



José LOPEZ JIMENEZ es físico por la Universidad de Madrid y doctor (tercer Ciclo) en Física de Reactores por la Universidad de París. Desde 1964 a 1968 trabajó en el Comisariat a l'Energie Atomique (Francia) en blindaje y efectos de la irradiación en materiales, ingresando en la División de Elementos Combustibles de la JEN en 1969. Posteriormente (1973-1977) colaboró en el programa alemán de combustibles rápidos destinado a Karlsruhe y en el de irradiación de óxidos mixtos KfK-JEN. Desde 1985 participa en el Proyecto LOFT y en la actualidad desempeña el puesto de director del Programa de Tecnología de Seguridad. Ha publicado diversos trabajos en revistas nacionales y extranjeras.

LA SEGURIDAD NUCLEAR: UN PROGRAMA SOPORTE DE INVESTIGACION

J. LOPEZ JIMENEZ

INTRODUCCION

El Programa de Tecnología de Seguridad se conforma, como tal, a principios de 1987, atendiendo a la necesidad irrenunciable dentro del Instituto de Tecnología Nuclear de encauzar la investigación en materia de seguridad de instalaciones nucleares. Se nuclea alrededor de personas provenientes de diversos sectores del CIEMAT: física de reactores, elementos combustibles, ingeniería, residuos, entre otros, iniciándose una política de contratación de personal que está permitiendo consolidar grupos de trabajos en áreas de máxima actualidad y demanda. Sintonizar con las necesidades reales del país en el tema de seguridad; participar en programas nacionales e internacionales de investigación avanzada; favorecer, en la medida de nuestras posibilidades, las relaciones con otros Centros Nacionales del entorno internacional, incluyendo los Comunitarios, y garantizar la continuidad de los grupos de trabajo en disciplinas básicas consideradas de interés, son objetivos fundamentales del Programa. En este artículo se presentarán las actividades en curso y se esbozarán las perspectivas de futuro.

AREAS PRINCIPALES DE TRABAJO

Las líneas de trabajo nos han venido dadas como consecuencia de un análisis del entorno nuclear español y de

los programas de I + D de los países industrializados y Comunidades Europeas. Estas líneas son las siguientes:

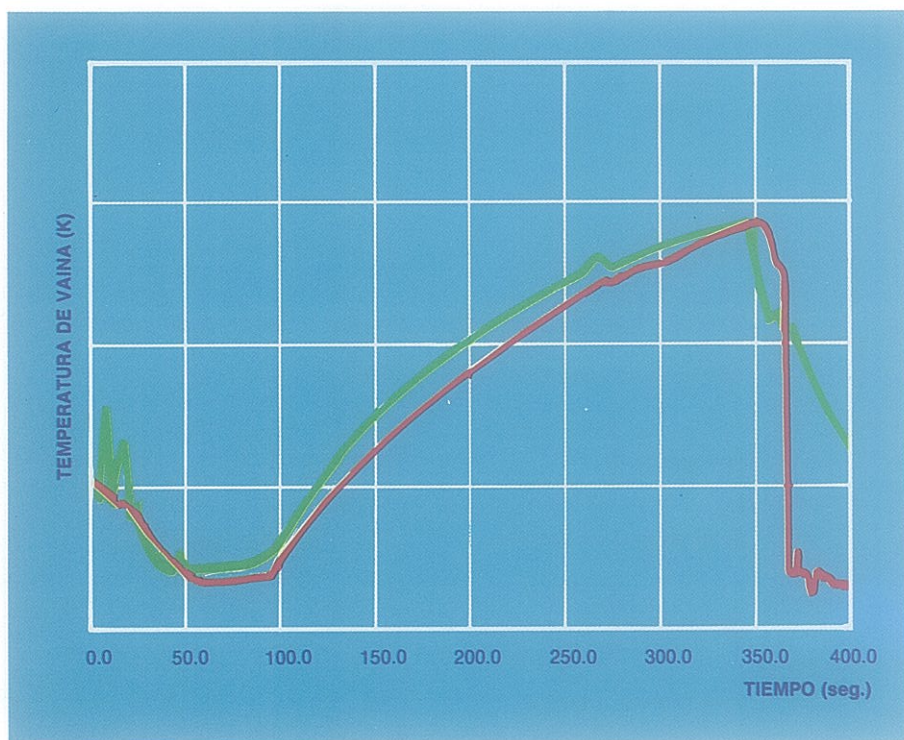
- Análisis de accidentes con daño al núcleo y término fuente en plantas nucleares.
- Análisis probabilístico de seguridad (APS).
- Seguridad de emplazamientos.
- Tecnología de Diagnóstico (Análisis de Ruidos).

Los objetivos que se pretenden son:

- Desarrollar metodología de cálculo y análisis.
- Poner en marcha experiencias que permitan el acercamiento real a los fenómenos, contribuyan a la validación de los códigos y posibiliten la creación y asimilación de tecnología.

AREA DE ANALISIS DE ACCIDENTES CON DAÑO AL NUCLEO Y TERMINO FUENTE EN PLANTAS NUCLEARES

El estudio de los accidentes por pérdida de refrigerante (LOCA) sobre la filosofía del "accidente base de diseño" en reactores refrigerados por agua ha propiciado el desarrollo de códigos termohidráulicos avanzados (TRAC, RELAP, RETAIN, CATHARE, DRUFAN, etc.) y la puesta en funcionamiento de circuitos hidráulicos de simulación de plantas como SEMISCALE (EE. UU.), LOBI (EURATOM, Ispra), PKL (RFA), ROSA y CCTF (Japón), BETHSY (Francia) y SPES (Italia), así como reactores



FI LOFT-FP1: Simulación empleando el código termohidráulico TRAC-PF1

nucleares de experimentación como LOFT (EE. UU.) y PHEBUS (Francia). Por otra parte, el accidente de TMI-2 reveló la liberación de productos de fisión de un núcleo degradado, si bien en proporción sensiblemente inferior a la prevista en el informe WASH-1400. Con posterioridad, el accidente de Chernobil pone el acento en los estudios de integridad de la contención y la mitigación de los efectos en caso de rotura.

El interés por estos temas se ha manifestado en nuestro país con la adhesión de las organizaciones del ámbito nuclear, y entre ellas el CIEMAT, a una serie de proyectos internacionales de investigación.

En este contexto se participa en los proyectos siguientes: OCDE-LOFT, PHEBUS-CSD (Francia), PHEBUS-FP (Francia, CEE), LACE y ACE (EE. UU.).

OCDE-LOFT

Dentro del consorcio LOFT-ESPAÑA nuestro grupo se ha encargado del análisis del experimento FP-1, especializado en la liberación y transporte del producto de fisión, realizado el 19 de diciembre de 1984 en el reactor LOFT (50 MW, Idaho-Falls, EE. UU.).

El beneficio adquirido ha sido la puesta a punto de una metodología de cálculo y su validación para analizar situaciones accidentales con pérdida de refrigerante y daño limitado al núcleo en una planta nuclear.

Las fuentes asimétricas de flujo en el núcleo introducidas por la inyección de

emergencia en la parte superior han sido fielmente tratadas con código TRAC-PF1. Un hito importante ha sido la cualificación de los datos experimentales recogidos en los sistemas de medida de productos de fisión.

Los códigos y modelos empleados son los siguientes:

Termohidráulica: TRAC-PD2 y TRAC-PF1

Productos de fisión: ORIGEN-2, FRAPCON, FAST-GRASS, NUREG-0772, LORENZ, SOLGASMIX y TRAPMELT

Mecánica: FRAP-T6

Otra vertiente de interés es el comportamiento del combustible dañado en la experiencia OCDE-LOFT-FP2 y su análisis post-irradiación en las celdas calientes, aspecto este que se ha procurado cubrir con una delegación permanente del CIEMAT en el equipo de experimentadores de Idaho.

PHEBUS

El Proyecto PHEBUS-ESPAÑA agrupa las organizaciones: CSN, CIEMAT, ENUSA y ENRESA, para la participación en el programa de investigación francés PHEBUS-CSD (Coeur Sévèrement Dégradé). La participación del CIEMAT supone una oportuna prolongación del proyecto LOFT en su vertiente de daño severo al núcleo. Se ob-

tendrán datos muy valiosos sobre el combustible dañado que permitan la validación de códigos y la adquisición de criterios sobre estos escenarios.

PHEBUS-FP

En el marco de las Comunidades Europeas se lleva a cabo una acción concertada en apoyo del proyecto francés PHEBUS-FP (Fission Products) que consistirá en un programa de ensayos integrales sobre productos de fisión en accidentes severos a realizar en la instalación Phebus. Toman parte en esta acción varios países europeos (RFA, Francia, R. U, Italia, Holanda) y España en las organizaciones Universidad Politécnica de Madrid (UPM, cátedra de Tecnología Nuclear) y CIEMAT.

Se analizan, por una parte, secuencias de accidentes severos en plantas nacionales representativas y, por otra, se explora la capacidad de la planta Phebus modificada para simular los fenómenos y rangos de parámetros de las secuencias propuestas. Una serie de códigos avanzados se emplean en los cálculos.

ICAP

La participación en el programa ICAP (International Code Assessment and Applications Programs) se centra en tres ejercicios relativos al experimento LOFT-FP1, mediante el código TRAC-PF1/Mod 1 (vers. 11.0).

LACE

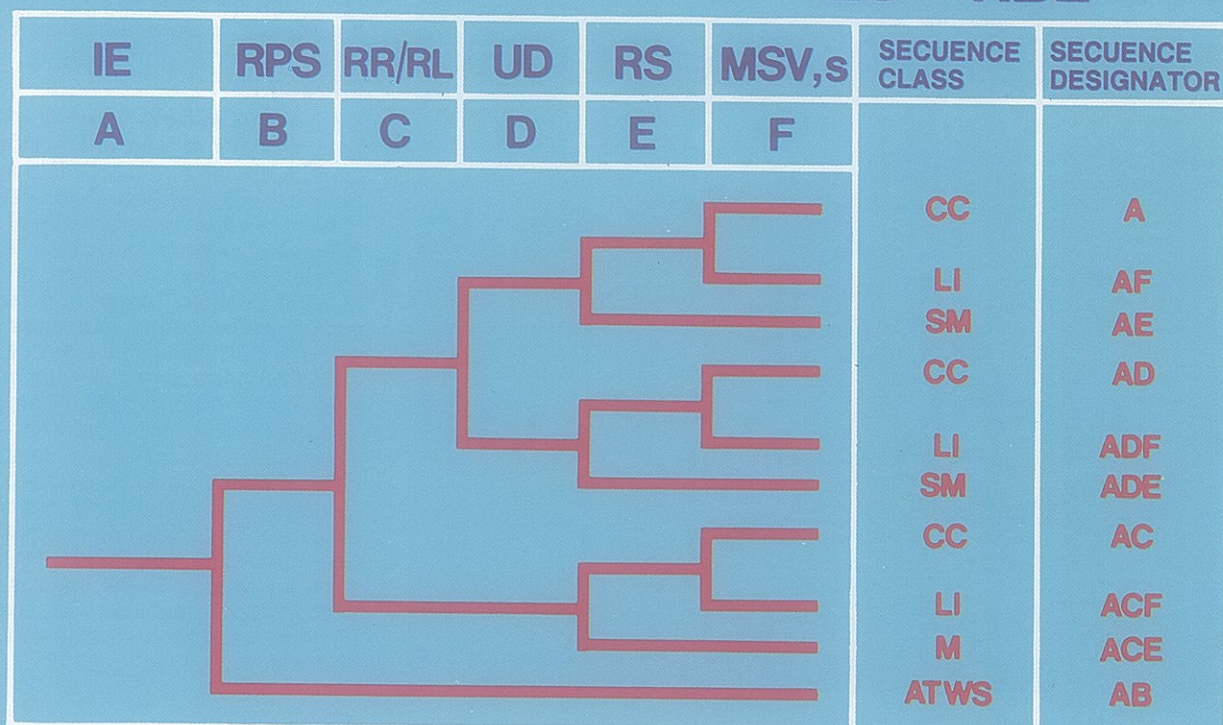
En marzo de 1987 se firmó el acuerdo de adhesión española al Proyecto Internacional LACE (LWR Aerosol Containment Experiments) organizado por el Electric Power Institute (EPRI) de EE. UU., participando las organizaciones: CSN, CIEMAT, UNESA, ENUSA, TECNATOM y UPM). Con un total de seis experimentos (LA1 a LA6), el proyecto investiga el comportamiento de los aerosoles generados (simulados) tras accidente severo en los casos de "by-pass" y fallo de aislamiento de la contención y fallo de la contención simultáneo con la producción de aerosoles.

Dentro del consorcio, el CIEMAT participa en las actividades de: validación del código NAUA; definición y posterior realización de un experimento español de aerosoles, y análisis químicos de muestras.

El programa experimental proporcionará:

- Infraestructura en análisis de aerosoles (generación, caracterización y medida).
- Estudio de efectos separados (filtración, retención, revolatilización, etc.).
- Formación de expertos.

ES—RBE



F II Arbol de sucesos de sistemas para pérdida de energía exterior total de una central tipo KWU

Como continuación del Proyecto LACE se ha iniciado por EPRI el proyecto ACE (Advanced Containment Experiments), que estudiará en tres fases aspectos complementarios del término fuente. Fase A: Ensayos de filtración y venteo; Fase B: Química del yodo, y Fase C: Reacciones núcleo fundido-hormigón. El CIEMAT, junto con las demás organizaciones firmantes del proyecto LACE, participará en el nuevo proyecto. El CIEMAT probablemente asumirá la realización de experiencias de apoyo en química del yodo.

Benchmark LACE-LA-4

El experimento LA-4 del Proyecto LACE ha sido retomado por las Comunidades Europeas (Ispra) como base para un ejercicio comparativo de validación de códigos termohidráulicos y de comportamiento de aerosoles en contención. La participación del CIEMAT —donde en abril de 1988 se celebró la última reunión de conclusiones— ha permitido la mejora del código NAUA-5 con la implementación de nuevos modelos.

AREA DE ANALISIS PROBABILISTICO DE SEGURIDAD (APS)

La utilización de las técnicas probabilísticas tiene un amplio desarrollo en la

industria nuclear, aunque su campo de aplicación se extiende a la industria convencional. Actualmente nuestra actividad se centra en el reactor nuclear y en los llamados análisis de nivel 1. Tres subproyectos conforman esta actividad.

BENCHMARK SOBRE FIABILIDAD

El objetivo de este ejercicio, organizado por las Comunidades Europeas (Ispra), es destacar los puntos débiles de la metodología en fiabilidad y uniformar criterios en el área de APS. Se han realizado ejercicios de: Análisis de Sistemas, Fallos de causa común y fiabilidad humana, y acaba de iniciarse un último ejercicio sobre "Análisis de secuencias accidentales", que constituye un caso práctico de aplicación de toda la metodología de APS empleada en los ejercicios anteriores.

Otros participantes son: Bélgica, Dinamarca, EE. UU., Francia, Holanda, Italia, Noruega, RFA, RU y Suecia.

Los análisis de fiabilidad humana (AFH) o factores humanos nos han merecido un interés particular y hacia ellos dirigimos el grueso de la investigación.

El ejercicio que acaba de iniciarse tratará el estudio de la función de alimentación a los generadores de vapor de una central alemana. El análisis de errores preaccidentales (prueba y man-

tenimiento, suceso iniciador) y post-accidentales, así como un estudio cualitativo y cuantitativo de las metodologías de AHF, son hitos fundamentales.

FIABILIDAD HUMANA

En la interacción hombre-máquina se intenta valorar, en términos de probabilidad, si ciertas tareas son ejecutadas con éxito por el equipo de operación de la central. Los modelos actuales, si bien están experimentando un claro avance, requieren un gran subjetivismo en su aplicación, lo que hace pensar en desarrollos adicionales, basados, por una parte, en los datos de campo y, por otra, en los datos procedentes de observaciones debidamente programadas en simuladores.

En este sentido se está iniciando un proyecto en el área de fiabilidad humana como parte del Proyecto de Investigación sobre Análisis Cuantitativo del Riesgo Nuclear (PIACR) en colaboración con UNESA y TECNATOM.

Se trata de la validación de modelos y técnicas de comportamiento humano mediante la observación de equipos de operación durante sus periodos de reentrenamiento en simuladores a escala real de planta, con la finalidad de su aplicación a APS. Programas análogos se desarrollan en otros países industrializados de nuestro entorno.

DESARROLLO DE METODOLOGIA

Este subproyecto se encuentra en fase de definición, su objetivo sería el desarrollo o mejora de metodología en alguno de los puntos siguientes: sucesos externos, fallos dependientes, banco de datos sobre fiabilidad, etc.

AREA DE SEGURIDAD DE EMPLAZAMIENTOS

Con la creación de ENRESA como empresa encargada de los residuos nucleares y radiactivos, nuestra actividad se concreta en la participación en los planes generales de investigación cubriendo aspectos específicos de los análisis de seguridad de los emplazamientos.

En la actualidad los trabajos se desglosan en cuatro subproyectos.

MODELIZACION EN LA ZONA PROXIMA

El conjunto de barreras artificiales que separan el residuo radiactivo de la roca almacén ha de ser modelado atendiendo a los aspectos termohidráulico, termomecánico y termoquímico, para valorar el impacto térmico del residuo. Se emplean modelos específicos de cada barrera y medio geológico: WAPPA, TRUMP, SHAFT, etc., que están implementados en el sistema informático del CIEMAT y que constituyen la base de los trabajos en curso y en el futuro próximo.

MIGRACION DE LOS RADIONUCLEIDOS EN FORMACIONES GEOLOGICAS

Se trata de la modelización de los procesos físico-químicos y geológicos que controlan el transporte de los radionucleidos para determinar las concentraciones que pueda alcanzar la biosfera. Este análisis se apoya, en buena parte, en los modelos de flujo de aguas subterráneas, transporte de masa y geoquímico ya desarrollados para contaminantes convencionales. Las características específicas del medio geológico y los largos plazos considerados (10^4 – 10^6 años) introducen líneas de investigación propias.

Modelos de cálculo que se aplican en este campo son, entre otros, FE3DGW, AT123D, USGS-2, 3D, MINEQL, EQ3/6, PHREEQE, operativos en el CIEMAT.

ANALISIS DE RIESGOS GEOLOGICOS

Estos estudios abarcan un campo amplio que comprende: riesgos sísmicos, inundaciones, riesgos geotécnicos, etc. El análisis de seguridad supone definir el escenario de evolución del emplazamiento a lo largo de la vida e

identificar los procesos iniciadores de la liberación y posterior transporte de radionucleidos a la biosfera. En estos estudios se están siguiendo las metodologías determinista y probabilística. Los modelos en este campo están aún en sus inicios, con la excepción de los códigos SYVAC y LISA, este último operativo en el CIEMAT y el primero en fase de implementación.

SEGUIMIENTO DE PROYECTOS INTERNACIONALES

La pertenencia de España a las Comunidades Europeas facilita la participación en los proyectos comunitarios, especialmente en aquellos de la Dirección General XII sobre Almacenamiento de Residuos Radiactivos.

En la actualidad las CE financian los proyectos siguientes:

MIRAGE: Migración de Radionucleidos en la Geosfera PAGIS/PACOMA: análisis del Comportamiento de los sistemas de almacenamiento geológico.

Además de estos proyectos la CE financia la realización de trabajos en los laboratorios subterráneos de Asse (RFA) y Mol (Bélgica).

El CIEMAT está presente en estos proyectos y en otros grupos de trabajo internacionales como Análogos Naturales, Chenval, Coco, etc., técnicamente vinculados al Proyecto MIRAGE.

Dentro del marco general de colaboración entre CIEMAT y ENRESA se ha establecido un convenio de trabajo en el tema "Metodologías probabilísticas de análisis de riesgos asociados a los almacenamientos de residuos", con el objetivo ambicioso de formar equipos humanos especializados en estas metodologías y poner a punto y aplicar sistemas de códigos de cálculo por computador en distintos escenarios de interés, así como analizar el estado del arte en la materia.

Este proyecto, que está a su vez vinculado a desarrollos de las Comunidades Europeas en estos campos (extensión del código LISA a distintos escenarios, etc.), presenta grandes perspectivas futuras de cooperación con ENRESA y con las propias Comunidades.

AREA DE TECNOLOGIA DE DIAGNOSTICO (ANALISIS DE RUIDOS)

La potencia nuclear instalada en la actualidad en España justifica el desarrollo de las técnicas de ruidos aplicadas a la vigilancia de centrales. De hecho estas técnicas vienen aplicándose en nuestras centrales, y empresas de servicios disponen de este tipo de tecnología.

En el Instituto de Tecnología Nuclear nos concentramos en el desarrollo de métodos "avanzados" de análisis de ruido, más concretamente implementamos los métodos autorregresivos (univariantes y multivariantes) aplicados a problemas que puedan ser de interés en el sector nuclear.

El análisis de los tiempos de respuesta de sensores de presión y temperatura está siendo considerado en una primera etapa de desarrollo, abriéndose un amplio abanico de posibilidades de aplicación.

Los coeficientes autorregresivos sirven, también, para obtener la densidad espectral de los sensores, disponiéndose de un método para "condensar" la información que suministra el análisis de ruido, que redunde en el conocimiento del sistema de transmisión de información analizado. Estos métodos permitirán abordar problemas de interés en los ámbitos de mantenimiento predictivo y alargamiento de vida en centrales nucleares.

Hasta ahora hemos desarrollado los sistemas univariantes. Su extensión a los sistemas multivariantes serán objeto de un proyecto de colaboración con un laboratorio extranjero de nuestro entorno.

Hasta el momento se han organizado en el CIEMAT dos jornadas de carácter internacional dirigidas hacia las Centrales Nucleares. Se pretende organizar en breve otra jornada de carácter nacional para propiciar la idea de coordinación en esta tecnología.

DOTACION DE PERSONAL E INFRAESTRUCTURA

El Programa de Tecnología de Seguridad lo componen en la actualidad 24 técnicos superiores, tres técnicos medios y 10 auxiliares de distintas especialidades. Se dispone de una amplia librería de códigos de cálculo y de las instalaciones de computadores del CIEMAT, que permiten el empleo de los sistemas IBM, VAX, UNIVAC y CDC.

ESTRATEGIAS FUTURAS

Basados en los programas de investigación de las instituciones españolas: CSN, UNESA, ENUSA y ENRESA y teniendo en cuenta la marcha de la investigación avanzada a nivel mundial, se están configurando las áreas de actuación a largo plazo. Las áreas de investigación en curso cubren el corto y medio plazo.

Se prevé una creciente aplicación de ciertas tecnologías a la industria convencional, así como la transferencia de tecnología que se vaya adquiriendo.