



El propósito de la simulación computacional en el análisis de la propagación del fuego

Por: Dra. Ana Lacasta, Dr. Aldo H. Romero C., Ing. Sinhué López



La modelación computacional ha venido recientemente a ser un método efectivo para estudiar el fuego y sus consecuencias, principalmente debido a la reducción en el costo y el tiempo en el que se pueden realizar pruebas de fuego a gran escala, considerando diferentes escenarios y condiciones.

Por más de 2500 años, el hombre ha tratado de averiguar que es el fuego, de donde viene y cuales son sus efectos. Aunque puede haberse dado diferentes interpretaciones, hoy científicamente se reconoce que el fuego es una reacción química que ocurre muy rápidamente, que es capaz de transformar la materia y que genera una gran cantidad de calor y luz. El fuego mas común es el resultado de la reacción química entre el oxígeno y un combustible. Para que un fuego ocurra tres cosas son absolutamente necesarias, el combustible, oxígeno y calor o algo que produzca el encendido. A final de cuentas, para detenerlo, basta con remover el contacto al combustible, cerrar la fuente de oxígeno y/o remover la fuente de calor. En general para prevenir el fuego las compañías suelen adoptar cualquier de dos métodos: el activo y el pasivo. El caso activo consiste en proveer detectores automáticos, atomizadores de agua, extinguidores de fuego, salidas de escape acorde a leyes de construcción, etc. Los métodos de protección pasivos están pensados en el uso de materiales resistentes al fuego. Estos materiales absorben calor por diferentes métodos, pero que básicamente retardan la propagación.

La modelación computacional ha venido recientemente a ser un método efectivo para estudiar el fuego y sus consecuencias, principalmente debido a la reducción en el costo y el tiempo en el que se pueden realizar pruebas de fuego a gran escala, considerando diferentes escenarios y condiciones. Básicamente, para el uso de estos métodos se requiere tener conocimiento del comportamiento de los materiales a elevadas temperaturas, tanto de como reaccionan a como se descomponen. Estos parámetros pueden ser obtenidos de pruebas de fuego patrones. En general, los modelos de computación pueden dar a los investigadores con soluciones prácticas y eficientes ante los problemas del fuego.

En las últimas décadas, la modelación computacional de la dinámica de fluidos de fuego ha incrementado dramáticamente, debido en gran parte a la accesibilidad de potentes computadoras y razonablemente económicas. Diferentes organizaciones han dedicado personal para el desarrollo de programas que realicen estas simulaciones, así como también en centros de investigación como el CINVESTAV. Por ejemplo, en el NIST, se modela el fuego como si fuera un fluido que se mueve lentamente, en el que hay transferencia de calor y conversión entre los diferentes materiales dentro de un volumen determinado. Estos modelos están basados en lo que en la dinámica de fluidos se denomina como modelos de gran vortice (large eddy simulation) y que permiten describir el fuego a escalas muy finas y predecir la dinámica del fuego bajo diferentes circunstancias. Las ecuaciones matemáticas que describen este proceso, se pueden resolver de manera eficiente usando métodos numéricos como los elementos finitos, donde un espacio cuales quiera es dividido en pequeñas celdas donde se asume que el fuego es uniforme dentro de la celda. Las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento, tanto de transferencia de masa como de energía, son discretizadas en el espacio en mallas que se adaptan a la geometría de interés. Una malla con algo más de un millón de celdas se puede resolver en una computadora personal tipo oficina. La aproximación envuelve el filtrar las ondas acústicas mientras que permite grandes variaciones en temperatura y densidad. Elementos térmicos son usados para introducir la energía térmica del fuego dentro del cálculo y de la misma manera para visualizar el movimiento del humo y los gases calientes. Los elementos térmicos llevan el calor q Sovtolenerado por el fuego, proveyendo una descripción auto consistente del transporte de humo a diferentes escalas de tiempo y espacio. Grandes variaciones de temperatura y presión



son permitidas, sujeto a la limitación que el número de Mach sea del orden de 0.3 o menor. Esta metodología ha sido usada en diferentes condiciones tales como la quema de materiales de propiedades muy diversos (madera, polímeros, etc), la interacción con regadores de agua, flujo de aire debido a sistemas de ventilación o a la apertura instantánea de alguna ventana o acto similar, el efecto de vientos sobre edificios, y otros problemas de combustión básica, como por ejemplo la degradación de productos químicos de interés para una industria.

En general, la simulación computacional del fuego puede ser usado para:

- Diseños de sistemas de seguridad para el fuego
- Análisis de riesgo
- Reconstrucción de eventos debido al fuego
- Herramienta de investigación
- Mejora de diseño en construcción

La interacción entre el flujo de aire, con su principal componente el oxígeno y los materiales es altamente no lineal. El calor, la humedad, la calidad de los materiales, pueden suplir un medio mayor para que el fuego se propague con mayor rapidez, debido a un incremento de vórtices en el medio que aumenta la advección de gases y de material caliente. Mientras que los vórtices incrementan la mezcla de aire con la flama lo que aumenta la temperatura de la flama, la eficiencia de la combustión y la intensidad del fuego se ven incrementadas de manera notable. Todos estos hechos aparecen de manera transparente dentro de los modelos computacionales, fortaleciendo aun mas las observaciones.

A continuación describimos brevemente dos situaciones donde la simulación computacional de propagación del fuego tiene alta influencia.

Materiales Compuestos

La modelación rigurosa matemática y numérica del desempeño del fuego de materiales compuestos (mezclas de materiales) tiene dos grandes beneficios. Primero, este acelera el proceso de diseño y significativamente reduce los costos de usar estos materiales para los propósitos de resistencia del fuego. Segundo, este mejora el conocimiento de cómo estos materiales se

comportan cuando se exponen a un fuego no deseado. Una simulación computacional puede ser rápidamente ejecutada y modificada para alcanzar una solución óptima y no debería de haber un proceso de diseño demasiado largo, fabricación de pruebas de diferentes diseños. Además, solo el diseño final es el que necesita mayores pruebas para cumplir todos los requerimientos. Como un segundo beneficio, el entendimiento y desarrollo de materiales compuestos puede proceder mucho más rápido. También la interacción entre las propiedades del material y las configuraciones estructurales pueden ser mas claramente interpretadas con miras a la integridad de una estructura en contra del fuego. En el mediano plazo, las propiedades y factores que se encuentran de importancia pueden ser alterados e incorporados para un diseño óptimo.

Prevención del fuego en la construcción de edificios

Un objetivo básico dentro de los requerimientos para la construcción de edificios es el que tengan un nivel satisfactorio de seguridad, especialmente en el evento de un fuego. Por lo tanto se requieren técnicas que puedan desde el diseño mismo del edificio evaluar el nivel de seguridad de este mismo, lo que se puede interpretar como un matrimonio entre un buen diseño arquitectónico, seguridad y la funcionalidad del edificio. Otra manera de participar es en la de evaluar la seguridad en la renovación de edificios ya construidos, donde estos edificios no puede ser evaluados con la legislación actual. Un campo de gran importancia es el desarrollo de sistemas de riesgo y de seguridad en contra del fuego. El desarrollo de modelos probabilísticos en edificaciones de alto riesgo, como en centros nucleares, fabricas donde hay un alto manejo de explosivos o compuestos químicos de alta inflamabilidad, etc. ⚡

* Documento extraídos del Fire Protection Handbook de la NFPA



Dr. Aldo H. Romero, Ing. Sirihé López
Cinvestav-Unidad Querétaro

Dra. Ana Lacosta
Dra. en Física por la Universidad de Barcelona
Profesora titular del Departamento de Física Aplicada de
la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), España
Responsable del Laboratorio de Fuego de la UPC