

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA EN OPERACIONES  
DE TRABAJO DE UN PUNTO

197

PABLO ABRATE

INSAE S.E.  
Division Ingenieria Nuclear  
San Carlos de Bariloche - Republica Argentina

Trabajo a ser presentado a la XVIII. Reunion  
Anual de la Asociacion Argentina de Tecnologia  
Nuclear, 22-26 octubre de 1990 en Buenos Aires,  
Argentina.

## RESULTS AND CONCLUSIONS

The THO program is presented briefly in Fig. 1. The analysis is carried out in one step when generation and the load are given. The program is based on a model which is composed of the nodal equations. It allows to study the system's transient conditions and to find the beginning of the unstable behavior. This program has been extensively validated against channel data obtained in the main channel to compare results with the CAPPB reactor's steam generator analysis results.

## SYNOPSIS

En este trabajo, se presenta el programa *WATER* desarrollado en el lenguaje del lenguaje de programación *FORTRAN* que se ejecuta en un computador de tipo *mainframe*. El programa se basa en un modelo matemático que incluye una transformación de Laplace de las ecuaciones de flujo y las ecuaciones de transferencia del sistema y predice el comportamiento transitorio. Se lo ha validado en forma satisfactoria con los datos de canales y <sup>no</sup> uniformemente calentados en el rango de  $1.0 \times 10^4$  a  $1.0 \times 10^6$  W/m<sup>2</sup>. Se presentan resultados sobre el análisis del Generador de Vapor del reactor *WR-1* y se discuten la influencia de diversos aspectos operativos y de diseño sobre el comportamiento del sistema. Autor.

## ESTUDIO DE ESTABILIDAD EN GENERADORES DE VAPOR DE UN PASO

Autor: Pablo ABBATE. División Ingeniería Nuclear-INVAP S.R.

### RESUMEN :

Se presenta el programa TWO desarrollado para el cálculo del límite de comportamiento estable en Generadores de Vapor de paso único frente al fenómeno de Ondas de Densidad.

El programa se basa en un modelo nodal, que utilizando una transformación de Laplace de las ecuaciones permite estudiar las funciones de transferencia del sistema y predecir el comienzo de comportamiento inestable.

Se lo ha validado en forma satisfactoria contra datos de canales uniformemente calefaccionados en el rango de 4.0 a 6.0 Hpa.

Se presentan resultados sobre el análisis del Generador de Vapor del reactor CARRU. Destacándose la influencia de diversos aspectos operativos y de diseño sobre la estabilidad del mismo.

### INTRODUCCION :

En el diseño de Generadores de Vapor (G. de V.) de paso único, debe asegurarse el comportamiento estable del mismo en las condiciones operativas esperables. En particular se debe estudiar la estabilidad frente al fenómeno de ondas de densidad. Dado que el reactor CARRU tiene G.de V. de este tipo, se desarrolló un programa (TWO) que permite calcular las condiciones para comienzo de inestabilidad.

Para un sistema de varios canales en paralelo como el tratado, en el que la caída total de presión del sistema permanece constante frente a perturbaciones, la condición de contorno es /2/:

$$\delta \hat{D}P_{total} = \delta \hat{D}P_{fase\_liq.} + \delta \hat{D}P_{2fases} + \delta \hat{D}P_{vapor} = 0 \quad (1)$$

En el caso de que se perturbe la velocidad de entrada, podemos escribir:

$$\delta \hat{D}P_{fase\_liq.} = A1(s) \times \delta \hat{v}_{ent} \quad (2)$$

$$\delta \hat{D}P_{2fases} = A2(s) \times \delta \hat{v}_{ent} \quad (3)$$

$$\delta \hat{D}P_{vapor} = A3(s) \times \delta \hat{v}_{ent} \quad (4)$$

La condición (1) es típica de un sistema realimentado con una función de transferencia /2/, cuyo criterio de estabilidad se obtiene de analizar la ecuación característica:

$$Q(s) = 1 + \{A2(s) + A3(s)\} / A1(s)$$

Para ello se aplica el criterio de Nyquist, para lo cual se grafica  $Q(s) - 1$ , en el plano complejo con  $s = j\omega$ . Si dicha curva rodea en sentido horario el punto (-1,0), entonces el sistema presenta un comportamiento linealmente inestable.

### MODELO:

El programa TWO, utiliza un modelo nodal y unidimensional de las ecuaciones de conservación del sistema, suponiendo equilibrio térmico entre las fases. El modelo se basa en una linealización de las mismas, perturbación y posterior transformación de Laplace.

En particular el programa posee modelos adecuados para :

- 1) zona subenfriada en el ingreso al canal
- 2) zona bifásica mediante un modelo de drift-flux
- 3) zona de vapor sobrecalentado con propiedades variables

Además, se implementaron modelos que permiten observar el movimiento de las interfaces líquido ( $\Rightarrow$ ) dos-fases y dos-fases ( $\Leftarrow$ ) vapor

En cada una de las zonas mencionadas el usuario puede asignar un número arbitrario de nodos de longitud variable. La distribución de potencia es genérica .

El programa cuenta con diversos modelos analíticos de dinámica del calefactor para :

- 1) calefactor tipo barra con el refrigerante en su exterior
- 2) tubo calefaccionado eléctricamente con el refrigerante por su interior
- 3) tubo de generador de vapor con el secundario por el lado exterior
- 4) tubo de generador de vapor con el secundario por el lado interior

Dado que el programa calcula la estabilidad analizando perturbaciones sobre un estado del sistema, es necesario contar con un estado estacionario del mismo, por ello se desarrollaron modelos de cálculo para :

- 1) tubos calefaccionados eléctricamente
- 2) sistema tipo G. de V. con dos fluidos a contra corriente

Como el comportamiento del sistema frente a ondas de densidad es función de la variación de los diversos términos que componen la ecuación de momento (caídas de presión). Se programaron correlaciones para fricción bifásica en todo el rango de títulos termodinámicos ( $0 < x < 1$ ). Los modelos implementados son: Martinelli, Baroczy, Homógeno y Chisholm. También el usuario puede ubicar singularidades (válvulas, restricciones) en cualquier punto del canal.

El modelo de Drift-flux se basa en los parámetros de Ohtani & Luhey /3/, ya que se observó que eran los que poseían un rango amplio de validez; en particular para títulos de vapor altos predicen un comportamiento razonable para el factor de concentración ( $C_0$ ) y la velocidad "drift" ( $V_{gj}$ ).

#### VALIDACION :

El modelo desarrollado fue contrastado contra los resultados experimentales de Takizaki & Takenura /1/, correspondientes a un canal vertical refrigerado por agua, uniformemente calefaccionado por efecto Joule.

La figura N°1 muestra el dispositivo experimental, se observa que la condición de BP = cte. es lograda mediante un bypass al tubo calefactor.

Los datos principales del sistema son :

Longitud sector calefactor	: 5.250 m (Incoley 800)
Diámetro ext. tubo calefactor	: 0.015 m
Espesor de pared tubo calefactor:	0.00125 m
Presión operación	: 2.0 ( $\Rightarrow$ ) 4.3 MPa
Flujo másico	: 150 ( $\Rightarrow$ ) 350 kg/m <sup>2</sup> /seg
Subenfriamiento de entrada	: 50 ( $\Rightarrow$ ) 225 °C
Título de salida	: 0.8 ( $\Rightarrow$ ) 1.3
Flujo térmico	: 100 ( $\Rightarrow$ ) 535 kwatt/m <sup>2</sup>

Se realizó una validación en un amplio rango, ante variaciones de los siguientes parámetros :

- \* flujo másico
- \* fricción a la entrada del canal
- \* subenfriamiento de entrada
- \* presión del sistema
- \* título de vapor a la salida del canal

Los resultados son muy satisfactorios, obteniéndose una buena reproducción de los valores para comenzo de comportamiento inestable como también de las frecuencias de oscilación. Las figuras N° 2, 3, 4 y 5 ilustran los casos comparados. Cabe destacar que los valores de presión, título, subenfriamiento y caudal comprenden a los de los G. de V. del CAREM.

**APLICACION AL REACTOR CAREM:**

Se utilizó el programa TWO para estudiar la estabilidad de los Generadores de Vapor (G.V.) del CAREM.

Los principales datos de los G.V. son:

	CAREM 15	CAREM 25
Potencia [MWatt]	56.5	100.0
Presión Pr. [MPa]	12.25	12.25
Presión Sec.[MPa]	4.5	4.5
Long. tubos [m]	33.0	3.2
N° de conjuntos	3	12
N° tubos/conjunto	162	471
Disposición	tubos helic. sec. lado tubo	tubos verticales prim. lado tubo
Flujo Sec.[kg/m²/s]	400.	45.

Mientras que en el CAREM15 la inestabilidad está asociada a la existencia de un alto número de tubos conectados en paralelo, en el CAREM25 se asocia al hecho de contar con 12 conjuntos en paralelo.

La figura N° 6 presenta resultados del módulo CAREM15. Se observa el efecto estabilizante de la fricción a la entrada (E1). Este G.V. presenta una alta caída de presión (1.0 MPa,  $K_1=0.00$ ,  $K_2=2.$ ). Las figuras N° 7 y 8 corresponden a los G.V. del CAREM25; la caída de presión resulta considerablemente inferior que para el CAREM15 (0.2 MPa,  $K_1=0$ ,  $K_2=4$ ), valores para diámetros de 1½" y 2½" en las conexiones de entrada y salida, respectivamente. Dado el bajo flujo másico se incorporó el modelo de Kataoka /5/, del  $C_o$  y  $V_{gj}$ . Se ilustra el efecto de la fricción a la entrada y salida de los G.V. sobre la estabilidad del mismo. En la figura N° 7 se muestran curvas para 50% y 100% de potencia nominal.

**CONCLUSION:**

Se desarrolló un programa que permite el cálculo de las condiciones de comportamiento inestable de G.V. de un solo paso.

Se validó satisfactoriamente el modelo contra datos que cubren un alto rango de características.

Su aplicación a los G.V. del reactor CAREM, indican la necesidad de contar con restricciones a la entrada de manera de asegurar un comportamiento estable.

**REFERENCIAS :**

- 1/ K.Takitani & T.Takenura "Density Wave Instability in Once-Through Boiling Flow System I (Experiment)" Jour.Nuc. Sci.& Tech. 15 (5)
- 2/ R.T.Lahey - F.J.Moody "The Thermal-Hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor" American Nuclear Society
- 3/ K.Okawa - R.T.Lahey, Jr. "The Analysis of CCHF using Drift-Flux Techniques", Nuclear Engineering and Design, 61 (1980)
- 4/ Two-Phase Flow dynamics. Japan -U.S. Seminar 1979. Edited : A.E.Bergles & Seikan Ishigai. Pag 311 "Recent Japanese Researches on Two-Phase Flow Instabilities" S.Nakanishi Hemisphere Publishing Corporation
- 5/ Y. Kataoka, H. Suzuki, H. Murase. "Drift flux parameters for Upward gas-flow in Stagnant Liquid", Jour. Nuc. Sci. & Tech. 24 (7).

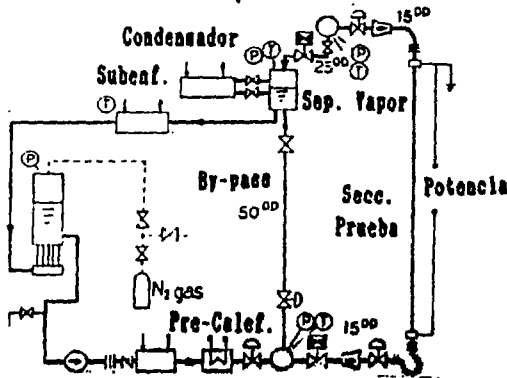


Fig. 1: Dispositivo de Takitani

