

PREDICCIÓN DE INVENTARIO ISOTÓPICO Y ANÁLISIS DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTE PARA FUSIÓN Y FISIÓN NUCLEAR EN LA ETSI INDUSTRIALES DE LA UNED

Se describen las capacidades del sistema computacional ACAB, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Energética de la UNED. Se ha diseñado para predecir el inventario isotópico y analizar las características de seguridad e impacto medioambiental de las instalaciones de fusión nuclear. Es el sistema de referencia utilizado por el Laboratorio Nacional de Lawrence Livermore. También se está aplicando a sistemas nucleares diferentes a los de fusión.



Javier Sanz Gozalo

Catedrático de Ingeniería Nuclear
y Director del Departamento de Ingeniería
Energética de la UNED.

COMPUTATION OF ISOTOPIC INVENTORY AND SAFETY AND
ENVIRONMENTAL ASSESSMENTS IN FUSION AND FISSION
APPLICATIONS AT THE ETSII/UNED.

The capabilities of the computational system ACAB are described. The system, developed at the Department of Power Engineering of UNED, predicts the isotopic inventory and performs safety and environmental assessments of fusion facilities. It is the system used by Lawrence Livermore National Laboratory for all activation calculations in fusion designs. It is also employed in different non-fusion applications.

El grupo adscrito al Área de Ingeniería Nuclear del Departamento de Ingeniería Energética (DIE) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) desarrolla su actividad investigadora en tres campos: fusión nuclear, sistemas transmutadores y daño en materiales inducido por irradiación neutrónica. El grupo consta de cinco profesores, un becario Ramón y Cajal, un becario FPI, y varios tesinados vinculados a la industria nuclear y al CSN. Cabe destacar a nivel nacional la estrecha colaboración mantenida con profesores de distintos departamentos de la UPM, y fundamentalmente con profesores del Instituto de Fusión Nuclear (IFN) de la UPM, al que también pertenecen la mayor parte de los profesores del DIE/UNED.

En este artículo nos centramos en la línea de trabajo en la que más frutos hemos cosechado en los últimos años, orientada a demostrar si se puede o no concebir diseños realistas de plantas de fusión que presenten propiedades atractivas respecto a la gestión de residuos y seguridad. Uno de los objetivos fundamentales de nuestro trabajo ha sido crear una metodología computacional capaz de llevar a cabo de forma integrada el cálculo de inventario y el análisis de seguridad e impacto medioambiental de dichas instalaciones. Esto se ha concretado en el sistema computacional ACAB, actualmente uno de los más valorados y utilizados en el ámbito internacional.

ACAB se ha diseñado para calcular la evolución del inventario isotópico inducida por la irradiación neutrónica característica de las instalaciones de fusión, pudiéndose no obstante aplicar también a todo tipo de sistemas en el que los neutrones posean una energía inferior a 20 MeV. Todas las reacciones y procesos de desintegración que gobiernan la evolución isotópica en estos escenarios neutrónicos están considerados adecuadamente. Entre dichos procesos se incluye la generación de productos de fisión y el efecto de la activación inducida por las partículas cargadas emitidas en las reacciones neutrónicas. ACAB también permite tratar la activación inducida por una fuente externa de irradiación de fotones y/o de partículas cargadas.

Es capaz de simular la activación de escenarios de operación prácticamente arbitrarios, y tan complejos como los regímenes altamente pulsados de las instalaciones de fusión por confinamiento inercial. También es posible considerar el efecto de la alimentación y/o extracción de material del sistema, pudiéndose efectuar de forma instantánea y/o continua. Permite tratar sistemas con configuraciones geométricas complejas (1, 2 y 3D), y la descripción energética del flujo neutrónico puede adoptar una estructura de grupos arbitraria.

Además de las concentraciones isotópicas del material irradiado, ACAB proporciona la actividad inducida de cada radionucleido, así como distintas magnitudes útiles para valorar la pro-

blemática del material activado en relación con la gestión de residuos y liberación de radiactividad en condiciones accidentales.

Para un diseño de planta de fusión dada, permite calcular la cantidad de residuos generados y evaluar su categoría de acuerdo a las siguientes estrategias de gestión: enterramiento superficial, reciclado dentro de la industria nuclear y desclasificación.

Con relación al problema de la seguridad, ACAB calcula el inventario radiactivo y las consecuencias de la liberación accidental en términos de dosis al individuo más expuesto, muertes inmediatas y muertes por cáncer. Para ello hace uso de dos elementos. El primero se refiere a la utilización de fracciones de escape realistas, que calculamos con una metodología contrastada (códigos CHEMCON y MELCOR), tras adaptarla a situaciones características de fusión inercial. El segundo consiste en emplear librerías de factores de conversión a distintos tipos de dosis resultantes de la liberación accidental de radiactividad (Sv/Bq liberado). Estas librerías se han generado siguiendo una metodología propia (basada en la utilización del código MACCS2, pero haciendo uso de librerías de factores de conversión a dosis por radiación externa e inhalación diferentes de las asociadas al sistema MACCS2). Las librerías obtenidas son las más completas de las existentes, pues han incorporado aparte de los radionucleidos tradicionalmente considerados en los estudios de fisión, otros

muchos cuya presencia es importante en los inventarios de las instalaciones de fusión. Los resultados de dosis proporcionados por ACAB permiten entre otras aplicaciones la de evaluar la necesidad o no de un plan de evacuación.

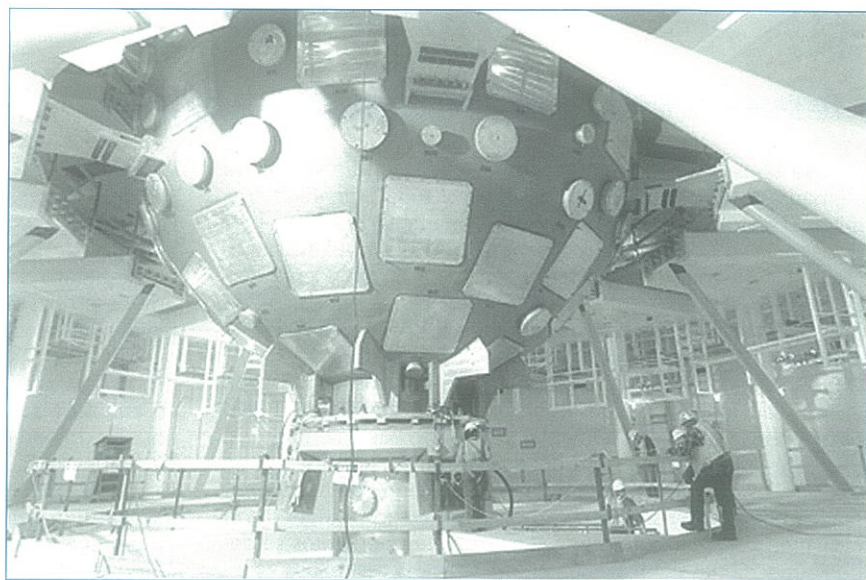
Además de calcular, ACAB también lleva a cabo la labor de análisis de los resultados obtenidos. Identifica los radionucleidos críticos, establece el mapa de cadenas de su formación y las clasifica ordenadamente según la contribución de cada una.

Permite obtener varios tipos de resultados útiles para la caracterización del estado de daño primario inducido por irradiación neutrónica. En concreto, tiene la capacidad de tratar de forma conjunta los efectos de transmutación y producción de desplazamientos atómicos, proporcionando la evolución de la concentración de los elementos iniciales y separadamente la de los nuevos elementos generados, en función del número total de desplazamientos producidos.

Un aspecto al que se ha dedicado especial atención en los últimos trabajos ha sido el de estimar las incertidumbres en los cálculos de inventario debido al efecto de las incertidumbres en las secciones eficaces. La razón es la importante limitación que el estado actual de desarrollo de las secciones eficaces impone en la predicción del inventario en fusión.

Las metodologías implementadas permiten estimar el efecto de la incertidumbre de cada una de las secciones eficaces aisladamente, así como el efecto sinérgico/global de las incertidumbres de todo el conjunto de secciones eficaces. Esta capacidad se está utilizando para definir programas experimentales orientados a la mejora de las secciones eficaces de activación más críticas, habiéndose recogido nuestras aportaciones en este campo en los programas internacionales de desarrollo de datos nucleares más importantes. Cabe citar al respecto, el que todas las secciones eficaces de activación que se han incluido en los programas del OIEA FENDL (Fusion Evaluated Nuclear Data Library) y RNAL (Reference Neutron Activation Library), en razón de su interés para aplicación de fusión inercial, se han justificado por nuestros trabajos.

ACAB es un sistema que se ha validado dentro del programa de ejercicios de comparación de códigos de inventario para aplicaciones en fusión coordinados por el OIEA (1994). Once fueron los códigos participantes en los ejercicios, pertenecientes a siete países. ACAB fue evaluado como uno de



Cámara de reacción (aleación de aluminio recubierta exteriormente de hormigón borado) de la instalación NIF. En la selección de los materiales de la cámara y estructuras del edificio que la alberga se ha tenido muy en cuenta el problema de la activación.

los dos únicos códigos que superaron todos los criterios establecidos. No obstante, el mayor éxito de ACAB es que el Laboratorio Nacional de Lawrence Livermore (LLNL) lo haya escogido como código a utilizar en todos sus cálculos de activación para fusión, los cuales abarcan desde diseños conceptuales de reactores para centrales de energía, hasta el diseño de la instalación experimental National Ignition Facility (NIF). Para ello el código ha tenido que pasar varios ejercicios de evaluación/comparación con códigos de varios centros de EE.UU., y ha superado de forma sobresaliente los ejercicios de validación experimental realizados (1998-actualidad) dentro del programa NIF. La instalación NIF constituye la base del programa más avanzado de fusión por confinamiento inercial. El objetivo es conseguir ignición, y su contribución será fundamental para el posible desarrollo de la fusión inercial como fuente de energía. Su construcción comenzó en 1997, teniéndose previstos los primeros experimentos para el año 2005 y la consecución de ignición a finales de 2010. A partir de entonces, operando a un nivel de 1.200 MJ al año, se espera diseñar experimentos en los que se obtenga una ganancia energética significativa.

Además de LLNL, otras instituciones que han utilizado ACAB en aplicaciones de fusión inercial y magnética han sido: Institute of Laser Engineering (ILE) de la Universidad de Osaka, Department of Nuclear Engineering/University

California Berkeley, la empresa estadounidense Parsons, etc. Dentro de la Unión Europea, el EU Community Fusion Program ha reconocido a ACAB como uno de los códigos de inventario más fiables en aplicaciones a fusión, y ha sido utilizado por el JRC Euratom Ispra.

Son muchas las aplicaciones que hemos realizado dentro del campo de la fusión, las cuales han permitido mostrar la aceptabilidad y rechazo de distintos materiales para reactores conceptuales e instalaciones experimentales de fusión, por criterios de seguridad, gestión aceptable de residuos y dosis en operación y mantenimiento.

Fuera de las aplicaciones en fusión, actualmente se está empezando a utilizar en la estimación de las incertidumbres en el inventario isotópico de sistemas transmutadores de residuos, dentro de la colaboración con el CIE-MAT. Otra aplicación para la que está especialmente dotado es la de predicción y análisis de las características del inventario radiactivo a gestionar en las tareas de desmantelamiento de instalaciones de fisión, pudiendo ser también útil en la evaluación del material activado susceptible de desclasificación, tal como ya hemos hecho en los trabajos sobre desclasificación de residuos en la planta de fusión HYLIFE-II. En el marco de nuestra universidad, aparte de su utilización en la UNED y en el IFN de la UPM, es uno de los códigos de análisis del Laboratorio para Dosimetría Neutrónica de la UPM.