web.unican.es

NUCLEVS: Validación, calibración y aplicación de modelos de propagación de incendios en escenarios reales de Centrales Nucleares

Convocatoria 2022 para la concesión de subvenciones a la realización de proyectos de I+D+i

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

IP: Daniel Alvear Portilla
(alveard@unican.es)
Coordinadora: Eugenia Morgado Cañada

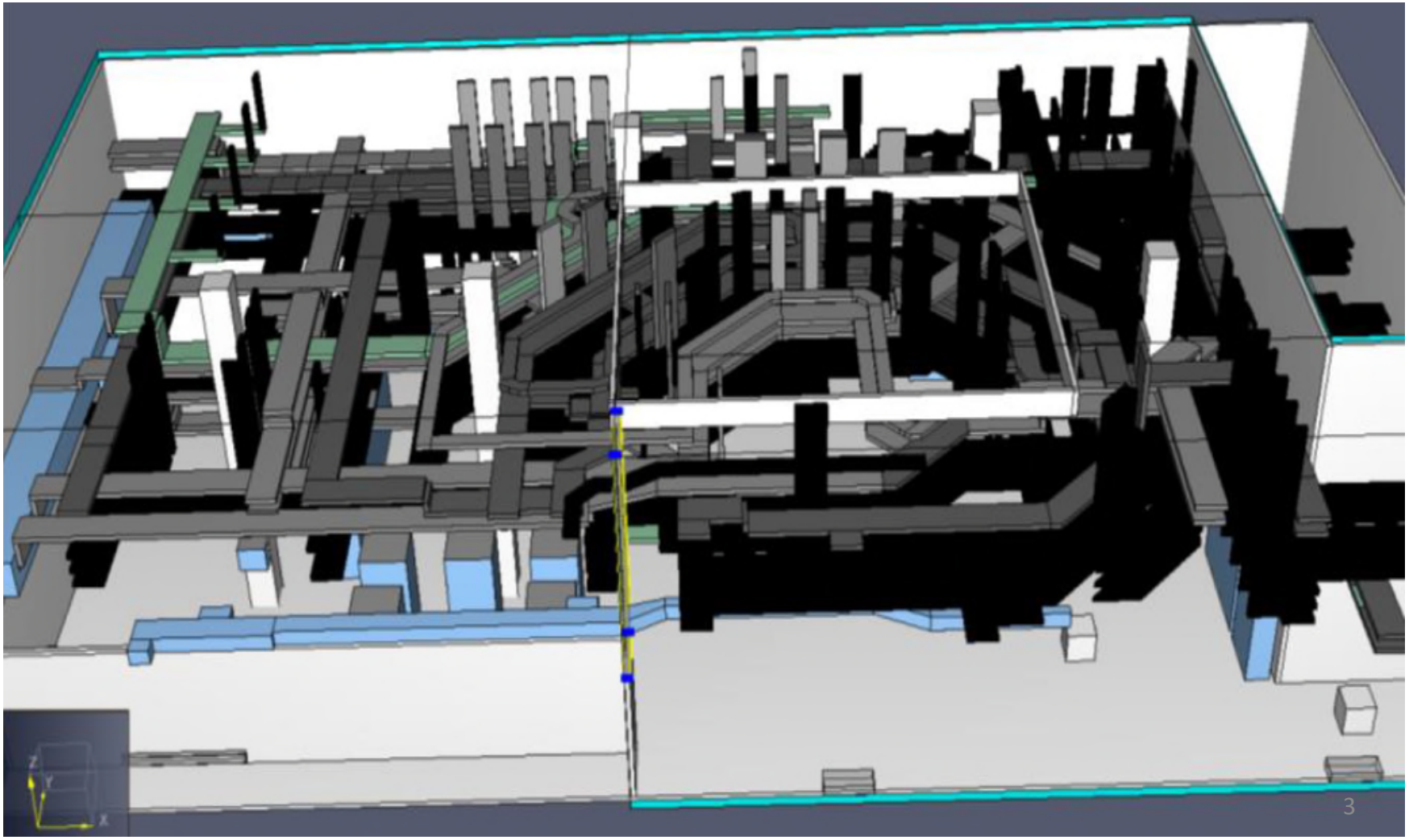
Objetivo principal

Mejorar la seguridad de las centrales nucleares mediante un análisis comprensivo de sus escenarios de incendio y el desarrollo de simulaciones realistas de la dinámica del incendio

Objetivos específicos

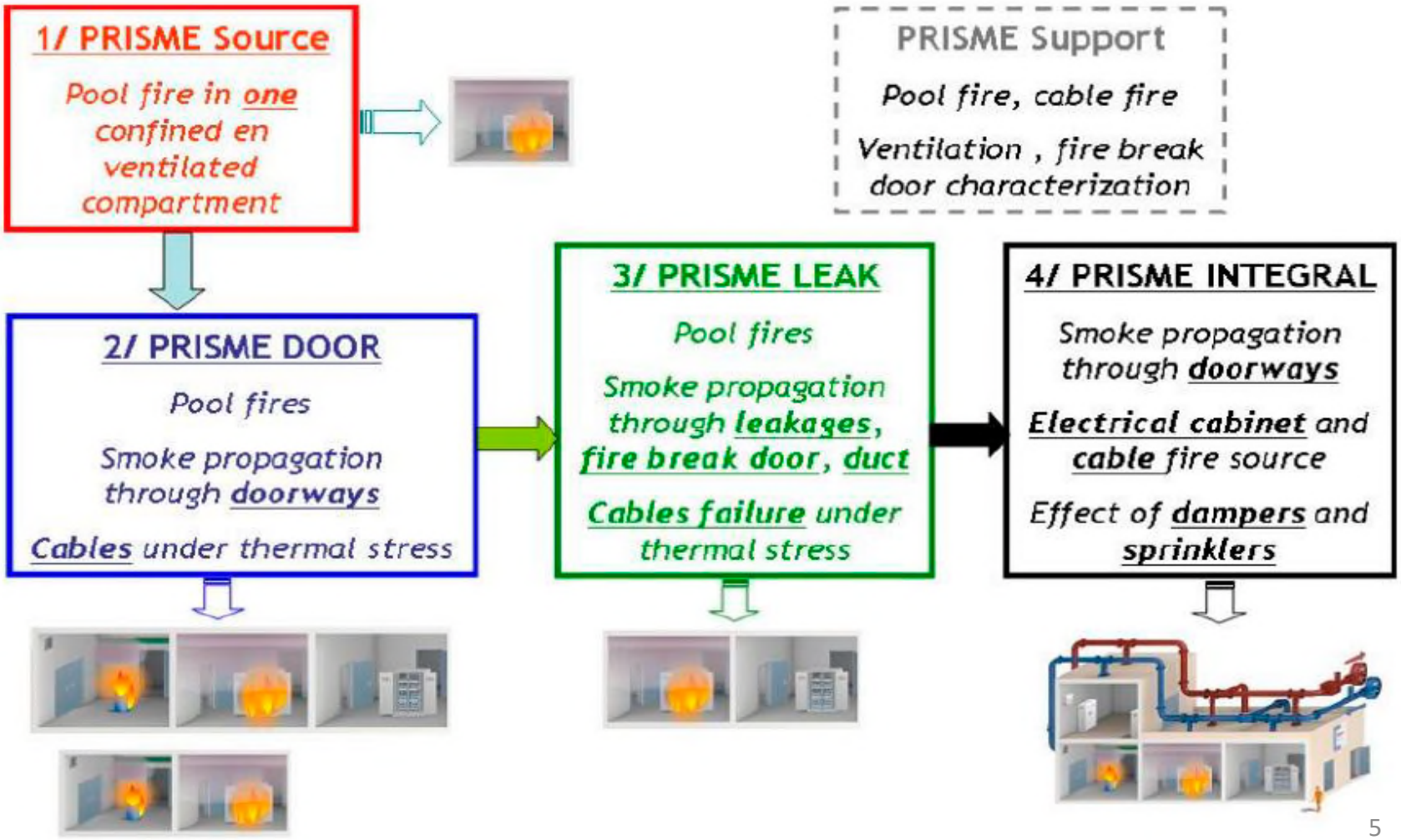
- *Validar los principales modelos empleados en la actualidad en el campo de la seguridad contra incendios en el entorno nuclear frente a experimentos de programas en los que haya participado o esté participando el CSN (NEA/OCDE etc.), y ensayos específicos adicionales.*
- *Obtener las incertidumbres de los modelos asociados a la validación.*
- *Calibrar el conservadurismo de diversos modelos de simulación computacional de propagación de incendios empleando casos canónicos y experimentos de programas en los que haya participado o esté participando el CSN*
- *Desarrollar una metodología que facilite a los Analistas Probabilistas de Seguridad frente a incendios la correcta definición del máximo escenario de incendios esperado (MEFS). Esta metodología empleará simulaciones de Monte Carlo con modelos de zona para definir los MEFS a simular con modelos basados en fluidodinámica computacional*

Una aproximación gráfica al problema…



Esfuerzo internacional

Trabajos experimentales



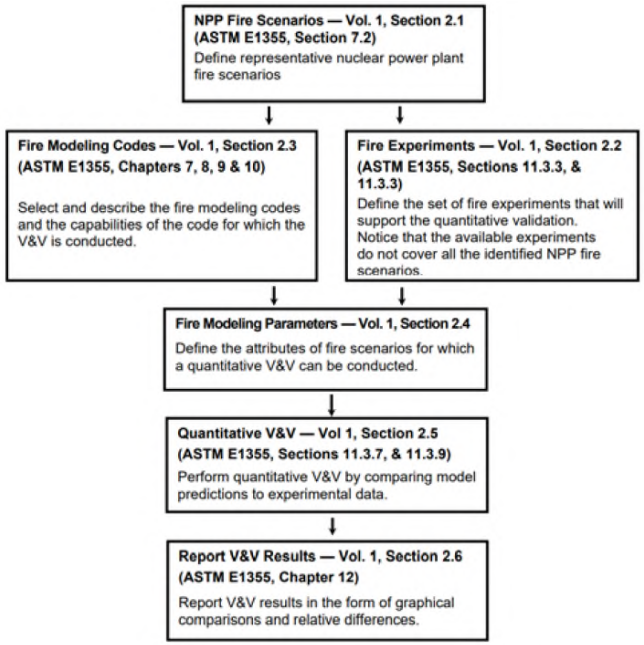
Trabajos experimentales

Ejercicios "Benchmark" y comparación de resultados.

Participación en ejercicios de "Benchmark"

Desviación estándar: $\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum \left| x_M^i - \overline{x_e} \right|^2}{1 - n}}$

Validación de los modelos frente a los ensayos experimentales.



Validación de modelos de incendios para aplicaciones en plantas de energía nuclear NUREG-1824

Entre los fenómenos considerados en la fase de validación se incluirán, al menos:

- Aumento de T_h con ventilación natural
- Concentración de O_2
- Aumento de la T_{target}
- v_p del fuego en bandejas de cables
- Extinción por agotamiento de oxígeno

Los dos últimos fenómenos no están incluidos aún en la validación de los modelos recogida en la NUREG 1824

Trabajos experimentales

Metodología de la campaña experimental

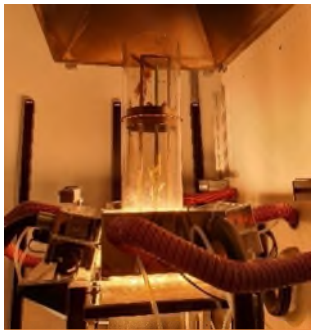
1) *Selección del combustible*

2) *Caracterización de las reacciones de combustión y extinción bajo distintas condiciones de ventilación. O_2 consumido y gases liberados. Ensayo pequeña escala*

3) *Ensayos a media escala manteniendo tamaño de bandeja para la validación de la extinción en los modelos computacionales en una escala tal que permita la definición detallada del mallado.*

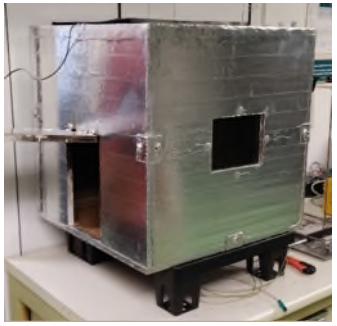
4) *Ensayos a gran escala para analizar los distintos fenómenos presentes en un escenario real y validar los distintos modelos.*

Trabajos experimentales



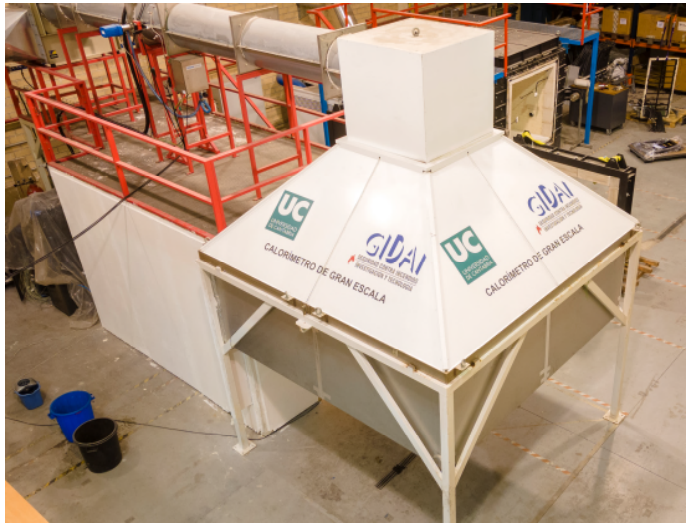
Ensayo de FPA

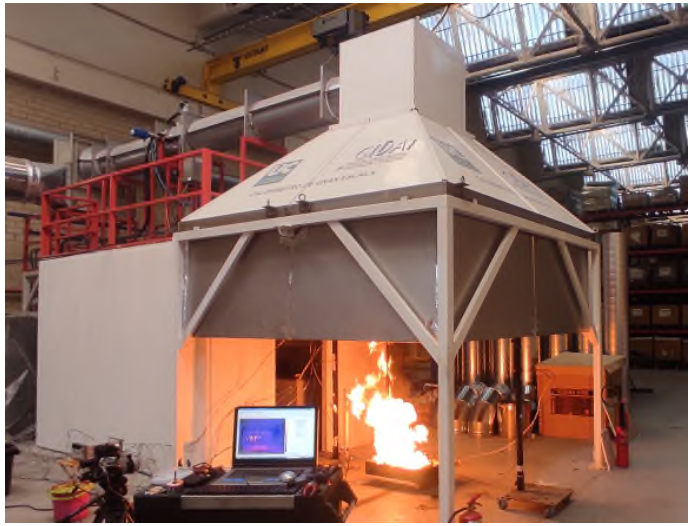
Muestra	Test	Atmósfera	Parámetros	Otros
Combustible líquido (3 repeticiones por muestra)	FPA	Aire, 15% O_2, 10%O_2	t_{ign}, MLR, HRR, SP, gases liberados	--
Combustible líquido (3 repeticiones por muestra)	Escala reducida (0.5x0.5x0.5cm)	Aire	Concentración de O_2, temperaturas, tiempo extinción	Muestra ubicada en recinto a escala para evaluar la extinción por agotamiento de O_2.
Combustible líquido	Calorímetro gran escala	Aire	Concentración de O_2, temperaturas, tiempo extinción	Muestra ubicada en RCT para evaluar la extinción por agotamiento de O_2



Ensayo escala reducida
0.5 m X 0.5 m x 0.5 cm

2.4 m x 3.6 m x 2.4 m





Calorímetro de gran escala.

Trabajos experimentales

Número ensayo	Nombre	Atmósfera	Flujo de Calor Incidente [IHF] (kW/m2)
1, 2, 3, 4	FPA_Hep-1a, FPA_Hep-1b, FPA_Hep-1c, FPA_Hep-1d	Aire	0
5, 6, 7	FPA_Hep-2a, FPA_Hep-2b, FPA_Hep-2c	18 % O2	0
8, 9, 10	FPA_Hep-3a, FPA_Hep-3b, FPA_Hep-3c	15 % O2	0
17, 18, 19	FPA_Hep-6a, FPA_Hep-6b, FPA_Hep-6c	Aire	15
20, 21, 22, 23, 24	FPA_Hep-7a, FPA_Hep-7b, FPA_Hep-7c, FPA_Hep-7d, FPA_Hep-7e	18 % O2	15
25, 26, 27	FPA_Hep-8a, FPA_Hep-8b, FPA_Hep-8c	15 % O2	15

Portamuestras de sección cuadrada de aprox. 100x100mm

NUREG 1805:
Heptano (0.01 m2)

- HRR= 5.26 kW
- Max HRR directo ($Am''\Delta H_c$)=45.0 kW

Global Equivalence Ratio ϕ

$$\phi = \frac{\dot{m}_f}{Y_{O_2} \cdot \dot{m}_a} \cdot r_o$$

$$C_7H_{16} + 11(O_2 + 3.76N_2) \rightarrow 7CO_2 + 8H_2O + 41.36N_2$$

$$r_o = \frac{(moles\ O_2)(M_o)}{(moles\ fuel)(M_f)}$$

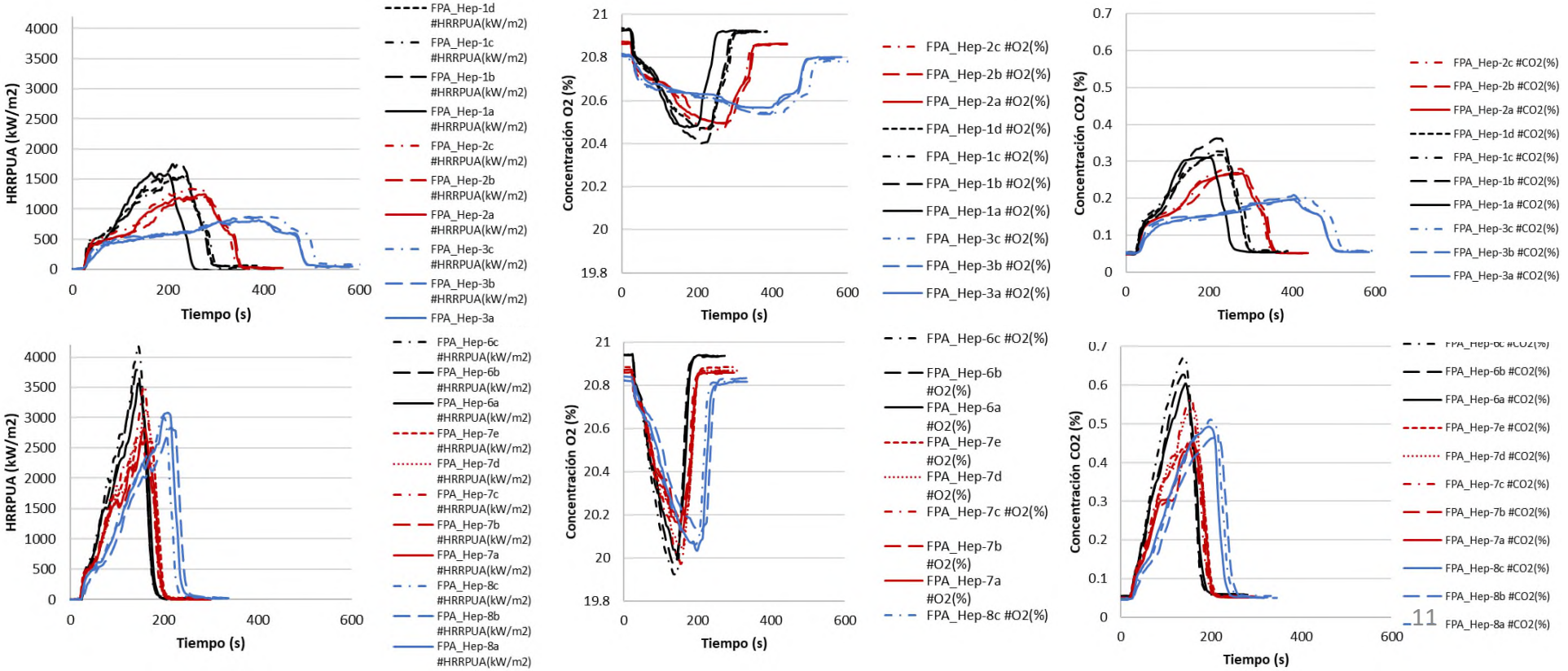
Trabajos experimentales

FPA_Hep-1b

FPA_Hep-3b

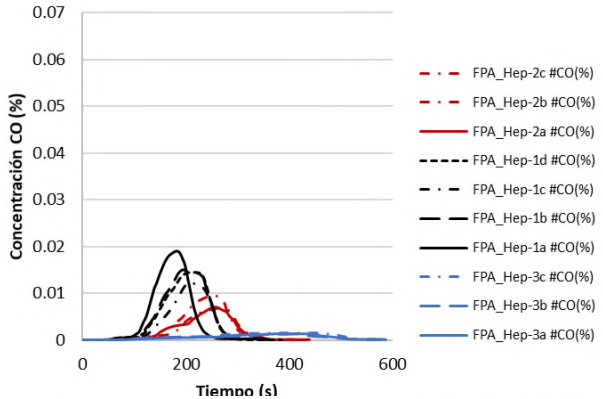
Trabajos experimentales

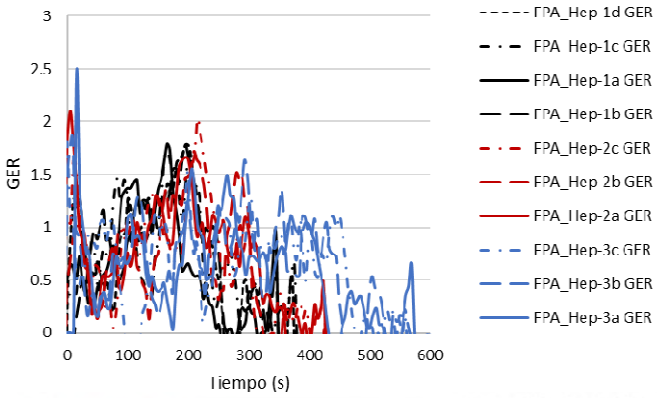
Nombre	Atmósfera	Flujo de Calor Incidente [IHF] (kW/m2)	Nombre	Atmósfera	Flujo de Calor Incidente [IHF] (kW/m2)
FPA_Hep-1	Aire	0	FPA_Hep-6	Aire	15
FPA_Hep-2	18 % O2	0	FPA_Hep-7	18 % O2	15
FPA_Hep-3	15 % O2	0	FPA_Hep-8	15 % O2	15

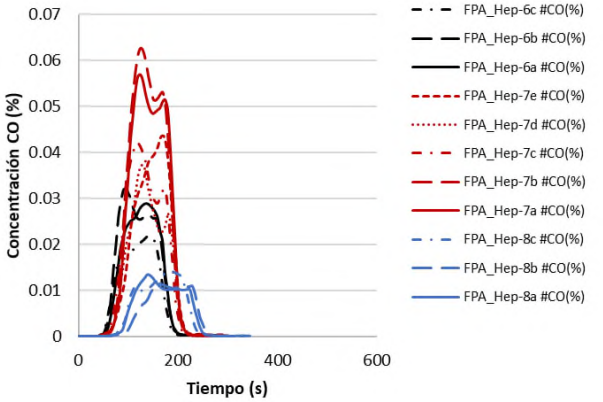


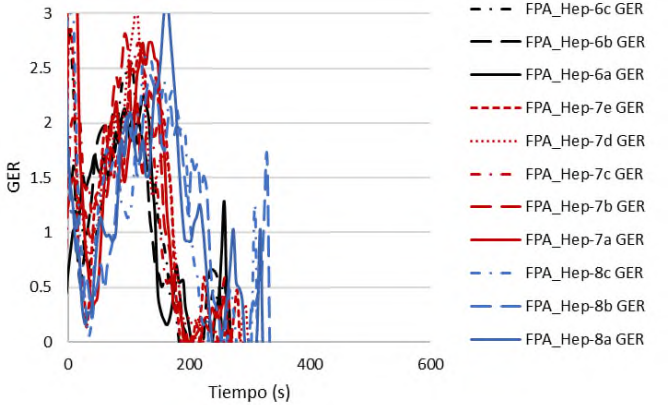
Trabajos experimentales

Nombre	Atmósfera	Flujo de Calor Incidente [IHF] (kW/m2)	Nombre	Atmósfera	Flujo de Calor Incidente [IHF] (kW/m2)
FPA_Hep-1	Aire	0	FPA_Hep-6	Aire	15
FPA_Hep-2	18 % O2	0	FPA_Hep-7	18 % O2	15
FPA_Hep-3	15 % O2	0	FPA_Hep-8	15 % O2	15

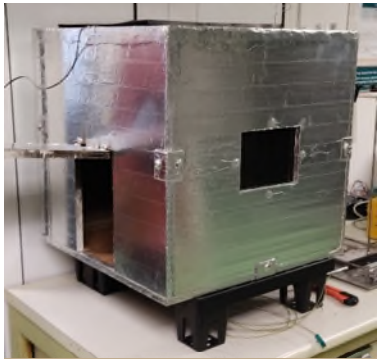








Trabajos experimentales



Muestra	Atmósfera	Abertura	Parámetros
Combustible líquido 1 (3 repet. por muestra)	Aire	Varias aperturas	Concentración de gases de la combustión, MLR, temperaturas, tiempo extinción. Flujo calor reradiado

- Manteniendo misma bandeja que en el FPA analizar los mecanismos de combustión bajo distintos GER.
- Comparar con condiciones de extinción (O_2) en FPA.
- Y MLR con FPA bajo distintos flujos. ¿Se mantiene Relación MLR-GER-IHF?

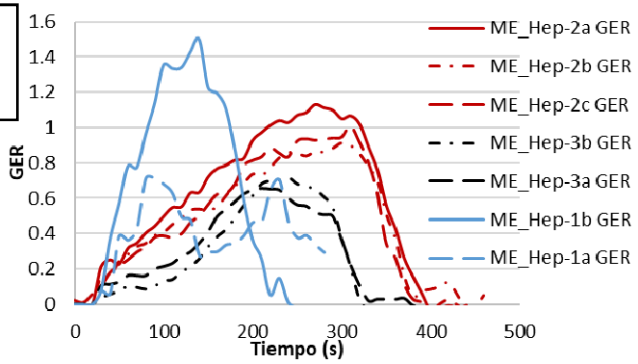
Número ensayo	Nombre	Altura apertura (m)	Altura fuente
1, 2, 3	ME_Hep-1a, ME_Hep-1b, ME_Hep-1c	0.05	0
4, 5, 6	ME_Hep-2a, ME_Hep-2b, ME_Hep-2c	0.15	0
7, 8, 9	ME_Hep-3a, ME_Hep-3b, ME_Hep-3c	0.25	0

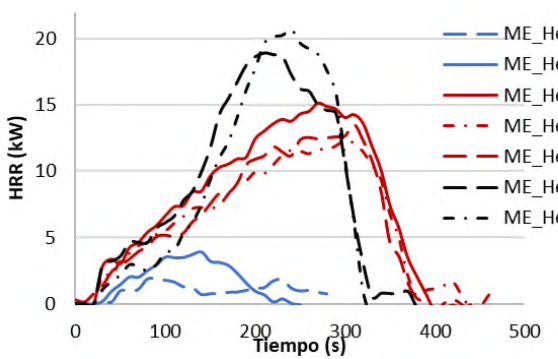
$$\phi = \frac{\dot{Q}}{13.4 \cdot 0.5 \cdot 0.23 A_0 \sqrt{H_0}} = \frac{\dot{Q}}{1.541 A_0 \sqrt{H_0}}$$

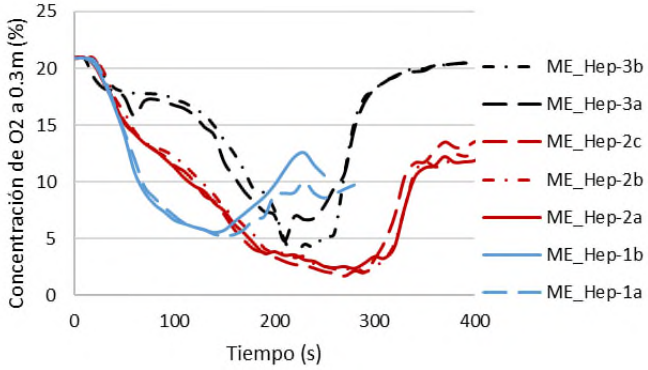
Trabajos experimentales

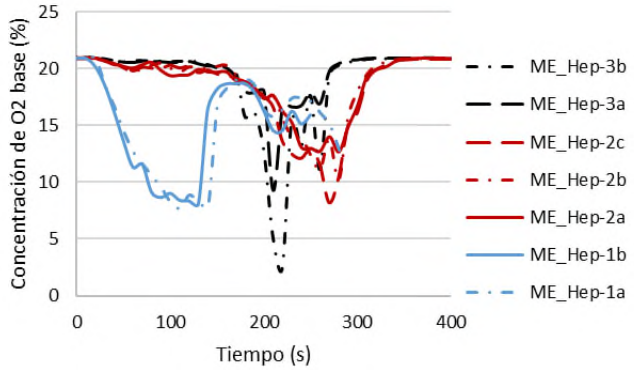
Nº ensayo	Nombre	Altura apertura H_0 (m)
1, 2, 3	ME_Hep-1a, ME_Hep-1b, ME_Hep-1c	0.05
4, 5, 6	ME_Hep-2a, ME_Hep-2b, ME_Hep-2c	0.15
7, 8, 9	ME_Hep-3a, ME_Hep-3b, ME_Hep-3c	0.25

$$GER = \frac{\dot{Q}}{1.541 A_0 \sqrt{H_0}}$$









Trabajos experimentales

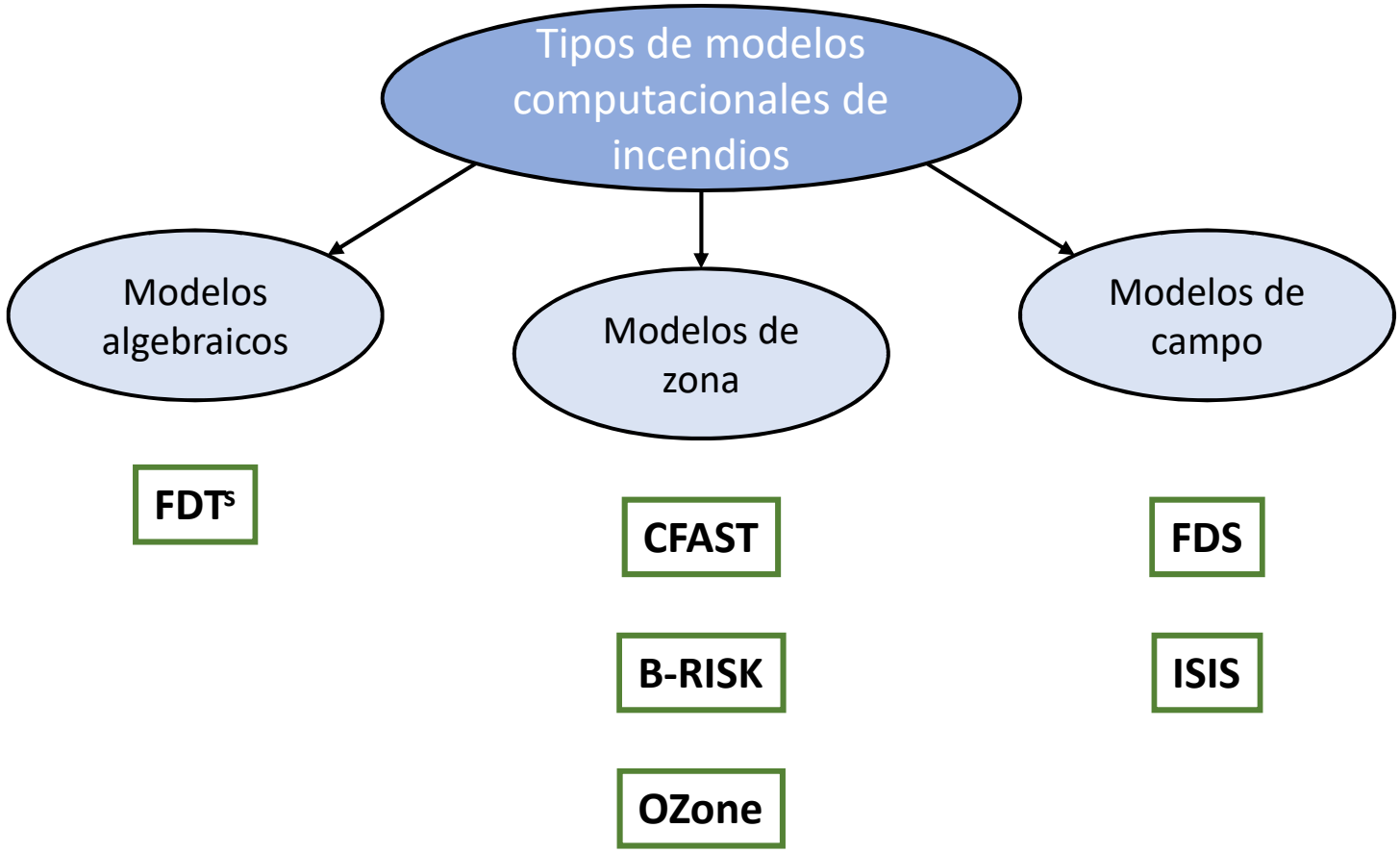
Ensayo	Muestra	Tamaño bandeja	Altura de apertura puerta (m)	GER Teórico	Altura bandeja (m)	Parámetros
T1-1	CL1 HEPTANO	A4 (2l-4 min 75 kW)	0.1/0	1.924	Suelo	• MLR • HRR • Concentración de O2 • t_{extinc} • Flujo radiación altura bandeja • Temperaturas fase gas • Altura/ temperatura capa caliente • Gases liberados • Evolución HC. Eficiencia de la combustion
T1-2					0.6m	
T1-3					1.2 m	
T1-4			0.8	0.085	Suelo	
T1-5					0.6m	
T1-6					1.2 m	
T1-7			2.0	0.022	Suelo	
T1-8					0.6m	
T1-9					1.2 m	
T1-10		A3 (4l-4 min 200 kW)	0.1/0	5.130	Suelo	
T1-11					0.6m	
T1-12					1.2 m	
T1-13			0.8	0.227	Suelo	
T1-14					0.6m	
T1-15					1.2 m	
T1-16			2.0	0.057	Suelo	
T1-17					0.6m	
T1-18					1.2 m	

- Mecanismos de combustión bajo distintas condiciones de ventilación
- Estudiar el fenómeno de la extinción por falta de oxígeno en una habitación a escala real
- Influencia de la altura en los mecanismos de combustión bajo un mismo GER. Efecto de la altura de la capa caliente de humos en los mecanismos de combustión.

Trabajos experimentales

Caracterización de las bandejas de combustible
en una atmósfera abierta

Trabajos numéricos



Trabajos numéricos

Room Corner Test (RCT)

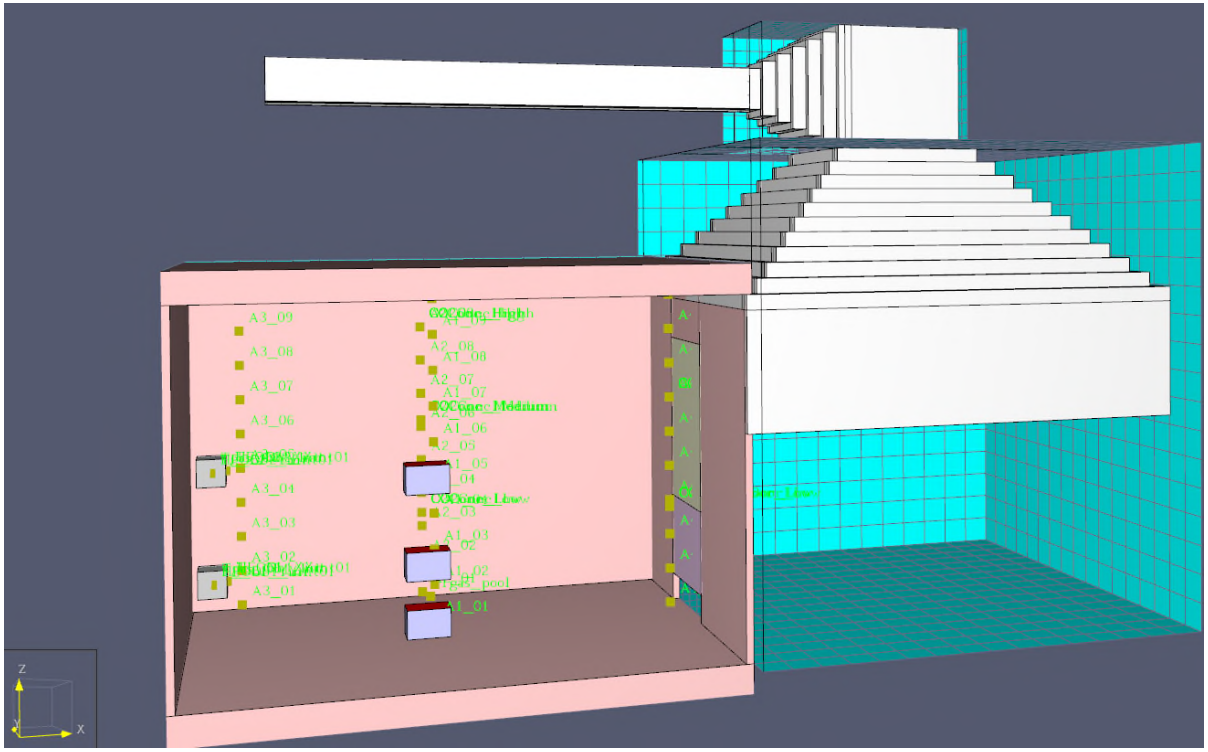
Modelo analítico FDTs (tiempo duración y HRR):

- Diseño campaña experimental a gran escala.
- Validación del modelo

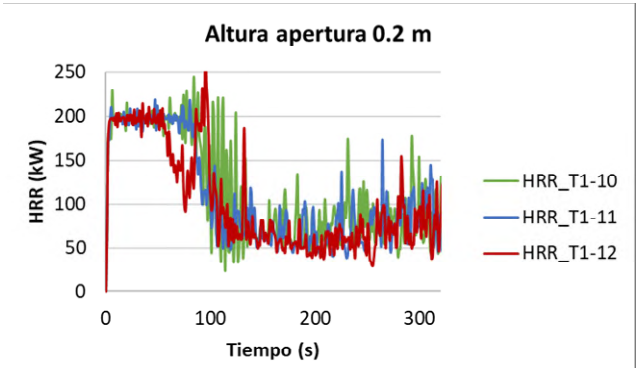
Simulaciones FDS:

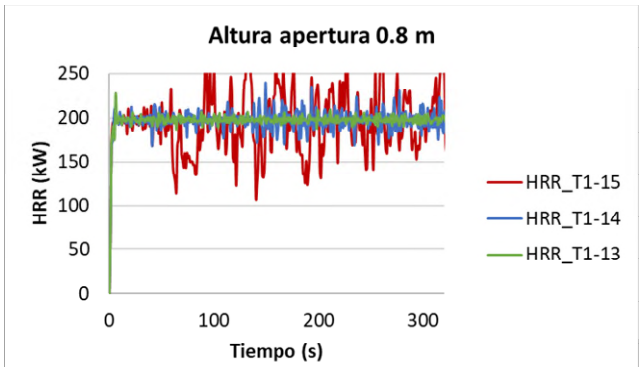
- Diseño campaña experimental a gran escala.
- Validación del modelo computacional

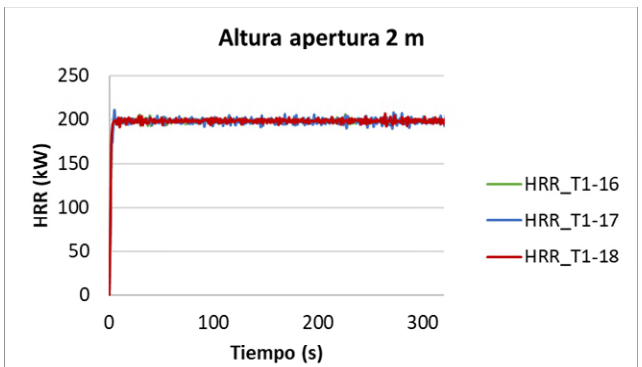
Otras herramientas

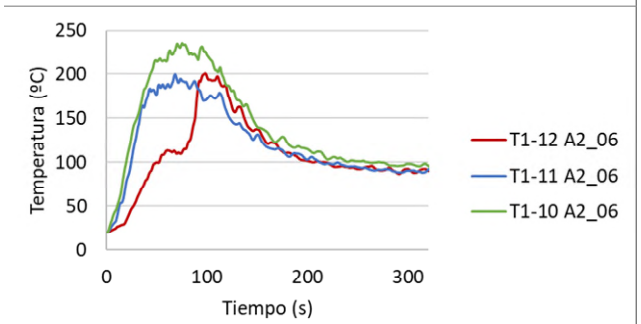


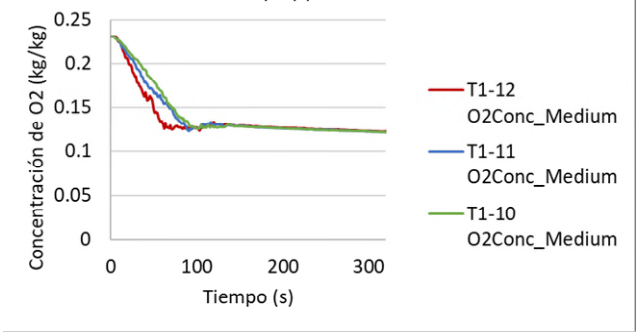
Trabajos numéricos

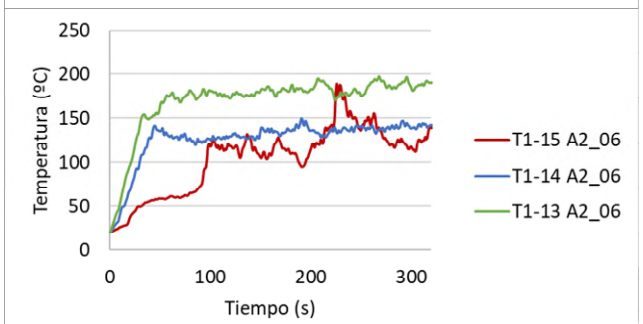


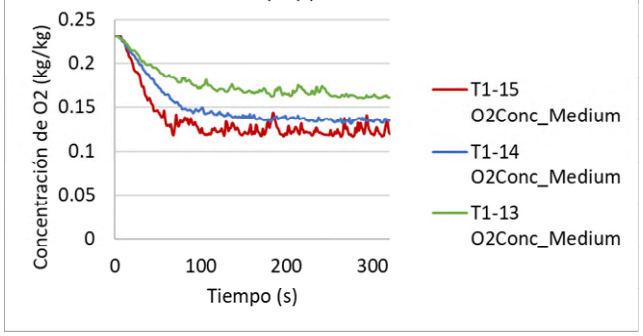


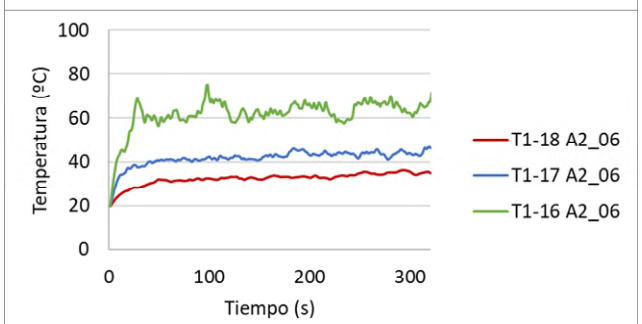


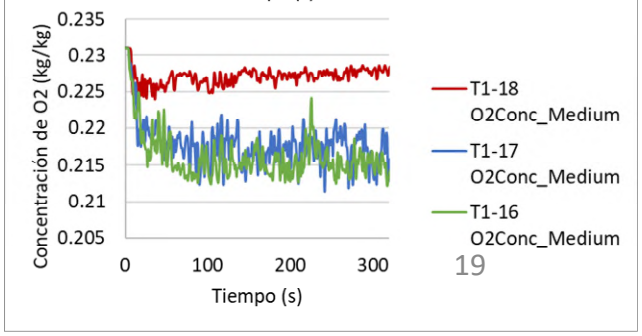






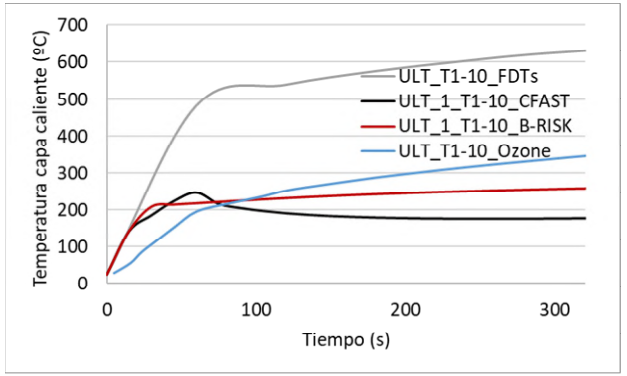


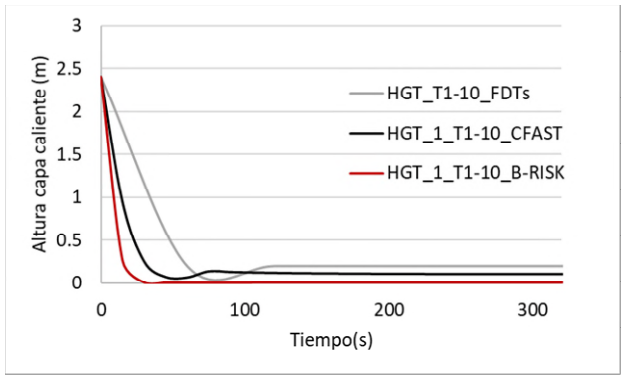




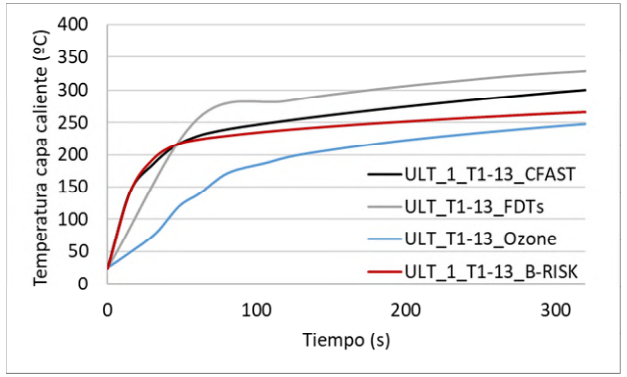
Trabajos numéricos

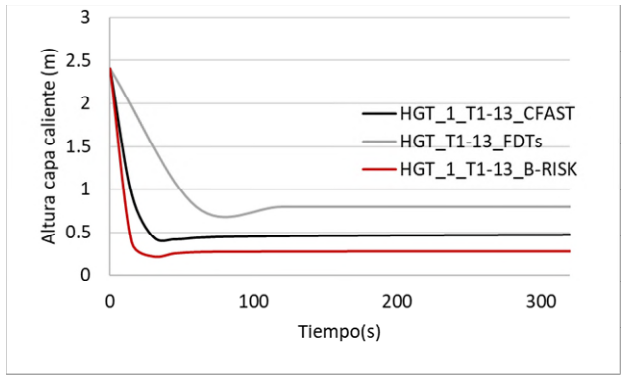
T1-10



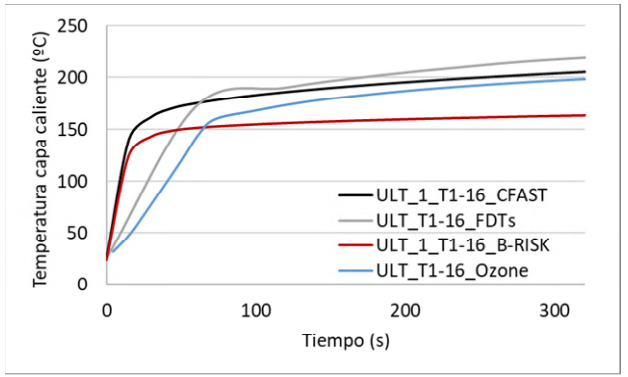


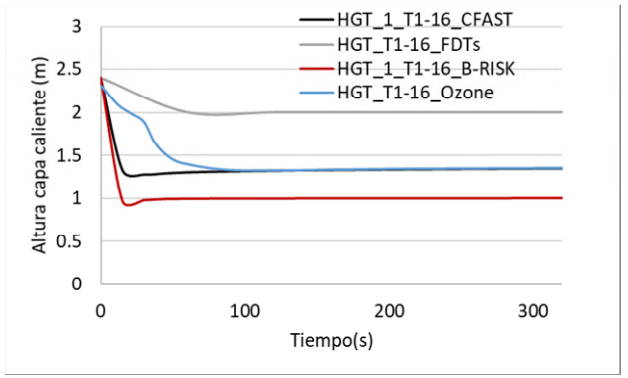
T1-13



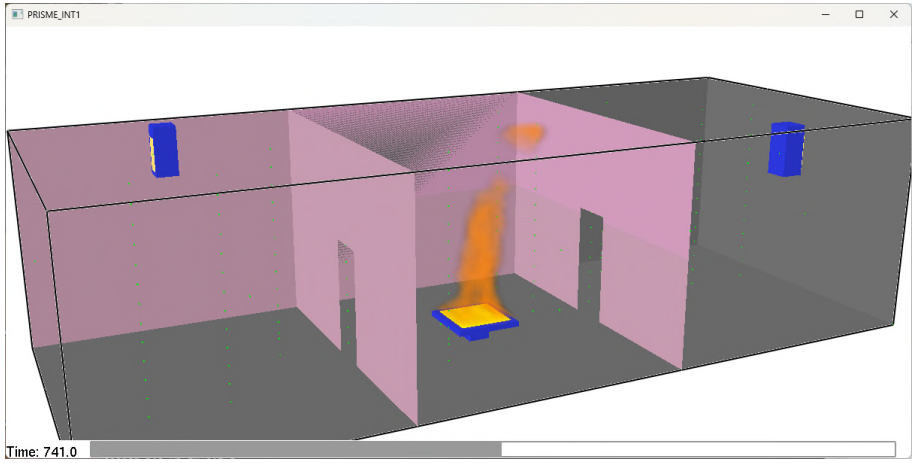


T1-16

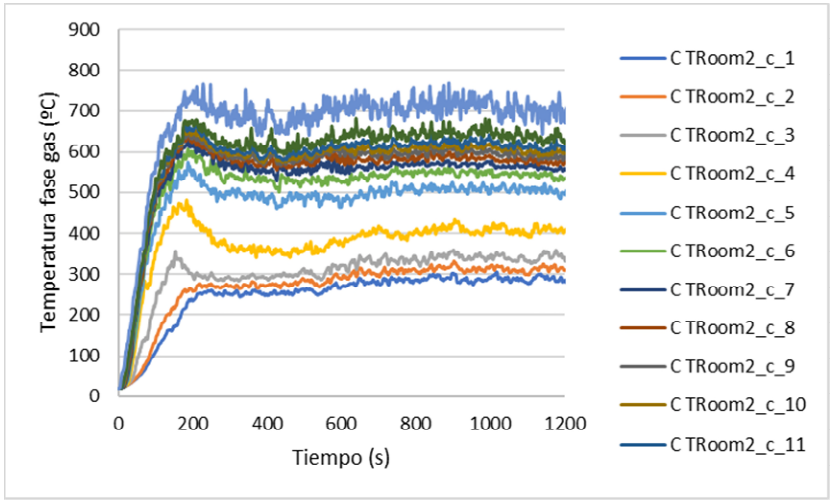


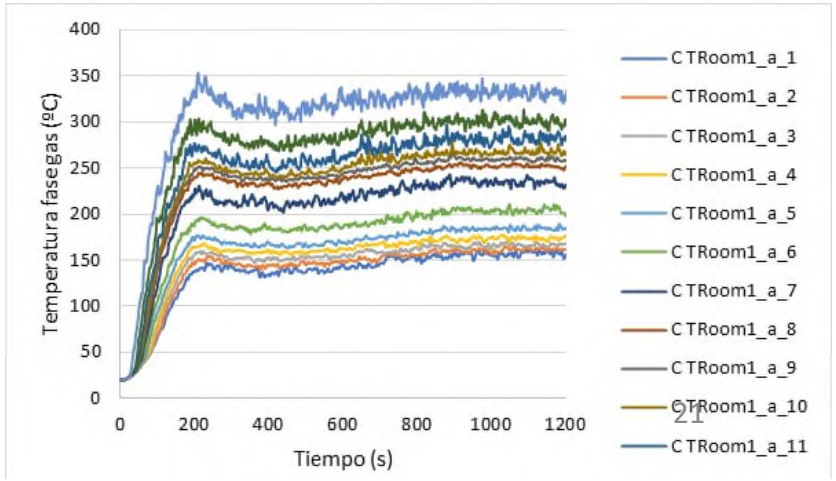


Trabajos numéricos



Simulación en FDS del Ensayo PRS INT 1





NUCLEVS: Validación, calibración y aplicación de modelos de propagación de incendios en escenarios reales de Centrales Nucleares

web.unican.es

Convocatoria 2022 para la concesión de subvenciones a la realización de proyectos de I+D+i

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

IP: Daniel Alvear Portilla (alveard@unican.es)
Coordinadora: Eugenia Morgado Cañada