

(*) Composición del Comité:

Presidente: Rafael CARO (CSN).
Directores de Proyecto:
Luis REBOLLO (UNION FENOSA),
del 1-1-89 a 1-1-90,
y Ricardo SALVE (UNESA), desde
1-1-90.

Secretario: José LOPEZ JIMENEZ
(CIEMAT).

Tesorero: Antonio ACHA (CSN).

Vocales y suplentes:

Mariano BRINCONES

y Félix CALVO (CSN),

José Antonio GAGO (ENRESA),

José PUGA (UNESA),

Eduardo R. MAYQUEZ (CIEMAT),

Emilio DE MATIAS

y José F. SERRANO (ENUSA).

EL PROYECTO PHEBUS-CSD Y EL CONSORCIO PHEBUS-ESPAÑA

COMITE DE DIRECCION DEL CONSORCIO (*)

La utilización pacífica de la energía nuclear y, en particular, la producción de energía eléctrica mediante reactores de

fisión ha pasado por varias etapas desde aquel 2 de diciembre de 1942, cuando Enrico Fermi, dentro del marco del Proyecto Manhattan, consiguió por primera vez una reacción de fisión en cadena automantenida y controlada en las dependencias de la Universidad de Chicago con el Chicago Pile 1; el CP-1, como siempre se le conoció internacionalmente. Se trataba en aquella ocasión de un apilamiento de bloques de grafito —el moderador— con unas perforaciones cilíndricas para dar cabida a unas barras de uranio natural —el combustible—. Su potencia era sólo de 0,5 vatios, por lo que la refrigeración podía dejarse a cargo del aire del entorno por convección natural.

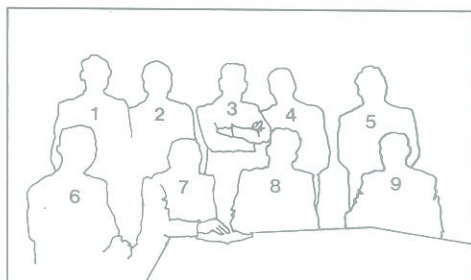
Después de numerosísimos ensayos en todos los países del mundo industrial, y por una variedad de razones no sólo científico-técnicas, se vino a concluir que los sistemas moderados y refrigerados por agua ligera y con óxido de uranio levemente enriquecido como combustible eran los óptimos para esta primera fase de aprovechamiento intensivo de la energía nuclear de fisión. Es en la década de los 60 cuando tiene lugar la gran expansión de la industria nuclear, con una incorporación creciente, al menos en Europa, de sistemas de agua ligera a costa de los modelos-prototipos nacionales.

Ya desde la primera criticidad del CP-1 se había prestado una atención especial



En la foto:

- 1) Emilio DE MATIAS; 2) Antonio ACHA;
- 3) José PUGA; 4) José F. SERRANO;
- 5) Félix CALVO; 6) Luis REBOLLO;
- 7) Rafael CARO; 8) Ricardo SALVE;
- 9) Eduardo R. MAYQUEZ



a la seguridad nuclear, incorporando el principio de Seguridad a Ultranza con la implementación de barreras sucesivas, para evitar, en el caso poco probable de un accidente severo, la fuga incontrolada de radiactividad al exterior del edificio de contención. Los Accidentes Base de Diseño, situaciones ideales concebidas como las posibles más graves que pudieran tener lugar en la central nuclear, constituían las condiciones iniciales y de contorno para el sistema de defensas y salvaguardias de que había que dotar a la central para su Seguridad a Ultranza. Todo esto había requerido un tremendo esfuerzo de investigación y desarrollo. Desde el principio se habían identificado dos clases distintas de posibles accidentes: los asociados a liberaciones rápidas de energía, producidas por un valor inapropiado de la reactividad, y los termohidráulicos, asociados al deterioro y fusión más o menos parcial del combustible por falta de refrigeración. En ambos casos se produce deterioro del núcleo, en el primero por razones mecánicas y en el segundo por razones térmicas. En la historia de la seguridad

T I	
CONSORCIOS NACIONALES PARA PARTICIPAR EN PROYECTOS INTERNACIONALES(*)	
Proyecto	Participantes
OECD/LOFT	CIEMAT, CSN, ENRESA, ENUSA, UPM.
PHEBUS CSD	CIEMAT, CSN, ENRESA, ENUSA, UNESA.
EPRI/LACE	CIEMAT, CSN, ENUSA, TECNATOM, UNESA, UPM.
EPRI/ACE	CIEMAT, CSN, TECNATOM, UNESA, UPM.
EXP. ESPAÑOL	CIEMAT, CSN, ENUSA, TECNATOM, UNESA, UPM.
OECD/TMI-2 GA	CSN, UNESA, UPM.
OECD/TMI-2 VEP	CSN, CIAT, ENSA, TECNATOM, UNESA.

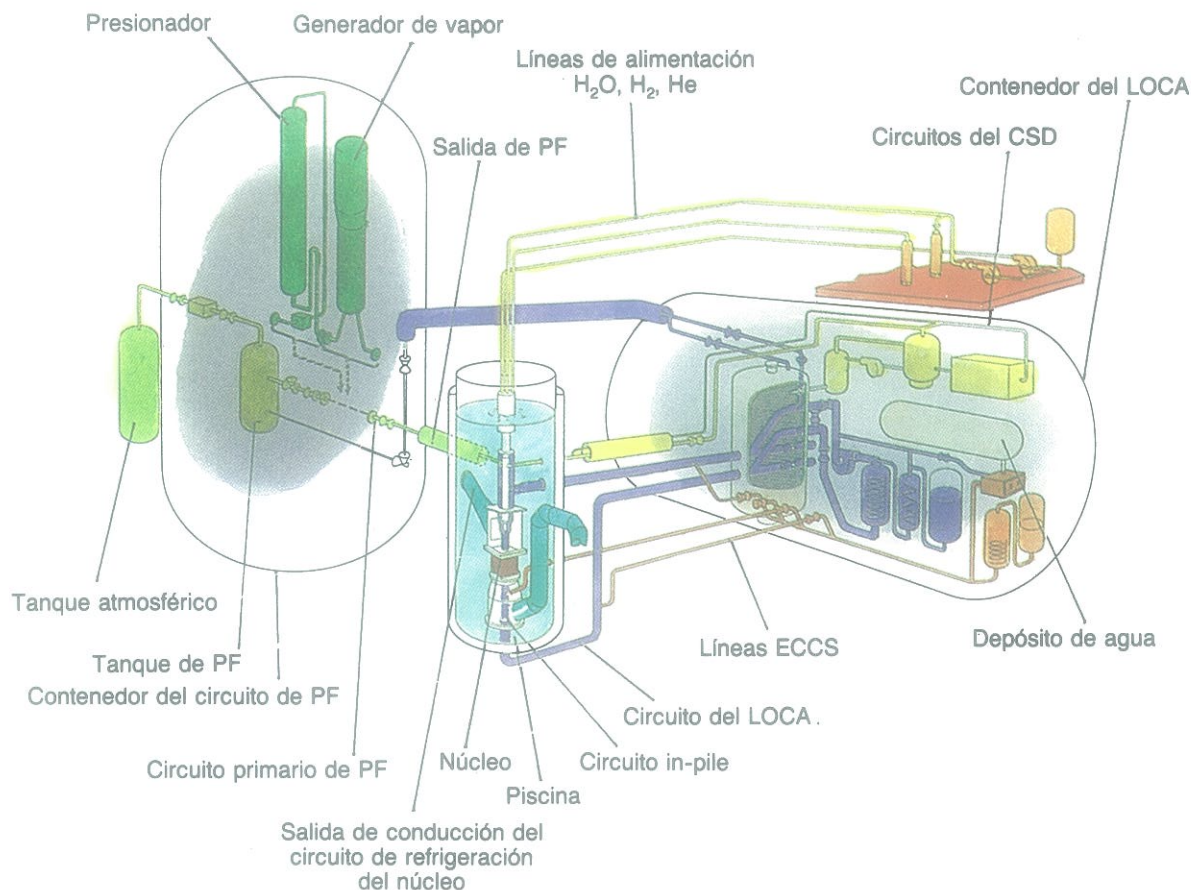
(*) El ordenamiento de las instituciones es alfabético. (Tomado de Rel. 1.)

nuclear, como disciplina, se citan dos accidentes que constituyen ejemplos arquetípicos de lo mencionado: Chernobí, en la Unión Soviética, y TMI-2, en los Estados Unidos. Al principio de la historia de la tecnología nuclear, el más novedoso era, sin duda alguna, el accidente de reactividad, por cuanto podía producir

una liberación de energía según un proceso cualitativamente análogo a una explosión nuclear. Las experiencias realizadas en las instalaciones BORAX y SPERT, en Estados Unidos, y CABRI, en Francia, sirvieron para analizar con detalle la fenomenología asociada a este último tipo de procesos, confirmar los

FI Instalación Phebus

REACTOR Y CIRCUITOS



modelos teóricos existentes y validar los códigos de cálculo desarrollados en su entorno. El accidente de Chernobil, perteneciente a esta categoría, no ha mostrado nada nuevo diferente de lo que ya se había aprendido con aquellos experimentos.

Sin embargo, en los accidentes de tipo termohidráulico, aunque en la segunda década de los 70 el conocimiento de su fenomenología se consideraba suficiente, empezaba a abrirse paso la idea de que el Accidente Base de Diseño como filosofía única de seguridad no debía constituir el punto de referencia último e inapelable. El reactor Safety Study (WASH-1400), publicado por Rasmussen, en Estados Unidos, y el Risikostudie, por Birkhoffer, en Alemania, mostraban este hecho con toda claridad. Finalmente, como espaldarazo nunca deseado de esta tesis, el accidente de Harrisburgh, 28 de marzo de 1979, demostró de forma inequívoca la necesidad de incluir como referencia los accidentes "más allá de las bases de diseño", es decir, los que se venían clasificando como de clase 9.

Cuando el deterioro del núcleo está producido por un desequilibrio entre la energía generada y la extraída, sea durante el funcionamiento del reactor o con él apagado, la subida de temperatura que tiene lugar puede provocar la siguiente teoría de sucesos:

1.º Oxidación de las vainas del combustible y de los demás elementos de acero del núcleo, con la correspondiente generación de hidrógeno.

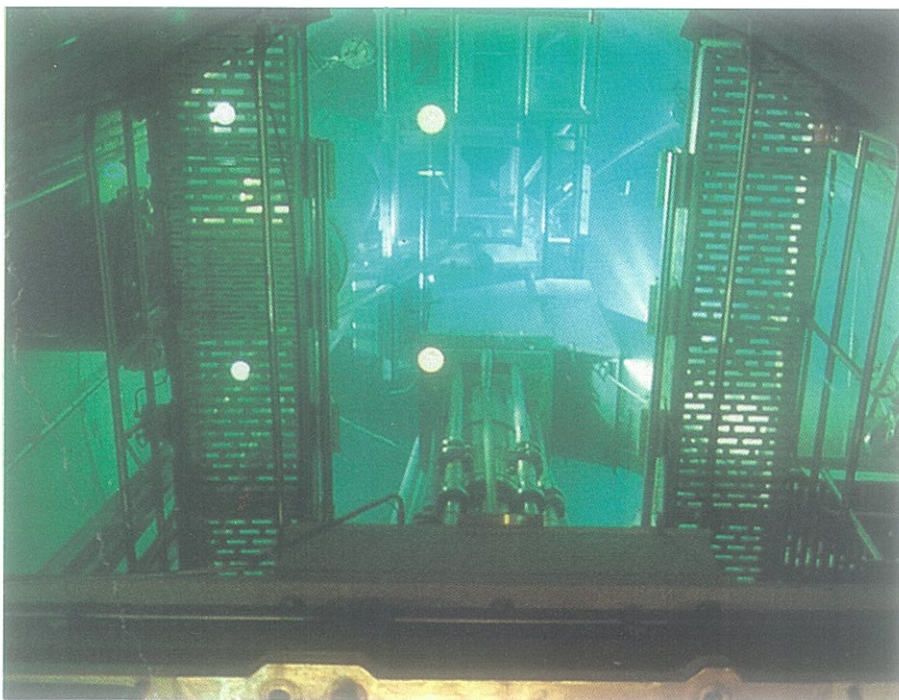
2.º Interacciones químicas y fisicoquímicas entre materiales del núcleo y licuefacción de parte de ellos.

3.º Recolocación de los materiales licuefactados en la base del núcleo o en el fondo de la vasija, pudiendo provocar el fallo de ésta y en paralelo.

4.º Transferencia de energía hacia el sistema primario (en un PWR).

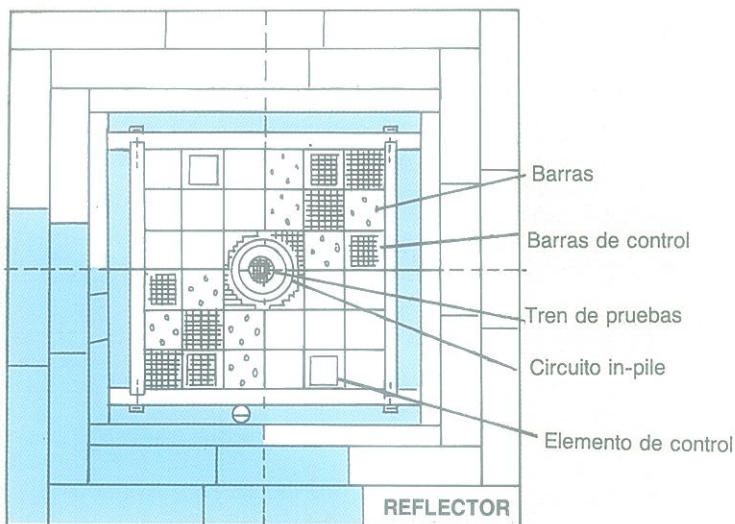
Obviamente, el conocimiento detallado de esta fenomenología es básico, en primer lugar, para arbitrar los procedimientos de mitigación pertinentes durante el accidente, y, además, porque proporcionan los datos necesarios para el diseño de la contención, término fuente y análisis de consecuencias.

Investigar con el detalle requerido todos estos procesos exige, además de grandes financiaciones, la disponibilidad de personal muy especializado; por otra parte, es un problema planteado a toda la comunidad internacional. La consecuencia es obvia: hay que recurrir a colaboraciones internacionales, bien dentro del marco de organizaciones como Euratom, NEA (OECD), etc., bien a través de relaciones bi o multilaterales. El procedimiento será siempre el mismo: simular de forma más o menos parcial



F II Reactor piscina Phebus

F III Sección transversal del núcleo a media altura



un accidente severo y, a continuación, interpretarlo incorporando los conocimientos adquiridos en un código de cálculo que adquirirá así validación experimental. Es necesario recalcar que disponer de tales códigos viene a ser equivalente a poseer la instalación experimental, y, desde luego, mucho más manejable.

En España se ha entendido claramente esta filosofía, participando de forma colegiada en proyectos internacionales a base de consorcios nacionales. En la tabla I se indican varios ejemplos de esta categoría, algunos de ellos ya terminados con éxito, como es el caso, que merece una mención especial, de LOFT/OECD.

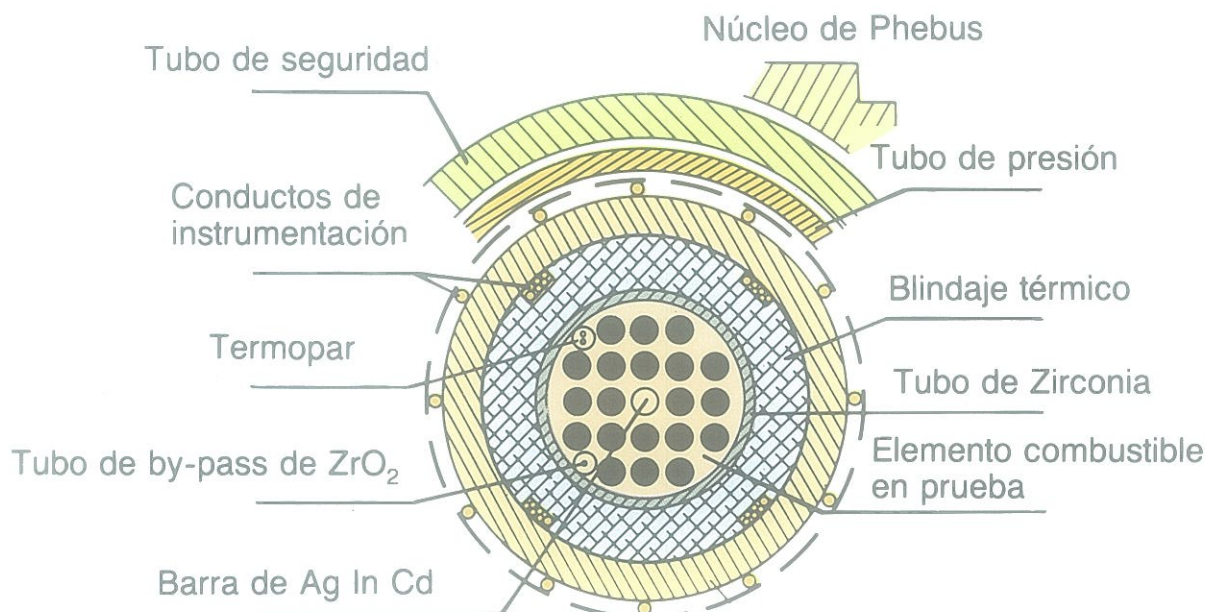


FIG IV Elemento de prueba

En el caso particular del Proyecto Phebus-CSD (Núcleo Severamente Dañado), al que la Sociedad Nuclear Española dedica este número monográfico, la instalación y los experimentos que en ella se han realizado, que se van a describir con algún detalle en los artículos subsiguientes, tienen como misión el llegar a conocer minuciosamente los mecanismos de degradación del núcleo de un reactor de agua a presión, mal refrigerado y en diversas circunstancias operacionales.

La instalación, que se montó en 1977, en Cadarache (Francia) (fig. I), consta básicamente de un reactor de tipo piscina (fig. II) con un circuito que le penetra verticalmente, donde se puede alojar el elemento combustible con el que se quiere experimentar (figs. III y IV); un depósito de contención para los experimentos de tipo LOCA, y otro para los experimentos de transporte de productos de fisión (PF). El primer programa experimental llevado a cabo en esta instalación, terminado en 1984, fue un conjunto relacionado con el accidente de tipo LOCA.

El programa experimental que nos ocupa en este número monográfico, el Phebus-CSD, ha constado de las siguientes seis grandes experiencias, para el estudio detallado de la fenomenología anteriormente mencionada —B9, en diciembre de 1986, para la calibración térmica del dispositivo experimental; C3, en octubre

de 1987, para el análisis de la interacción vaina-pastilla; B9R, en abril de 1988, para el estudio del efecto de la refrigeración rápida en la integridad de la pastilla; C3+, en noviembre de 1988, para la investigación de la disolución de UO₂ en Zr; B9+, en enero de 1989, sobre la degradación global de la barra combustible, y AIC, en junio de 1989, sobre la influencia de los materiales de la barra de control sobre los fenómenos anteriores—. Es pertinente mencionar que el penúltimo de los experimentos, el B9+, ha sido seleccionado para su incorporación en la NEA (OECD) como "International Standard Problem n.º 28".

El interés de España por participar en estas actividades se remonta al año 1986, en que se inician los contactos entre el Consejo de Seguridad Nuclear, interesado por principio en los temas de accidente severo, y el IPSN francés (Institut de Protection et Sureté Nucleaire), considerando las dos partes que este proyecto podría ser objeto del primer acuerdo específico entre ambas organizaciones. Se entiende entonces en el CSN que la participación española podría hacerse a través de un consorcio que se llamaría Phebus-España, en el que figurarían, además del CSN, UNESA, ENUSA y JEN. Un año más tarde, ENRESA se sumó a este grupo. El 25 de noviembre de 1987 se firma el Acuerdo General de Colaboración CSN-IPSN y el Acuerdo Específico n.º 1 sobre el Proyecto Phe-

bus-CSD, que incluía también la posibilidad de utilización del código Cathare y la colaboración con CEA/IPSN sobre el riesgo radiológico asociado a los accidentes de los PWR. El 1 de diciembre del mismo año se firma el Convenio CSN-CIEMAT-UNESA-ENUSA-ENRESA, como institucionalización del Consorcio Phebus-España. En este acuerdo, el Consejo de Seguridad Nuclear tenía el papel de entidad líder.

En el anexo 1 al Acuerdo Específico n.º 1 se explicita que los experimentos compartidos serán los B9, C3, C3+ y B9+; el anexo 2 es de naturaleza administrativa, y el anexo 3 incorpora el experimento AIC a los mencionados anteriormente.

Las experiencias citadas y su interpretación están a cargo de un grupo de personal que consta básicamente de cuatro subgrupos, a saber: el de recogida de datos e instrumentación, el de gestión y realización del experimento propiamente dicho, el de interpretación de los resultados con los análisis "pre-test" incluidos y el grupo de desarrollo de códigos. En todos ellos, pero básicamente en los dos últimos, la participación española ha sido notable, tanto en Cadarache como en los gabinetes de las empresas del Consorcio Phebus-España.

Es deber de cortesía citar a algunos de nuestros colegas franceses que con su hospitalidad y colaboración han hecho fácil el desarrollo de este programa

conjunto, son: M. Hache, coordinador global; M. Tattegrain, en la dirección de los experimentos; M. Adroguer, en los temas de interpretación, y M. Porrachia, en "software". Ciertamente, quedará algún nombre en el tintero, fenómeno inevitable en estas circunstancias, por el que de antemano pedimos disculpas. Es pertinente mencionar que, con el patrocinio de la Comunidad Europea, se está en la fase previa de una nueva tanda de experimentos que ha recibido el nombre genérico de Phebus PF, con el que se pretende investigar el comportamiento y transporte de los productos de fisión producidos en un accidente severo. Con esta serie de experiencias se cierra la secuencia lógica del accidente. Primero fue el Phebus-LOCA, para la investigación de las secuencias termohidráulicas que conducen a una falta de refrigeración del núcleo; a continuación, el Phebus-CSD, que ahora termina, y que ha investigado el deterioro del núcleo como consecuencia de la falta de refrigeración, y, a continuación, se investigará el transporte y, en general, el comportamiento de los productos de fisión desprendidos a cuenta de la falta de integridad del núcleo. Será la fase Phebus-PF, que, según lo dicho, es el paso lógico e inevitable en el proceso global de investigación del accidente severo.

Como párrafo final es de justicia hacer referencia a la participación española, que en todo caso resultará explícita en los autores de los artículos de este número monográfico. Todos ellos, en colaboración con nuestros colegas franceses, han realizado una magnífica labor que, sin duda, redundará en beneficio de la seguridad de las centrales nucleares de todo el mundo.

EXPRESIONES DE AGRADECIMIENTO

El profesor Dr. Agustín Alonso nos ha prestado una gran ayuda, como siempre que se la hemos pedido, para la redacción de este artículo. Que esta nota sirva como acta de agradecimiento.

REFERENCIAS

1. Thomson and Berkely Editors. The MIT Press, 1964. *The Technology of Nuclear Reactor Safety*.
2. ALONSO, A. Rev. Soc. Nuclear Española, octubre 1989. *La investigación sobre accidentes severos*.
3. RASMUSSEN, N. E., et al. *Reactor Safety Study WASH-1400*. US Nuclear Regulatory Commission, 1975.

4. BIRKHOFFER, A., et al. *German Risks-tudy, Nuclear Power Plants, Phases Aad Bo*. (GRS) mbH.
5. GONNIER, C.; FABRIGA, S.; SCOTT DE MARTINVILLE, E., and GEOFFREY, R. *In-Pile Investigations at the Phebus Facility on the Behaviour of PWR-Type Fuel*. Intern. Conference on Thermal Reactor Safety (NUC-SAFE'88) ANS/ENS, october 1988, Avignon (Francia).
6. MARKOVINA, A.; FASOLI STELLA, P., and MAILLIAT, A. *Analytical Assessment of the Capability of a Scaled-Down In-Pile Test Facility to Simulate PWR Phenomena under Severe Accident Conditions*. AAAR'89, 8th Annual Meeting, october 1989. Reno, NV (USA).
7. BUSSAC, J.: *The Need for Further Nuclear Safety Research. A Present French View*. Nucl. Eng. and Design, vol. 108, 1988, 1-5.
8. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Nureg-1150 Severe Accident Risks, 1988.
9. HAGEN, S.; SEPOLD, L.; HOFMANN, P., and SHANZ, G. *Out-of-Pile Experiments on the Meltdown Behaviour of LWR Fuel Elements: Influence of (Ag, In, Cd) Absorber Material*. Inter. Conference on Thermal Reactor Safety (NUCSAFE'88), ANS/ENS, october 1988. Avignon (France).