



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

*Investigación numérica del método de cálculo simplificado*



## Contenido de la presentación

- **Objetivos del estudio paramétrico**
- **Propiedades del estudio paramétrico**
  - Tamaño de red del forjado
  - Niveles de carga
  - Condiciones de unión ente forjado y columnas de acero
  - Grado de resistencia al fuego: R30, R60, R90 y R120
- **Análisis por elementos finitos**
  - Modelo numérico del panel de forjado
  - Propiedades termo-mecánicas de materiales empleados en AEF
- **Validación del modelo numérico**
  - Análisis térmicos
  - Análisis estructurales
- **Efecto de continuidad en el límite del panel**
- **Resultados del estudio paramétrico**
  - Flecha del forjado
  - Capacidad de elongación de las barras de armadura
- **Conclusión**



## Objetivos del estudio paramétrico

### Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Antecedentes**

- Ensayos FRACOF (Test 1) y COSSFIRE (Test 2) de fuego estándar a gran escala

- Excelente comportamiento frente al fuego de los sistemas de forjado colaborante (con efecto tensil de membrana)

- Máx  $\theta$  del acero  $\approx 1000$  °C, duración del fuego  $> 120$  min  
Detalles de construcción en Francia

- Flecha  $\approx 450$  mm

- Ensayo FICEB (test 3) de fuego natural a gran escala con vigas alveolares.

- **Objetivo**

- Comprobación del método de cálculo simplificado en todo su ámbito de aplicación total (usando modelos de cálculo avanzados)

- Límite de flecha del forjado

- Elongación del acero de armadura



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

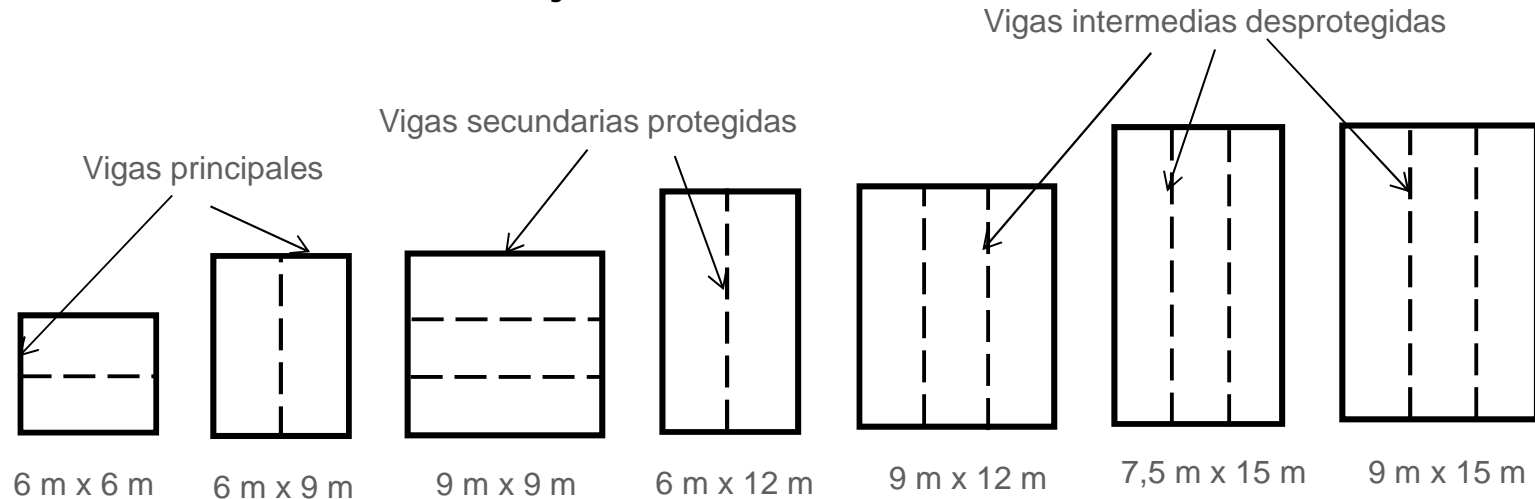
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

## • Tamaño de red del forjado



## • Niveles de carga

**Combinación de carga según EC0 en situación de fuego en edificios de oficinas:**

**G (Carga muerta) + 0,5 Q (Carga aplicada)**

G= Peso propio + 1,25 kN/m<sup>2</sup>

Q= 2,5 & 5 kN/m<sup>2</sup>



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

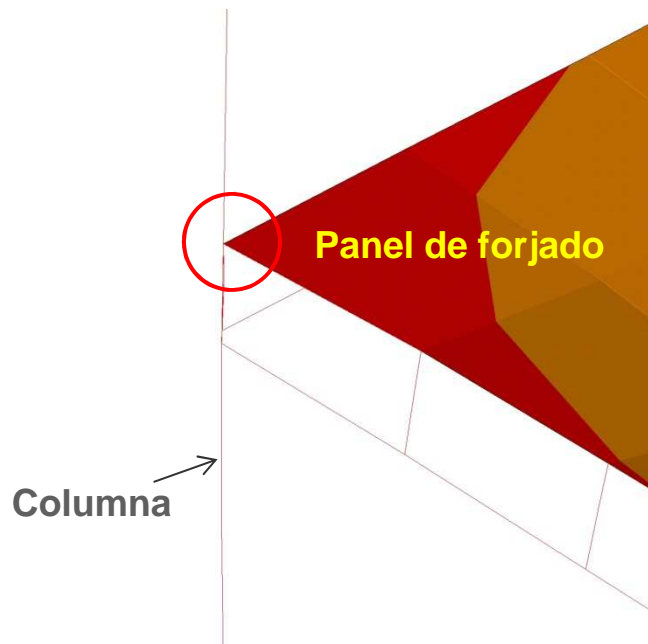
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

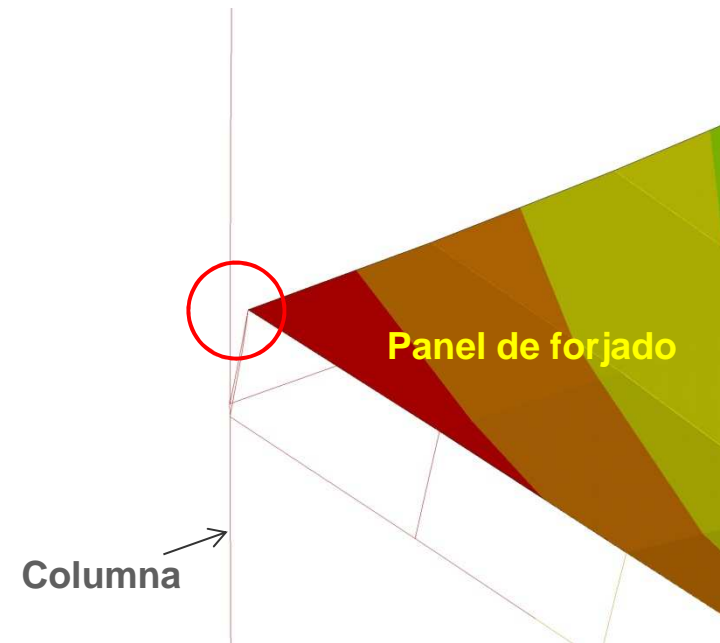
Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

## • Condiciones de unión ente el forjado y las columnas de acero



Con unión mecánica entre forjado y columnas



Sin unión mecánica entre forjado y columnas

Objetivos



## Propiedades del estudio paramétrico (3/3)



Propiedades del estudio paramétrico

- **Grado de resistencia al fuego: R30, R60, R90**

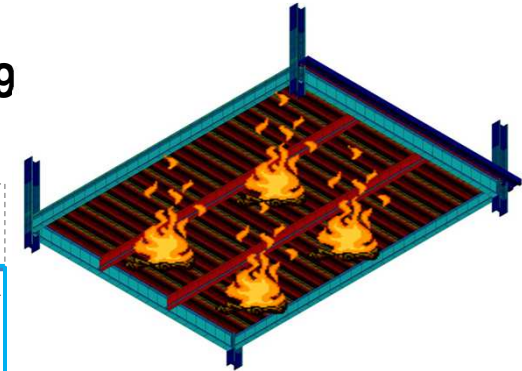
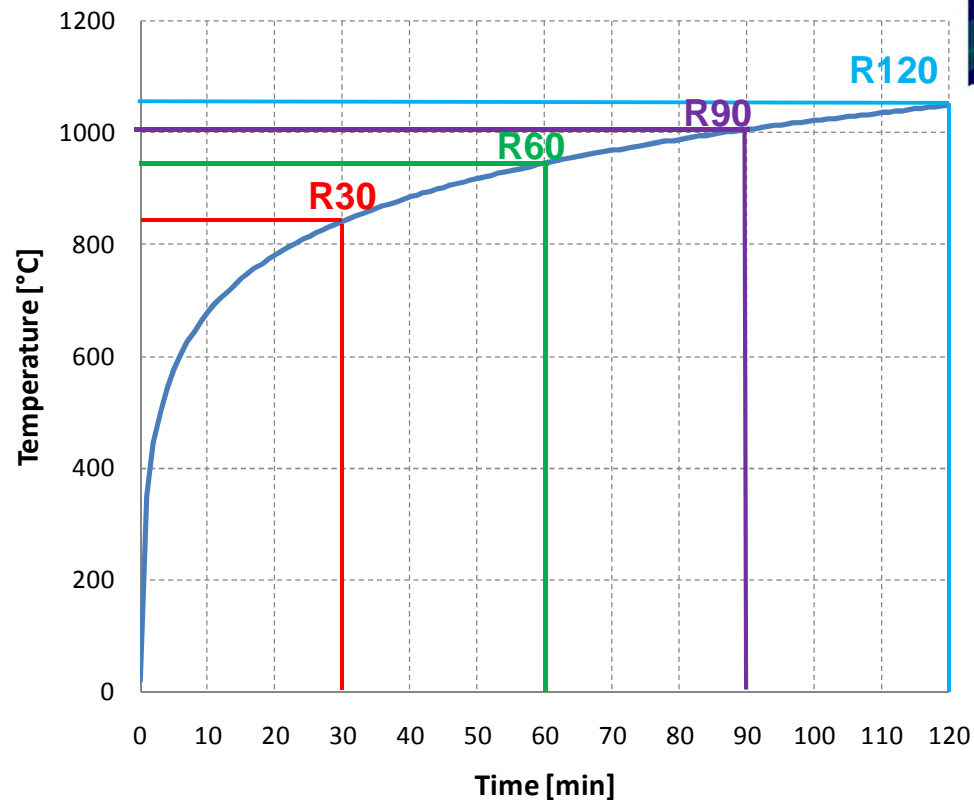
Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión



Calentamiento de las vigas de contorno (Máx. 550 C)



## Modelo de elementos finitos

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

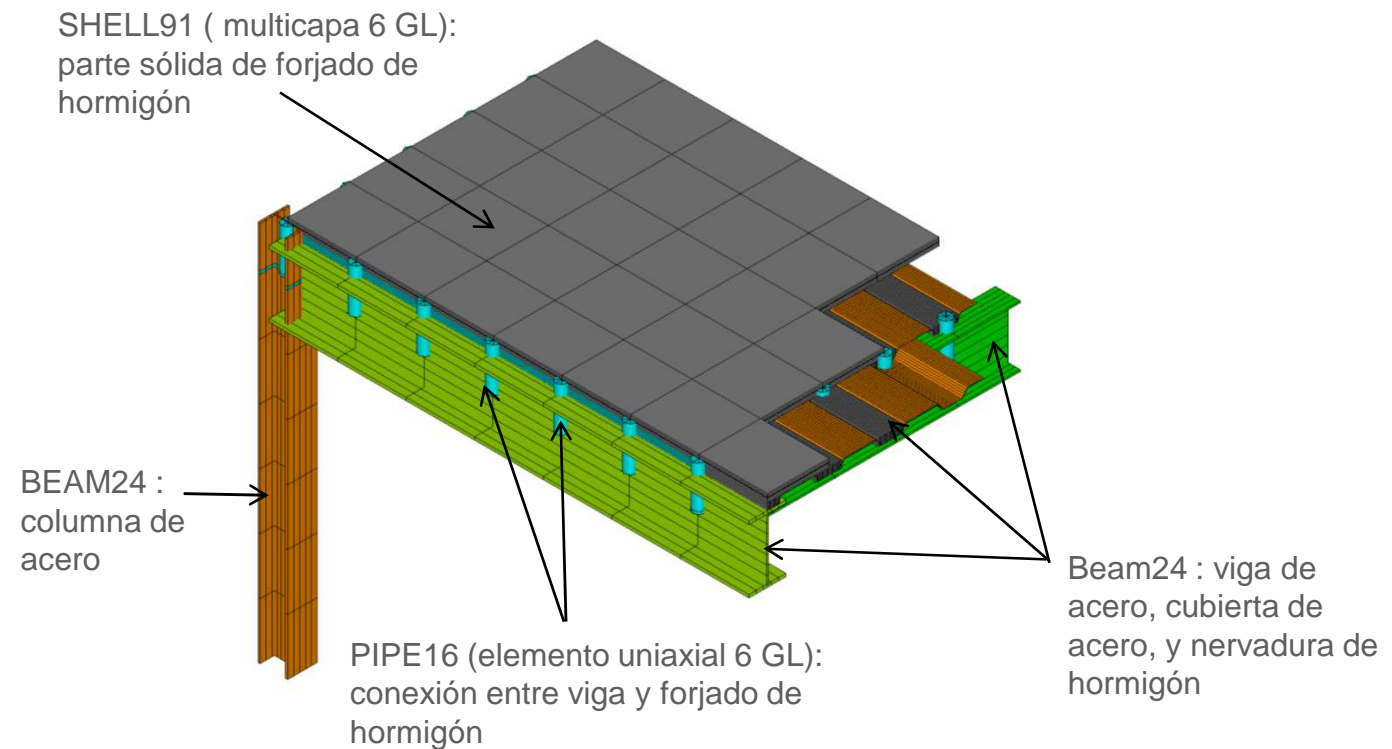
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Modelo híbrido basado en varios tipos de elementos finitos con código computacional ANSYS**





## Modelo de elementos finitos

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

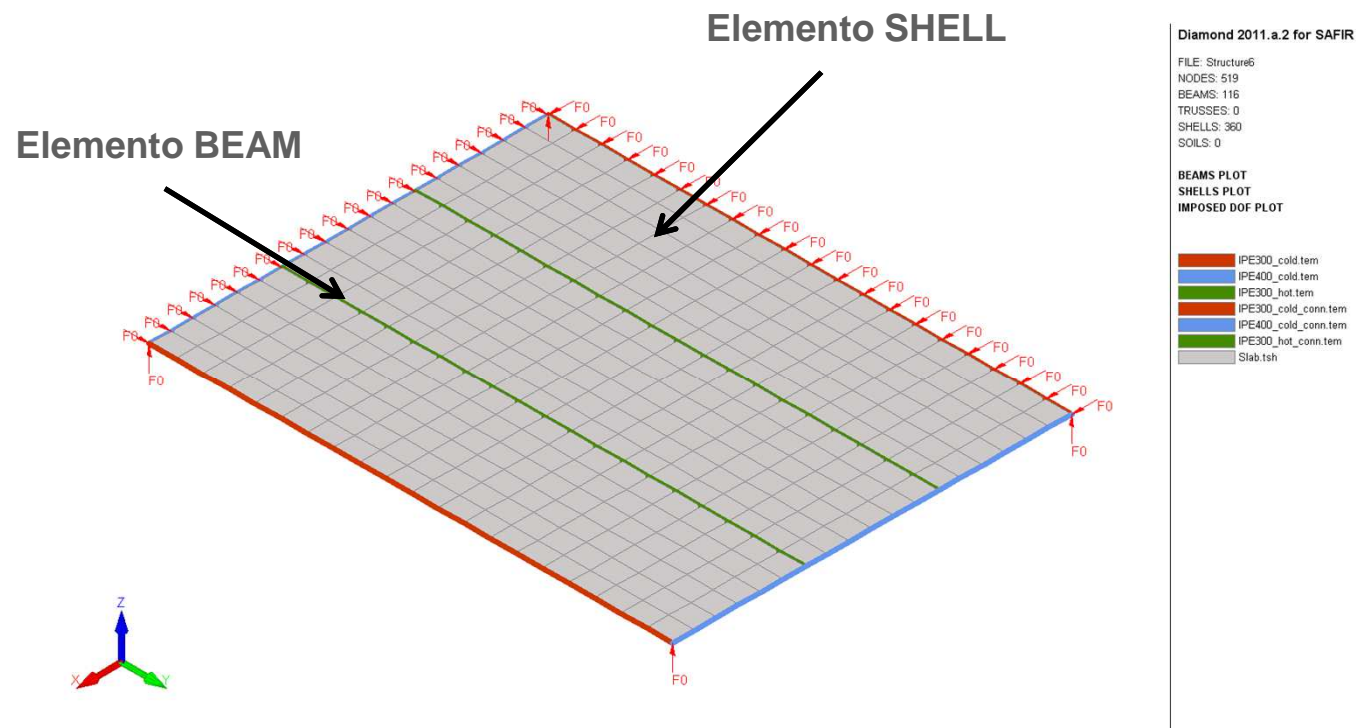
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Modelo híbrido basado en varios tipos de elementos finitos con código computacional SAFIR**







## Propiedades del panel de forjado

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

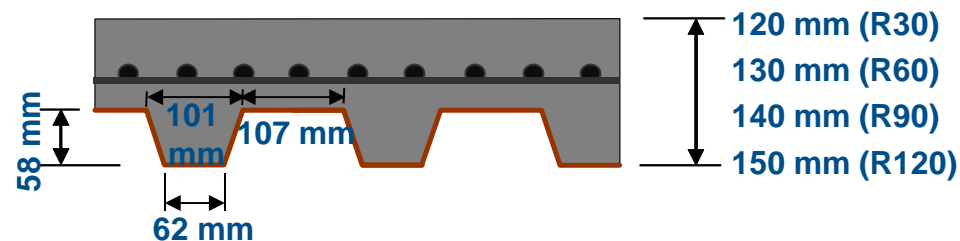
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Vigas S235**
- **Cubierta de acero trapezoidal COFRAPLUS60 (0,75 mm de espesor)**
- **Hormigón de peso normal C30/37**
- **Malla de armadura S500**
- **Posición media de la malla (desde la parte superior) = 45 mm**





Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

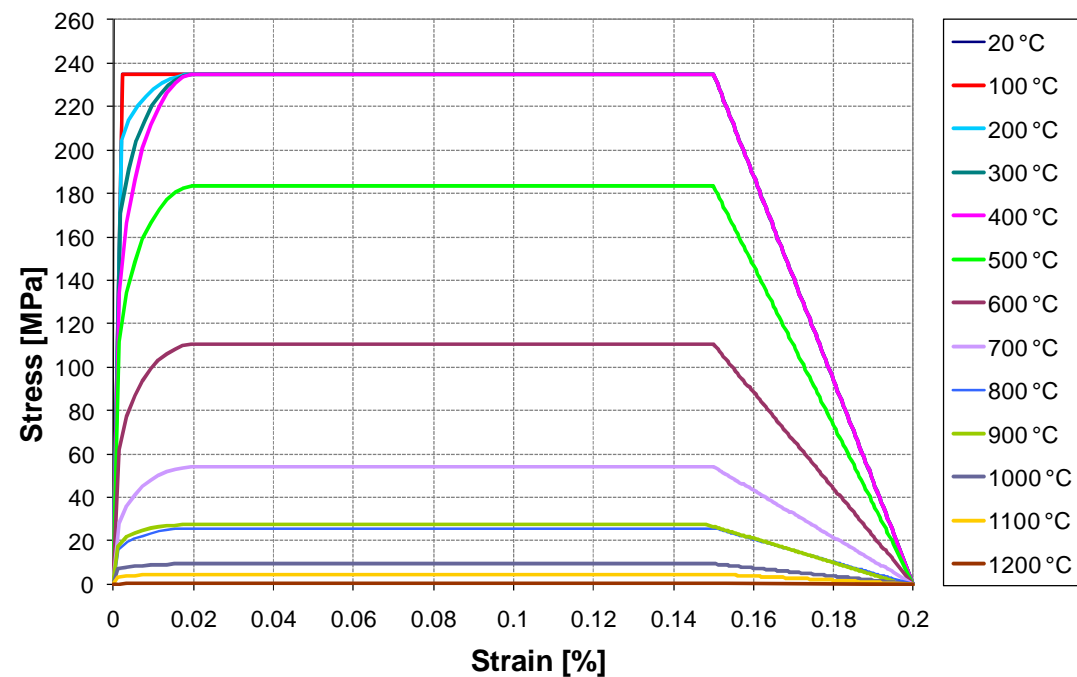
Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Propiedades termo-mecánicas del acero:**

- Propiedades termo-mecánicas del EC4-1.2
- Masa unitaria independiente de la temperatura ( $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$ )
- Relaciones tensión-deformación:





Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

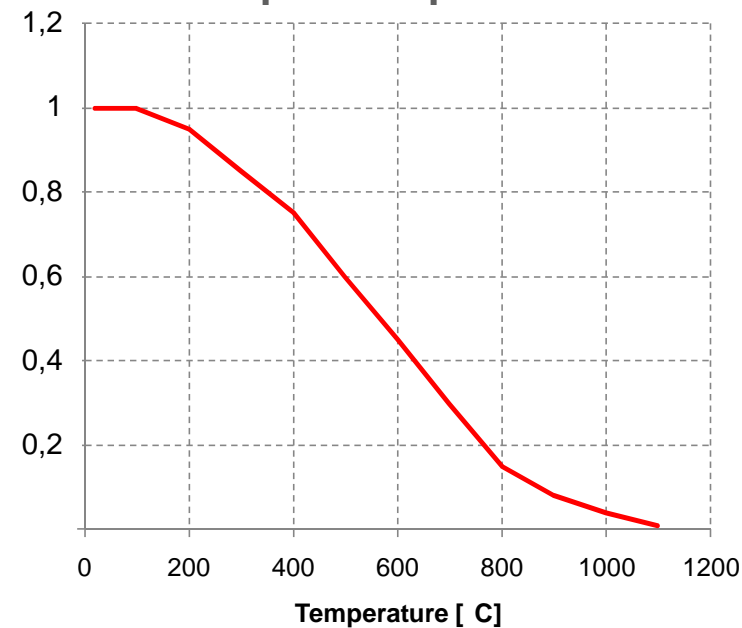
Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Propiedades termo-mecánicas del hormigón:**

- Propiedades termo-mecánicas del EC4-1.2
- Masa unitaria en función de la temperatura según EC4-1.2
- Criterio de fluencia de Drucker-Prager
- Factores de reducción por compresión de EC4-1.2:



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

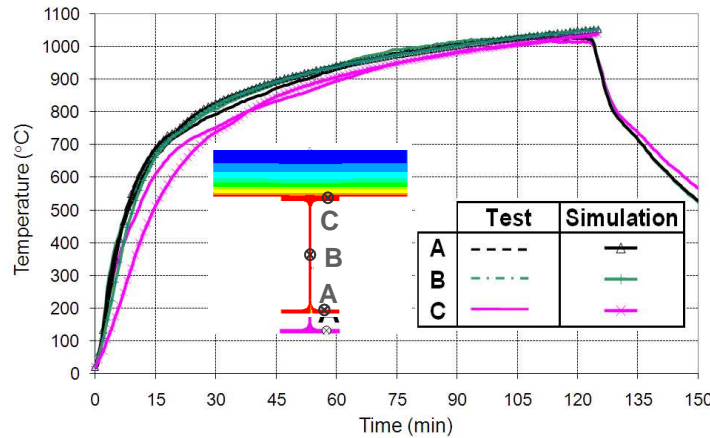
Conclusión



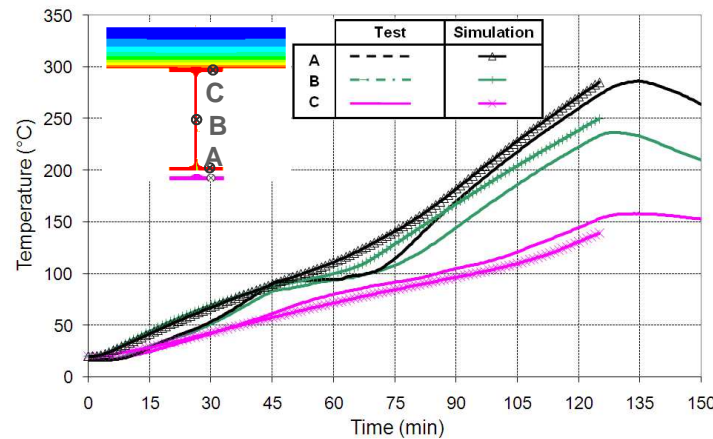
# Validación del modelo numérico de ANSYS vs. Test 1 (1/2)



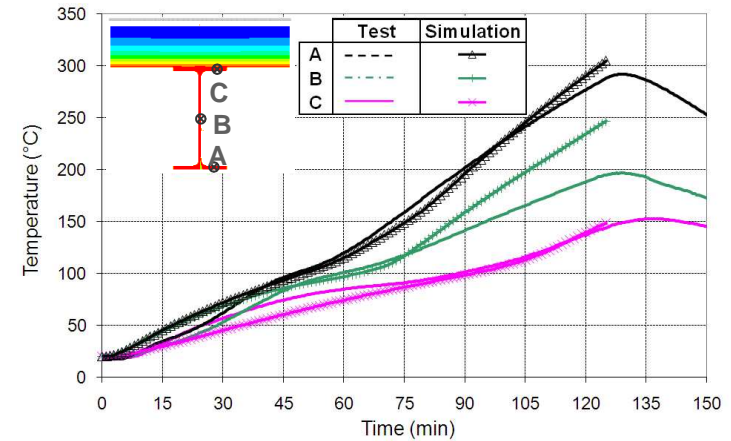
- **Comparación con el ensayo frente al fuego (análisis de transferencia de calor)**



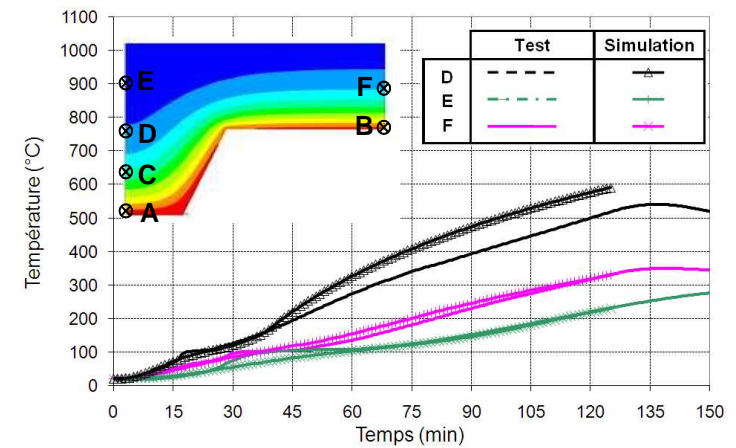
Vigas de acero desprotegidas



Vigas principales protegidas



Vigas secundarias protegidas



Forjado colaborante

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

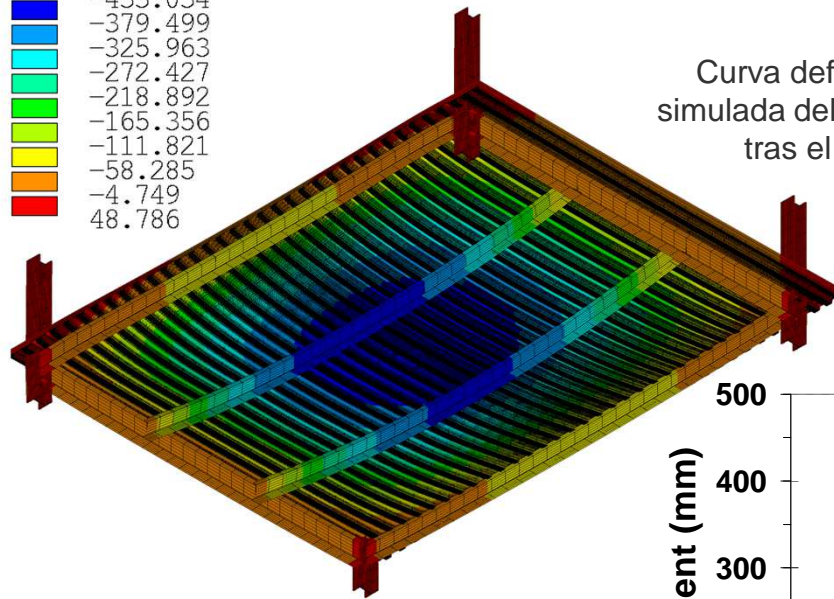
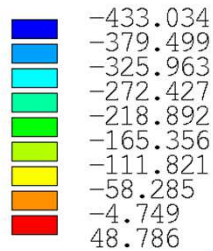
Conclusión



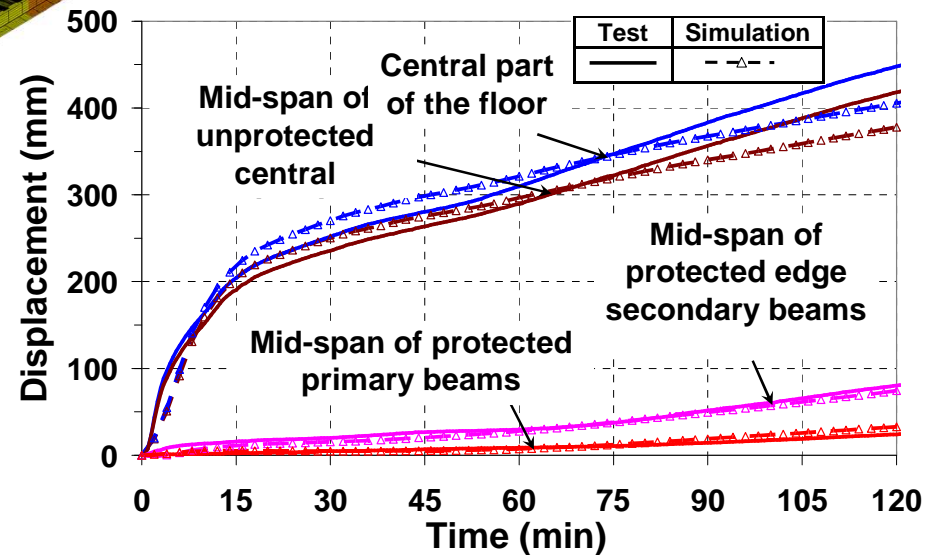
# Validación del modelo numérico de ANSYS vs. Test 1 (2/2)



## • Comparación con el ensayo frente al fuego (flecha)



Curva deformada simulada del forjado tras el ensayo



Comparación de la flecha (forjado y vigas)

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

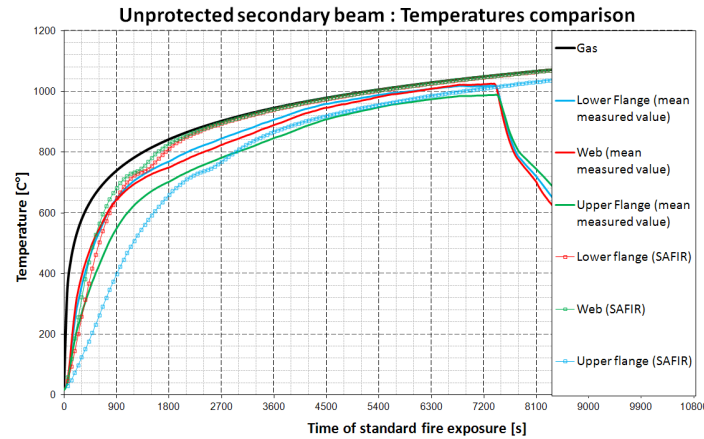
Conclusión



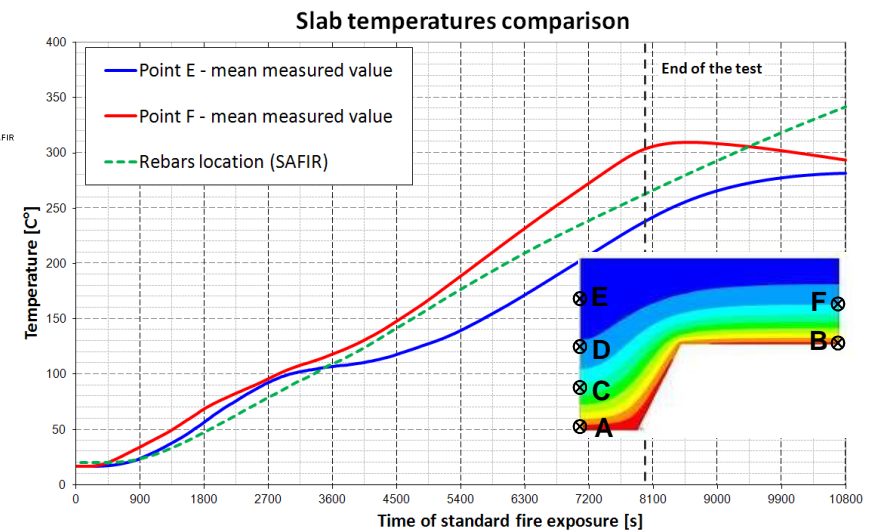
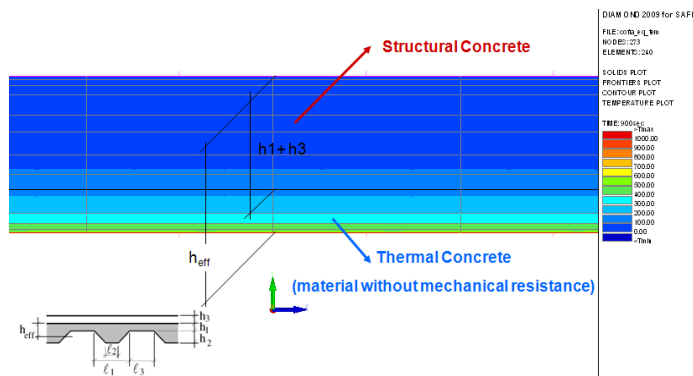
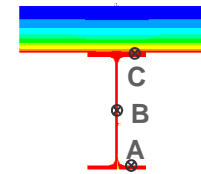
# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 1 (1/2)



- **Comparación con el ensayo frente al fuego (análisis de transferencia de calor)**



Vigas de acero desprotegidas



Forjado Colaborante

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

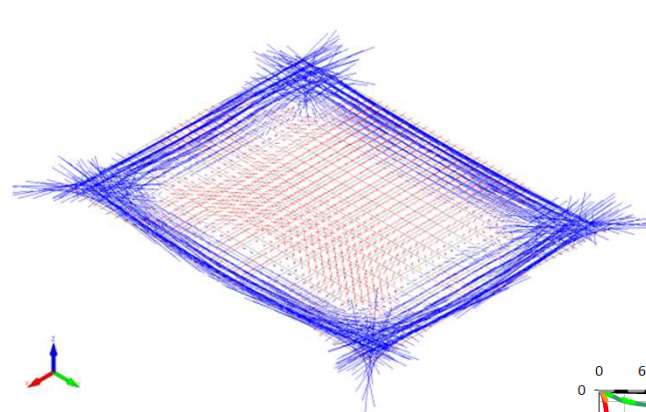
Conclusión



# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 1 (2/2)

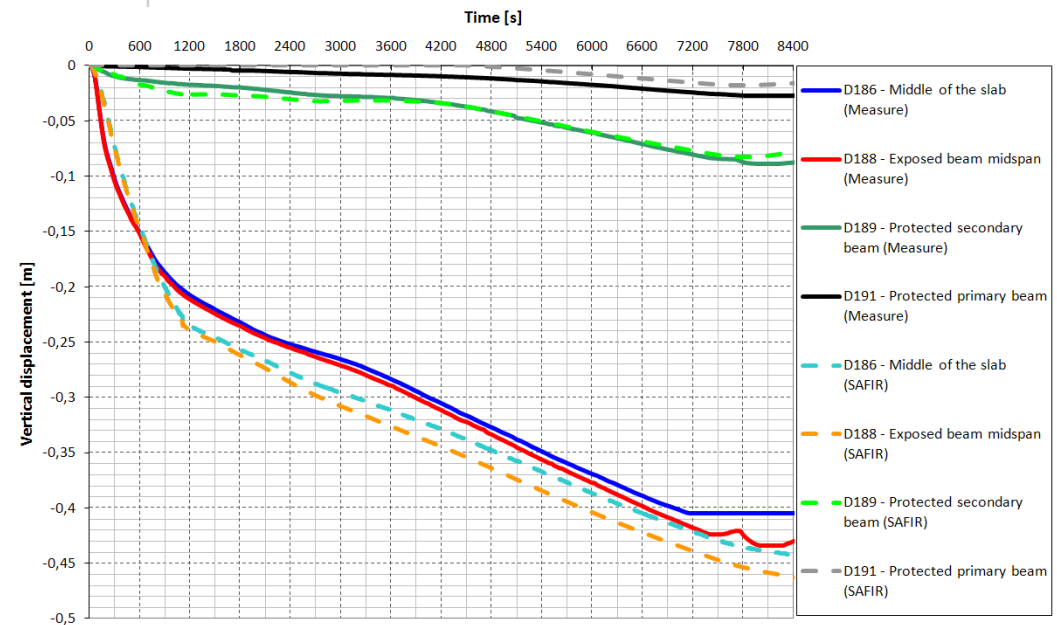


## • Comparación con el ensayo frente al fuego (flecha)



Diamond 2011.a2 for SAFIR  
FILE: Struct01  
MESH: 500  
BEAMS: 116  
TRUSSES: 0  
SHELLS: 300  
SOLLS: 0  
MEMBRANE FORCE PLOT  
TIME: 1000.00 sec  
Legend: Membrane Force (Blue), Membrane Force (Red)

Tensiones en los extremos del forjado simulado



Comparison of the deflection (slab and beams)

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

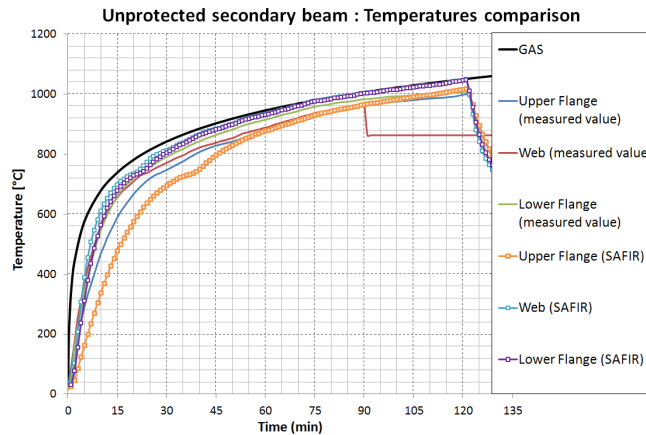
Conclusión



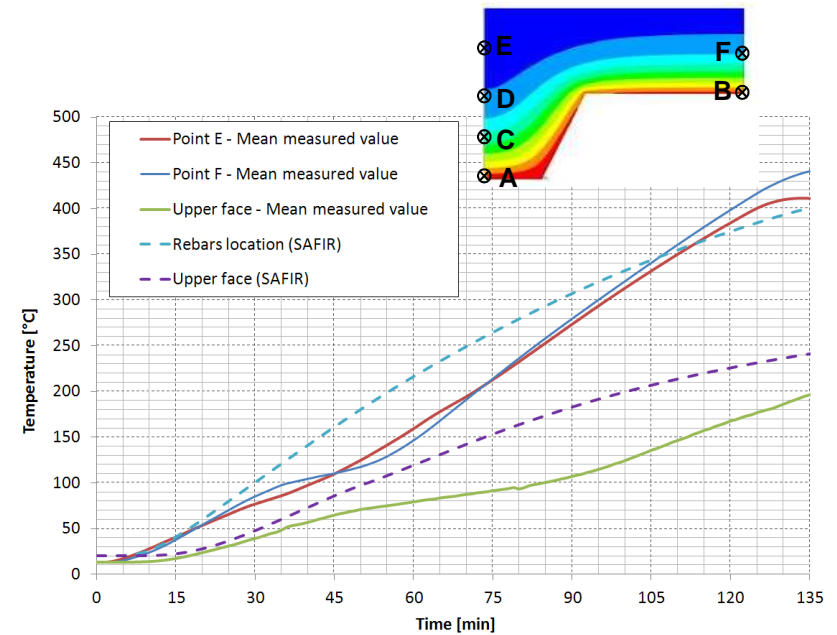
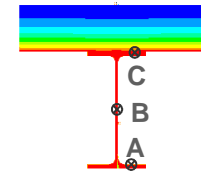
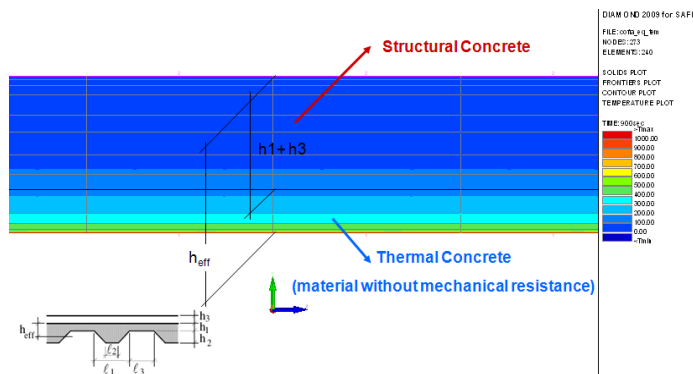
# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 2 (1/2)



- **Comparación con el ensayo frente al fuego (análisis de transferencia de calor)**



Vigas de acero desprotegidas



Forjado colaborante



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

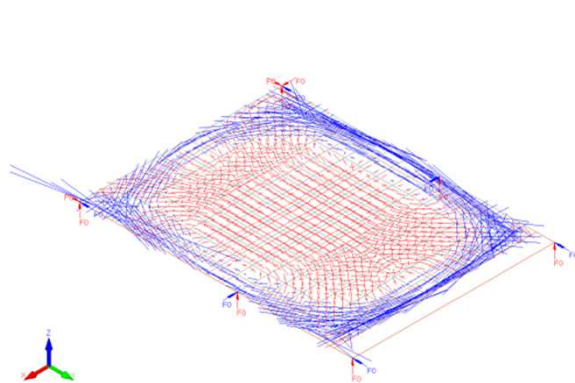
Conclusión



# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 2 (2/2)

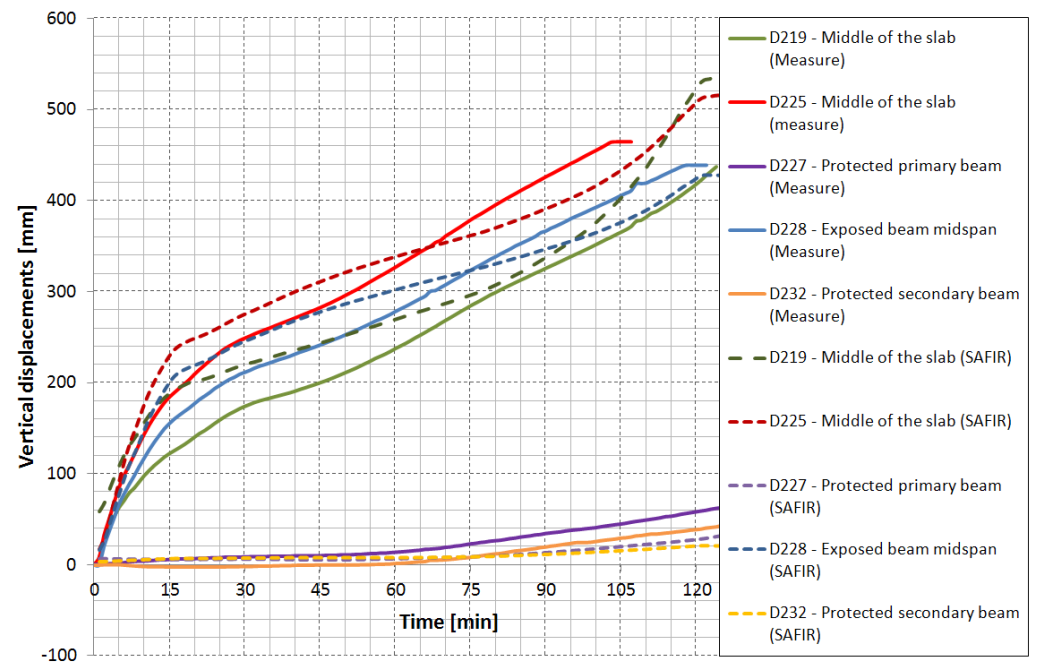


## • Comparación con el ensayo frente al fuego (flecha)



Diamond 2011.a.2 for SAFIR  
FILE: Coofire2  
NODES: 357  
BEAMS: 69  
TRUSSES: 0  
SHELLS: 208  
SOLLS: 0  
BEAMS PLOT  
SHELLS PLOT  
IMPOSED DOF PLOT  
N142 MEMBRANE FORCE PLOT  
TIME: 2627.5 sec  
■ Membrane Force  
■ Membrane Force

Tensiones en el extremo del forjado simulado



Comparación de la flecha (forjado y vigas)

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

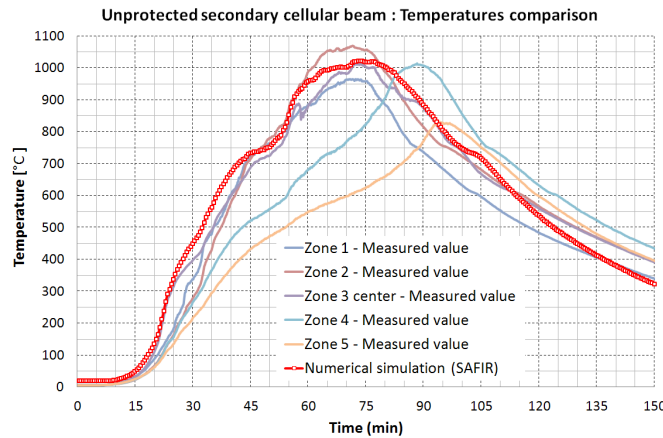
Conclusión



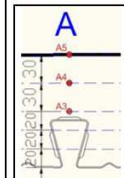
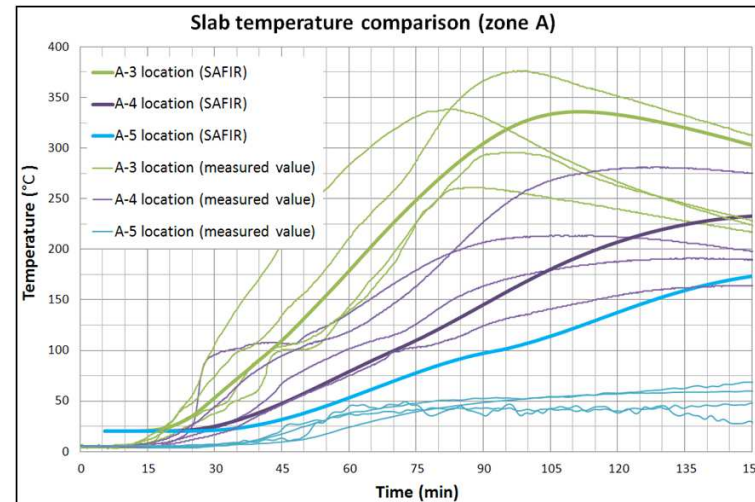
# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 3 (1/3)



- **Comparación con el ensayo frente al fuego (análisis de transferencia de calor)**



Vigas de acero desprotegidas



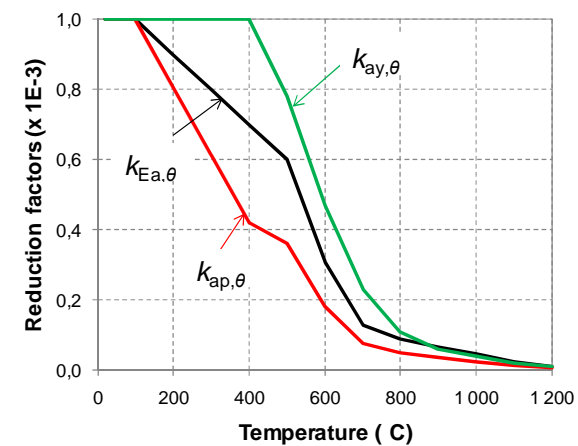
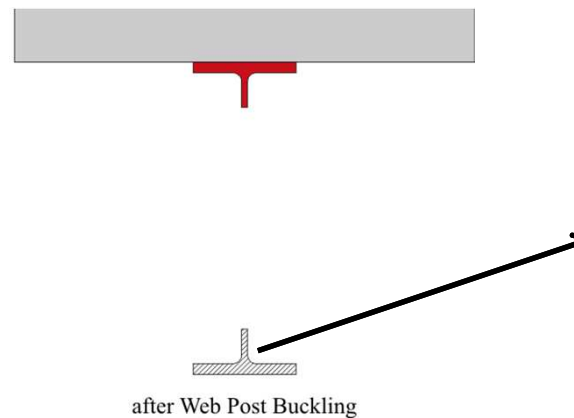
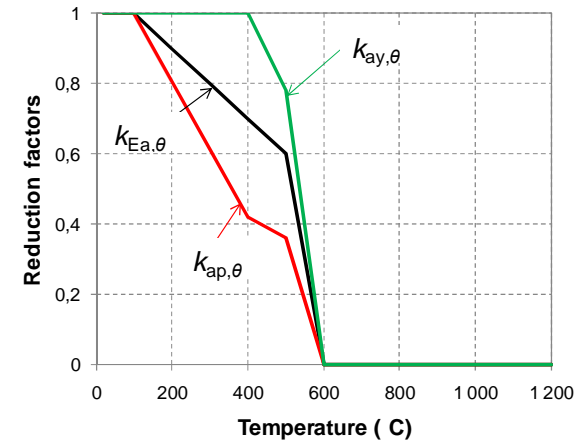
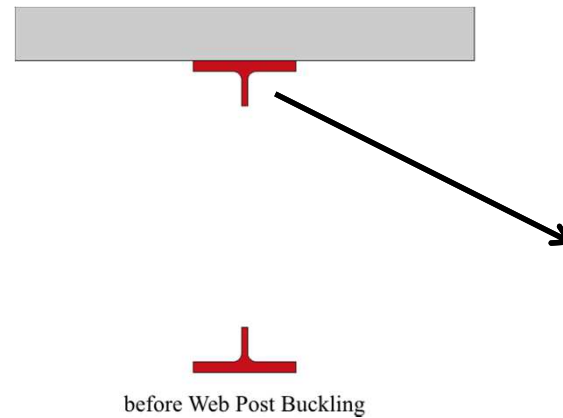
Forjado Colaborante



# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 3 (2/3)



- **Modelo híbrido para tener en cuenta la situación tras el pandeo del alma como elemento BEAM**



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

**Validación del modelo numérico**

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

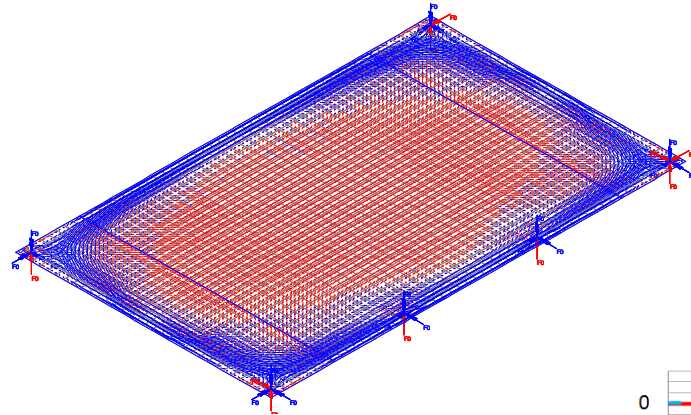
Conclusión



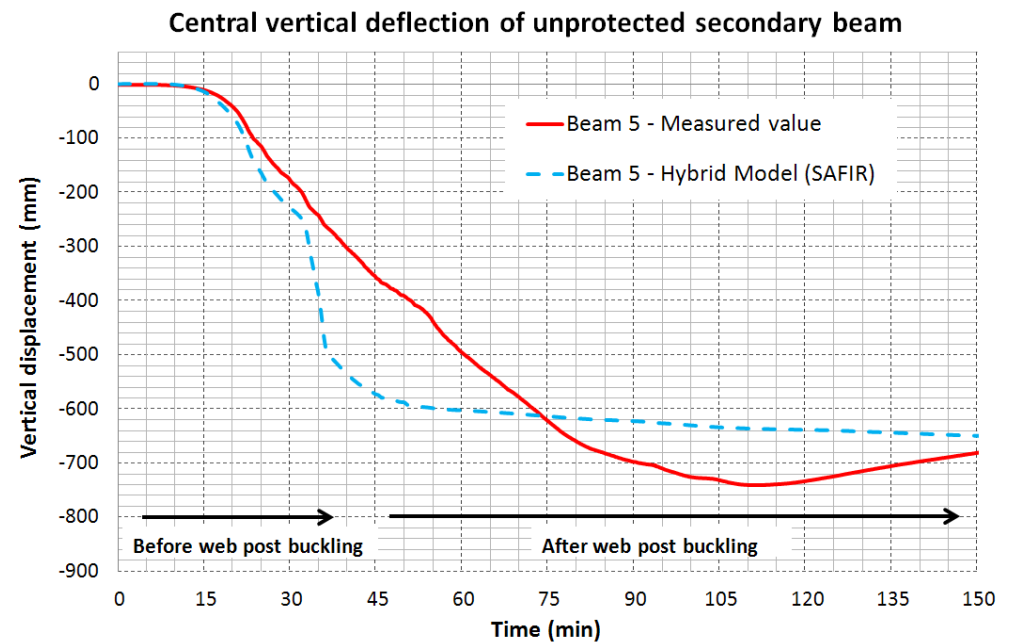
# Validación del modelo numérico de SAFIR vs. Test 3 (3/3)



- Comparación con el ensayo frente al fuego (flecha)**



Tensiones en el extremo del forjado simulado



Comparación de la flecha



# Efecto de las condiciones de contorno



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

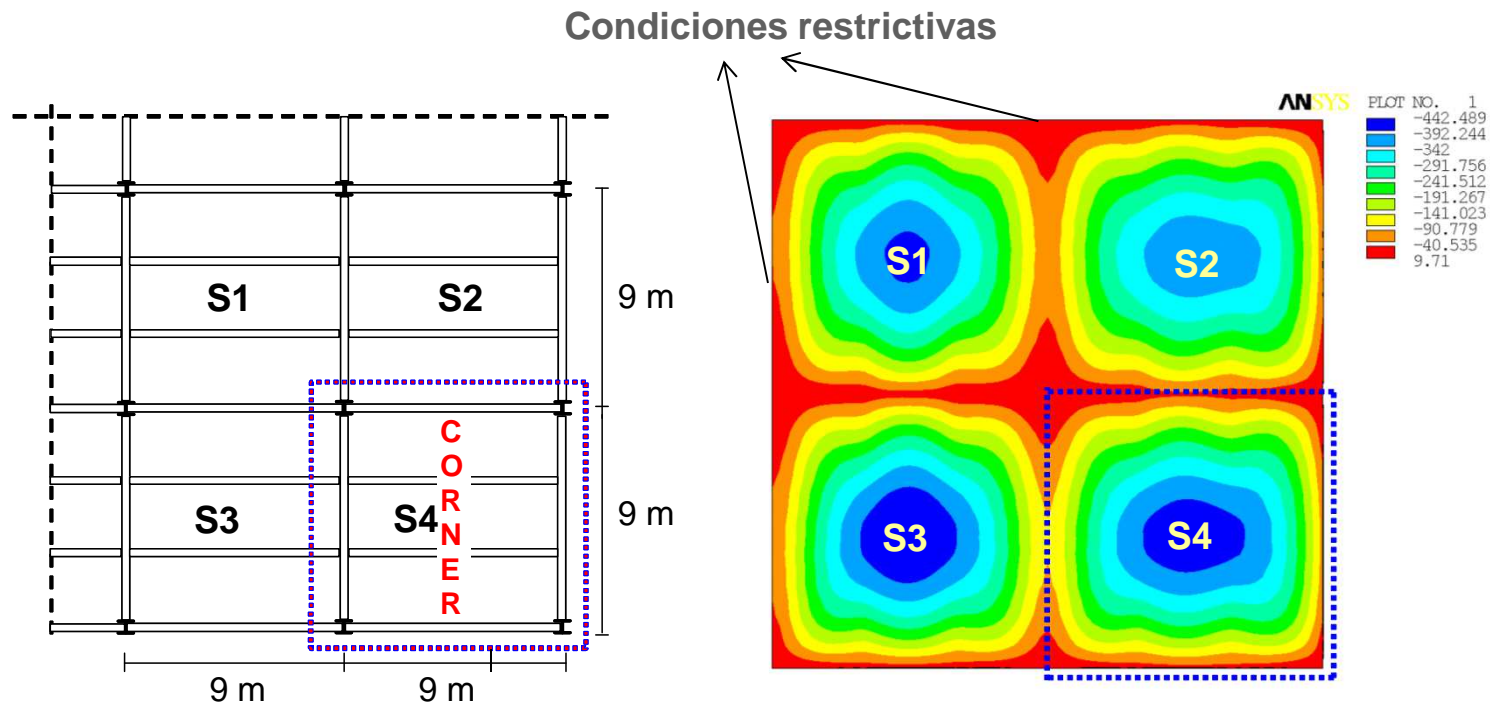
Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión



Red estructural de un edificio real

Modelo ANSYS

- **Conclusión**

- Predicción de una flecha más importante en la red de la esquina, con 2 bordes continuos, más que en otras 3 redes con 3 ó 4 bordes continuos.

Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

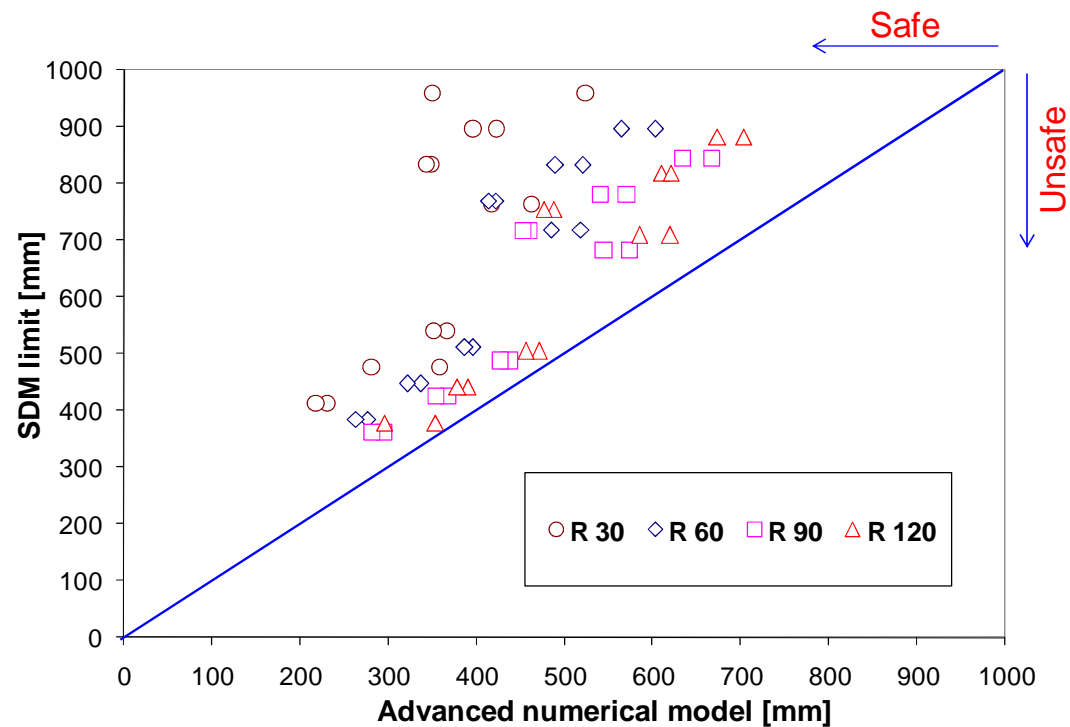
Conclusión



## Propiedades del estudio paramétrico (1/4)



- **Comparación de la flecha de AEF con la flecha máxima admisible según el MCS (método de cálculo simplificado)**



**Con unión mecánica entre forjado y columnas en cálculos avanzados**

Objetivos



## Propiedades del estudio paramétrico (2/4)



Propiedades del estudio paramétrico

- **Comparación de la flecha de AEF con la flecha máxima admisible según el MCS (método de cálculo simplificado)**

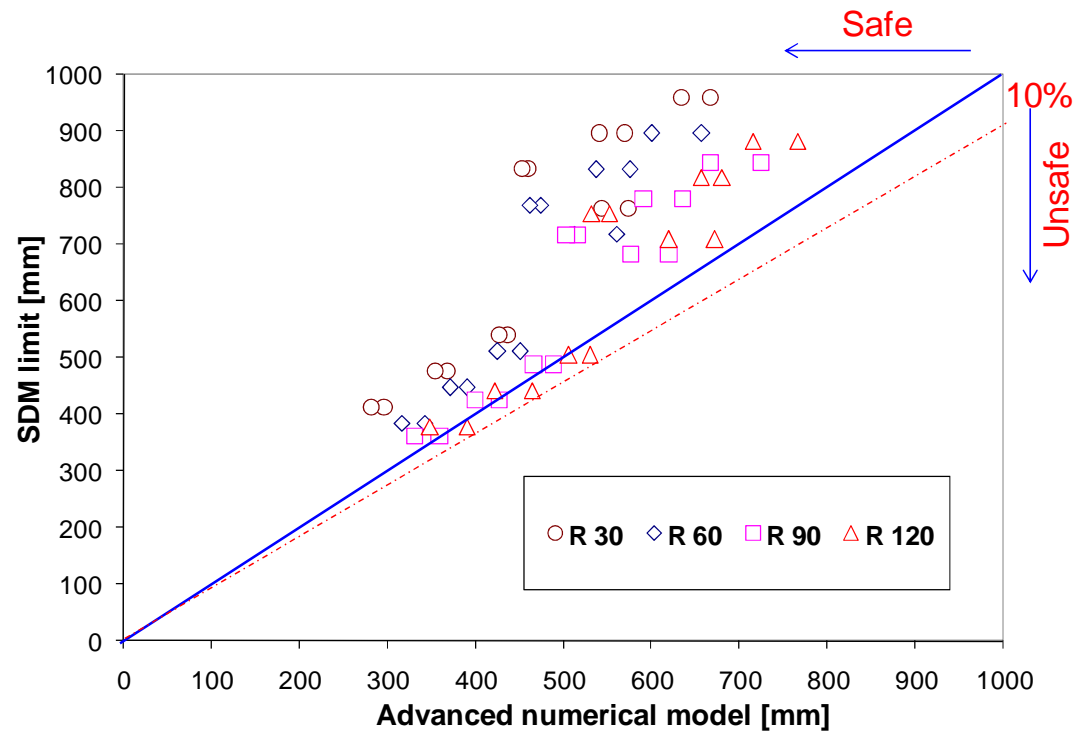
Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión



**Sin unión mecánica entre forjado y columnas en cálculos avanzados**

Objetivos



## Propiedades del estudio paramétrico (3/4)



Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

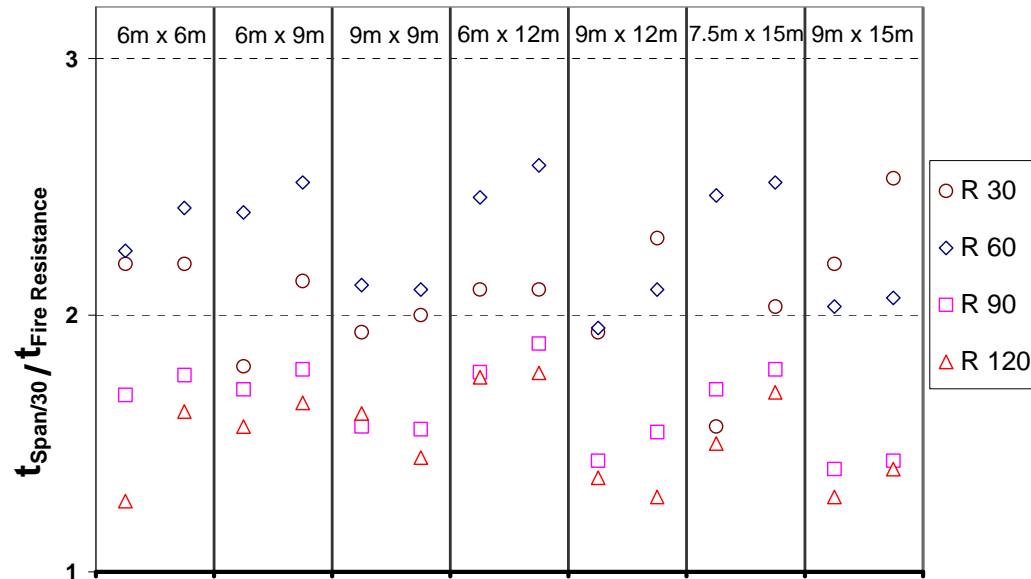
Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

Conclusión

- **Comparación del tiempo en el que la flecha de AEF alcanza la luz 30 con la resistencia al fuego según el MCS (método de cálculo simplificado)**

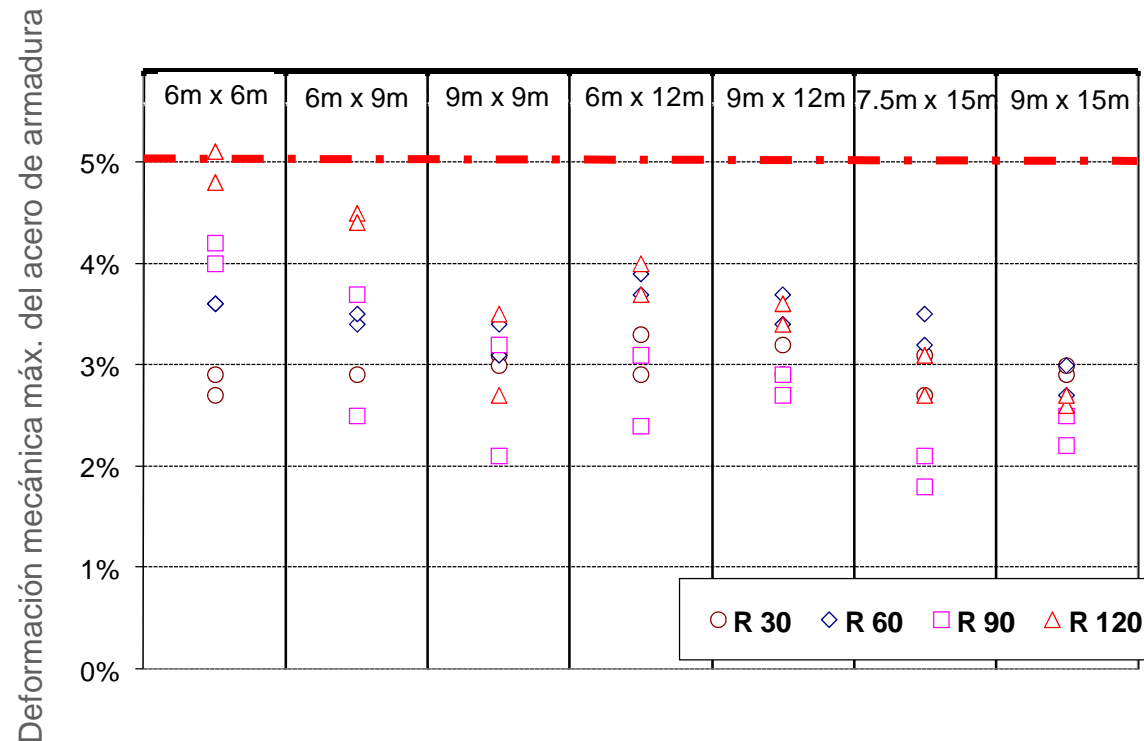


- **Conclusión**
  - No se alcanza el criterio de luz 30 en AEF en el tiempo de resistencia frente el fuego según la predicción del MCS





## • Capacidad de elongación de las barras de armadura



## • Conclusión

- Elongación del acero de armadura  $< 5\%$  = capacidad mínima de elongación admisible según EC4-1.2.



## Conclusión



Objetivos

Propiedades del estudio paramétrico

Análisis por elementos finitos

Validación del modelo numérico

Efecto de las condiciones de contorno

Resultados del estudio paramétrico

**Conclusión**

- **El método de cálculo simplificado - MCS resulta seguro en vista de los resultados del cálculo avanzado**
- **Con respecto a la elongación de la malla de acero de armadura, por regla general permanece por debajo del 5 %.**
- **Las uniones mecánicas entre el forjado y las columnas pueden reducir la flecha de un sistema de forjado colaborante en una situación de incendio, pero no son necesarias como detalle de construcción.**
- **El MCS es capaz de predecir con seguridad el comportamiento estructural del forjado colaborante de acero y hormigón sometido a un fuego estándar.**