

La Ingeniería de Protección contra Incendios a través de la Ingeniería Mecánica

A. Cantizano González⁽¹⁾, J.R. Jiménez-Octavio⁽¹⁾, P. Ayala Santamaría⁽¹⁾, A. Rojo Garrido⁽²⁾

(1) Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad Pontificia Comillas de Madrid (ICAI)
Alexis.Cantizano@upcomillas.es

(2) Asociación de Profesionales de Ingeniería de Protección Contra Incendios (APICI)

La Universidad Pontificia Comillas junto a la Asociación de Profesionales de Ingeniería contra Incendios (APICI) ofrecen un máster en Ingeniería de Protección contra Incendios dada la necesidad de profesionales debidamente formados en este sector.

Desde el Departamento de Ingeniería Mecánica se pretende incluir los fundamentos académicos de este campo como parte de asignaturas como la Mecánica de Fluidos o la Transmisión de Calor, así como en la Resistencia de Materiales o la Teoría de Estructuras.

Asimismo, se ha creado una nueva línea de investigación en la Universidad para realizar estudios sobre el comportamiento del humo en grandes espacios como centros comerciales, aeropuertos o halls de edificios singulares. El humo es la principal causa de muerte en los incendios y además, en este tipo de espacios el número posible de afectados es muy elevado.

Hoy día existen numerosas herramientas de simulación numérica de fluidos (CFD) que permitirían el modelado del problema descrito. Sin embargo, se han desarrollado algunas más específicas para la resolución de este tipo de problemas de forma más precisa y fiable, tales como FDS (Fire Dynamics Simulator) o el módulo de FireFoam de OpenFoam.

El diseño y cálculo de estructuras bajo cargas de fuego conforma indudablemente un área tan complementaria como sinérgica a las líneas expuestas previamente. Desde esta perspectiva también se han iniciado: por una parte el estudio de la interacción fuego-estructura y concretamente el modelado de cargas térmicas bajo las características dinámicas del fuego aplicando MEF (modelos de elementos finitos); y por otra parte el desarrollo de algoritmos metaheurísticos para el diseño óptimo de estructuras sencillas sometidas a las cargas mencionadas.

La Universidad, de esta forma, a través del Departamento de Ingeniería Mecánica pretende colaborar en la difusión del conocimiento de este sector muy poco reconocido en los diversos programas de Ingeniería. Y así junto con APICI, pretende contribuir al impulso del sector de la Protección contra Incendios, mediante este programa de máster en España, desde la aportación de profesionales con una formación eficiente y de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

En 1893 el Instituto de Tecnológico Armour (hoy en día, parte del Instituto Tecnológico de Illinois) comenzaba a impartir sus estudios en Ingeniería Mecánica, Eléctrica y de Minas. En 1899 se iniciaron los estudios de Ingeniería Civil, en 1901 los de Ingeniería Química y en 1903 estudios en Ingeniería de Protección contra Incendios, el único hasta entonces del país. Solamente 10 años después de su apertura.

Hasta mediados del siglo pasado, el principal objetivo de la Ingeniería de Protección contra Incendios fue la creación de códigos o normativas. Tras los grandes fuegos, se revisaba la normativa y se trataba de ir mejorando las regulaciones vigentes.

Solo a partir de la segunda guerra mundial aparece por primera vez la figura de ingeniero de protección contra incendios como fruto del desarrollo de un cuerpo específico de conocimiento y gracias al apoyo de sociedades como la IFE (Institution of Fire Engineeres)

en el Reino Unido o como la SFPE (Society of Fire Protection Engineers) en 1950. Gran parte de este conocimiento se había alcanzado gracias a los ensayos a escala real dirigidos a evaluar los peligros de la nueva era industrial.

En 1956 se estableció el programa en Ingeniería de Protección contra Incendios de la Universidad de Maryland, siendo actualmente el único programa completamente acreditado del país.

Los estudios reglados en Ingeniería de Protección contra Incendios, tal y como publica la SFPE a lo largo del mundo se encuentran principalmente en América, Asia y Europa. Concretamente en Europa existen 8 programas.

Dado el avance tecnológico que está sufriendo este sector, tanto en sus técnicas de análisis como en la complejidad de los bienes que hoy en día se protegen, los profesionales de este sector requieren cada vez más una formación desde un ámbito universitario. Y esta es la razón, por la que la Universidad Pontificia Comillas junto con la Asociación de Profesionales de Ingeniería contra Incendios ha lanzado un programa de máster propio que trata de dar respuesta a esta necesidad formativa.

2. LA INGENIERÍA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN LA DOCENCIA

En la Universidad Pontificia Comillas, además del nuevo programa que se ha lanzado junto con APICI, se ha comenzado a trabajar en este sector a través de dos líneas principales del Departamento de Ingeniería Mecánica. Se pretende integrar conceptos de la dinámica del incendio en el desarrollo de algunas de las asignaturas que se imparten. Una de ellas está relacionada con las asignaturas de Teoría de Estructuras y Resistencia de Materiales. La otra, seguiría los contenidos docentes de las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Transmisión de Calor.

Con este enfoque se pretende desde la Universidad complementar los estudios de los alumnos con conceptos asociados a los incendios, tales como los de combustión, dinámica del fuego, movimiento de humos, etc. Se trata de un enfoque interdisciplinar, donde los conceptos asociados al fuego se ligan a las materias clásicas de la ingeniería (resistencia de materiales, estructuras o mecánica de fluidos). Consiguiendo una ingeniería más aplicada, y para este caso concreto, al campo de la protección contra incendios.

3. EL FUEGO Y LA TEORÍA DE ESTRUCTURAS

El fuego es una de las condiciones más severas a las que una estructura puede verse sometida durante su vida útil y, lejos de tratarse de un tipo de incidente aislado, el fuego en estructuras se da con una frecuencia muy superior por ejemplo a los seísmos, registrándose una media de entre 70 y 100 incidencias diarias en grandes ciudades como Nueva York. Por tanto, las medidas de seguridad contra incendios que pueden aplicarse a los elementos estructurales son, sin lugar a dudas, uno de los requisitos más importantes en el diseño de edificios. El fundamento de estos requisitos, así como de la seguridad pasiva inherente al diseño estructural bajo diferentes escenarios de incendio, reside en que la propia estructura supone la última defensa a su integridad una vez que el resto de medidas de seguridad han fracasado en la contención y extinción del incendio. Así, la concepción jerárquica más habitual en el ámbito de la ingeniería de diseño y construcción bajo condiciones de incendio es la que refleja la Figura 1, según la cual la ingeniería de fuego y estructuras representaría la última respuesta al incendio en cualquier construcción, después de las medidas tanto activas como pasivas de los sistemas de protección, estando ambos escalones supeditados a una estrategia única y multidisciplinar propia de la ingeniería de seguridad contra incendios.

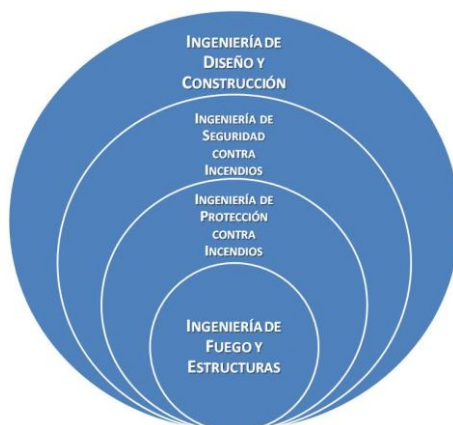


Figura 1: Jerarquización de la Ingeniería de Fuego y Estructuras

Tradicionalmente la evaluación de la resistencia al fuego de elementos estructurales se ha basado en métodos prescriptivos. Sin embargo, dada la ineficiencia e irracionalidad de los diseños empleando estas metodologías, durante las últimas décadas se han empleado denotados esfuerzos por desarrollar métodos más realistas y comprensibles de cálculo estructural bajo condiciones de fuego. Prueba de ello son los códigos técnicos de ciertos comités europeos que, en la vanguardia del diseño estructural, empezaron a incorporar los resultados de las primeras investigaciones en este ámbito, como las recomendaciones de la ECCS "European Convention for Constructional Steelwork" en 1983 o las primeras especificaciones de condiciones de fuego sobre estructuras en los Eurocódigos en 1990.

Así, actualmente los códigos de numerosos países de todo el mundo están comenzando a incluir las nuevas tendencias de diseño estructural basado en prestaciones. Es un enfoque orientado a garantizar la seguridad estructural contra incendios de forma más racional y eficiente, aunque esta metodología exige modelos de cálculo más potentes y capaces de recoger con mayor fidelidad la interacción dinámica fuego-estructura, la cual implica el acoplamiento entre las condiciones de la estancia incendiada, la influencia térmica sobre las estructuras y el comportamiento de éstas, tal como se refleja en la Figura 2.

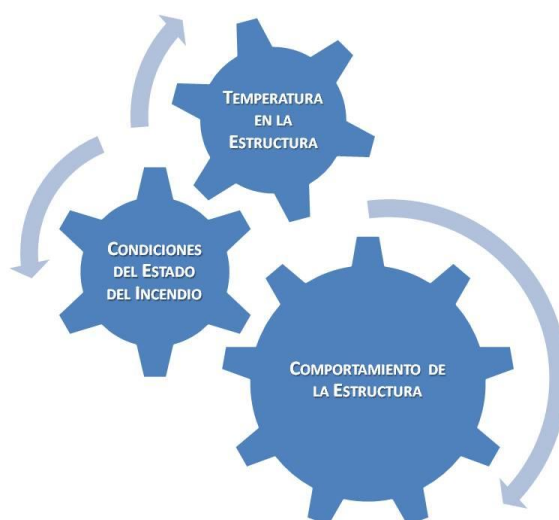


Figura 2: Interacción dinámica fuego-estructura

No obstante, los estándares actuales distan mucho aún del estilo didáctico de un libro de texto, pues si bien presentan las especificaciones técnicas necesarias para el diseño basado en prestaciones, no contemplan método de cálculo alguno. De hecho, los expertos argumentan que la aplicación de ciertas disposiciones de los códigos vigentes no es obvia en la mayoría de los casos prácticos, contando además con un reducido número de libros de

texto en este campo [1, 2]. En definitiva, esta deficiencia en los códigos y la literatura especializada en general, unida a la escasez de escuelas de ingeniería que, en todo el mundo y especialmente en España, recogen en su plan de estudios el diseño contra incendios, hace que los propios ingenieros, arquitectos y reguladores carezcan de la formación necesaria y la experiencia para interpretar o reconocer los límites de diversas normas.

Entre los aspectos que han recabado gran parte de atención en el cambio de enfoque de los diseños tradicionales con métodos prescriptivos a los más recientes basados en prestaciones destaca la propia concepción del fuego en cuanto a carga estructural térmica se refiere. Un análisis en profundidad de los incendios accidentales en grandes estructuras de planta diáfana revela que no toda la estancia puede quemarse por completo simultáneamente. En su lugar, los incendios suelen ir recorriendo distintas áreas limitadas a medida que las llamas se propagan y van consumiendo el material inflamable a su paso, conociéndose estos incendios como “fuegos viajeros”. A pesar de todo ello, los escenarios de fuego que aún se utilizan mayoritariamente en el diseño estructural de los edificios modernos se fundamentan en los métodos tradicionales basados en la extrapolación de datos experimentales, obtenidos en general mediante ensayos llevados a cabo en pequeños atrios cuyas geometrías, prácticamente cúbicas, permiten mezclar adecuadamente los gases en el proceso de combustión generando así distribuciones térmicas prácticamente uniformes. Es evidente que el comportamiento de un incendio real es sustancialmente diferente, pero el carácter eminentemente conservador de los métodos tradicionales ha hecho que sean considerados aceptables para la mayoría de los casos de diseño, especialmente a falta de datos provenientes de ensayos más realistas.

La necesidad de un mejor modelado dinámico del comportamiento estructural bajo cargas de fuego requiere una definición más realista de éste y también de las propias estructuras. Así, la ya consolidada madurez de los métodos computacionales ha permitido abordar modelados más complejos y sofisticados de ambos sistemas. No obstante, aún más indispensable es la necesidad de una estrecha colaboración entre los ingenieros expertos en seguridad contra incendios para definir el entorno de éstos y los ingenieros expertos en cálculo de estructuras para evaluar el comportamiento estructural posterior.

4. EL FUEGO Y LA MECÁNICA DE FLUIDOS

Por otro lado, en asignaturas como mecánica de fluidos y transmisión de calor, la dinámica del humo surge como uno de los grandes problemas a considerar. Teniendo en cuenta las últimas estadísticas publicadas en el Reino Unido, el humo es la causa del 42% de las muertes ocurridas en edificios incendiados, con un 17% adicional debido a la combinación del humo y las quemaduras. Como ya se ha comentado en la sección anterior, la tendencia hacia métodos menos prescriptivos, requiere la simulación numérica y la generación de modelos basados en la Mecánica de Fluidos Computacional que sean capaces de describir el comportamiento del flujo inducido por un incendio. Sin embargo, su elección depende de la precisión que se requiera en el análisis. Por tanto, los modelos numéricos se han clasificado principalmente en modelos zonales y de campo.

Los modelos de zona dividen el volumen en zonas con propiedades uniformes. Típicamente, se divide en dos zonas: la capa de humo superior y caliente y la inferior de aire más frío. En cada zona se evalúan las ecuaciones de conservación de masa y energía para resolver el problema. Sin embargo, debido a la inactividad del flujo dentro de cada capa, la ecuación de momento se desprecia, [3]. Hay numerosas publicaciones usando este tipo de modelos, como en [4] y [5].

En espacios de gran volumen tales como túneles, aparcamientos o atrios, la temperatura no es uniforme en cada capa, por lo que el uso de estos códigos está delimitado para construcciones con tamaños y formas prescritos. Así pues, se emplean en este tipo de geometrías, los modelos de campo. Estos resuelven, ya sea mediante el método de los volúmenes finitos, de diferencias finitas o de elementos finitos, todas las leyes de conservación en cada elemento del espacio discretizado mediante una malla. De esta forma los resultados obtenidos son mucho más detallados, aunque se requieren simplificaciones para poder llegar a una solución numérica sin excesivo coste computacional. En la

literatura se pueden encontrar comparativas entre modelos de zona y de campo, como por ejemplo en escenarios tipo atrio, [6] y [7].

5. FDS (FIRE DYNAMICS SIMULATOR)

FDS es un código abierto desarrollado y actualizado por la Fire Research Division en el BFRL (Building and Fire Research Laboratory) del NIST (National Institute of Standards and Technology) junto con el Centro Técnico de Investigación de Finlandia (VTT). Y hoy en día es una de las herramientas más usadas en el estudio de la dinámica del humo y la predicción de temperaturas.

Se trata de un modelo de campo basado en el método de resolución por diferencias finitas. Emplea la dinámica computacional de los fluidos para abordar numéricamente las ecuaciones de Navier-Stokes de flujos a baja velocidad, sometidos a gradiente térmico y haciendo especial énfasis en el estudio del movimiento del humo y el calor generado por un incendio. Entre sus distintas aplicaciones, permite evaluar los productos de combustión del incendio, calcular la transferencia de calor por convección y radiación entre el gas y las superficies sólidas, estudiar el fenómeno de pirolisis, la activación de rociadores, detectores de calor y humo...

Con este programa se consiguen predecir fenómenos de los incendios como el “backlayering”, el “plugholing” o la combustión súbita generalizada (“flashover”), que son de especial interés en el desarrollo transitorio de incendios. Con este tipo de software se puede obtener información del periodo de crecimiento del fuego, pudiéndose controlar y minimizando de esta forma los daños causados. Por otro lado, la radiación de la capa de humos es de especial interés debido a que es la principal causa de la combustión súbita generalizada en recintos cerrados. Estas simulaciones permitirían, por tanto, la optimización de los sistemas de detección y alarma, de extracción de humos o de rociadores...

Adicionalmente, se puede complementar FDS con el programa EVAC, orientado a la evacuación de personas. Con ello se puede integrar en una misma simulación el estudio del incendio y la evacuación de las personas de un edificio cualquiera.

Hoy en día es el programa más utilizado tanto en el ámbito académico (investigación), como en el profesional.

6. FireFOAM

FireFOAM es un módulo de cálculo de fuego de OpenFOAM, una herramienta numérica de código abierto. Actualmente, entre otras aplicaciones, simula flujos turbulentos de flotación, procesos de combustión pre-mezcla, movimiento de partículas lagrangianas o radiación térmica. FM Global desarrolla el código, aunque sin garantía y sin ningún soporte. Al ser de código abierto, tiene una elevada capacidad de adaptación a cualquier tipo de problema relacionado con la dinámica del humo.

A través de toda la bibliografía se comprueba que FDS (Fire Dynamics Simulator) es el software más empleado actualmente, sin embargo, existe una tendencia hacia el uso de herramientas más flexibles en las que el usuario pueda controlar y diseñar con un mayor nivel de detalle. De ahí la necesidad de FireFOAM para la simulación de incendios, con el que se obtienen muy buenos resultados tanto para fenómenos de pirolización como para pequeños fuegos.

Dado el impacto de estos programas en el sector, se han elegido por el Departamento de Ingeniería Mecánica para el estudio y la simulación de incendios. Por un lado, ya se han ofertado y desarrollado ofertado Proyectos Fin de Carrera, donde realizándose simulaciones con FDS y usando leyes de escala se han verificado y contrastado con resultados experimentales de la literatura tanto en escala reducida como a escala real [8], [9]. Además, se están realizando simulaciones con FireFOAM para tratar de modelar el comportamiento del humo en atrios, evaluando las temperaturas y su movimiento, y también validándolas por medio de resultados experimentales. En la Figura 3 se muestran resultados numéricos

del llenado de humo por un incendio en un gran volumen mediante el software FDS para diferentes instantes de tiempo.

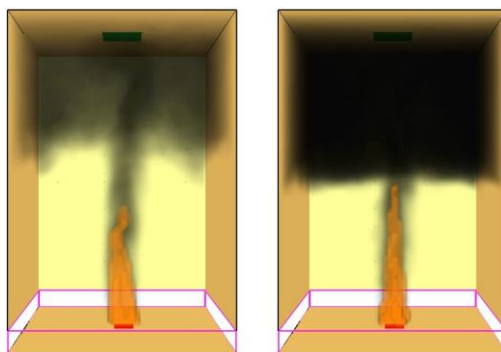


Figura 3: Evolución de la capa de humos en un atrio mediante simulaciones en FDS.

En la Figura 4, se muestran los resultados numéricos de las temperaturas alcanzadas en otro atrio, mediante un incendio en su centro, del software FireFOAM.

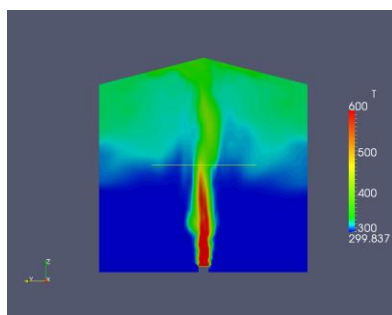


Figura 4: Temperaturas y altura de capa de humos mediante FireFOAM.

7. CONCLUSIONES

La Universidad Pontificia de Comillas (ICAI) a través del Departamento de Ingeniería Mecánica, mediante ejemplos durante la docencia de sus asignaturas, además de proyectos finales de carrera o nuevas líneas de investigación, pretende colaborar en la difusión del conocimiento de la Ingeniería de Protección contra Incendios, muy poco reconocido en los diversos programas de Ingeniería. Principalmente, se han abierto dos líneas relacionadas con la interacción de fuego-estructura y el estudio del comportamiento del humo en grandes volúmenes. A partir de estos estudios iniciales, otras líneas como la investigación de “fuegos de viajeros“, evacuación de personas, incendios forestales, pirolisis, desarrollo de llamas... podrían ser abiertas en un futuro.

De esta forma, la Universidad junto con APICI, pretende contribuir al impulso del sector de la Ingeniería de Protección contra Incendios en este país. Un impulso que requiere la formación de profesionales en el sector, desde un ámbito universitario, tal y como el programa de máster propio que se ha lanzado de forma conjunta está llevando a cabo.

8. REFERENCIAS

- [1] A.H. Buchanan. *Structural Design for Fire Safety*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK. (2001).
- [2] J.M. Franssen, V. Kodur and R. Zaharia. *Designing Steel Structures for Fire Safety*. Taylor & Francis Group, London, UK. (2009).
- [3] Gutiérrez-Montes, C., Sanmiguel-Rojas, E., Viedma, A., & Rein, G. *Experimental data and numerical modelling of 1.3 and 2.3 MW fires in a 20 m cubic atrium*. *Building and Environment*, (2009), 44(9), 1827-1839.

-
- [4] Chow, W. K. *Application of computational fluid dynamics in building services engineering*. Building and Environment, (1996), 31 (5), 425-436.
 - [5] Chow, W. K., & Cui, E. *Plume equations for studying smoke-filling process in atria with a zone model*. Fire and Materials, (1997), 21(5), 235-244.
 - [6] Chow, W. K. *A comparison of the use of fire zone and field models for simulating atrium smoke-filling processes*. Fire Safety Journal, (1995), 25(4), 337-353.
 - [7] Rho, J. S., & Ryou, H. S. *A numerical study of atrium fires using deterministic models*. Fire Safety Journal, (1999), 33(3), 213-229.
 - [8] Tilley N. *Numerical Study on Fire Smoke Extraction in Large Complex Buildings*. PhD thesis, Gent, (2011).
 - [9] Liu F and Fu XZ. *Experimental studies on smoke filling in atrium fires*. International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes, (2001), 3(3), 113-117.