

Jorge Baliño *

Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro
Comisión Nacional de Energía Atómica y
Universidad Nacional de Cuyo

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1985

Introducción

En los reactores nucleares del tipo de agua a presión (ya sea de agua liviana o pesada) el circuito primario se encuentra a alta presión y temperatura, y esencialmente en fase líquida subenfriada.

Durante la operación normal de la planta o en condiciones de accidente, puede alterarse el equilibrio entre producción y remoción de energía en el primario, originándose variaciones apreciables de la temperatura media del refrigerante (y eventualmente del moderador); el presurizador es el componente encargado de limitar las variaciones de presión producidas en las contracciones o dilataciones de la masa líquida en el primario.

El límite superior de presión surge de consideraciones estructurales en los componentes, mientras que el límite inferior surge de consideraciones de transferencia de energía en el núcleo (hay que evitar el fenómeno de "burnout") y de cavitación en las bombas.

El presurizador es un recipiente cilíndrico vertical conectado en su parte inferior a la rama caliente del primario (salida del reactor) mediante la tubería de compensación de volumen; dentro de este recipiente se mantienen en equilibrio (saturación) una región de líquido y, sobre ésta, una región de vapor (ver figura 1).

Un aumento en la temperatura media del refrigerante se traduce en una entrada de agua al presurizador, lo cual es posible debido a que la región de vapor actúa a manera de fuelle (absorbiendo el cambio de volumen), y a que se condensa vapor mediante la inyección de agua del mismo circuito primario por medio de las válvulas de rociado. En caso de grandes aumentos de presión, existen válvulas de alivio (seguridad) en la región superior, las cuales liberan vapor a un recipiente contiguo. Alternativamente, una disminución en la temperatura media ocasiona una salida de agua del presurizador; debido a la disminución de presión, el líquido ebulle en la región inferior y se genera vapor, que ocupa el volumen del líquido saliente. Para aumentar la ebullición existen calefactores en la región de líquido.

La actuación de las duchas, válvulas de seguridad y calefactores se rige por una adecuada lógica de control.

Breve descripción del modelo

En el modelo del presurizador, cada una de las regiones (de líquido y de vapor) es considerada como un subsistema con una interfase móvil, en el cual se plantean las leyes de conservación de la masa y la energía. Las propiedades dentro de ca-

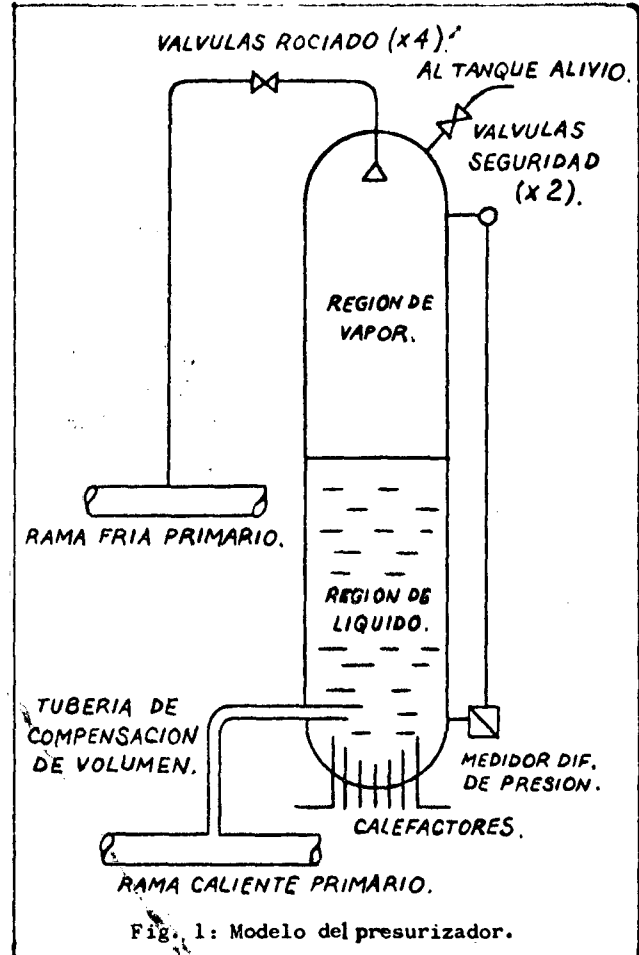


Fig. 1: Modelo del presurizador.

da región se consideran uniformes, lo mismo que la presión en el presurizador. Las regiones de líquido y vapor pueden encontrarse en una o dos fases. Además se considera que los caudales entrantes a cualquier subsistema se mezclan con éste en forma instantánea (ésta es la aproximación más severa).

Los procesos de transferencia de masa y energía tomados en cuenta son los siguientes:

- Intercambio de agua por la tubería de compensación de volumen.
- Entrada de agua por las válvulas de rociado (x 4): el caudal se establece aprovechando la diferencia de presión entre la rama fría del primario (lugar de extracción del agua de rociado) y el presurizador.
- Condensación de vapor en la región de vapor debido al agua de spray.
- Salida de vapor a través de las válvulas de alivio (seguridad) (x 2): si el vapor se encuentra en una fase se utiliza el flujo crítico adiabático correspondiente a un gas ideal (ref. 1); si se encuentra en dos fases, se utiliza el flujo crítico obtenido con el modelo isoentrópico homogéneo (ref. 2).

* Actualmente en Techint S.A.C.I.

Maipú 1300

1006 - Buenos Aires

- e) Formación de burbujas de vapor en la región de líquido y paso de éstas a la región de vapor; la velocidad media de ascensión se calcula con la correlación de Wilson (ref.3)
- f) Formación de condensado en la región de vapor y caída de éste a la región de líquido.
- g) Condensación de vapor sobre la superficie de líquido.
- h) Transferencia de energía calórica a la región de líquido mediante 3 bancos de calefactores; se supone una demora simple de tiempo entre la potencia eléctrica entregada a las barras calefactoras y la potencia calórica transferida al líquido.

La actuación del rociado, válvulas de seguridad y calefactores se realiza de acuerdo a la presión a la salida del reactor. La apertura de las válvulas o encendido de los bancos de calefactores es escalonado, y se tiene en cuenta el efecto de histéresis en el cierre.

Del planteo de las leyes de conservación de la masa y la energía en cada región, y de la condición de volumen total del presurizador constante, se obtiene un sistema de 5 ecuaciones diferenciales de 1º orden, no lineal.

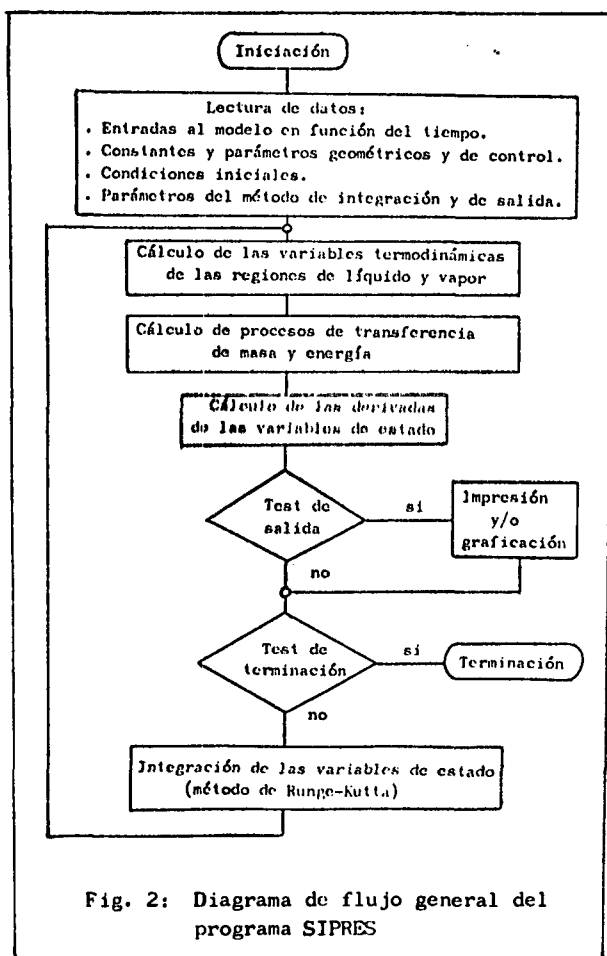


Fig. 2: Diagrama de flujo general del programa SIPRES

Descripción del programa SIPRES

Para la simulación de transitorios se construyó el programa SIPRES (Sistema del PRESurizador) en lenguaje FORTRAN. Un diagrama de flujo general se ve en la fig. 2.

Para determinar las propiedades termodinámicas del agua pesada se utilizaron las funciones TAF, PSA y TSA. Para el cálculo de las derivadas parciales necesarias se utilizaron las relaciones de Maxwell de la termodinámica (ref.4).

Pruebas realizadas con el programa SIPRES

Con los parámetros correspondientes al presurizador de la central nuclear Atucha 2 (fig. 3) se investigó en forma cuantitativa la influencia de los distintos procesos de transferencia de masa y energía en la respuesta.

Se impuso una entrada de caudal de forma trapezoidal y se observó la evolución de la presión en el presurizador, con y sin actuación de las válvulas de rociado (fig. 4).

Seguidamente se impuso una salida de caudal de la misma magnitud, y se observó la presión con y sin actuación de los bancos de calefactores (fig. 5).

Otra de las pruebas con el programa SIPRES fue el estudio de un accidente de trip de turbina, con falla de la apertura de la válvula de by-pass y con corte del reactor (fig. 6); la curva de caudal se introdujo como dato de entrada. El transitorio es interesante pues luego del corte del reactor el caudal de entrada al presurizador se invierte en pocos segundos.

Presión de diseño (abs.)	135. bar
Temperatura de diseño	345. °C
Volumen libre total	85. m ³
Volumen de agua a 100 % de plena potencia (PP)	45. m ³
Volumen de vapor a 100 % PP	40. m ³
Presión de operación a 100 % PP (abs.)	114.5 bar
Temperatura de operación a 100 % PP	320 °C
Número de barras calefactoras	268
Potencia total de calefacción	2000 kW
Número de válvulas de spray	4
Caudal de agua por cada válvula de spray	25. kg/s
Set points de presión válvulas de spray (abs.)	117./117.8/118.6/119.4 bar
Número de válvulas auxiliares	3
Número de válvulas de seguridad	2
Caudal de vapor por válvula de seguridad	300 ton/h
Set points de presión (en el presurizador) de las válvulas de seguridad (abs.)	125./136. bar

Fig. 3: Principales datos de diseño del presurizador de la CNA2 (de la ref. 5)

Conclusiones

De las pruebas realizadas con el programa SIPRES se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El fenómeno más importante que provoca los cambios de presión es el ingreso de agua por la tubería de compensación de volumen, como puede suponerse intuitivamente.
- La presión en el presurizador es limitada y se recupera mucho más rápidamente con la actuación de las válvulas de rociado que con la actuación de los bancos de calefactores (en el caso de un descenso de presión).

- La rapidez con que desciende la presión para una salida de caudal es menor cuando la región de líquido entra en ebullición; en consecuencia, una de las funciones de los calefactores es mantener constantemente en saturación la región de líquido.
- El fenómeno de condensación de vapor en la superficie de líquido es importante en los transitorios lentos, con variaciones pequeñas de presión.
- La apertura de las válvulas de seguridad limita la presión a valores menores que los de diseño, aún para entradas de caudal de agua exageradamente grandes.
- El programa puede ser utilizado como herramienta de diseño termohidráulico de presurizadores, o como parte de un código de simulación de la planta completa (ensamblado en una forma modular).

Referencias y bibliografía:

- 1.- Shapiro, Ascher H. : "The Dynamics and Thermodynamics of compressible fluid flow". The Ronald Press Company, New York (1953). Vol 1, cap. 4.
- 2.- Lahey, R.T.Jr.; Moody, F.J.: "The Thermal-Hydraulics of a Boiling Water Reactor". ANS Monograph Series on Nuclear Science and Technology (1977). Cap. 9.

- 3.- Wilson, John F. et al.: "The velocity of rising steam in a bubbling two-phase mixture". ANS Transactions. Vol 5 N° 1 (1962).
- 4.- Callen, H.B.: "Thermodynamics". John Wiley & Sons, Inc. (1960). Cap. 7.
- 5.- CNEA: NPP Atucha 2. Preliminary Safety Analysis Report. (1981).
- 6.- Haron, R.C.: "Digital model simulation of a Nuclear Pressurizer". Nuclear Science and Engineering, Vol. 52 (1973).
- 7.- Redfield, J.A.; Prescop, V.; Margolis, S.G.: "Pressurizer Performance during loss-of-load tests at shipping port: Analysis and Tests". Nuclear Applications. Vol.4 (1968).
- 8.- Meissner, R.: "Druckhaltermodell zur Simulation von Betriebsstörungen in Druckwasserreaktoranlagen". Laboratorium für Reaktorreglung und Anlagensicherung Garching, Technische Universität München. MRR 154 (1976).
- 9.- Baliño, Jorge Luis: "Modelación detallada del Presurizador de una central nuclear. Implementación de un programa para simulación de transitorios en el presurizador de la Central Nuclear Atucha 2". Trabajo Especial Carrera de Ing. Nuclear. Instituto Balseiro S.C. de Bariloche.

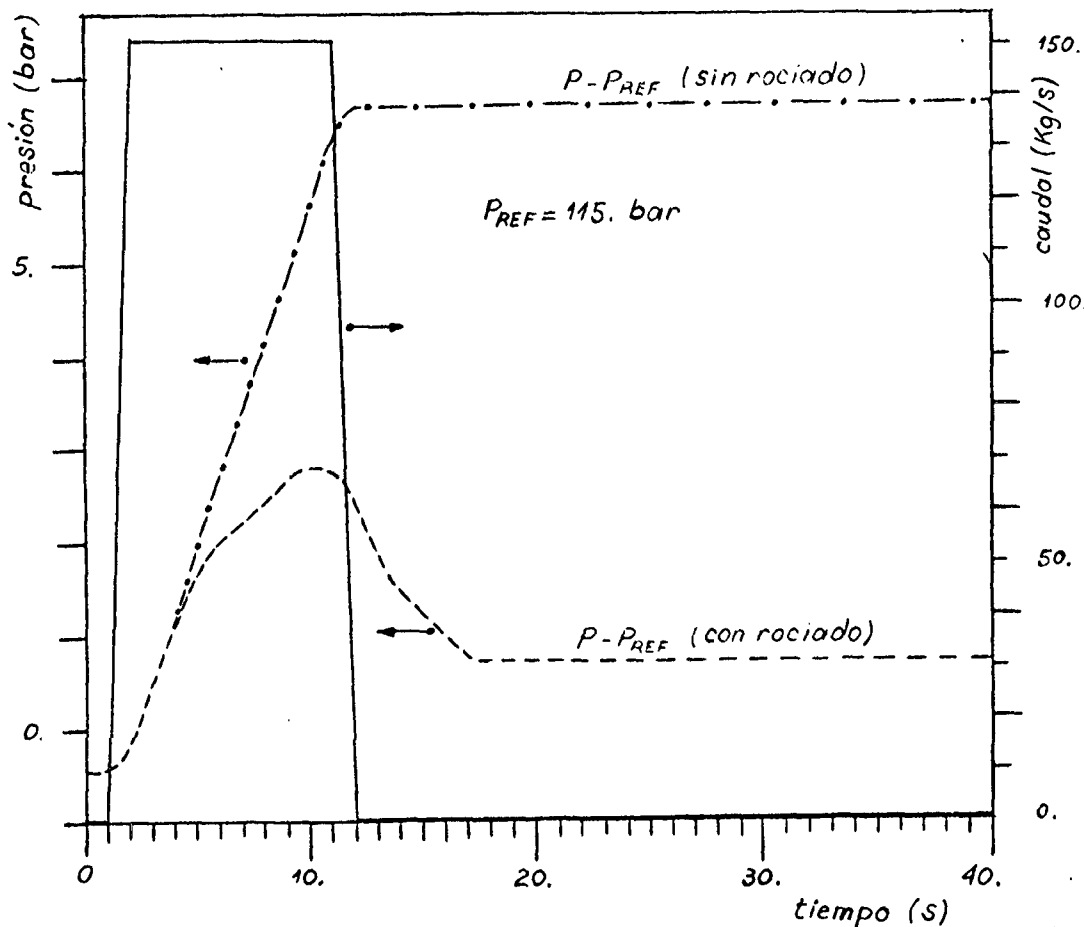


Fig. 4: Entrada trapezoidal de caudal.
Caudal de entrada y presión en el presurizador.

