

SUMARIO

EDITORIAL

La calidad en las instalaciones nucleares

4

INTRODUCCIÓN

7

ENTREVISTA / INTERVIEW

Javier PEREA.

Presidente de Empresarios Agrupados

9

TERMOHIDRÁULICA

15

Metodologías BEPU de Genusa para el análisis de seguridad de reactores BWR.
M. Trueba, J. García, C. Goodson y L. Ibarra

Taking a fresh look at boiling heat transfer on the road to improved nuclear economics and efficiency. E. Baglietto y W. D. Pointer

Uso extendido de códigos Best Estimate en el simulador de Atucha II
G. L. Diéguez, D. Garde, J. A. Ruiz y A. Expósito

Overview of the Nuresafe European Project. B. Chanaron

15

21

26

32

37

Mejora y mantenimiento de códigos termohidráulicos de sistema en base a resultados de los experimentos OECD (PKL, ROSA y ATLAS) y su aplicación a plantas españolas. Proyecto CAMP-España. M. Sánchez, J. Pérez, S. Martorell, S. Carlos, J. F. Villanueva, F. Sánchez, C. Queral, M^a J. Rebollo, J. Rivas-Lewicky, G. Verdú, S. Gallardo, R. Miró, A. Querol, J. L. Muñoz-Cobo, A. Escrivá, C. Berna, F. Reventós, J. Freixa y V. Martínez

Evaluación de la implementación de Recombinadores Autocatalíticos Pasivos (PAR) en una contención tipo Konvoi con el Código GOTHIC 8.1
E. López-Alonso, D. Papini y G. Jiménez

43

Piscinas de supresión: paradigma del efecto de la termohidráulica durante accidentes severos. L. E. Herranz y C. López del Prá

48

OCDE/NEA International Benchmark Exercises: La validación de los códigos CFD aplicados a la industria nuclear. C. Peña-Monferrer, A. Miquel, J. L. Muñoz-Cobo y S. Chiva

55

ARTÍCULO DIVULGATIVO

La energía nuclear a través de la filatelia. M^a T. Torres de la Peña

63

MEJORES PONENCIAS DE LA 41ª REUNIÓN ANUAL

68

COMBUSTIBLE. Cálculo de fuerzas laterales hidráulicas en elementos combustibles tipo PWR con códigos de dinámica de fluidos computacional. R. Corpa, G. Jiménez y B. Moreno
NUEVOS REACTORES. Análisis de un accidente tipo SBLOCA en la contención del reactor AP1000® con el código GOTHIC 8.0. Z. Goñi, G. Jiménez, K. Fernández, C. Queral y J. Montero

68

72

INGENIERÍA. Análisis térmico de la celda de descarga del Almacén Temporal Centralizado (ATC). J. R. Pérez, R. Pérez y E. Huéllamo

77

SECCIONES FIJAS

86

Edita  SENDIA EDITORIAL, S.A.

Directora: Matilde PELEGRÍ
Consejero de Redacción: Comisión de Publicaciones de la SNE - Traducciones Inglés: Sara L. SMITH
Diseño y Maqueta: José RIBERA y Clara TRIGO - Administración y suscripciones: Lola PATIÑO

C/ Capitán Haya, 56. 7º D. 28020 MADRID - Phone: (34) 91 373 47 50 • Fax: (34) 91 316 91 77 • e mail: nuclear@gruposenda.es
Suscripción: España: 113€ + IVA - Europa: 221€ Otros: 226€

Depósito legal: M-22.829/1982 - ISSN: 1137-2885

SOCIOS COLECTIVOS DE LA SNE

AHLBERG CAMERAS AB
AMARA, S.A.
APPLUS NORCONTROL, S.L.U.
AREVA MADRID
AREVA NC
ASOC. NUCLEAR ASCÓ - VANDELLÓS II
ASTEKO Ingeniería
CC.NN. ALMARAZ - TRILLO AIE
CEGELEC, S.A.
CESPA CONTEN, S.A.
CIC. Consulting Informático de Cantabria S.L.
CIEMAT
COAPSA CONTROL, S.L.
COLEGIO N. INGENIEROS ICAI
COPISA INDUSTRIAL S.A.U
ELECOR, S.A.U.
EMPRESARIOS AGRUPADOS
ENDESA GENERACION, S.A.
ENUSA INDUSTRIAS AVANZADAS
ENWESA OPERACIONES
EPRI
EQUIPOS NUCLEARES, S.A.
EULEN, S.A.
EXPRESS TRUCK S.A.U.
GAMESA, CANTAREY REINOSA, S.A.U.
GAS NATURAL FENOSA ENGINEERING, S.L.U.
GAS NATURAL, SDG, S.A.
GD ENERGY SERVICES S.A.
GE - HITACHI NUCLEAR ENERGY INTERNACIONAL
GEOCISA
HELGESON SCIENTIFIC SERVICE
HIDROELÉCTRICA DEL CANTÁBRICO, S.A.
IBERDROLA GENERACION S.A.U.
IBERDROLA INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.
IDOM INGENIERÍA Y CONSULTORÍA
INGENIERÍA, ESTUDIOS Y PROYECTOS NIP S.A.
MANTENIMIENTOS, AYUDA A LA
EXPLOTACION Y SERVICIOS, S.A.
MARSEIN, S.A.
MEDIDAS AMBIENTALES S.L.
MOMPRESA
MONCOBRA
NUCLEONOR S.A.
NUCLEONOVA S.L.
NUKEM TECHNOLOGIES GMBH
PROINSA
PROSEGUR
PRYSMIAN SPAIN, S.A.
RINGO VÁLVULAS S.L.
SEA INGENIERÍA Y ANÁLISIS DE
BLINDAJES S.L.
SENER INGENIERÍA Y SISTEMAS
SGS Tecnos, S.A.U.
SIEMSA INDUSTRIA, S.A.
TECNALIA
TECNASA
TECNATOM, S.A.
TECNICAS REUNIDAS
UNESA
VECTOR & WELLHEADS ENGINEERING, S.L.
WESTINGHOUSE ELECTRIC SPAIN
WESTINGHOUSE TECHNOLOGY SERVICES, S.A.



Esta publicación está asociada a la AEEPP, que a su vez es miembro de CEOE, CEPYME, EMMA y FIPP.



La SNE permite la reproducción en otros medios de los resúmenes de los artículos publicados en NUCLEAR ESPAÑA, siempre que se cite al principio del texto del resumen reproducido su procedencia y se adjunte un enlace a la portada del sitio web www.sne.es, así como también el nombre del autor y la fecha de publicación. Queda prohibida cualquier reproducción o copia, distribución o publicación, de cualquier clase del contenido de la información publicada en la revista sin autorización previa y por escrito de la SNE.

La reproducción, copia, distribución, transformación, puesta a disposición del público, y cualquier otra actividad que se pueda realizar con la información contenida en la revista, así como con su diseño y la selección y forma de presentación de los materiales incluidos en la misma cualquiera que fuera su finalidad y el medio utilizado para ello, sin la autorización expresa de la SNE quedan prohibidos.

NUCLEAR ESPAÑA no se hace responsable de las opiniones expresadas por los autores.



MEJORA Y MANTENIMIENTO DE CÓDIGOS TERMOHIDRÁULICOS DE SISTEMA EN BASE A RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS OECD (PKL, ROSA Y ATLAS) Y SU APLICACIÓN A PLANTAS ESPAÑOLAS. PROYECTO CAMP-ESPAÑA

La participación del Consejo de Seguridad Nuclear en diferentes programas experimentales internacionales en el ámbito de la termohidráulica dentro del marco de la NEA, ha permitido diseñar el alcance de una nueva etapa de las actividades del programa CAMP-España, que en la actualidad se centran en:

- Análisis, simulación e investigación de aspectos específicos de seguridad de experimentos PKL3/OECD y ATLAS/OECD.
- Análisis de la aplicabilidad y/o extensión de los resultados de dichos proyectos para la seguridad, operación y disponibilidad de las plantas nucleares españolas.

Ambos objetivos se llevan a cabo mediante la simulación de los experimentos y la aplicación a plantas españolas de las versiones más recientes de los códigos termohidráulicos de la US NRC (RELAP, TRACE). Otra aportación final de ambos tipos de análisis es la contribución de informes NUREG/IA sobre dichos análisis para CAMP. El desarrollo de las actividades se lleva a cabo por cinco grupos nacionales de investigación pertenecientes a las Universidades Politécnicas de Madrid, Valencia y Cataluña.

INTRODUCCIÓN

Un grupo considerable de organizaciones españolas, entre ellas el CSN, han promovido durante los últimos 30 años tareas encaminadas a la asimilación, mejora y aplicación de códigos termohidráulicos a las centrales nucleares españolas. Dichas colaboraciones se han instrumentado a través de distintos proyectos: LOFT España, ICAP-España, CAMP-España, Proyecto CTC, Proyecto SETH y, el que ha finalizado más recientemente titulado *Mejora y mantenimiento de códigos termohidráulicos de sistema en base a resultados de los experimentos OECD/PKL2 y OECD/ROSA2. Aplicación a plantas españolas* (que en adelante denominaremos CAMP2). Todos los proyectos citados se desarrollaron de forma coordinada con sus respectivos programas internacionales y culminaron con su aplicación a las centrales nucleares españolas. El esfuerzo ha estado siempre justificado por la gran importancia que estos códigos tienen en el licenciamiento y diseño de los sistemas de protección, seguridad y salvaguarda de las centrales nucleares de la misma tecnología que la española.

Cada uno de estos proyectos ha permitido aumentar y mejorar la disponi-

bilidad de modelos de instalaciones experimentales y de plantas españolas con un nivel de validación creciente. Si los primeros proyectos en su día permitieron fundamentalmente profundizar en los códigos RELAP para las centrales PWR y en TRAC/B para BWR, los proyectos más recientes han hecho lo propio para los modelos para TRACE.

Estos proyectos están consiguiendo también mantener una comunidad nacional de expertos en el uso de los códigos con capacidades de actualizar sus prácticas al unísono con la comunidad internacional.

En este artículo se revisa brevemente los diferentes proyectos internacionales y nacional, los resultados más recientes alcanzados dentro del proyecto CAMP2 y los objetivos, estructura, actividades y resultados esperados de su continuación dentro del proyecto denominado CAMP3, centrado sobre la base de experimentos desarrollados en el marco OECD/PKL3 y OECD/ATLAS.

PROYECTOS INTERNACIONALES

El CSN es signatario de los proyectos internacionales CAMP, OECD/PKL2, OECD/ROSA2, OECD/PKL3 y OECD/

MIGUEL SÁNCHEZ (CSN),
JULIO PÉREZ (CSN)
SEBASTIÁN MARTORELL
(Catedrático Universidad, UPV),
SOFIA CARLOS
(Titular Universidad, UPV),
JOSE F. VILLANUEVA
(Investigador, UPV),
FRANCISCO SÁNCHEZ
(Investigador, UPV),
CÉSAR QUERAL
(Titular de Universidad, UPM),
MARÍA JOSÉ REBOLLO
(Investigadora, UPM),
JULIO RIVAS-LEWICKY
(Investigador, UPM),
GUMERSINDO VERDÚ
(Catedrático Universidad, UPV),
SERGIO GALLARDO
(Titular Universidad, UPV),
RAFAEL MIRÓ
(Titular Universidad, UPV),
ANDREA QUEROL
(Investigador, UPV),
JOSE L. MUÑOZ-COBO
(Catedrático Universidad, UPV),
ALBERTO ESCRIVÁ
(Titular Universidad, UPV),
CÉSAR BERNA (Investigador, UPV),
FRANCESC REVENTÓS
(Titular Universidad, UPC),
JORDI FREIXA (Investigador, UPC) y
VÍCTOR MARTÍNEZ (Investigador, UPC)

MAINTENANCE AND IMPROVEMENT OF THERMAL HYDRAULIC SYSTEM CODES USING RESULTS OF OECD EXPERIMENTS (PKL, ROSA, ATLAS) AND APPLICATION TO SPANISH NUCLEAR POWER PLANTS. CAMP-SPAIN PROJECT

CSN involvement in different international NEA experimental TH programmes has outlined the scope for a new period of CAMP-España activities, currently focused on the:

- Analysis, simulation and investigation of specific safety aspects of PKL3/OECD and ATLAS/OECD experiments.
- Analysis of applicability and/or extension of the results in these projects to the safety, operation or availability of the Spanish nuclear power plants.

Both objectives are carried out by simulating experiments and plant application with the last available versions of NRC TH codes (RELAP5 or TRACE). A CAMP in-kind contribution (NUREG/IA) is aimed as final result of both types of analyses.

Five different national research groups (from Technical Universities of Madrid, Valencia and Cataluña) are carrying out the development of these activities.

ATLAS, dando acceso a la participación a otras organizaciones nacionales a través de la organización CAMP-España.

Estos proyectos planteados por OECD/NEA están en línea con los informes del NEA/CSNI, *Nuclear Safety Research in OECD Countries: Major Facilities and Programmes at Risk* (SESAR/FAP, 2001) y su actualización del 2007 *Support Facilities for Existing and Advanced Reactors* (SFEAR), que recomiendan establecer una amplia colaboración internacional en el mantenimiento de una cierta infraestructura experimental.

Este contexto general es compartido por numerosos países, por lo que desde la OECD/NEA/CSNI se llevan proponiendo desde ese entonces con esta perspectiva diferentes programas. Todos ellos tienen como objetivo la resolución de temas relacionados con la seguridad nuclear y asociados al comportamiento termohidráulico de reactores de agua ligera, la realización de análisis sobre aspectos relacionados con la operación y la seguridad que incluyan nuevos sistemas de seguridad o acciones de protección y mitigación, y la verificación de modelos y métodos de simulación de fenómenos complejos en situaciones accidentales.

El CSN consciente de este consenso a nivel internacional para ayudar al sostenimiento de las instalaciones experimentales viene firmando acuerdos de participación en dichos proyectos promovidos y gestionados desde OECD/NEA.

Proyecto CAMP de la USNRC

El Proyecto CAMP es un programa de cooperación internacional en el área de la investigación termohidráulica promovido por la *United States Nuclear Regulatory Commission* (USNRC), que tiene como objetivo fundamental la verificación, validación, mantenimiento y aplicación de los códigos termohidráulicos RELAP5/MOD3 y TRACE. Estos códigos constituyen el estado del arte de la aplicación de la mecánica de fluidos bifásica a centrales nucleares de agua ligera, permitiendo la simulación de gran parte de los escenarios de transitorios y accidentes, así como pruebas nucleares y/o incidentes reales ocurridos.

Proyectos PKL2 y PKL3 de NEA/OECD

El Proyecto OECD/PKL2 se planteó como continuación natural de la serie de programas OECD/SETH y OECD/PKL1, y cubrió el periodo de enero 2009 a diciembre de 2012. Posteriormente como continuación de PKL2, en el periodo de abril de 2012 a abril de 2016, y con objetivos generales similares se planteó el proyecto OECD/PKL3.

Los experimentos de estos programas se vienen realizando fundamentalmente en la instalación PKL perteneciente a Areva (Figura 1). PKL es una instalación integral propiedad de Areva, que simula una planta PWR de 1.300 MW diseño Siemens, que dispone de cuatro lazos idénticos y simétricos en torno a la vasija, incluyendo todos los sistemas de seguridad más relevantes, de escala 1:1 de alturas y 1:145 en volumen y potencia. Dispone de una extensa instrumentación (1.500 puntos de medida) en temperatura, presión, caudal (monofásico y bifásico), así como una instrumentación única en concentración local de boro.

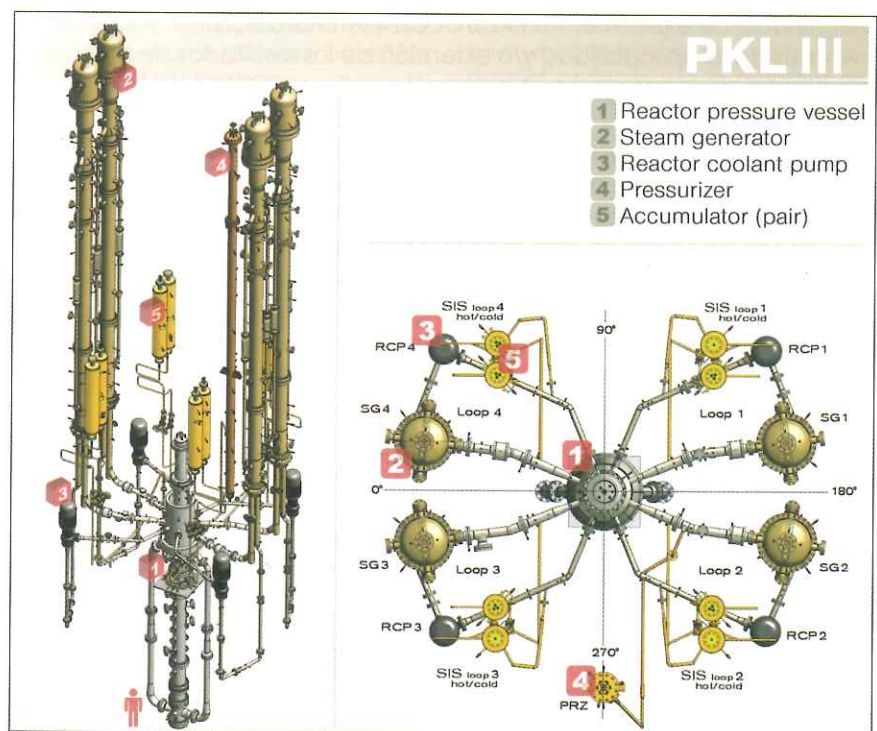


Figura 1. Esquema de los componentes principales de la instalación PKL (cortesía del grupo PKL de OECD/NEA).

Serie	Descripción
G.1	Investigación sistemática de los mecanismos de transferencia de calor en generadores de vapor en presencia de nitrógeno, vapor y agua, y en condiciones de medio lazo.
G.2	Análisis de maniobras de gestión de accidentes de enfriamiento con GV aislados y con secundarios vacíos.
G.3	Análisis de maniobras de despresurización rápida en el secundario de los GV en escenarios de SBLOCA con fallos múltiples.
G.4	Transitorios de enfriamiento rápido, como la rotura de la línea de vapor principal.
G.5	Estudio de transitorios con precipitación de boro (p.e., tras accidentes de LOCA grande) y análisis de maniobras de recuperación.
G.6	Investigación de maniobras de enfriamiento del primario con formación de burbuja en la cabeza de la vasija.
G.7	Experimento counterpart con ROSA/LSTF.

Tabla 1. Series experimentales del proyecto OECD/NEA PKL2.



Serie	Descripción
H1/H2	Accidentes más allá de la base de diseño con un calentamiento significativo del núcleo. Los accidentes que se han cubierto son: • H1: SBLOCA con fallo de los sistemas de seguridad (H1.1 & H1.2, escenarios counterpart PKL-LSTF). • H2: <i>Station Blackout</i> , con el objetivo de evaluar la capacidad de los CET (termopares de salida del núcleo) como indicación de calentamiento del núcleo para la ejecución de medidas de gestión de accidente (AM), y el estudio de la eficacia de posibles medidas de AM tardías.
H3	Accidentes en condiciones de parada (fallo del RHRS).
H4	Maniobras de enfriamiento en condiciones de circulación natural asimétrica (por ejemplo, con generadores de vapor aislados).
H5	Estudio de transitorios con precipitación de boro tras accidentes de LOCA grande y análisis de maniobras de recuperación.

Tabla 2. Series experimentales del proyecto OECD/NEA PKL3.

Serie	Descripción
S.1.	Roturas de tamaño intermedio (MBLOCA) en rama caliente. Rotura en la línea de compensación del PZR.
S.2.	Roturas de tamaño intermedio (MBLOCA) en rama fría. Rotura en la tobera del ECCS.
S.3.	Roturas de tamaño intermedio (MBLOCA) en rama fría. Sensibilidad al tamaño de rotura.
S.4.	Rotura de tubos de los generadores de vapor (SGTR) con acciones de recuperación.
S.5.	Roturas de tubos de los generadores de vapor inducidas por roturas de la línea de vapor principal (MSLB + SGTR) con cuantificación de emisiones
S.6.	Experimento counterpart con PKL.

Tabla 3. Series experimentales del proyecto OECD/NEA ROSA2.

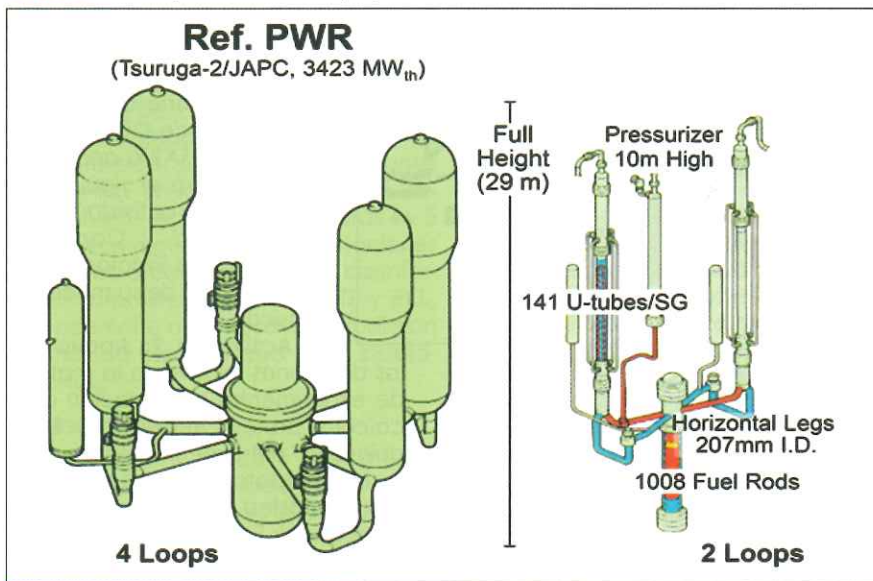


Figura 2. Esquema de los componentes principales de la instalación ROSA (cortesía del grupo ROSA-2 de OECD/NEA).

El programa experimental OECD/PKL2, se compuso de ocho experimentos estructurados en siete series según se indica en la Tabla 1.

En el caso de OECD/PKL3 contempló la realización de 8 experimentos en los ámbitos experimentales que se muestran en la Tabla 2.

Proyecto ROSA2 de OECD/NEA

El Programa OECD/ROSA2 se inició en abril de 2009 y tuvo una duración de tres años, desarrollando un programa experimental en la instalación LSTF (Figura 2). LSTF es una instalación experimental integral que pertenece a JAE-RI diseñada para la investigación de

la respuesta termohidráulica en accidente y transitorio de plantas PWR. La instalación simula una planta PWR diseño W de 1.000 MWe y cuatro lazos, mediante dos lazos iguales que mantienen la relación de alturas y con una escala de 1/48 en volúmenes. Permite un amplio espectro de presiones (presión de operación a atmosférica).

El plan experimental incluyó seis tipos de experimentos descritos en la Tabla 3.

Proyecto ATLAS de OECD/NEA

ATLAS (*Advanced Thermal-Hydraulic Test Loop for Accident Simulation*) es una instalación experimental integral para reactores PWR avanzados que pertenece a KAERI (Figura 3). El diseño básico de ATLAS se completó en 2002 y desde 2007 se llevan a cabo experimentos. El más reciente corresponde con un BOBA en 2012. Como factor de escala corresponde a 1/2 en altura, 1/144 en área y 1/288 en volumen respecto al diseño APR 1400.

Se han planteado tres grandes áreas experimentales, que dan respuesta a otros tantos objetivos del programa: 1) Extensión del Diseño, SBO (pérdida total de corriente eléctrica), ATWS (transitorios con fallo del sistema disparo del reactor), TLOFW (pérdida total de agua de alimentación), 2) sistemas pasivos de seguridad y 3) LOCA de transición.

Con todo ello se plantea inicialmente una matriz experimental, que incluye las series experimentales recogidas en la Tabla 4.

PROYECTOS CAMP-ESPAÑA

Para una mayor difusión de toda la información disponible en el marco del Proyectos CAMP-Internacional y de los proyectos experimentales de NEA, así como para su posible aplicación a las centrales nucleares españolas, el CSN ha promovido la participación de organizaciones españolas a través de convenios de colaboración.

Las actividades de participación en el Proyecto CAMP-España que se han venido realizando se pueden agrupar tal como sigue: 1) contribuciones en especie de dos informes de evaluación por año o trabajos de valor equivalente, con un nivel de compromiso en cuanto a calidad y contenido definido en el NUREG-1271,



Serie	Descripción
A1	Accidente de Pérdida Total de Energía Eléctrica (SBO) prolongado. Se proponen dos tests: a) enfriamiento asimétrico con una turbo-bomba alimentando a un GV y b) enfriamiento pasivo asimétrico del secundario.
A2	Accidente de Pérdida Total de Energía Eléctrica (SBO) prolongado con SBLOCA. Se proponen dos tests: a) SBO con fallo de los sellos de las RCP y b) SBO con SGTR.
A3	Pérdida Total de Agua de Alimentación (TLOFW).
A4	LOCA intermedio (MBLOCA 17%), counterpart de LSTF.
A5	SBLOCA, counterpart de LSTF LOCA intermedio

Tabla 4. Series experimentales del proyecto OECD/NEA ATLAS.

2) participación en reuniones de especialistas de CAMP-Internacional y de CAMPEspaña, 3) colaboración en la identificación y resolución de deficiencias en los códigos y en todas las herramientas soporte (manuales, códigos auxiliares, etc.).

Por otro lado, los experimentos realizados en instalaciones como PKL, ROSA y ATLAS hasta la fecha han contribuido, en su conjunto, a una mejor comprensión de los procesos termohidráulicos complejos que intervienen en distintos escenarios de accidente, así como al planteamiento y evaluación de medidas mitigadoras de accidentes, proporcionando además una valiosa información sobre los márgenes de seguridad disponibles en las centrales. Los resultados de los experimentos se han aplicado también a la validación y el desarrollo de los códigos de simulación termohidráulica.

El proyecto de colaboración finalizado más recientemente, denominado CAMP2, se enmarca en la mejora y mantenimiento de códigos termohidráulicos de sistema en base a resultados de los experimentos OECD/PKL2 y OECD/ROSA2 con aplicación a plantas españolas. Recientemente se ha puesto en marcha su continuación, CAMP3, tomando como base los resultados de experimentos OECD/PKL3 y OECD/ATLAS y su aplicación a plantas españolas.

Proyecto CAMP-2

Como objetivos del proyecto CAMP2 ligados a los de los programas internacionales se consideraron:

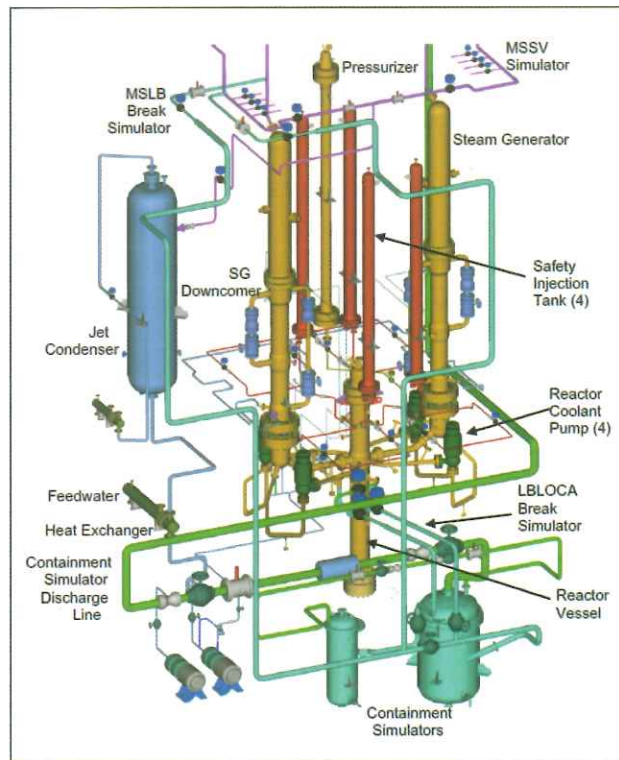


Figura 3. Esquema de los componentes principales de la instalación ATLAS (Cortesía del grupo ATLAS de OECD/NEA).

- Ayuda y soporte técnico para la participación nacional en los proyectos PKL2 y ROSA2 de la NEA/OECD/OECD.
- Investigar aspectos específicos de seguridad relativos a los accidentes simulados en ambos programas experimentales.
- Análisis de la aplicabilidad y/o extensión de los resultados y conocimientos adquiridos en estos proyectos a la seguridad, operación o disponibilidad de las plantas españolas.
- Ayuda y soporte técnico para satisfacer los compromisos con la NRC en el acuerdo CAMP, muy en par-

ticular la obtención de las contribuciones técnicas comprometidas con la NRC.

Como objetivos propios del proyecto nacional se propusieron:

- Comunicación y aprovechamiento de la información obtenida de estos proyectos por los grupos expertos. Optimización de los recursos españoles.
- Realizar cálculos pretest y postest de validación en aspectos fenomenológicos no suficientemente contrastados de las versiones actuales de los códigos disponibles. Aplicación a un caso de planta de cada una de las configuraciones experimentales consideradas en los programas PKL-2 y ROSA2/LSTF, y análisis del impacto en la seguridad, operación o disponibilidad de la planta.

• Asegurar y mantener la capacidad y grupos de expertos nacionales para el análisis de accidentes.

- Realización de contribuciones en especie comprometidas en el programa CAMP.

Para cada uno de los experimentos de OECD/PKL2 y OECD/ROSA2 a analizar, se consideró el siguiente esquema de actividades:

- Actividad 1: Conocimiento de la instalación y preparación de su modelo básico.
- Actividad 2: Apoyo a las decisiones relativas a la matriz de experimentos y realización de cálculos pretest. Actividad 3: Seguimiento del experimento, asimilación de datos y realización del cálculo postest.

• Actividad 4: Estudio de escenarios equivalentes en una planta comercial.

- Actividad 5: Elaboración del informe técnico de cierre.
- Actividad 6: Elaboración del informe de contribución en especie a CAMP con calidad NUREG/IA.
- Actividad 7: En el caso de los experimentos OECD/ROSA, realización de una revisión bibliográfica de la problemática asociada.

De la ejecución de este proyecto se han conseguido numerosos resul-

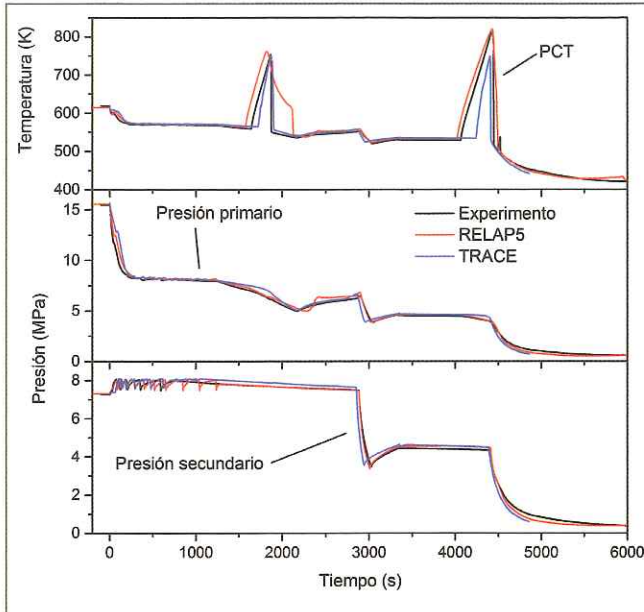


Figura 4. Simulación de la PCT y presiones en el primario y secundario para el Test 3 en la instalación LSTF (counterpart LSTF-PKL) por RELAP5 y TRACE.

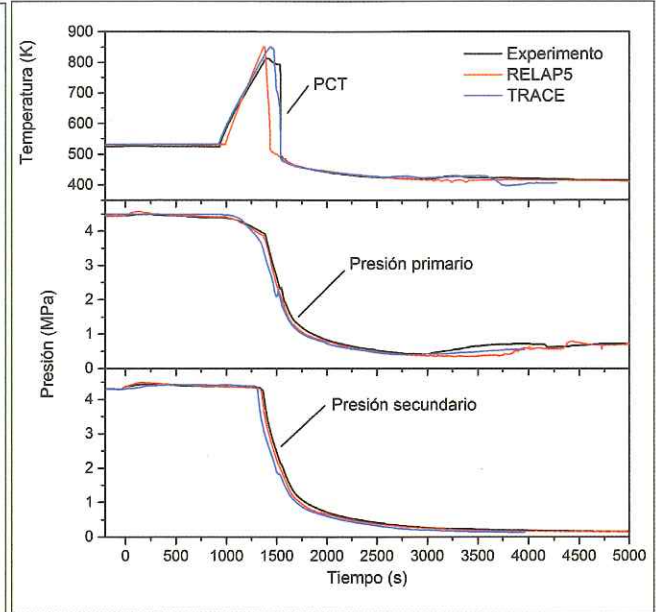


Figura 5. Simulación de la PCT y presiones en el primario y secundario para el Test G7.1 en la instalación PKL (counterpart LSTF-PKL) por RELAP5 y TRACE.

tados en términos de contribuciones científico-técnicas que se detallan en Informe Final del Proyecto *Mejora y mantenimiento de códigos termohidráulicos de sistema en base a resultados de los experimentos OECD/PKL2 y OECD/ROSA2. Aplicación a plantas españolas.*

Dentro de este proyecto se realizaron varios benchmark internacionales de determinados experimentos y un counterpart, entre las instalaciones LSTF y PKL en la que participaron varios grupos españoles. Las Figuras 4 y 5 muestran algunas de las simulaciones llevadas a cabo dentro del counterpart internacional entre LSTF y PKL, donde entre otras cosas se estudiaron temas de escalabilidad entre instalaciones.

Proyecto CAMP-3

En diciembre de 2015 se firmó un acuerdo de colaboración con las Universidades Politécnicas de Madrid, Catalunya y Valencia para el desarrollo de actividades nacionales en los citados proyectos internacionales CAMP, OECD/PKL3 y OECD/ATLAS y su aplicación a las centrales nucleares españolas.

El proyecto está estructurado en cinco subproyectos acometidos por otros tantos grupos universitarios: 1) Sebastián Martorell (UPV), 2) Gumerindo Verdú (UPV), 3) UPV-José Luis Muñoz-Cobo (UPV), 4) Francesc Reventós (UPC) y 5) César Queral (UPM).

A este grupo de participantes se añade Unesa y Tecnatom, y en un futuro empresas como IDOM y Empresarios Agrupados, con actividades e intereses propios e independientes a los de los grupos universitarios.

Los objetivos generales ligados a los de los programas internacionales son:

- Ayuda y soporte técnico para la participación nacional en los proyectos OECD/PKL3 y OECD/ATLAS de la NEA/OECD, y CAMP de la NRC.
- Investigación de aspectos específicos de seguridad relativos a los accidentes simulados en ambos programas experimentales (p.e., transferencia de calor en presencia de incondensables, estudio de transferencia de calor con SG secos, transitorios de enfriamiento rápido, precipitación de boro, LBLOCA, SBLOCA, Station Blackout, etc.).
- Realización de la aplicabilidad y/o extensión de los resultados y conocimientos adquiridos en estos proyectos a la seguridad, operación o disponibilidad de las centrales nucleares españolas.
- En cuanto al Proyecto CAMP, los principales objetivos son:
 - Compartir experiencias respecto a errores e insuficiencias en los códigos y cooperar a su resolución y al mantenimiento de una versión única, reconocida internacionalmente, de cada uno de ellos.

- Compartir experiencias en cuanto a escalabilidad, aplicabilidad y estudios de incertidumbre.
- Compartir una base de datos bien documentada para la evaluación.
- Compartir experiencias en cuanto a análisis de seguridad en plantas incluyendo plantas en operación y reactores avanzados de agua ligera, en los ámbitos de transitorios, secuencias dominantes en cuanto a riesgo, secuencias completas de accidente severo, gestión de accidentes y estudios relativos a procedimientos de operación.
- Mantener y mejorar la documentación sobre orientaciones de usuario y aplicabilidad de códigos y modelos.
- Permitir un sólido intercambio con la comunidad de usuarios internacional.

En cuanto a CAMP-3, se mantienen los mismos objetivos del proyecto CAMP-2.

Para cada uno de los experimentos de OECD/PKL3 y OECD/ATLAS a analizar, se considera el mismo esquema de actividades propuesto para el proyecto CAMP-2 con excepción de la séptima actividad que ahora no aplica. La Tabla 5 concreta las actividades a acometer por cada grupo de trabajo.

Grupo	PKL	ATLAS	Otras
1 (UPV)	H3	A3	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinación del proyecto. • Desarrollo herramientas de análisis incertidumbres y sensibilidad en simulaciones TH mediante TRACE e integración con herramientas de la suite SNAP con aplicación al análisis BEPU.
2 (UPV)	H5		<ul style="list-style-type: none"> • Código acoplado TRACE/COBRA-TF. • Comparación de modelos termohidráulicos de TRACE y RELAP5. • Comparación de modelos termohidráulicos de TRACE y TRAC-BF1.
3 (UPV)	H2		<ul style="list-style-type: none"> • Acoplamiento de los códigos TRACE/FRAPTRAN y aplicación a C.N. Trillo. • Desarrollo de Herramientas de Ayuda en la validación cuantitativa de Resultados de TRACE: Post procesador de resultados del código TRACE.
4 (UPC)	H2		<ul style="list-style-type: none"> • Estudio sistemático de LOCA intermedio (IBLOCA)
5 (UPM)	H4	A5.1	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de DAKOTA acoplado a TRACE mediante SNAP, para su utilización en análisis BEPU.

Tabla 5. Actividades de los grupos CAMP-3.

PRODUCTOS Y BENEFICIOS DEL PROYECTO CAMP-ESPAÑA

De la ejecución del proyecto se pretende conseguir como resultado las siguientes contribuciones científico-técnicas:

- Conocimiento detallado de los resultados experimentales de los programas experimentales en las instalaciones PKL, ROSA, ATLAS.
- Conocimiento de las implicaciones de los escenarios objeto de los experimentos en la evaluación de la seguridad y/o en la fiabilidad de la operación de las plantas españolas.
- Mejora en las capacidades, experiencia de uso y resultados de los modelos de simulación de las centrales nucleares españolas, mediante la simulación de situaciones análogas en las que aparezcan total o parcialmente los fenómenos observados en cada experimento realizado. Realización de contribuciones en especie comprometidas en el programa CAMP. Hasta la fecha, todas las tareas analíticas realizadas con los propósitos anteriores se han ejecutado y documentado con el nivel de detalle y calidad requerido por la USNRC en el NUREG-1271 para su presentación como compromiso en especie al CAMP y eventual publicación como informe NUREG/IA (23 nuevas contribuciones en el proyecto CAMP 2).

- Mantener y mejorar la capacidad de grupos de expertos y formación de nuevo personal técnico cualificado en los códigos y modelos y sobre la fenomenología más relevante sobre los experimentos realizados y su aplicación para el análisis de la seguridad de las centrales españolas. Cabe destacar que dentro de cada grupo de trabajo vienen participando no menos de dos ingenieros o licenciados en formación pre-doctoral a lo largo de las pasadas ediciones de CAMP. Fruto de dicha participación, se han elaborado numerosas tesis doctorales, y ha habido una transferencia de personal cualificado a instituciones universitarias, organismo regulador y empresas del Sector, tales como ANAV, Westinghouse, Enusa, Nortuen, Idom, Tecnatom.
- Difusión de resultados, mediante asistencias a varios congresos de carácter internacional, las reuniones anuales de la Sociedad Nuclear Española, las jornadas internacionales del proyecto CAMP y los workshops de actividades analíticas de los programas experimentales PKL2, PKL3, ROSA2 y ATLAS, así como la publicación de artículos en revistas nacionales e internacionales.

CONSIDERACIONES FINALES

Las actividades enmarcadas dentro del Proyecto CAMP-España persiguen continuar los objetivos generales y específicos detallados

anteriormente, que el CSN y Unesa consideran fundamentales dentro del panorama nuclear español.

Un elemento clave a considerar es la necesidad de garantizar la existencia de técnicos especialistas en análisis de transitorios y accidentes, y termohidráulica. Como se ha puesto de manifiesto repetidamente en diversos foros la situación actual es delicada.

El largo proceso que ha permitido situar la termohidráulica nuclear española en una posición acorde con su capacidad instalada, merece un reconocimiento por parte de nuestra comunidad. El esfuerzo realizado ha sido grande y ha permitido establecer un nivel de diálogo entre todas las partes: explotador, regulador, ingenierías y centros de investigación, tanto en nuestro entorno nacional como en el extranjero impensable no hace muchos años. Los nuevos retos a los que nos enfrentamos y la permanente necesidad de mejorar en nuestra eficiencia impiden relajarse. La continuidad en estas colaboraciones aparece como la plataforma idónea para acometer el análisis y resolución de esta problemática.

Se debe por tanto asegurar la consolidación de los grupos universitarios de trabajo con amplia tradición y dedicación en el ámbito de las aplicaciones de los códigos termohidráulicos, habiéndose producido en la mayoría de los casos, una adscripción al ámbito de apoyo a la explotación de determinadas centrales. Complementario a esto ha sido el esfuerzo de fomento en el ámbito universitario de nuevos grupos de trabajo y usuarios con poca tradición termohidráulica en el pasado.

Conviene recordar también, que tanto el conocimiento y experiencia como el propio material generado en este tipo de proyectos resulta muy adecuado para posibles usos docentes y en ayuda en tareas más específicamente universitarias, como pueden ser la formación de estudiantes, publicaciones, proyectos fin de carrera, tesis doctorales, cursos de posgrado, oportunidad para la investigación y ampliación de capacidades, obtención de información en temas novedosos, entre otros. ■