



Juan E. MIRO CARRETERO es Ingeniero Industrial en la especialidad Energética por la ETSII de Barcelona (1977), habiendo realizado estudios de Tecnología Nuclear para Post-Graduados en la Universidad Técnica de Munich. Becado del DAAD y del Kernforschungszentrum Karlsruhe, trabaja desde 1982 en Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) en Garching, República Federal de Alemania, donde ha colaborado en el desarrollo del programa de cálculo termohidráulico ALMOD4. En la actualidad, como jefe de grupo, es responsable de las opciones para computación rápida dentro del programa ATHLET.

EL CODIGO ATHLET PARA CALCULOS TERMOHIDRAULICOS

J. E. MIRO

INTRODUCCION

Desde principios de los años 70, el Ministerio Alemán de Investigación y Tecnología está financiando el desarrollo de programas de cálculo termohidráulico en la Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS). Algunos de los códigos surgidos son: ALMOS (1), para transitorios en reactores de agua en ebullición; ALMOD (2), para transitorios en reactores de agua a presión; DRUFAN (3), para la fase de *blow-down* de roturas grandes, medianas y pequeñas; FLUT (4), para la fase de rellenado de la vasija durante accidentes por rotura, y RALOC (5), para la contención. Estos códigos han sido objeto de verificación constante durante este tiempo, tanto en GRS como en otras instituciones alemanas y extranjeras, dando paso a versiones ampliadas y mejoradas en los mismos.

En los años 80 se vio la conveniencia de tener un código único para cubrir el campo de aplicación requerido y aunar los esfuerzos para desarrollo y verificación. Por otra parte, no se quería renunciar al alto nivel de verificación alcanzado por los códigos mencionados. Como resultado surgió el código ATHLET (5), que ofrece las opciones fluidodinámicas correspondientes a los códigos ALMOS, ALMOD y DRUFAN, utilizando en común modelos para la transmisión de calor, simulación de componentes (válvulas, bombas), simulación de sistemas de control y protección, neutrónica, ciertas correlaciones (fricción, caudal de descarga, deslizamiento vapor/agua), así como el método de integración de las ecuaciones diferenciales en el tiempo.

Asimismo, se está procediendo a la incorporación de modelos más avanzados (formulación *two-fluid*, de FLUT, modelo cinco ecuaciones) con consideración de gases no condensables, así

como el acoplamiento de modelos para el cálculo del escape y trazado de los productos de fisión y de la contención (RALOC), en orden a poder cubrir el área de accidentes severos con daños a la integridad del núcleo.

COMPARACION INTERNACIONAL

En 1988 se publicó un informe correspondiente a la primera fase de un estudio comparativo realizado para la Comunidad Económica Europea (6) donde se consideraban algunos de los códigos termohidráulicos más conocidos: los códigos alemanes ALMOD 4, DRUFAN-01/MOD2 y FLUT; los americanos RELAP 5/MOD2 y TRAC PF1/MOD1; el francés CATHARE, y el japonés THYDE P2. Como algunos de los códigos alemanes seleccionados constituyen el actual ATHLET, el informe es aplicable a este último. La publicación permite una comparación de las capacidades de modelación de dichos códigos, aunque algunos aspectos no estén tratados con la profundidad requerida. Después de una discusión de los modelos, se presenta una tabla con tres aspectos seleccionados: transferencia de cantidad de movimiento, velocidad relativa vapor/agua, transferencia de masa, evaporación y condensación, transferencia de calor, DNB y remojado.

En una segunda fase se hacen cálculos comparativos entre los códigos (en este caso, ATHLET, CATHARE, RELAP y TRAC) con referencia a tres experimentos de efectos separados. En la figura I se presenta, como ejemplo, los resultados obtenidos para el experimento Y05 en el presionador a escala NEPTUNUS con los códigos mencionados.

En general, puede decirse que, aunque los códigos europeos estén menos avanzados en cuanto a desarrollo o verificación con respecto a los códigos americanos, considerables recursos humanos y económicos están siendo invertidos en los primeros, mientras que los últimos siguen una marcha de desarrollo más lenta (casi exclusivamente fuera de las instituciones que los crearon).

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CODIGO ATHLET

ATHLET presenta una estructura modular correspondiéndose con los fenómenos físicos a representar. Los módulos básicos son:

TFO: Termofluidodinámica.

HECU: Conducción y transferencia de calor.

GCSM: Simulación de control y protección.

NEUKIN: Neutrónica.

La descripción detallada de los modelos se encuentra en las citas dadas; aquí únicamente se comentan los aspectos más relevantes.

MODELOS BASICOS

En ATHLET se puede escoger entre la fluidodinámica de DRUFAN, que es la más detallada, o la de ALMOD, que ofrece mayor velocidad de cálculo. La primera se basa en un modelo de cuatro ecuaciones (dos de masa, una de energía y una de cantidad de movimiento) aplicando una correlación basada en la teoría de *drift-flux* para el cálculo del desequilibrio cinemático entre las fases. Este modelo permite la consideración del desequilibrio térmico (la fase menos representada se encuentra en saturación) y el seguimiento detallado del nivel bifásico mediante un modelo particular. La fluidodinámica proveniente de ALMOD se basa en un modelo de tres ecuaciones al que se le ha acoplado un modelo de *drift-flux* (equilibrio térmico). Las ecuaciones de masa y cantidad de movimiento en los lazos de circulación se resuelven de una manera integral para ahorrar tiempo de computación.

Para la simulación de los sistemas de control y protección se ha desarrollado un lenguaje especial de alto nivel que permite la representación de circuitos en general mediante la combinación (a nivel de la entrada de datos) de bloques funcionales básicos (p. ej., integrador, retardo, filtro, etc.). Dichos bloques pueden tener como entrada cualquier variable calculada por el modelo (temperatura, nivel, etc.) y su salida, a su vez, puede

realimentarse a los distintos modelos como condición de contorno (posición de una válvula, de las barras de control, etc.).

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

La estructura es tal que permite el acoplamiento de otros módulos desarrollados con independencia de ATHLET (p. ej., modelo de generador de vapor, modelo de sistemas auxiliares, etc.) mediante una interfase general.

Dentro del módulo termofluidodinámico, la unidad base es el llamado "objeto" (p. ej., los tubos en U, el presionador, etc.), el cual, a su vez, es un conjunto de volúmenes y conexiones (modelos de DRUFAN), un modelo de tubería monodimensional (modelos de ALMOD) o un modelo de recipiente. Mediante la conexión de estos objetos fluidodinámicos se obtiene la representación de las diferentes partes de la planta. La estructura de objetos permite la combinación de diferentes tipos de modelos entre sí, ofreciendo la posibilidad de aplicar modelos desarrollados específicamente para un tipo de componente concreto (p. ej., para el presionador).

VERIFICACION

Por una parte, se han efectuado com-

probaciones de que los modelos de ALMOD y DRUFAN, en ATHLET, dan los mismos resultados que en sus programas de origen. Esto implica que la verificación efectuada en el pasado para estos códigos es válida también para ATHLET.

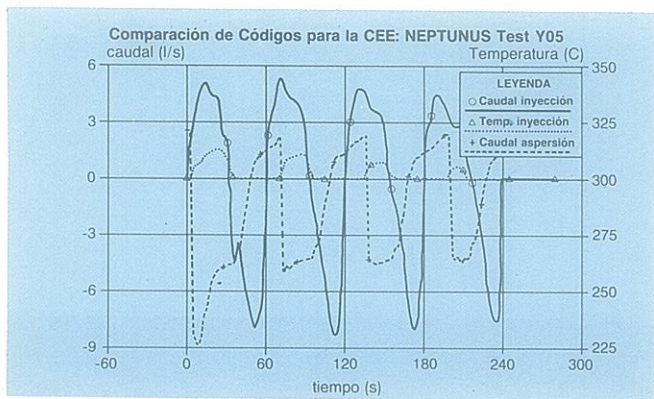
Por otra parte, se ha continuado con la verificación de ATHLET, que se basa en experimentos sobre efectos separados, experimentos en plantas integrales y transitorios o sucesos registrados en plantas comerciales. Los casos se seleccionan de acuerdo con las matrices para transitorios con y sin pérdida de refrigerante elaboradas en el marco del CSNI. En la tabla I se enumeran los experimentos que se han calculado o se están calculando con ATHLET.

APLICACION A ACCIDENTES SEVEROS

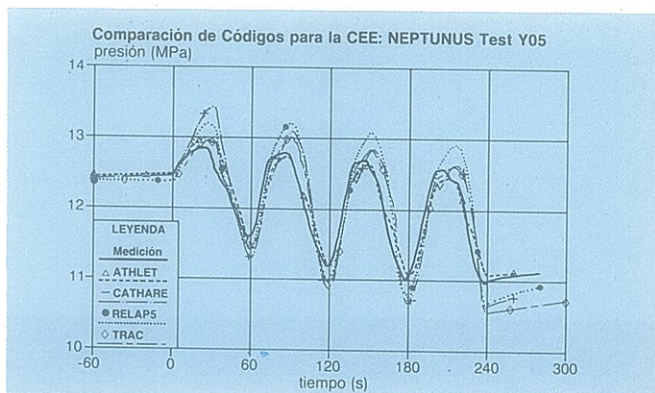
La versión ATHLET-SA está siendo desarrollada para la aplicación a accidentes severos con degradación del núcleo. La parte termohidráulica se simula mediante los modelos de ATHLET mencionados, si bien estos modelos están siendo extendidos para poder considerar el transporte de gases no condensables, la aportación de calor mediante radiación térmica, etc.

T I-A		
VERIFICACION DE ATHLET/MOD1: PLANTAS INTEGRALES		
Planta	Caso/Experimento	
LOBI/MOD2	Circulación natural Rotura línea de vapor Rotura pequeña	A2-77A BT01, BT12
PKL III	Rotura pequeña Rotura de tubos U	A4.1 A4.4
SPES ROSA III	Pérdida agua de alimentación Rotura de la línea de recirculación	ISP22
TMI	Post análisis	

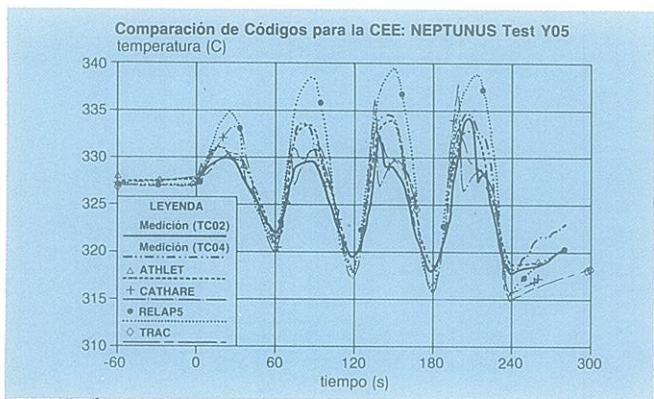
T I-B		
VERIFICACION DE ATHLET/MOD1. EFECTOS SEPARADOS		
Planta	Fenómeno/Test	
UPTF	Caudal de contracorriente Test 11 en la rama caliente	
IVO	Sello en la rama caliente	
GE	Nivel bifásico	
Toshiba	Rotura línea de vapor	
Marviken	Blowdown Test 22	
PERICLES, THETIS	Nivel bifásico en geometría de haz	
NEPTUNUS	Transitorio en presionador Y05	



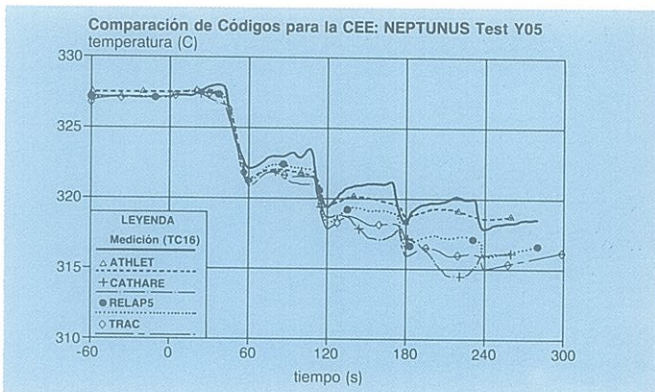
F.1.a Condiciones de contorno para el experimento.



F.1.b Presión.



F.1.c Temperatura del vapor.



F.1.d Temperatura del agua en la posición TC16.

A estos modelos se les ha acoplado el módulo HEAT, que simula los elementos combustibles en situación degradada, calculando la fuente de calor, la temperatura de la vaina y la generación de Hidrógeno a considerar por los modelos termohidráulicos.

El acoplamiento de otros módulos para el cálculo del escape de productos de fisión (CORSOR, FIPREM) y del transporte de esos productos en los circuitos de refrigerante (TRAP), así como el del código RALOC/FIPLOC para la simulación de la contención a ATHLET, está siendo realizado en la actualidad.

ANALIZADOR DE PLANTA

El programa ATHLET sirve como código base al Analizador de Planta o Simulador para Ingenieros, desarrollado conjuntamente entre GRS y SIEMENS (7). La modelación de la fluidodinámica se realiza mediante los modelos mencionados anteriormente. Algunos sistemas de control y sistemas auxiliares se simulan mediante el módulo GCSM de ATHLET, mientras que otros sistemas o componentes del circuito secundario se simulan mediante modelos específicos (p. ej., la turbina, el condensador) aportados por SIEMENS y acoplados a ATHLET me-

diantes una interfase de este último diseñada con este fin.

El simulador tiene varias finalidades, fundamentalmente, servir como herramienta avanzada de análisis (representación gráfica dinamizada, interactividad, visualización de los resultados). También se pretende utilizarlo para validar procedimientos de emergencia, incluyendo la intervención interactiva del operador. Aunque el requisito de calidad en la capacidad predictiva de los modelos esté por delante del requisito de efectuar cálculos en tiempo real (no se trata de un simulador de entrenamiento, aunque puede ser utilizado como complemento al mismo), es evidente que una alta velocidad de cálculo es conveniente, y, en algunos casos (cálculos durante horas, estudios paramétricos, análisis de la reacción del operador en situaciones críticas), imprescindible. De ahí que las opciones rápidas del programa tengan, en este contexto, una gran importancia y que su campo de validez tendrá que extenderse para cubrir el campo de los accidentes severos.

DESARROLLO ACTUAL

Mejoras fundamentales están siendo implementadas en la actualidad o planifi-

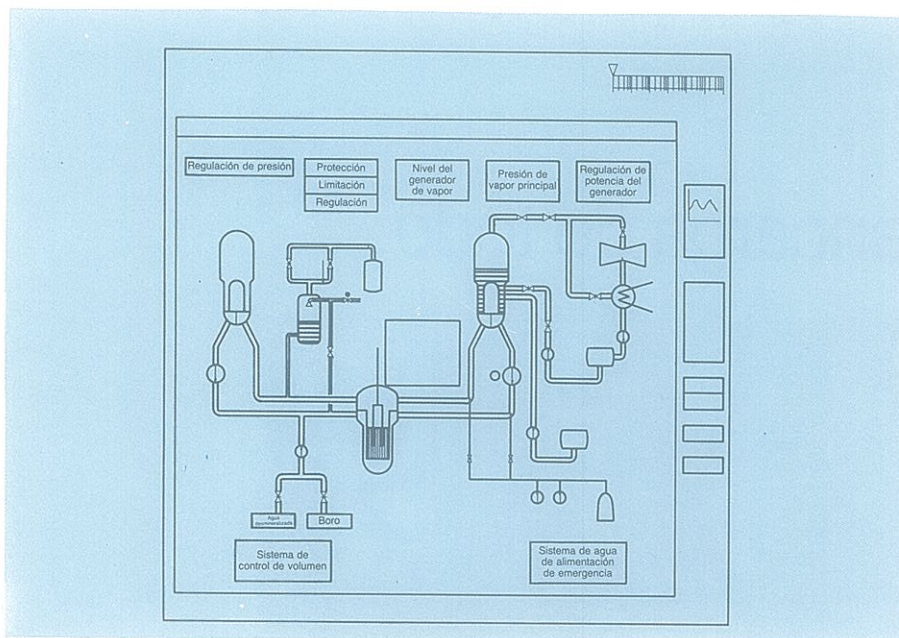
cadas para un futuro muy próximo. Aparte de las ya mencionadas en el capítulo de accidentes severos, los trabajos planeados para los próximos tres años se aglutinan en torno a los puntos siguientes:

Modelos fluidodinámicos:

- Implantación de un sistema de seis ecuaciones y, opcionalmente, de cinco ecuaciones (sustitución de una ecuación de la cantidad de movimiento por un modelo *drift-flux*).
- Consideración de gases no condensables.
- Implantación de un modelo avanzado de condensación.

Velocidad de cálculo:

- Opción simplificada basada en el modelo de cinco ecuaciones utilizando un método parecido al que actualmente presentan los modelos de ALMOD en ATHLET.
- Optimización del método numérico para la integración en el tiempo.
- Ampliación de la técnica de tabulación empleada en algunas partes del código (propiedades termodinámicas, correlaciones).
- Paralelización del programa fuente para la utilización del programa en arquitecturas paralelas con memoria distribuida.



F II Representación de un PWR en el Analizador de Planta.

Programación:

- Extensión del concepto de modularidad del programa fuente.
- Preparación de versiones para Work-Station con sistema operativo UNIX (hasta la fecha, el programa ha sido implementado en máquinas IBM, CRAY, CDC, VAX y MICROVAX).

BIBLIOGRAFIA

1. W. FRISCH, S. LANGEBUCH, K. D. SCHMIDT. "ALMOS-03, Rechenprogramm zur Störfallanalyse von SWR". GRS-A-80 (diciembre 1977).
2. A. SCHAEFER, J. E. MIRO, G.

HÖPPNER, W. FRISCH, R. MEISSNER, U. GAAL. "ALMOD4 Advanced PWR Transient Analysis Code, ANS Topical Meeting on Anticipated and Abnormal Plant Transients in LWRs". Jackson, USA (26-29 septiembre 1983).

3. F. STEINHOFF. "DRUFAN 02, Interim Program Description Parts 1 and 2". GRS-A-685 (marzo 1982), GRS-A-714 (mayo 1982).

4. A. HORA, C. MICHETSCHLÄGER, H. G. SONNENBURG, V. TESCHENDORFF. "Analysis of Reflood Phenomena By the Two-Fluid Code FLUT". Advances in TWO-Phase Flow and Heat Transfer. M. Nijhoff publ. La Haya, 1983.

5. H. JAHN, E. HOFER, G. WEBER, T. V. PHAM. "Description of the MOD2/85 Versions of the RALOC/FIPLOC Family". Part I: Code System, GRS-A-1315 (diciembre 1986). Part II: Physical Modelling of Thermal-Hydraulics and Integration Methods, GRS-A-1426 (marzo 1988).

6. A. FORGE, R. POCHARD, A. PORACHIA, J. E. MIRO, H. G. SONNENBURG, F. STEINHOFF, V. TESCHENDORFF. "Comparison of Thermal-hydraulic Safety Codes for PWR Systems". Graham & Trotham, 1988.

7. H. AUSTREGESILO, Z. JAKUBOWSKI, J. E. MIRO, T. VOGGENBERGER. "Modelling of a PWR with the German Plant Analyzer ATLAS". 1989, Simulator VI Conference. Tampa (28-31 marzo 1989).

LAMSE
SOCIEDAD ANONIMA
LABORATORIO Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ESPECIALES

LABORATORIO ESPECIALIZADO EN EQUIPOS DE PROTECCION RADIOLOGICA:

- Monitores portátiles α , β , γ .
- Equipos de medida de bajo fondo α , β .
- Detección de partículas α , β , γ en pies y manos.
- Monitores de yodos y partículas.
- Pórticos.
- Monitores ambientales.

SERVICIO TECNICO DE AMBITO NACIONAL PARA:

- Empresas de instrumentación nuclear.
- Centrales nucleares.
- Industria.
- Organismos oficiales.

LAMSE, S. A. Paseo Imperial, 6, 2.º D-2. Tel. (91) 266 96 01. Fax (91) 266 96 09. 28005 MADRID