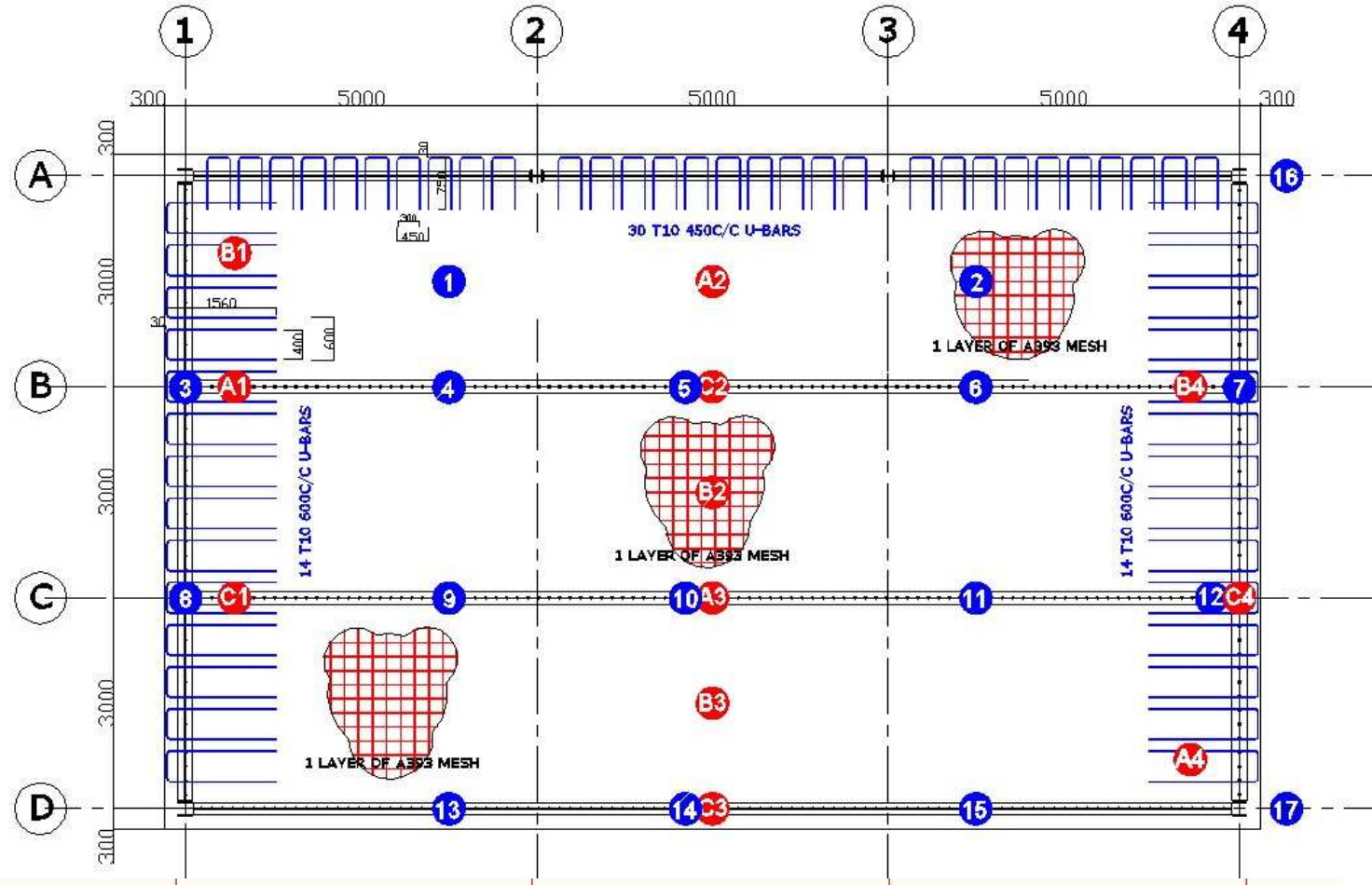
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión



LOCALIZACION DE LOS APARATOS DE MEDICIÓN (T/C & LVDT)



- Test 3 Desplazamiento del suelo

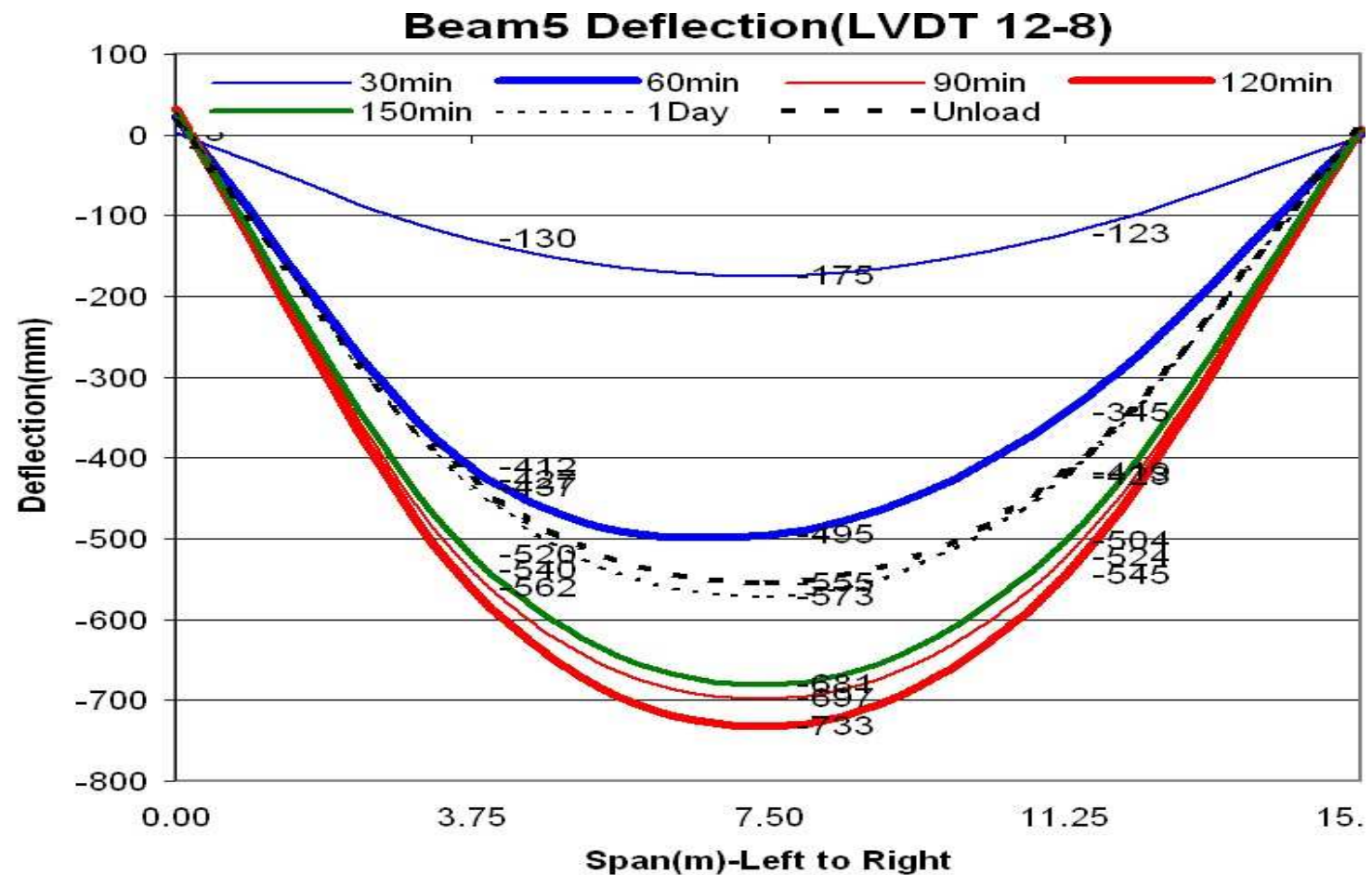
Objetivos

Configuración del ensayo

Resultados experimentales y observación

Comparación con métodos sencillos de diseño

Conclusión





- **Agrietamiento del hormigón (TEST 1)**

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**



- **Agrietamiento del hormigón (Test 3)**

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 del agrietamiento del hormigón**



- **Inestabilidad del alma de las vigas (Test 3)**

Objetivos

Configuración
del ensayo

**Resultados
experimentales
y observación**

Comparación
con métodos
sencillos de
diseño

Conclusión





- **Aplastamiento del hormigón (TEST 2)**

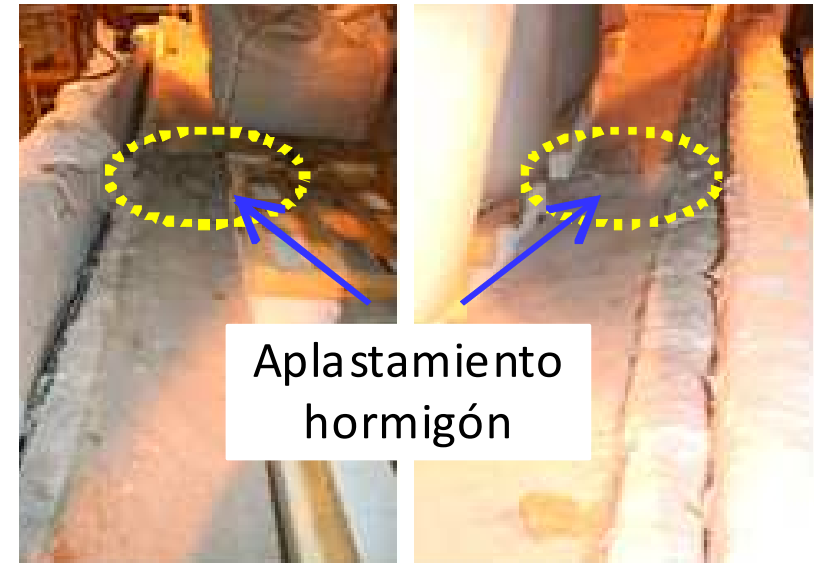
Objetivos

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

	TEST 1		TEST 2	
	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