LOCAFI+

Evaluación de la temperatura de un elemento vertical sometido a un fuego localizado
Difusión
Grant Agreement n° 754072

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

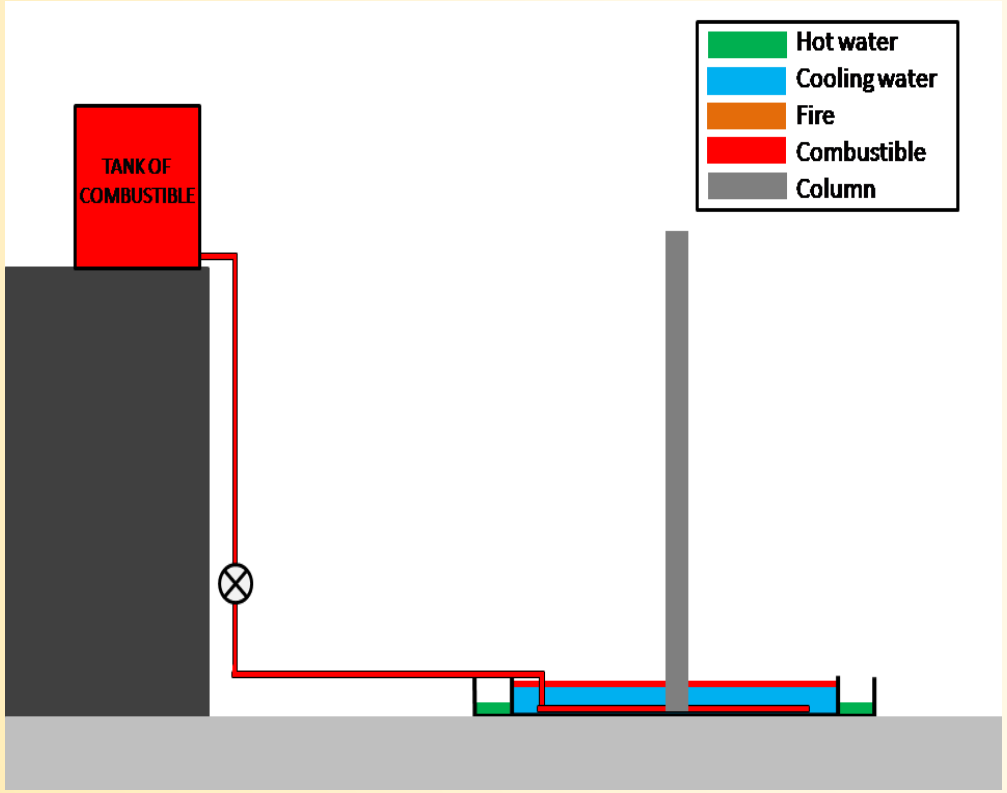
Caracterización de los flujos de calor recibidos por los elementos envueltos por las llamas

- 24 ensayos llevados a cabo por la Universidad de Liège variando:
  - El diámetro del fuego (*5 diámetros : 0.6m, 1.0m, 1.4m, 1.8m and 2.2m*)
  - El tipo de combustible (*2 diferentes combustibles líquidos (diesel y N-heptano) + 1 carga de fuego celulósica*)
  - La presencia de una columna envuelta en las llamas
- Para cada diámetro y para cada uno de los dos combustible líquidos:
  - Un ensayo sin columna dentro del fuego
  - Un ensayo con una columna en el centro del foco del fuego

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

Montaje experimental

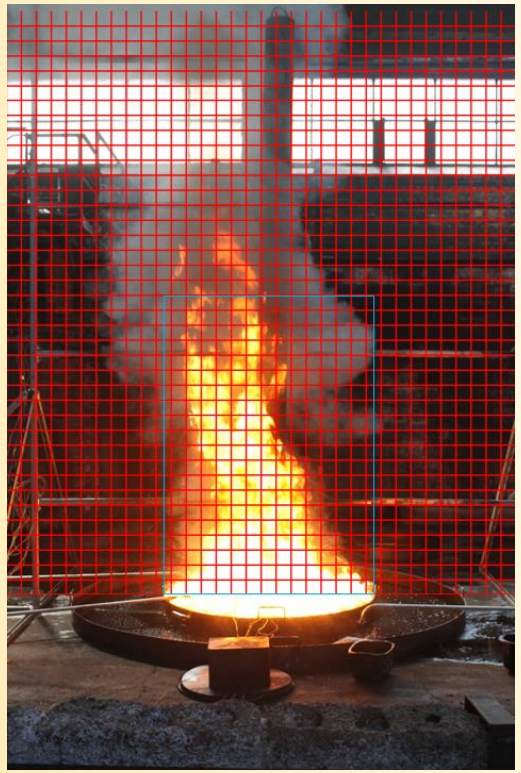


- Se ubicaron dos tanques llenos de heptano y diesel a una altura por encima del suelo para permitir el flujo de combustible por gravedad;
- La tasa de liberación de calor (HRR) del fuego se controló ajustando el flujo de combustible inyectado mediante una simple válvula manual;
- La cubeta de combustible fue continuamente alimentada con agua fría para refrigerar la capa bajo el combustible ardiendo y, con ello, proporcionar un regimen de combustión más estable, evitando la ebullición del agua.

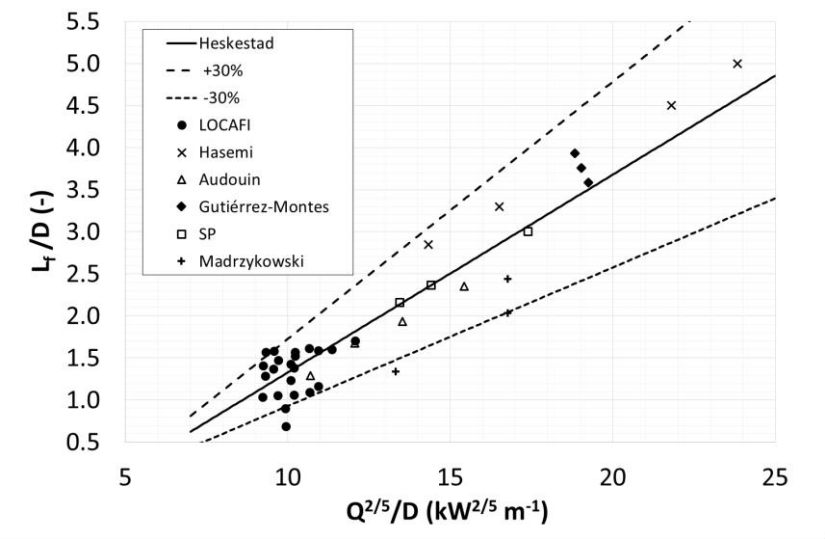
3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

Mediciones experimentales: longitud de llama



La longitud media de la llama L es la distancia sobre el foco del fuego donde la intermitencia baja a 0.5, viniendo definida la intermitencia I(z) como la fracción de tiempo durante la cual la llama permanence a una cierta altura por encima del foco del fuego. Esta evaluación se realizó empleando análisis de imagen digital.



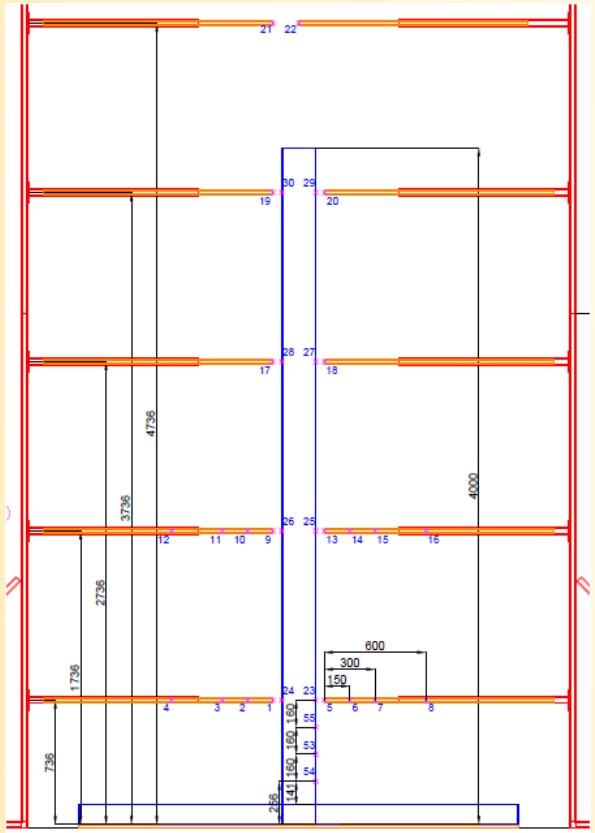
La diferencia entre la longitud experimental de la llama y la predicha por el modelo de Heskestad está comprendida entre el +30% y -30%, lo que está en línea con otras investigaciones de fuegos localizados, principalmente debido a la incertidumbre sobre la eficiencia de la combustión y la densidad del combustible.

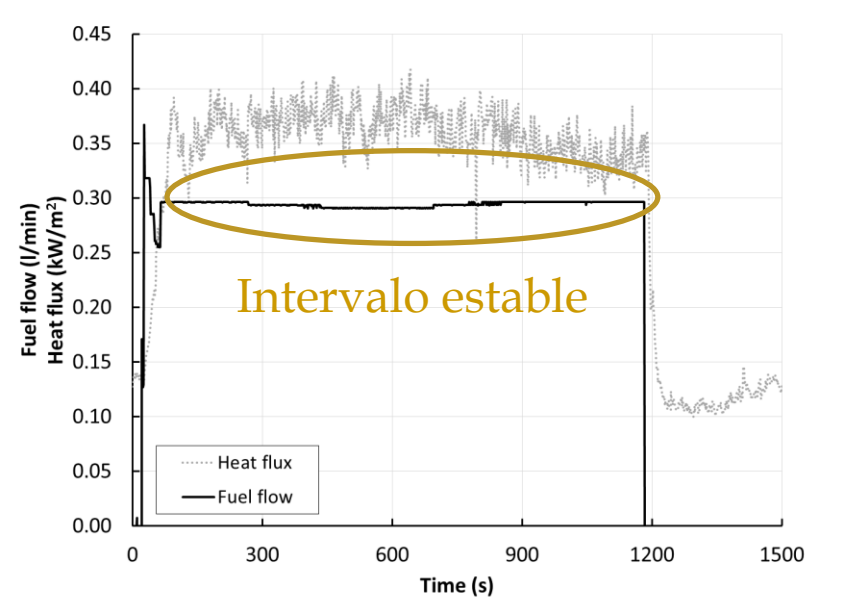
N. Tondini, J.M. Franssen, "Analysis of experimental hydrocarbon localised fires with and without engulfed steel members", Fire Safety Journal 92 (2017), 9-22

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

Mediciones experimentales: temperatura y flujos



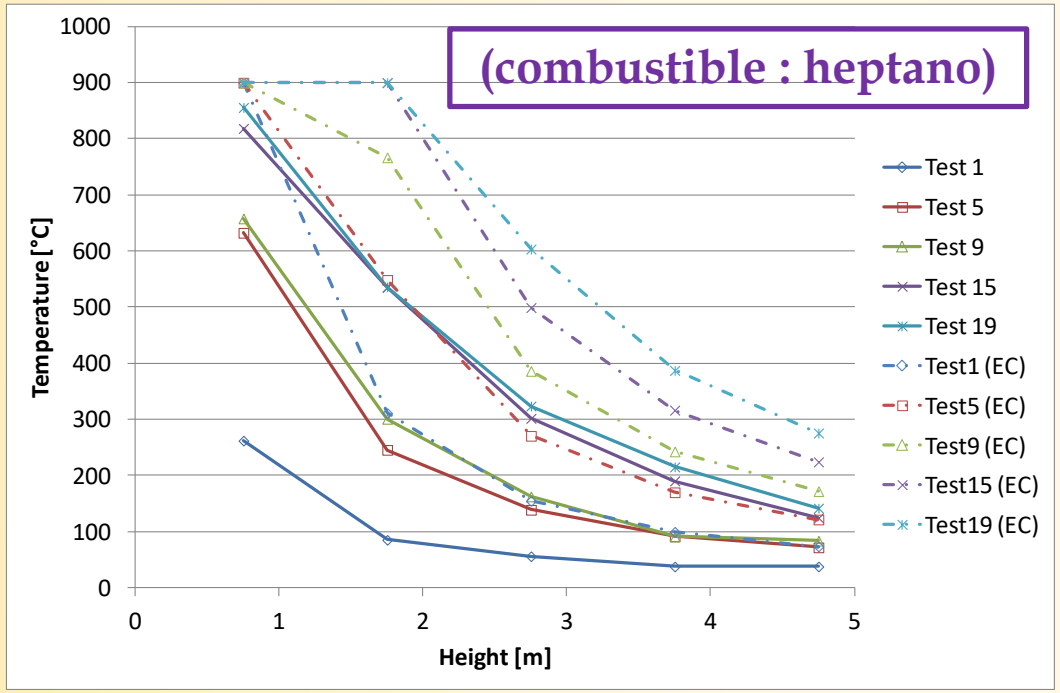


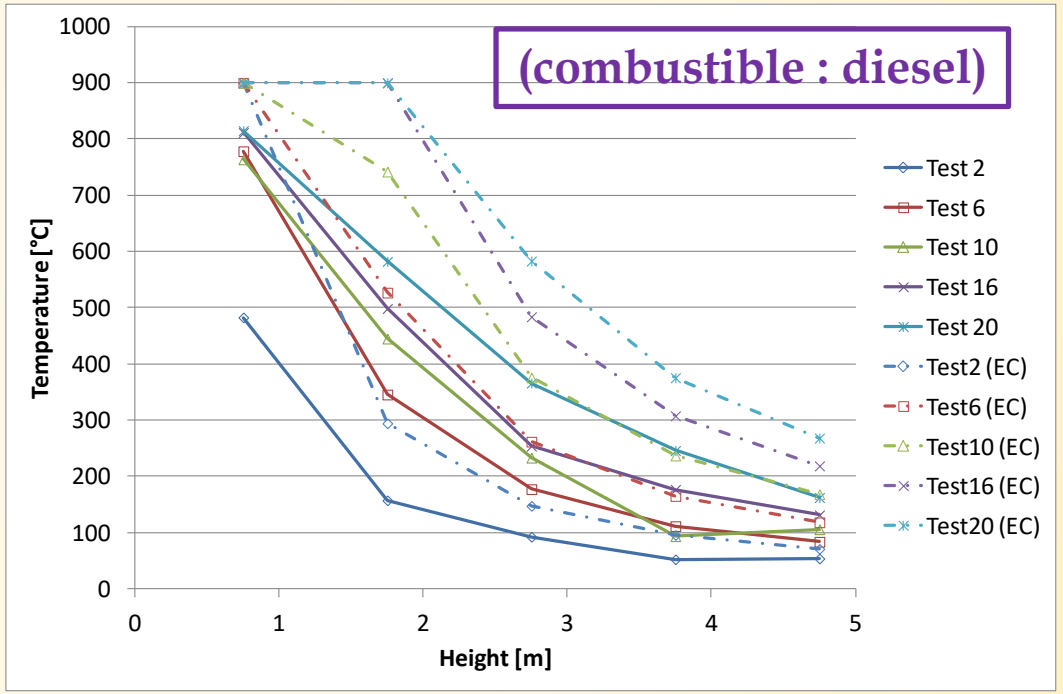
- Los ensayos se continuaron hasta que se alcanzó la configuración estacionaria (medidas de temperatura del gas y flujo de calor por radiación estabilizados) ;
- En configuraciones con columnas de acero, los termopares proporcionaton también la evolución de la temperatura del acero.

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

Mediciones experimentales: temperatura y flujos



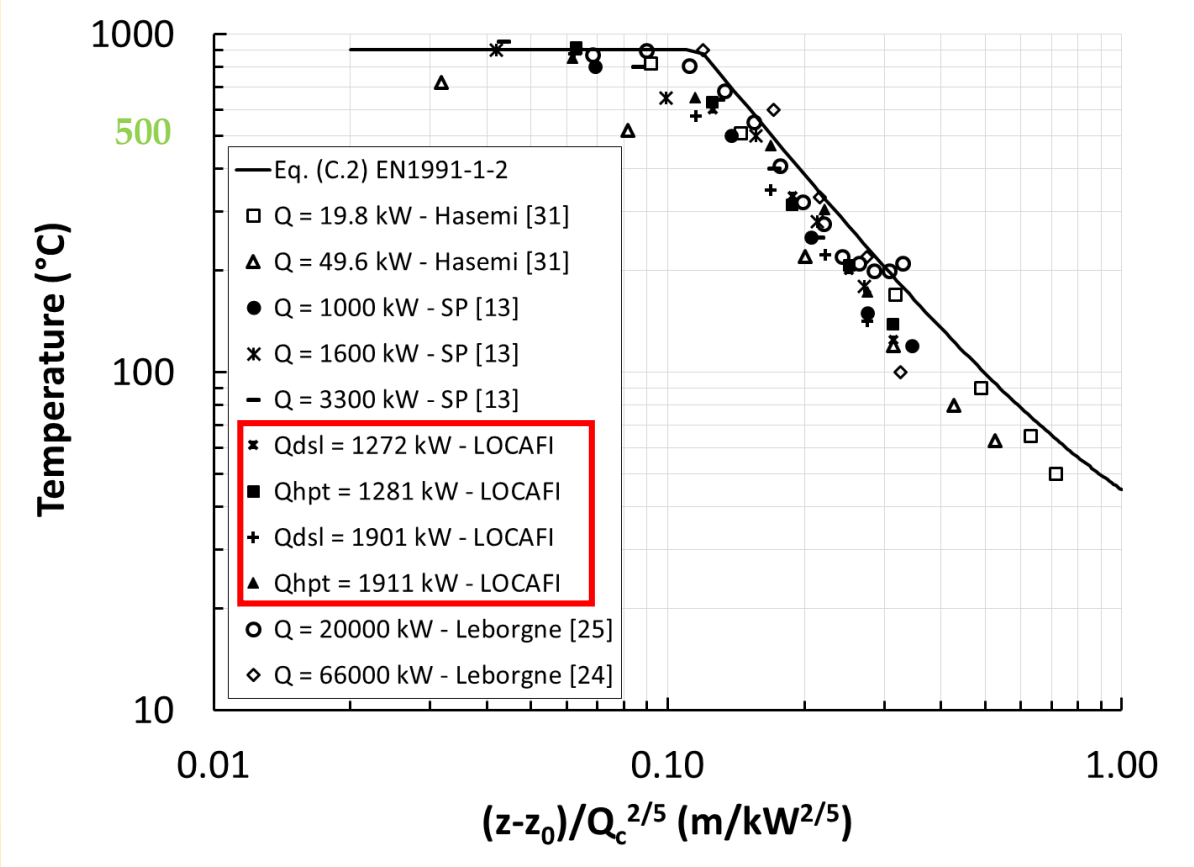


La correlación de Heskestad (EN 1991-1-2) sobreestima las temperaturas tanto en la llama ($\theta_g \geq 500°C$) como en el penacho ($\theta_g < 500°C$)

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Liège

Mediciones experimentales: temperatura y flujos



La correlación del EN 1991-1-2 proporciona una buena estimación de las temperaturas tanto en la llama ($\theta_g \geq 500°C$) como en el penacho ($\theta_g < 500°C$).

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Ulster

Caracterización de los flujos de calor recibidos por los elementos ubicados fuera del fuego

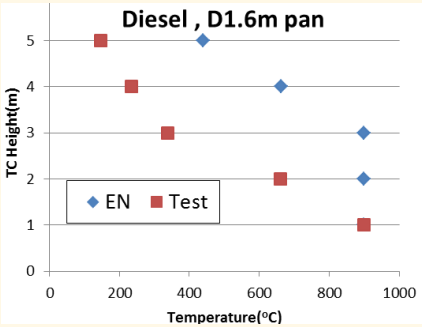
- 58 ensayos llevados a cabo por la Universidad de Ulster variando:
  - La presencia o no de techo (37 ensayos sin/ 21 ensayos con)
  - El número de fuegos en cubeta (*de 1 a 4*) y el diámetro de la cubeta (*2 diámetros : 0.7m y 1.6m*)
  - El tipo de combustible (*2 diferentes combustibles líquidos (diesel y keroseno) + 1 carga de fuego celulósica*)
- La estructura de 9mx9m está compuesta por tres tipos de columnas (*sección en I, sección en H y sección en O*)
- El HRR era variable en el tiempo (no controlado) y medido por un cono calorimétrico
- La longitud de la llama fue evaluada con la ayuda de una cámara y en base a la probabilidad de presencia de la llama

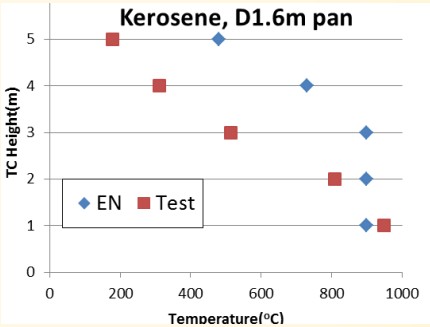
3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

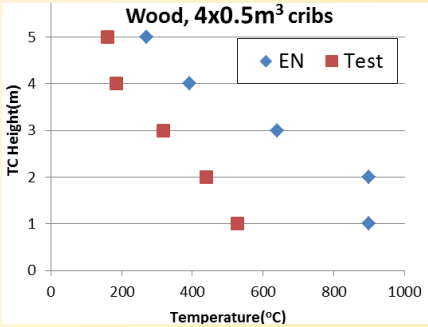
Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Ulster

Mediciones experimentales: temperatura de la llama

ALTURA	TESTS O8, I9 (KEROSENO, D1.6M)		TEST O10 (DIESEL, D1.6M)		TESTS O1,O2 (KEROSENO, D0.7M)		TESTS O3,O4 (DIESEL, D0.7M)		TEST O14 (MADERA)	
	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST	EN	TEST
1M	900	949	900	899	900	686	900	652	900	527
2M	900	810	900	660	845	223	697	208	900	440
3M	900	515	900	339	381	90	325	89	640	317
4M	730	312	663	235	228	-	198	-	391	185
5M	479	179	440	146	157	-	139	-	271	159





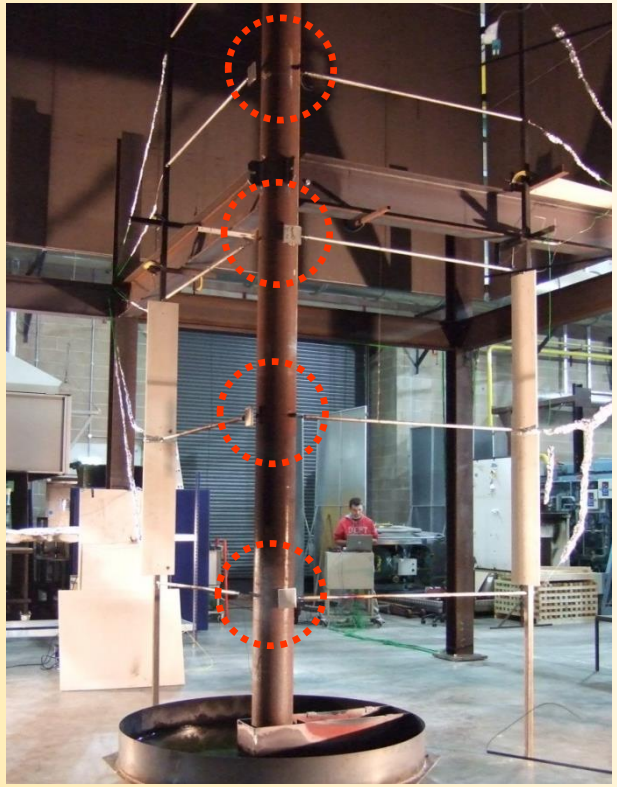


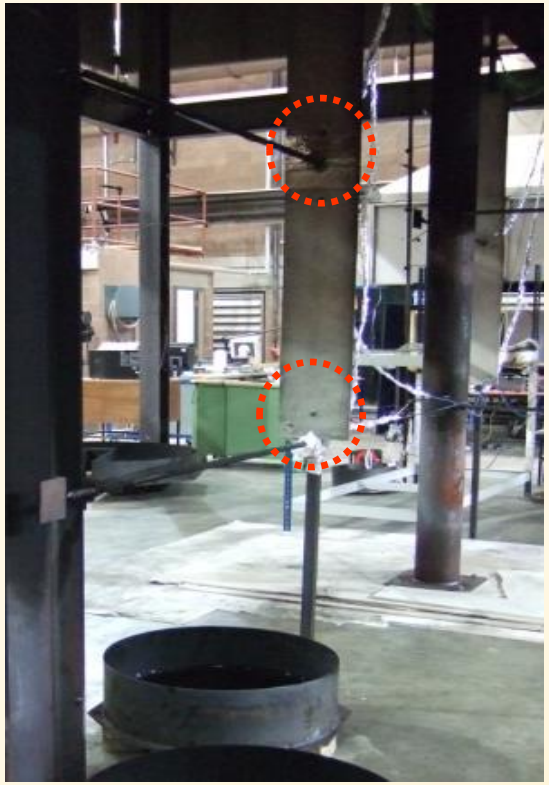
Estos ensayos confirman que la correlación de Heskestad (EN 1991-1-2) sobreestima las temperaturas tanto en el dominio de la llama ($\theta_g \geq 500°C$) como en el del penacho ($\theta_g < 500°C$).

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Ulster

Mediciones experimentales: temperatura y flujo de calor fuera del fuego



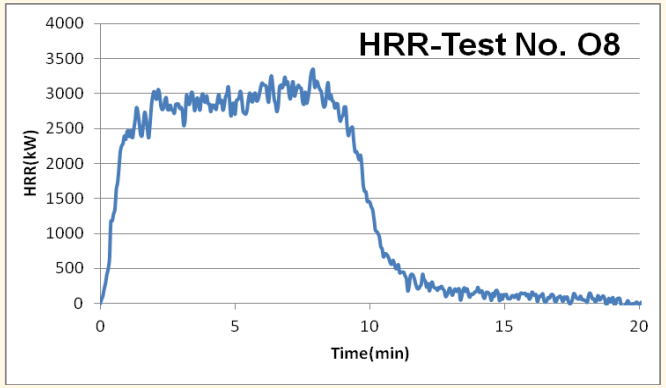


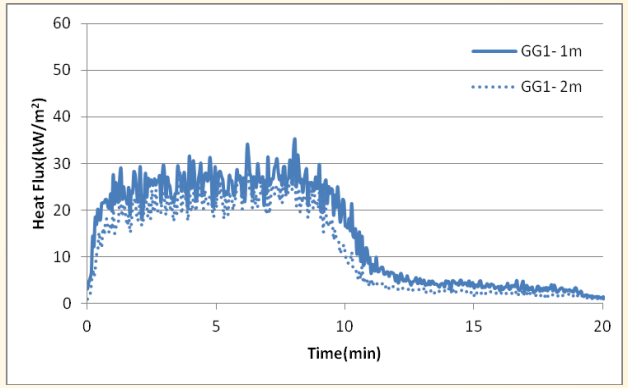
3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

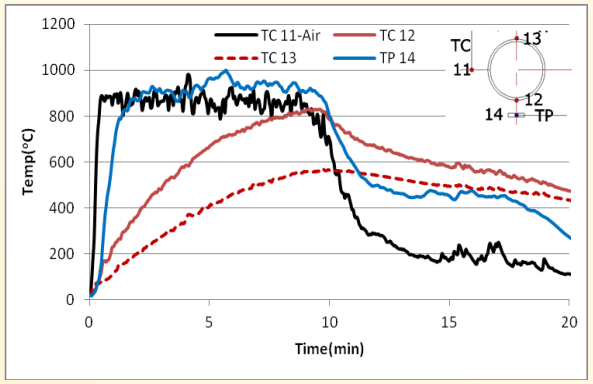
Ensayos llevados a cabo en la Universidad de Ulster

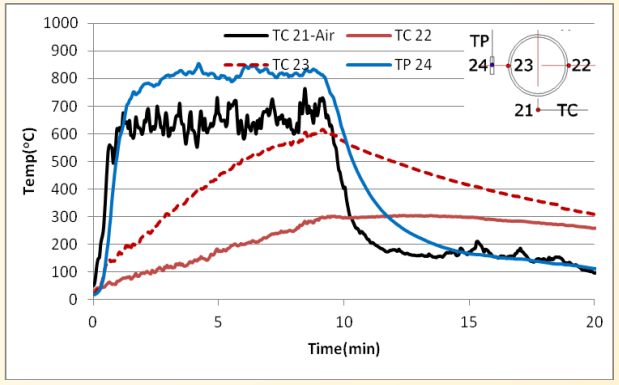
Mediciones experimentales: resultados del ensayo O8

- Número de cubetas: 1
- Diámetro de la cubeta: 1.6 m
- Tipo de combustible: Keroseno
- Cantidad de combustible: 60 L
- Distancia columna-cubeta: 0 m
- Distancia galgas-columna : 1.5m
- Sin techo









3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Objetivos

- El número de ensayos y las mediciones realizadas durante los ensayos son limitadas.
- Debido a las dimensiones del edificio/laboratorio donde se llevaron a cabo los ensayos, no fue posible cubrir por completo el rango de fuegos localizados (El Anexo C del EN 1991-1-2 es válido hasta D = 10 m y Q = 50 MW)

→ **Tras la validación del/los modelo/s, el modelado mediante CFDs se revela como una herramienta rentable y potente para proporcionar una gran cantidad de resultados para la posterior validación de los modelos analíticos de cálculo.**

- El software FDS es un software libre, desarrollado por el NIST, y ampliamente utilizado por la comunidad de ingenieros de fuego

La calibración de los modelos FDS se llevó a cabo reproduciendo una selección de 5 ensayos escogidos en base a los diguientes criterios:

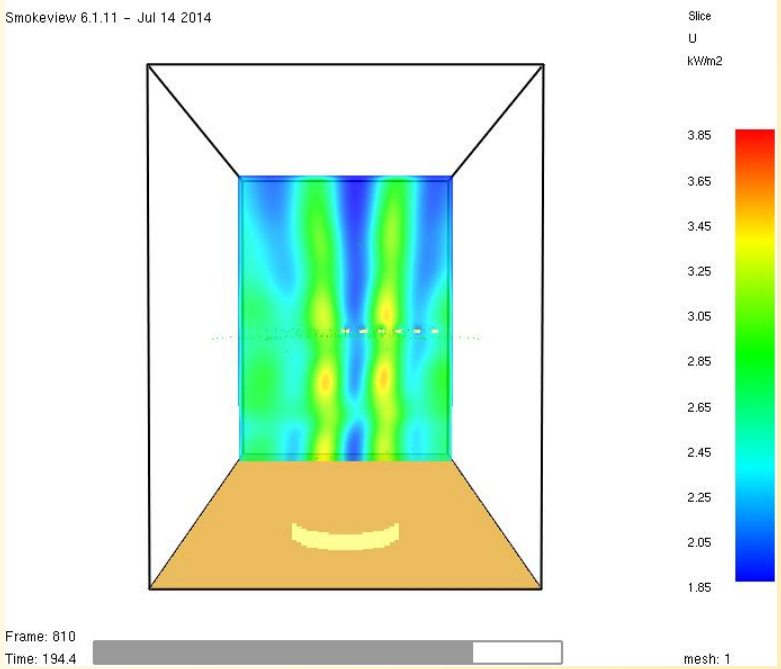
- Ensayos llevados a cabo bajo condiciones constants y controladas (Liège) y condiciones libres (Ulster)
- Ensayos cuyos resultados fueron estables y estacionarios
- Diferentes tipos de combustible, diámetros de cubeta pequeños y grandes, con y sin techo,…

Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Parámetros de calibración

Los parámetros de mayor influencia ajustados durante el proceso de calibración fueron:

- Modelo de turbulencia (Smagorinski, $C_s = 0.1$)
- Propiedades del combustible, incluyendo la fracción de hollín, obtenidos de bibliografía (condiciones sobreventiladas)
- Número de ángulos de radiación (200)
- Pérdidas de la fracción radiativa (rango de 0.2-0.5, principalmente dependiendo del tipo de combustible y diámetro del fuego)
- Efectos del viento (basado en medidas experimentales)
- Dimensiones de la retícula de mallado (basadas en la longitud característica y resolución de la medida de turbulencia)



Ejemplo de variaciones de flujo debido a un número insuficiente de ángulos de radiación

Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Ensayo ULG 06 (D = 1m, Heptano, sin columna)

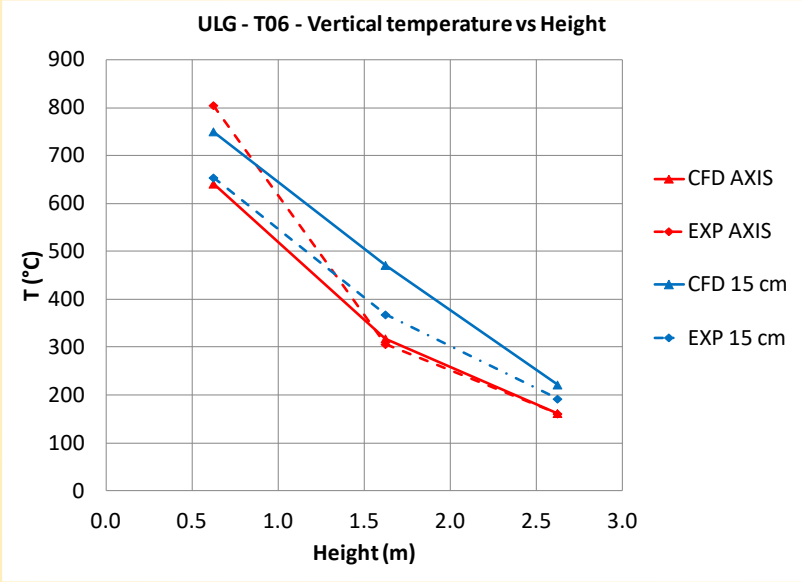
Flujo de combustible medio q_{fuel}	0.98 l/min
Densidad del combustible ρ	675 kg/m^3
Fracción de hollín y_{soot}	0.037
Calor ideal de combustión $\Delta H_{c,ideal}$	44600 kJ/kg
Calor de combustión ΔH_c	41200 kJ/kg
RHR calculado con $\Delta H_{c,ideal}$	491.7 kW (626.1 kW/m^2)

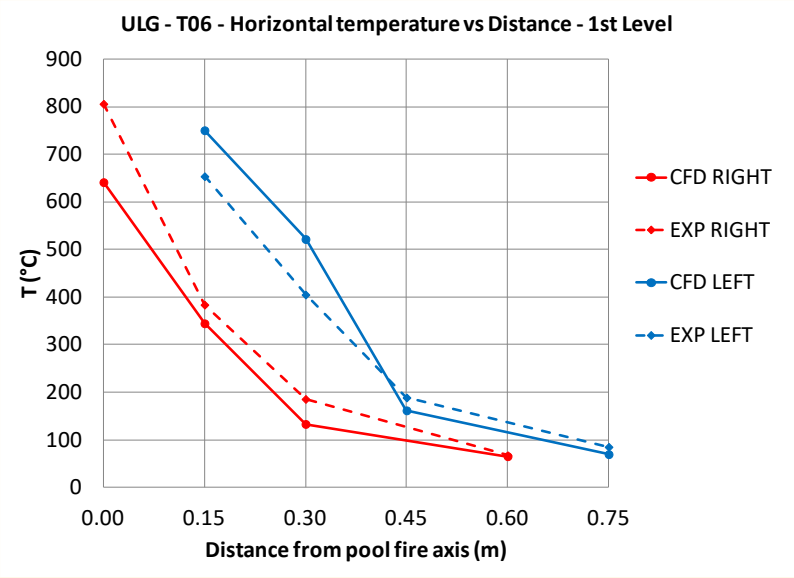
- Dimensiones del dominio CFD: 5.75m x 3m x 4m
- Tamaño de rejilla: 5cm x 5 cm x 5 cm
- Velocidad del viento: 0.22 m/s
- Pérdidas de la fracción radiativa: 0.45 (SFPE)

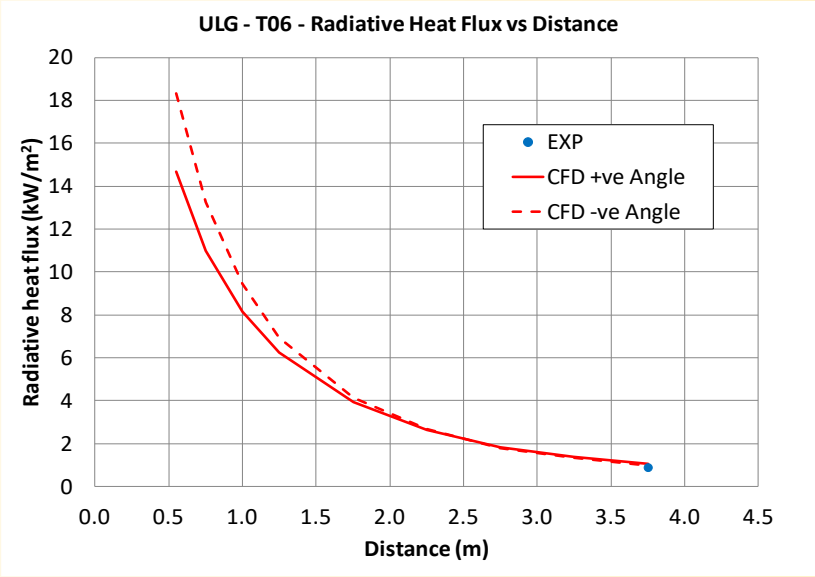
3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Ensayo ULG 06 (D = 1m, Heptano, sin columna)







3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Ensayo Ulster O29 (D = 0.7m, Diesel, con techo a 3.5m)

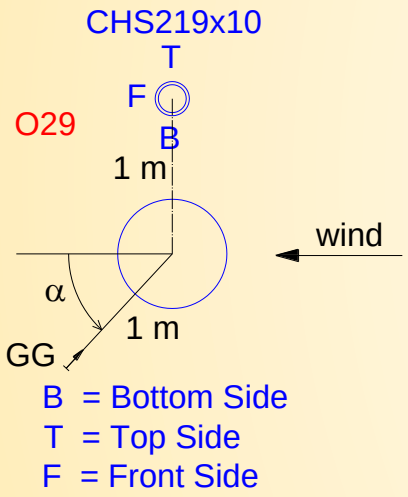
Densidad del combustible ρ	823 kg/m^3
Fracción de hollín y_{soot}	0.10
Calor ideal de combustión $\Delta H_{c,ideal}$	44000 kJ/kg
Calor de combustión ΔH_c	41200 kJ/kg
RHR calculado con $\Delta H_{c,ideal}$	491.5 kW (1277.1 kW/m^2)

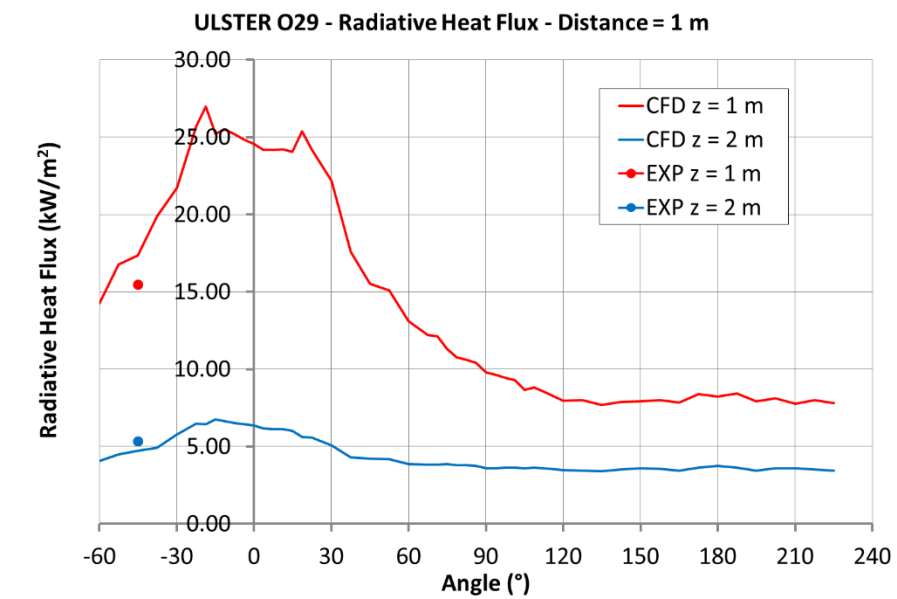
- Dimensiones del dominio CFD: 7m x 7m x 3.5m
- Tamaño de rejilla : 5cm x 5 cm x 5 cm
- Velocidad del viento: 0.76 m/s
- Pérdidas de la fracción radiativa: 0.45 (SFPE)

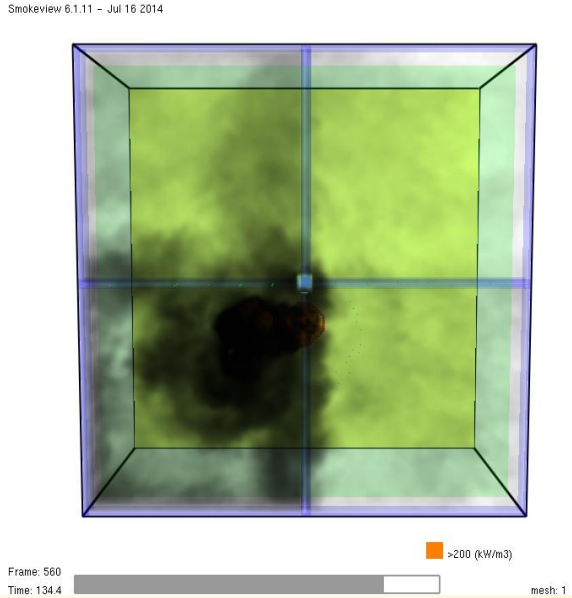
3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

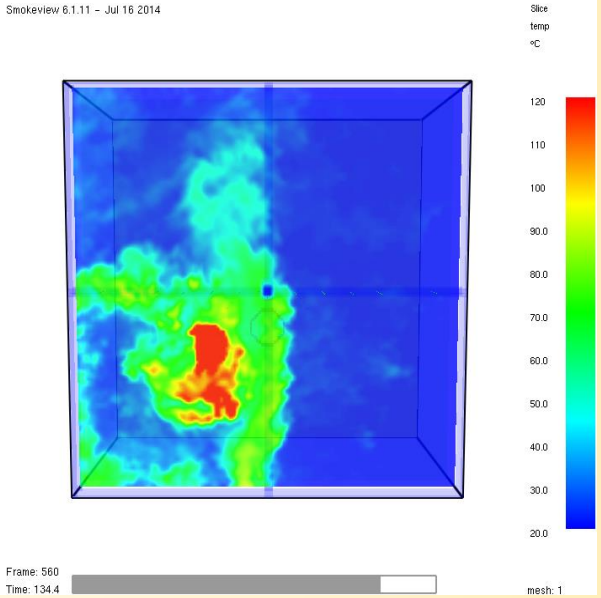
Calibración de un modelo CFD empleando el software FDS

Ensayo Ulster O29 (D = 0.7m, Diesel, con techo a 3.5m)









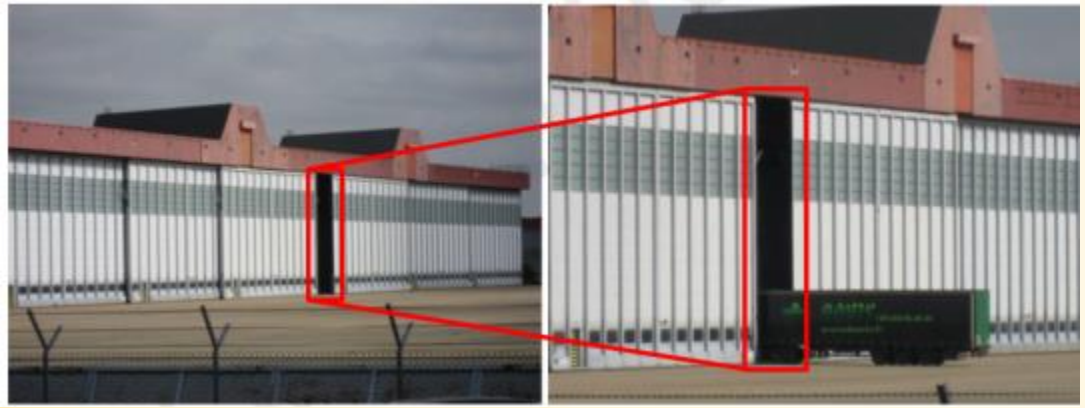
z (m)	CFD RHFG GG (kW/m²)	EXP GG (kW/m²)	Error (%)
1	17.35	15.45	12.3
2	4.71	5.32	-11.5

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

French tests (not in the scope of LOCAFI+)

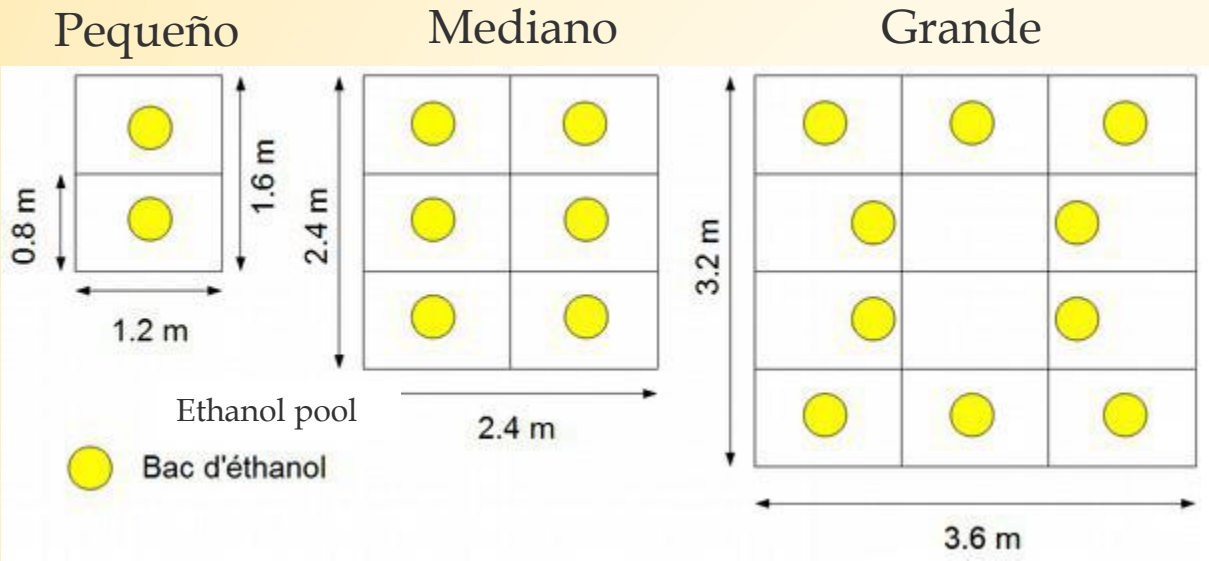
Ensayos iniciados por LCPP en un gran espacio:

- Hall principal: 300 m x 50 x 17 m
- 2 tipos de combustible: pallets de madera / keroseno
- Ensayos repetidos
- Altamente instrumentado: termopares, galgas de flujo de calor, videos (IR y normal)



18

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

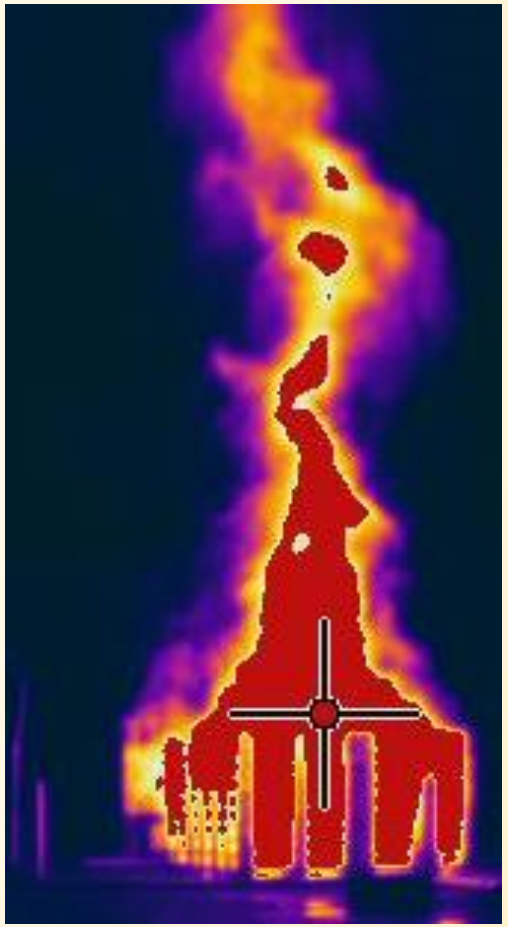


Ensayo pequeño: ~ 20 palets
Ensayo mediano: ~ 60 palets
Ensayo grande: ~ 110 palets

19

3. Ensayos experimentales y calibración de CFD

HRR ~ 30 MW



20