

QUINCE AÑOS DE INVESTIGACIÓN EN SEGURIDAD NUCLEAR EN EL CIEMAT

J. LÓPEZ JIMÉNEZ

Se ofrece una perspectiva de las actividades más significativas desarrolladas y beneficios obtenidos en los últimos quince años por el Proyecto de Tecnología de Seguridad Nuclear (Departamento de Fisión Nuclear) del Ciemat, en las áreas de: accidentes severos, reactores avanzados y comportamiento de la contención.

Asimismo, se presenta la participación en proyectos nacionales e internacionales, principalmente promovidos por el Sector Nuclear Español, el CSN, la OCDE, EPRI y la UE, junto con una descripción de las capacidades experimentales y analíticas del Ciemat en seguridad nuclear.

A review was done on the main activities performed and achievements managed by the Project of Nuclear Safety Research (Department of Nuclear Fission) of Ciemat in the last fifteen years on the areas of: severe accident, advanced reactors and containment analysis.

It was emphasised Ciemat's participation in national and international projects, mainly promoted by The Spanish Nuclear Sector, the CSN, the OECD, EPRI and the European Union. The experimental and analytical capabilities on reactor nuclear safety set up in Ciemat along this period of time were also described.

INTRODUCCIÓN

El Programa de Tecnología de Seguridad, creado en 1985 [1], se convierte en 1996 en el Proyecto de Tecnología de Seguridad Nuclear dentro del Departamento de Fisión Nuclear del Ciemat, manteniendo sus líneas básicas en accidentes severos. A lo largo de estos años, se ha participado en proyectos de I+D del ámbito nacional e internacional, auspiciados principalmente por el Sector Nuclear Español, Ocide, el CSN, la Ocde, Epri y la UE, al tiempo que se ha construido un conjunto de instalaciones experimentales e implantado un sistema de códigos de cálculo para la simulación y análisis de accidentes.

Este artículo ofrece una perspectiva histórica de las actividades más significativas desarrolladas, preferentemente en el periodo 1985-1998, junto con los

resultados más destacables y logros obtenidos, para cuyo fin se han establecido tres grupos temáticos: accidentes con daño al núcleo, reactores avanzados y comportamiento de la contención.

ACCIDENTES CON DAÑO AL NÚCLEO

Los accidentes severos se estudian de forma prioritaria a raíz del accidente de la Isla de las Tres Millas (EUA) en 1979, estableciéndose grandes proyectos internacionales, a los que a finales de 1984 se unen las organizaciones españolas implicadas en la seguridad, entre ellas el Ciemat, cuya contribución se describe en este apartado [2].

Proyecto Loft (1984-90)

La participación española se plasmó en un convenio, auspiciado por Ocide, entre el CSN, Ciemat, Enusa, Unesa, Enresa y UPM.

El proyecto consistió en la realización de ocho experimentos en el reactor experimental Loft de 50 MW (Idaho, EUA), los seis primeros referidos a la termohidráulica de una planta en situación de accidente de pérdida de refrigerante (LOCA), y los dos últimos (FP1 y FP2), al deterioro del núcleo y escape de productos de fisión.

El Ciemat se encargó del análisis del FP1 sobre rotura de barras combustibles con liberación de productos de fisión y su transporte a través del circuito primario hasta la contención [3] y

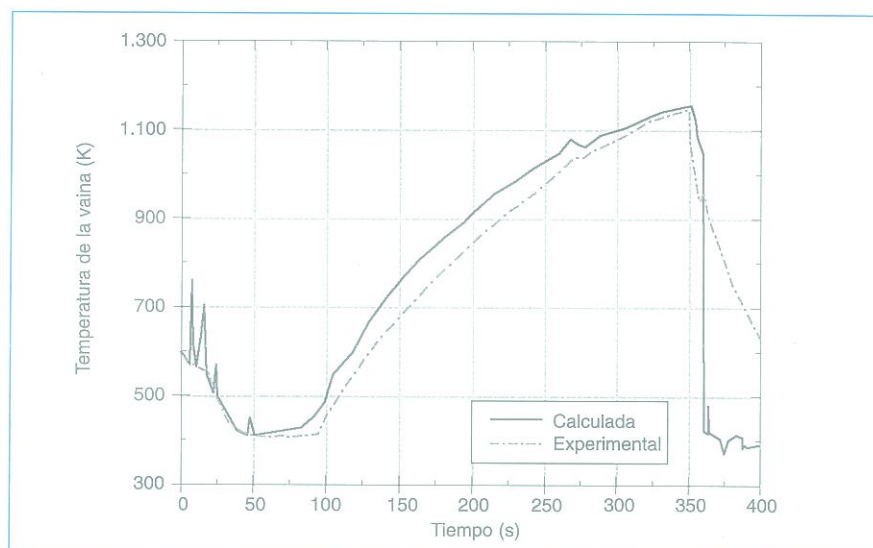


Figura 1: Temperatura de la vaina de una barra combustible Loft-FP 1.

del comportamiento del yodo en el FP2 [4].

La termohidráulica se analizó con el código Trac-PF1/Mod1 (Fig. 1) y para los productos de fisión y los aerosoles se desarrolló una metodología, consistente en la concatenación de modelos y códigos sobre la producción, transporte y deposición en el núcleo, tuberías y la contención.

El Proyecto Loft requirió un gran esfuerzo de las organizaciones y produjo beneficios claros en cuanto a la asimilación de tecnología de seguridad.

Proyecto Phebus-CSD (1987-92)

El CEA francés emprende el proyecto Phebus-CSD, utilizando el reactor Phebus (40 MW) de Cadarache, para la ejecución de cinco experimentos a fin de estudiar: a) la degradación de las vainas y generación de hidrógeno; b) la disolución de UO_2 y formación de eutécticos, y c) la disolución de los materiales estructurales y barras de control.

La participación española fue liderada por el CSN y cofinanciada por Ocide, formándose un consorcio al que se adhieren el Ciemat, Enresa, Enusa y Unesa, y creándose grupos de trabajo [5]. El Ciemat participó en los análisis usando el código francés Icare, con el objetivo de familiarizarse con la metodología francesa; otros grupos emplearon los códigos americanos Scdap y Melcor [5].

Hay que destacar la concordancia encontrada entre los valores calculados y experimentales respecto a la temperatura de las vainas, el espesor de la capa de óxido y los modelos de producción de H_2 y de relocalización de los materiales fundidos. La participación proporcionó un gran conocimiento sobre fenomenología y métodos de cálculo.

Proyecto LACE y ACE (1987-93)

a) LACE internacional

El proyecto LACE fue lanzado por Epri con objeto de investigar el comportamiento de los aerosoles en la contención y el edificio auxiliar de las plantas nucleares en escenarios de accidentes severos, para lo que dispuso de una instalación dotada de una vasija de 850 m^3 (Hanford, EUA).

Auspiciada por Ocide, la participación española agrupó al CSN, Ciemat, Tecnatom, Enusa, Unesa y UPM, encomendándose al Ciemat el análisis de dos de los seis experimentos del programa, los LA4 y LA6 [6].

Estos experimentos simularon, respectivamente, el fallo tardío y la des-

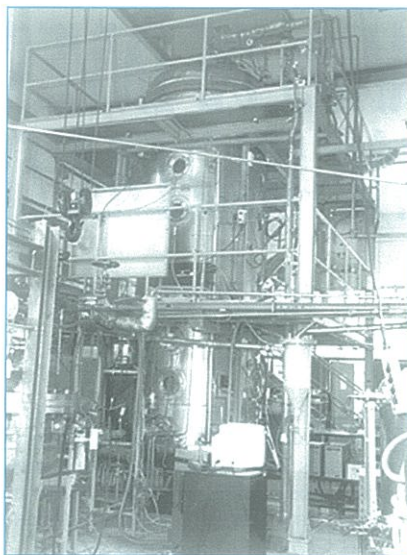


Figura 2: Instalación PECA.

presurización rápida de la contención, y demostraron el papel predominante del proceso de sedimentación frente al de difusión en la eliminación de los aerosoles, al tiempo que proporcionaron una base de datos para la mejora del código de referencia, NAUA-mod5, lo que permitió mejorar un modelo de condensación del vapor de agua sobre los aerosoles.

b) LACE-España

En paralelo al proyecto LACE, el consorcio español propuso la construcción en el Ciemat de una instalación experimental a escala intermedia, que permitiera realizar experimentos sobre accidentes severos y, en particular, sobre secuencias de retención de aerosoles en lechos acuosos de las plantas LWR (pool scrubbing).

La planta PECA (Fig. 2) está compuesta de una vasija de 8 m^3 de volumen y dotada de sistemas auxiliares para la generación, nucleación y mezclado e inyección de aerosoles; de instrumentación en línea (presión, temperatura, caudales, etc), y de un sistema de adquisición de datos y control del proceso y otro, adicional, para captación y análisis de imagen de los fenómenos hidrodinámicos en la columna de agua [7].

Se llevó a cabo un programa experimental de once ensayos, cuyos resultados proporcionaron una base de datos sobre factores de descontaminación, concluyendo que la retención aumenta en primer grado con el tamaño de los aerosoles, y que otras variables, como el régimen de chorro o la inyección en multiorificio, favorecen igualmente la retención.

El programa LACE-España produjo beneficios para las organizaciones participantes al generar datos necesarios para el análisis de accidentes y dotar al país de una instalación de simulación de accidentes.

c) Proyecto ACE (1988-93)

Finalizado LACE, Epri lanza el proyecto ACE para investigar el término fuente en la contención. Se compuso de tres fases: a) sistemas de retención del venteo filtrado de la contención; b) comportamiento del yodo en la contención, y c) interacción del núcleo fundido (corio) con el hormigón.

En 1988, y bajo el patrocinio de Ocide, el CSN, Tecnatom, Unesa, UPM y Ciemat suscribieron un convenio. El Ciemat se haría cargo de química del yodo y, especialmente, de la interpretación de los experimentos realizados en la instalación RTF (Canadá) [8].

Mediante el código Iode, se analizaron los efectos de la radiación y el pH en la volatilidad del yodo. Ello permitió la mejora del código con la incorporación de un modelo de desorción. Adicionalmente, se hizo una revisión del papel del yodo y sus compuestos en el término fuente.

Proyectos Phebus-FP (1987-2007)

Promovido por el IRSN y la UE (JRC-Ispra), Phebus FP tomó el relevo de los grandes proyectos internacionales sobre los accidentes severos y el término fuente, para lo que se remodeló el reactor Phebus con nuevos sistemas.

El proyecto, que desde la fase de diseño en 1987 contó con la participación del Ciemat, comportaba seis experimentos (FPT0, FPT5), los cuatro primeros han sido ya realizados.

En la primera etapa (1987-88), el Ciemat (II Programa Marco, UE) participó en el diseño de la instalación y su comportamiento frente a secuencias accidentales, llevando a cabo estudios del núcleo, primario y contención (Fig. 3), en cuyo cometido se usaron los códigos: Icare, Scdap, Trac, Trampelt y Naua [9,10].

Construida la instalación, el Ciemat se ha centrado en el análisis de los experimentos dentro de los Programas Marco de la UE (Proyectos "Pheben"), utilizando herramientas específicas de contención, como Contain y Iode.

Proyecto Source Term (1991-95)

La UE en su III Programa Marco hizo un gran esfuerzo en el estudio del término fuente. El Ciemat participó en el

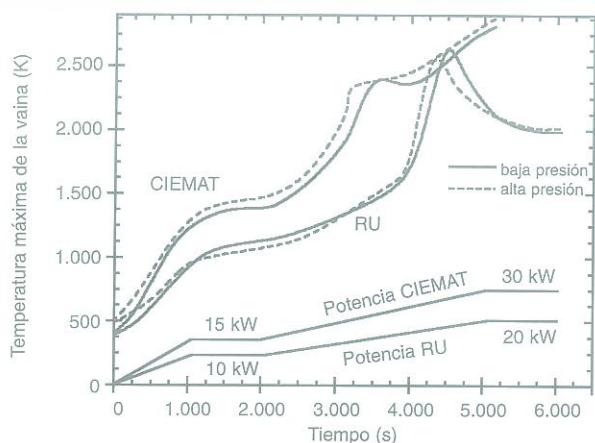


Figura 3: Temperatura máxima de vaina versus tiempo.

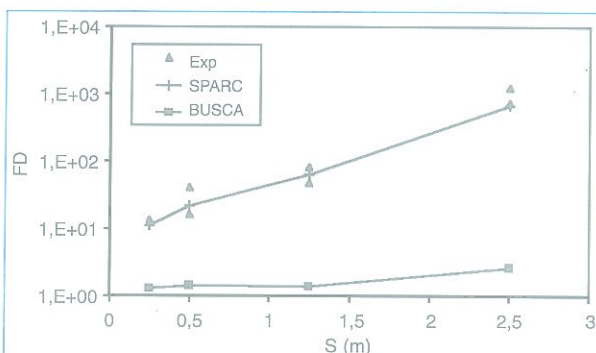


Figura 4: Factores de descontaminación en función de la sumergencia.

proyecto "Source Term" junto con otras 19 organizaciones europeas, como responsable de la tarea de retención de aerosoles (Pool Scrubbing). En ella, se realizó un informe del estado del arte sobre retención de aerosoles en lechos acuosos de plantas LWR [11], donde se revisaron los programas: ACE, Battelle y GE (EUA), Sparta (Italia), EPSI y Jaeri (Japón); LACE-España (España); Poseidón (Suiza) y Ukaea (RU), constatándose la escasez de datos específicos de los accidentes severos.

Con la finalidad de paliar tal situación, el Ciemat definió un programa experimental en la instalación PECA, consistente en cuatro ensayos representativos de las secuencias SGTR y Bypass (RHR) y diez ensayos hidrodinámicos característicos de los escenarios anteriores [12, 13].

Los resultados obtenidos (Fig. 4) demostraron que el factor de descontaminación (FD) puede interpretarse como el producto de dos exponenciales: la primera (e^{β}), predominante, viene asociada a la zona de inyección y la segunda ($e^{\alpha S}$) depende de la altura de la columna de agua (sumergencia, S (m)). Esto permitió deducir la relación siguiente:

$$FD = e^{\beta} e^{\alpha S}$$

donde: $\alpha=1,82 - 1,87$ y $\beta=1,90 - 2,33$

Cálculos realizados con los códigos SPARC y BUSCA verificaron la concordancia del primero con los resultados experimentales.

Proyecto Storm (1991-2000)

La UE construyó en Ispra una instalación a gran escala (Storm) para estudiar la deposición y resuspensión de aerosoles, y su influencia en el término fuente en determinadas secuencias de accidentes severos. La instalación disponía de una sección de ensayo de 5 m de longitud y 6,3 cm de diámetro, en la que se inyectaban aerosoles (0,4 g/s) junto con el gas de arrastre (30 g/s) a velocidades entre 15 y 30 m/s. Se realizaron 11 experimentos, siete de deposición y cuatro de resuspensión, de una duración que osciló entre 1 y 2,5 h. El Ciemat participó en la interpretación de los experimentos con el código Victoria y en el desarrollo del código de resuspensión, Caesar [14].

REACTORES AVANZADOS

La participación del Ciemat en los distintos prototipos europeos y ameri-

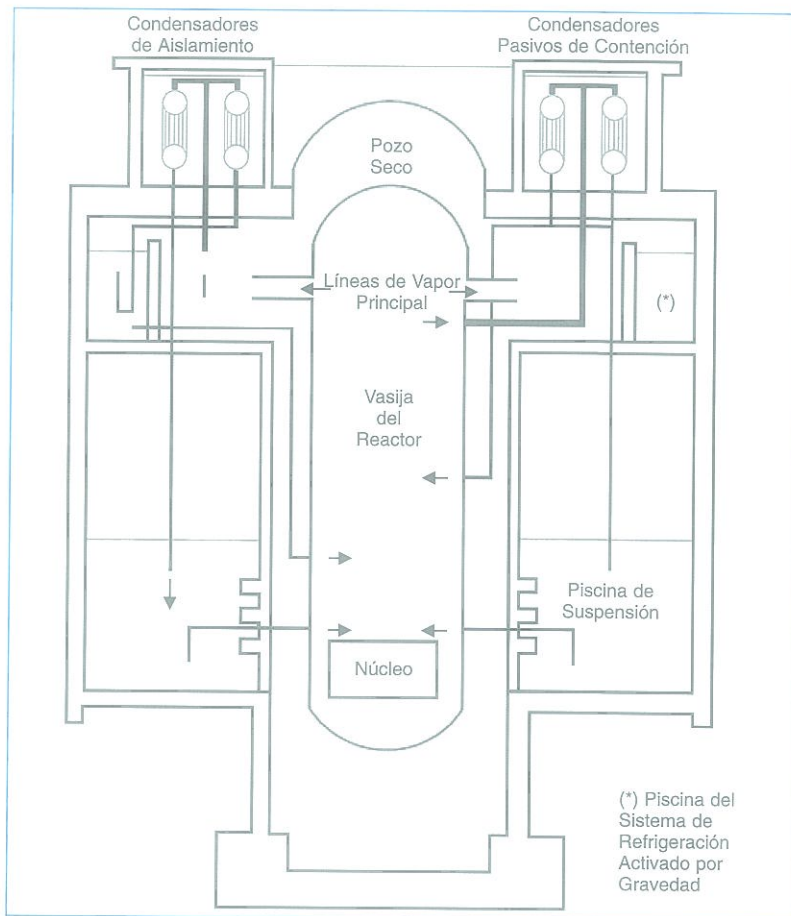


Figura 5: Esquema de la contención SBWR.

canos se ha centrado en los sistemas de refrigeración y retención de aerosoles.

Programa español de centrales nucleares avanzadas y pasivas (1991-96)

El Sector Nuclear Español representado por Unesa y DTN lideró la participación española en el campo de los reactores avanzados y pasivos (AP-600, SBWR, EPR, EUR, etc.). Para tal fin, se creó un consorcio formado por Initec, EE.AA., Ciemat, Enusa, Ensa y Tecnatom, asignándose al Ciemat la misión de realizar dos proyectos sobre el reactor GE-SBWR.

El primero, con participación de la UPV, consistió en el desarrollo de un modelo de transmisión de calor por condensación de vapor en presencia de gases incondensables en el interior de los tubos verticales de los condensadores de aislamiento y pasivos de la contención SBWR (Fig. 5). El modelo fue implementado en el código Trac y aplicado al diseño del prototipo [15].

El segundo proyecto, realizado en la instalación PECA, trató de la retención de aerosoles (CsI) en la piscina de relajación en condiciones de accidente severo, para cuyo fin se diseñaron seis

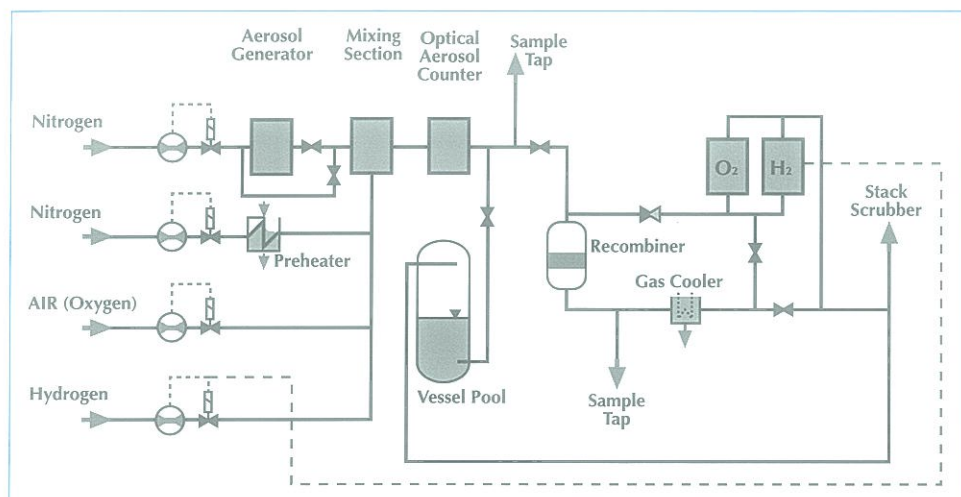


Figura 6: Esquema de la instalación RECA.

experimentos con la colaboración con GE.

Los resultados, que dieron factores de descontaminación entre 100 y 2.000, demostraron el aumento de la retención con la fracción de vapor y el subenfriamiento de la piscina, así como que los inyectores de orientación vertical hacia abajo son más eficaces que los inyectores horizontales [16].

Colaboración Ciemat-Wisconsin-EUA (1997)

El Ciemat destacó un experto en la Universidad de Wisconsin (EUA) para participar en un programa experimental y analítico sobre el sistema de refrigeración de la contención del reactor pasivo W-AP600. Como resultado, se desarrolló y validó un modelo de coeficiente de transmisión de calor asociado a la condensación de vapor de agua en paredes planas horizontales y verticales típicas del sistema [17, 18]. El modelo se basó en la analogía de transferencia masa y energía en presencia de incondensables (N_2 y H_2).

Proyecto TEPSS (1996-98)

El Proyecto TEPSS, relativo al prototipo europeo de reactor pasivo de agua en ebullición, investigó el mezclado y estratificación en piscinas de relajación, los sistemas pasivos de extracción del calor de la contención y la deposición de aerosoles en el interior de los mismos. La experimentación se hizo en las instalaciones LIN X-2, Panda y Aida del PSI (Paul Scherrer Institut) y el soporte analítico corrió a cargo de Holanda, Suiza y España (UPV, UPC y Ciemat).

El Ciemat, en colaboración con la UPV, se hizo cargo del análisis de cua-

tro de los ocho experimentos realizados en la instalación Panda (escala 1/25 GE-SBWR), en los que se simulaban diferentes secuencias accidentales y se verificó la eficacia de los sistemas de refrigeración por gravedad del núcleo y el condensador pasivo de la contención. El análisis se hizo con el código Trac-BF1 [19], al que se incorporó el modelo de transmisión del calor en tubos verticales desarrollado por el Ciemat y la UPV, antes mencionado. Uno de los casos fue aportado al programa Camp-España.

Proyecto BWRCA (1997-98)

En apoyo del reactor pasivo promovido por Siemens, la UE lanzó el proyecto AEBWR-R&D-Cluster for Innovative Passive Safety Systems y el BWRCA para el estudio de los sistemas pasivos de seguridad sobre la base de los experimentos realizados en las instalaciones NOKO de Jülich y Panda del PSI.

Varias organizaciones europeas (Siemens, Universidad de Delft, Enea y Ciemat) contribuyeron con estudios básicos de termohidráulica; el Ciemat se encargó de la revisión bibliográfica de los fenómenos de condensación en tubos de intercambiadores de calor, incluidos los levemente inclinados, típicos del prototipo de Siemens [19].

Proyecto Conga (Fase I) (1997-99)

Este proyecto de la UE se ocupó del comportamiento de la contención del reactor pasivo promovido por Siemens. La fase I del proyecto comprendía un programa experimental sobre el efecto de la deposición de aerosoles en presencia de hidrógeno en el interior de

los intercambiadores de calor (tubos levemente inclinados) de la contención, y el desarrollo de un modelo analítico de transmisión del calor. Los experimentos se realizaron en las instalaciones: Dragon y Cesane del PSI, Storm del JRC-Ispira y CISE de Enel.

El modelo analítico de coeficiente de transmisión de calor (h) y su validación frente a los datos experimentales fue desarrollado por el Ciemat [19,20], obteniéndose la expresión siguiente:

$$h = 31 \exp \{0,129 X_v^{2/3} (Re Pr^{1/2})^{1/3}\}$$

donde X_v es la fracción molar de vapor, y Re y Pr los números de Reynolds y Prandtl, respectivamente.

COMPORTAMIENTO DE LA CONTENCIÓN

Con el transcurso del tiempo, el Ciemat ha ido especializándose en el análisis de la contención y sus diferentes sistemas de seguridad. En este capítulo se describe la participación en proyectos de esta naturaleza.

Proyecto Conga (Parte II) (1997-99)

En la fase II, el Ciemat se encargó de la ejecución de dos programas experimentales con el objetivo de estudiar, a) la capacidad de la piscina de relajación de presión como sistema de retención aerosoles, y b) la influencia de la presencia de aerosoles en la eficacia catalítica de los recombinadores hidrógeno, a la vez que la eficacia del condensador del sistema para retener los aerosoles atrapados en las moléculas de agua formadas.

Los experimentos se realizaron, respectivamente, en las instalaciones PECA y RECA del Ciemat [19,20]. Se simuló un accidente típico de pérdida de refrigerante por rotura de la línea de vapor principal, con venteo a la piscina de relajación y despresurización de ésta a través del sistema de venteo de la contención dotado de recombinadores.

Los resultados del primer programa (4 ensayos) confirmaron la capacidad de retención de la piscina, obteniéndose factores de descontaminación entre 30 y 650.

El segundo programa llevó a la construcción de la instalación RECA (Fig. 6). La instalación, que utiliza algunos sistemas de la PECA, consta de los sistemas propios siguientes: sistema de suministro de H_2 y aire seco, cámara de mezcla de H_2 y O_2 , recombinador catalítico y condensador para recogida de agua generada en el recombinador.

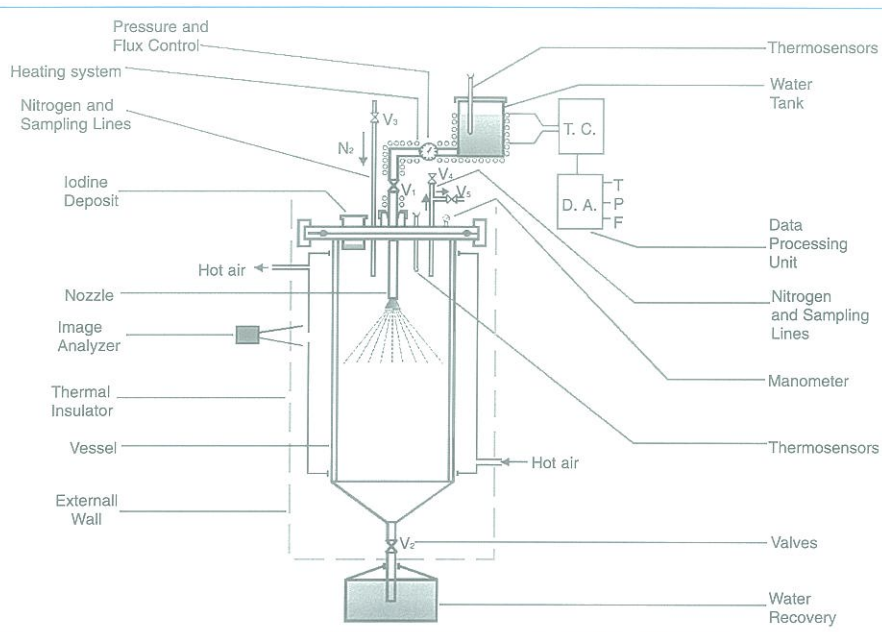


Figura 7: Esquema de la instalación GIRS.

Éste se compone de un cilindro de acero inoxidable de 32,9 cm de diámetro y 45 cm de longitud (suministrado por Siemens), relleno de un granulado de Al_2O_3 con 0,5 % de paladio. La instalación está dotada de detectores de H_2 y O_2 y de sistemas de alarma y control. El programa comportó siete ensayos en los que el hidrógeno y los aerosoles se inyectaron durante 30 minutos.

Los resultados obtenidos dan valores de la eficacia de los recombinadores entre el 62% y el 74%, y muestran que éstos no son influenciados de forma apreciable por la presencia de los depósitos de aerosoles en el interior de los recombinadores, verificándose, además, que el condensador se comporta como un filtro para los aerosoles. En conclusión, los experimentos RECA demostraron la bondad del sistema de venteo de la contención en su conjunto.

Proyecto Dabasco (1997-99)

La creación de bases de datos para el desarrollo de modelos y correlaciones en el campo de la termohidráulica de la contención fue objetivo del proyecto Dabasco de la UE. Participaron ocho organizaciones europeas, el Ciemat contribuyó con la instalación GIRS para el estudio de los aspersores (sprays) como sistema de eliminación del yodo molecular presente en la atmósfera de la contención, en caso de accidente severo (Fig. 7).

La instalación GIRS consta de una vasija de vidrio de 1,3 m de altura y base rectangular de 50 x 50 cm, donde se inyecta vapor de yodo (I_2) y vapor de agua a través de una línea de arrastre

de nitrógeno situada en la parte superior. Su misión es medir la concentración de I_2 en fase gas y del retenido por las gotas del rociador en el depósito inferior de la vasija.

Se realizaron 18 ensayos de 1 hora de duración en condiciones representativas de pH, tamaño y temperatura de las gotas de agua producidas por los aspersores.

Los resultados obtenidos permitieron cuantificar el fenómeno y determinar la evolución temporal del yodo y su ley exponencial en el tiempo. El factor de eliminación, que aumenta con la temperatura, fue de 2 a 3 veces superior para valores de pH altos que para bajos, e igualmente, superior para gotas grandes que para pequeñas [19,21].

Proyectos Iodine Chemistry y Pheben (1996-1998)

Ambos proyectos de la UE actúan en apoyo al Proyecto Phebus FP. El primero estudió la reacción del yodo con la plata de las barras de control y su importancia en el término fuente, y contó con las organizaciones: AEA, CEA/Irsn, Siemens, JRC/Ispira, NNC e IVO-International y Ciemat. El Ciemat hizo una revisión bibliográfica sobre las interacciones yodo-plata y participó en el desarrollo de un modelo cinético sobre dichas reacciones y su implementación en el código Iode [19].

Por su parte, el proyecto Pheben (IV y V Programa Marco) da soporte analítico al Phebus FP y en él participan de organizaciones europeas: JRC-Ispira, CEA/Irsn, GRS, IKE, Enea, AEA, UPM, VTT y Arcs y Ciemat. El Ciemat analiza

los aspectos termohidráulicos, de física de los aerosoles y química del yodo en la contención con los códigos Contain y Iode [19].

Proyecto AASC (1997-2002)

En 1996, se inicia con el CSN un programa de colaboración de amplio alcance (Análisis de los Accidentes Severos en la Contención (AASC)) [22] para el estudio de las incertidumbres asociadas a las herramientas de cálculo de uso en la Sala de Emergencias de este Organismo.

En una primera fase, se produjeron los progresos siguientes: a) realización de experimentos en la instalación PECA sobre la retención de aerosoles en secuencias de "pool scrubbing", b) elaboración de un informe sobre el estado del arte de la combustión de hidrógeno en reactores de agua ligera y de las herramientas de cálculo (código Contain), y su aplicación a experimentos internacionales (VGES, Sandia y CTF, Canadá), evaluándose la capacidad predictiva de los modelos e iniciándose el uso de códigos tridimensionales (Fluent), y c) se evaluaron posibles áreas de incertidumbre del código MAAP aplicado a las centrales españolas en relación con los aerosoles en primario y retención en lechos acuosos, química del yodo y combustión de hidrógeno.

A partir de 1999, el programa de colaboración ha proseguido, destacando la realización de cuatro experimentos en la instalación PECA relativos al efecto filtrante de volúmenes acuosos sobre gases portadores de partículas cuando existen sustancias disueltas o suspendidas en el agua.

Otra parte de los trabajos se canaliza a través de los proyectos del V Programa Marco de la UE (1998-2002), SGTR y Pheben-2. El primero, de contenido analítico y experimental, profundiza en la secuencia de rotura de tubos del generador de vapor. El Ciemat contribuye con doce experimentos en la instalación PECA, simulando la retención de aerosoles en el secundario del generador de vapor en ausencia de agua, y evaluando posibles actuaciones mitigadoras. Los resultados obtenidos cuantifican la capacidad filtrante del haz de tubos en la vecindad de la rotura [23]. En este contexto, se contempla una importante participación en el Sexto Programa Marco.

International Standard Problems (ISP) (1994-98)

Los ejercicios internacionales de comparación de códigos organizados por el CSNI de la OCDE representan

una vía muy eficaz para validar las herramientas de cálculo empleadas en seguridad nuclear frente a experimentos cualificados. El Ciemat ha participado en tres de éstos, destinados a la contención. En los dos primeros, ISP-34 y ISP-37, sobre el comportamiento de los productos de fisión (Falcon, RU) y de los aerosoles higroscópicos (Vanam-M3, Battelle, Alemania), respectivamente, se empleó el código Contain. El tercero, ISP-40, trató sobre la deposición y resuspensión de aerosoles (Storm, UE-Ispira), en cuyo análisis se empleó el código Victoria.

RESULTADOS Y CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados de la investigación se han ido concretando en productos como: asimilación de conocimientos; implantación y uso de códigos de cálculo y cualificación de usuarios; desarrollo de modelos; la construcción de instalaciones y ejecución de experimentos; la creación de bases de datos; estudios específicos; dictámenes, etc.

Además, la participación en proyectos nacionales (4) e internacionales (21) ha favorecido la difusión de resultados y fortalecido las relaciones con la industria, los centros de investigación, la universidad y demás organizaciones, con efectos multiplicadores innegables. Esta actuación se ha proyectado mediante: presentaciones a congresos nacionales (59) e internacionales (50); publicaciones en revistas nacionales (5) e internacionales (24); informes EUR (7), Ciemat (7) y de progreso (100); participación en comités de expertos nacionales (5) e internacionales (9), etc.

Otros indicadores de la actividad serían los financieros: el presupuesto total gestionado (≈ 11 M€) y los ingresos habidos (≈ 6 M€), una parte importante de los cuales responde a los retornos económicos de la UE en el capítulo I+D en seguridad nuclear.

Puede concluirse que uno de los logros más significativo del Ciemat ha sido el haber mantenido en el tiempo y consolidado un grupo de conocimiento, con capacidad analítica y experimental y presencia significada en el ámbito nacional e internacional, como laboratorio de investigación en seguridad nuclear. Ello garantiza unas perspectivas de futuro de acuerdo con las demandas actuales y los nuevos desarrollos.

Los conocimientos adquiridos en esta etapa, tanto a escala mundial como en nuestro país, han sido esenciales y han contribuido a profundizar en la seguridad de las plantas en operación y en su normativa, y creado la base cien-

tífica de los nuevos desarrollos.

Finalmente, hay que señalar que las tecnologías desarrolladas brindan grandes posibilidades de aplicación en áreas convencionales, como la simulación, la descontaminación y resuspensión de partículas y gases, los filtros, el hidrógeno, los sistemas de refrigeración, etc.

REFERENCIAS

1. J. López Jiménez, La Seguridad Nuclear: Un programa soporte de investigación, Nuclear España, Año II, 2ª Etapa, Nº. 66 - Junio 1988, Madrid.
2. Alonso, E. Gallego, J. López Jiménez, Spain role in research on LWR severe accidents. Nuclear Europe Wordscan 5-6/1997.
3. Alonso, J. Blanco, J.A. Esteban, J. López Jiménez, J. Rivero. El comportamiento de los productos de fisión en el proyecto Ocde-Loft, Nuclear España, 1986, Noviembre, Madrid.
4. L.E. Herranz, J. Polo, Analysis of the chemical behaviour of Iodine in the suppression tank of the Loft facility during the experiment LP-FP-2 with Iode and Impair-2/M, Nuclear Technology 106, Nº 2 pp 168-176, May 1994.
5. Phebus CSD, Degradación Severa del Núcleo, Participación Española, CSN, 1992.
6. J. López Jiménez, Proyecto LACE-España, Memoria final del proyecto, Madrid 1994, Ciemat.
7. M.J. Marcos Crespo, F.J. Gómez Moreno, I. Melches Serrano, M. Martín Espigares, J. López Jiménez, LACE - España Experimental Programme on the Retention of Aerosols in Water Pools, Ciemat N 740 y EUR-15455EN, 1993.
8. R. Salve, Proyecto ACE. Memoria Final del Proyecto, UNESA, mayo 1993.
9. F. Olivares, E.R. Máiquez, F.J. Barbero, L.E. Herranz, M.C. Vicente, J. López Jiménez, Report on Phebus-FP dimensioning verification Vols. 1 and 2 Bundle and circuit verification, February 1989, TN/TS-011/R-89 (SCA Report).
10. Markovina, A. Mailliat, Scoping Calculation in support of the Phebus FP Experimental Programme. CEC, Reactor Safety Research, EUR 12343 EN, 1990.
11. M. Escudero Berzal, M.J. Marcos Crespo, M. Swiderska-Kowalczyk, M. Martín Espigares, J. López Jiménez, State of the Art Review on Fission Products Aerosols Pool Scrubbing Under Severe Accident Conditions, EUR 16241EN, 1994.
12. Containment Phenomena, FISA-95 Symposium, Luxembourg 20-22 Nov. 1995, EUR-16896EN.
13. L. E. Herranz, V. Peyrés, J. Polo, M.J. Escudero, M. Martín Espigares, J. López Jiménez, Experimental and Analytical Study on Pool Scrubbing under Jet Injection Regime, Nuclear Technology Volume 120, 95-176 (1997).
14. A. de los Reyes, R. Arias, E. Hontañón, Spanish contribution to the Storm Project on aerosol resuspension in Severe Accident, 23 Reunión Anual, SNE, La Coruña, 5-7 noviembre 1997.
15. Luis E. Herranz, José L. Muñoz-Cobo, G. Verdu, Heat transfer modeling in the vertical tubes of the passive containment cooling system of simplified boiling water reactor, Nuclear Engineering and Design 178 (1997) 29-44.
16. M. Martín, Mª.J. Marcos, F.J. Gómez, Experimentos de retención de aerosoles en piscinas de relajación para el programa de centrales pasivas SBWR, 22 Reunión Anual, SNE, Santander, octubre 1996.
17. L.E. Herranz, M.A. Anderson, M.L. Corradini, "A diffusion layer model for steam

condensation within the AP600 containment", Nuclear Engineering and Design, Vol. 183, ns. 1-2, 133-150, July 1988.

18. M.H. Anderson, L.E. Herranz, M.L. Corradini, Experimental analysis of heat transfer within the AP600 containment under postulated accident conditions, Nuclear Engineering and Design, Vol 185, Ns 2.4. 153-172, 1988.

19. FISA 99-EU-Research In Reactor Safety, Luxembourg, 29 Nov-1 Dic 1999. EUR19532 EN.

20. E. Friesen, J. Meseth, M. Valisi, L. Mazzochi, J. López Jiménez, L. Herranz, V. Peyrés, G. F. de Santi, A. Krasenbrink and S. Güntay, D. Suckow. Containment Behaviour in The Event Of Core Melt With Gaseous And Aerosol Releases (Conga). Nuclear Engineering and Design 209 (2001) 253-262.

21. X. Cheng, P. Bazin, P. Cornet, D. Hittner, J.D. Jackson, J. López Jiménez, A. Naviglio, F. Oriolo, H. Petzold, Experimental data base for containment thermalhydraulic analysis, Nuclear Engineering and Design, 204 (2001), 267-284.

22. J. López Jiménez, Programa de análisis de accidentes severos en contención, II Jornadas sobre resultados del Plan de Investigación del CSN, CSN; Madrid, 10 diciembre 1997.

23. L. E. Herranz, Comunicación privada y Resumen Anual del Ciemat años 1999, 2000 y 2001.

Agradecimientos:

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todos los colaboradores que han integrado el Proyecto a lo largo del tiempo, con cuyo esfuerzo ha sido posible la culminación de los trabajos, así como el reconocimiento a las personas y organizaciones que, desde distintos estamentos y posiciones, nos han dado su apoyo y mostrado su confianza.



José LÓPEZ JIMÉNEZ es licenciado en Físicas por la Universidad de Madrid y doctor por la Universidad de París. Entre 1964 y 1968 trabajó en el CEA (Saclay y FAR) sobre el efecto de la radiación en el grafito (Efecto Wigner) y en los aceros. En 1969 ingresa en el Ciemat (antes JEN), incorporándose a la División de Metalurgia. Comisionado en el KfK (Alemania) (1973-77), lideró el programa KfK-JEN de combustible para reactores rápidos. En el periodo 1985-98, fue, sucesivamente, director del Programa y del Proyecto de Tecnología de Seguridad Nuclear del Departamento de Fisión Nuclear. Actualmente, es jefe del Gabinete Técnico del proyecto Pimic para el desmantelamiento del Ciemat. Ha participado en numerosos proyectos de I+D, nacionales e internacionales, y pertenecido a distintos comités, entre ellos al Comité Científico y Técnico de Euratom, TSOG y Lobi de la UE. Actualmente, es miembro del Grupo Asesor Internacional de la OCDE para el reactor experimental Jules Horowitz. Ha publicado gran número de trabajos en diversos foros y revistas especializados.