

COMBUSTIÓN TURBULENTE DE HIDRÓGENO Y RECOMBINACIÓN CATALÍTICA

Si se produjese una gran cantidad de hidrógeno en caso de un accidente severo en un reactor de agua ligera y escapase a la contención, existiría (dependiendo de las cantidades liberadas, composición de la atmósfera de la contención y consideraciones geométricas) la posibilidad de que ocurriese una combustión. En la situación más favorable la combustión sería lenta (deflagración), pero en la menos favorable podría ocurrir una combustión violenta (régimen turbulento o incluso una detonación) que amenazase la integridad del edificio de contención del reactor. Establecer criterios que prevean la transición de deflagración a detonación es una de las áreas de interés en el control de accidentes severos.

La Unión Europea, en su Cuarto Programa Marco de Investigación, aceptó dos propuestas enfocadas sobre dos aspectos básicos de esta problemática: la combustión turbulenta y la mitigación del riesgo de combustión por recombinación con catalizadores.

Los socios participantes en ambos proyectos (FI4S-CT96-0017 y FI4S-CT96-0022) son los siguientes:

- Università degli Studi di Pisa (Italia),
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit, GRS, (Alemania),
- Technische Universität München, TUM, (Alemania),
- Cátedra de Tecnología Nuclear/ETSII/UPM, (España),
- Battelle Ingenieurtechnik, (Alemania) y
- Ansaldo, (Italia).

CONTRIBUCIONES PREVISTAS DE LOS SOCIOS

Para estudiar los dos temas citados se prevé la realización de series de experimentos, el desarrollo y mejora de modelos de ordenador, su validación, y la aplicación a cálculos de contención lo más realistas posibles para obtener valores de referencia.

EXPERIMENTOS

* Universidad de Pisa (Combustión). Con el dispositivo LargeVIEW (1,27 m³, paredes de cristal) se obtendrá una base de datos de velocidades de llama, formas y turbulencias relativa a combustiones lentas. Se dispondrán varias configuraciones del aparato y condiciones de la mezcla de gases (H₂/CO₂/aire) y se realizarán dos series de 20 experimentos. Se contará con el apoyo de TUM, que aportará la técnica de medida LDA ("Laser Doppler Anemometer").

* Universidad Técnica de Munich, TUM (Combustión). Se prevé la construcción y uso del aparato PuFlaG ("Pulse Flame Generator"), para obtener datos en el rango de deflagraciones de turbulencia moderada, previstas en el caso de ignición deliberada (posible mecanismo de apoyo al control de la combustión de H₂, junto a los recombinadores catalíticos). PuFlaG consiste en un

circuito cerrado de tuberías, a pequeña escala, capaz de generar frentes de llama que se propagan frente a un flujo estacionario en contracorriente (ventilador). Se cuenta con sistemas de medida como técnicas ópticas sofisticadas (fotodiodos, LDA, fluorescencia inducida por láser - LIF-). Con estos experimentos se busca establecer relaciones entre diversos grados de turbulencia generados gracias a la colocación de rejillas, la velocidad de la llama, la velocidad en contracorriente y la concentración de H₂ (a variar entre el 9 y 18%).

Otra contribución de TUM consistirá en aportar datos de un proyecto gubernamental alemán, MuSCET, para validar modelos de combustión en códigos de parámetros promediados (RALOC, MELCOR, etc.).

* Battelle (Recombinadores). En tres puntos de la contención experimental Battelle (640 m³) se colocarán sendos recombinadores catalíticos proporcionados por Siemens (2 unidades) y NIS (1 unidad). Se realizarán varias series de experimentos controlando el flujo y temperatura de vapor e hidrógeno inyectados (6 canales), presión de contención (2 canales), temperaturas de la atmósfera (35), temperatura de paredes (20), concentraciones de H₂ en la atmósfera (10), y en los recombinadores (6) y velocidades a la entrada de los recombinadores. Se realizarán experimentos partiendo de condiciones en contención de mezcla homogénea y estratificada.

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE MODELOS

* GRS (Combustión). Ciertos experimentos extraídos de LargeVIEW y MuSCET se utilizarán para validar un modelo para propagación de llama turbulenta desarrollado para códigos de parámetros promediados (DECOR), integrado en el código RALOC (propiedad de GRS).

* GRS (Recombinadores). Se obtendrá un modelo semiempírico de recombinador catalítico genérico, apto para el código CFX (evolución del antiguo FLOW3D), de fluidodinámica computacional. A continuación se realizarán cálculos de transitorios 2D o 3D, con especial énfasis en situaciones alejadas del punto de diseño: mezclas pobres en O₂, y mezclas muy ricas en H₂.

APLICACIÓN A PLANTAS REALES Y EDIFICIO A GRAN ESCALA

* Cátedra de Tecnología Nuclear/ETSII/UPM (Combustión). Para comprobar el impacto del modelo DECOR, se trabajará con dos contenciones típicas secas PWR españolas, tipo Westinghouse y KWU, de las que se obtendrán nodalizaciones aplicables al código RALOC. Se calcularán después secuencias típicas de daño severo en ambas contenciones. Así mismo, se obtendrán también nodalizaciones de estas mismas contenciones y se realizarán cálculos de las mismas secuencias con el código MELCOR, con objeto de comparar 2 a 2 las secuencias, códigos y comportamiento de las contenciones.

* Universidad de Pisa (Recombinadores). Se definirá una secuencia accidental típica en una planta real, y se realizará un escalado de los valores implicados a la contención de Battelle.

Otra contribución consiste en sugerir criterios de aceptación en el control del H₂ aplicables al código GOTHIC.

* GRS (Recombinadores). Se desarrollará un modelo de la contención experimental Battelle para el código CFX (fluidodinámica computacional) que incluirá modelos de recombinadores. Después se obtendrán cálculos de instantes de interés en la secuencia accidental escalada por Univ. Pisa a la contención Battelle.

* Ansaldo (Recombinadores). Se desarrollará un modelo que explique la operación de un recombinador en su entorno, basado en el código de cálculo GOTHIC (de parámetros promediados, con una cierta opción de refinamientos de pequeña escala). La entrada típica para el código se validará convenientemente con los experimentos realizados por Battelle.

Por otro lado, Ansaldo completará la nodalización de CFX desarrollado por GRS para la contención Battelle incorporando un modelo semiempírico de recombinador disponible. También se incorporarán condiciones de contorno para CFX extraídas de los cálculos con GOTHIC. Después se validará el modelo global de CFX frente a los experimentos de Battelle.

Por último, en colaboración con otros socios (GRS y CTN/UPM) se calcularán varios instantes de un accidente típico, escalado a la contención Battelle, con operación de recombinadores catalíticos. (El hecho de cubrir sólo instantes significativos de una secuencia larga se debe a que la naturaleza del código CFX no permite analizar secuencias completas, del orden de decenas de miles de segundos, en estaciones de trabajo actuales).

* Cátedra de Tecnología Nuclear/ETSII/UPM (Recombinadores). Participará en la obtención del modelo semiempírico de recombinador catalítico, derivado de los experimentos Battelle y en el cálculo con CFX de instantes específicos de una secuencia accidental escalada a esta contención experimental, aportando resultados complementarios a los de GRS y Ansaldo.

CONCLUSIÓN

Al finalizar el proyecto se espera haber aportado información muy útil para delimitar el impacto del problema del hidrógeno en contención, y sobre todo, para su gestión a corto y largo plazo. Además se espera haber contribuido a la maduración de las herramientas informáticas disponibles para tratar el problema.

De interés especial para el sector eléctrico español es el hecho de que se realizarán aplicaciones de los modelos informáticos a casos directamente extrapolables a plantas españolas.