

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL GENERADOR DE VAPOR DEL CAREM-25

Rabiti A.¹, Delmastro D.²

¹ Instituto Balseiro

² Comisión Nacional de Energía Atómica e Instituto Balseiro

RESUMEN

En este trabajo se analiza la estabilidad de un generador de vapor de un paso, tipo CAREM-25. Para ello se implementa un modelo numérico de nodos fijos, el cual permite modelar zonas líquidas, de dos fases y de vapor sobrecalentado. Este modelo es contrastado contra uno de elementos finitos móviles, obteniéndose un buen acuerdo para condiciones de vapor saturado a la salida del canal. Luego se estudia la estabilidad de un generador de vapor tipo CAREM, analizándose los rangos de restricción de entrada para los cuales el sistema es estable.

ONDAS DE DENSIDAD

El fenómeno de inestabilidades por ondas de densidad en canales en ebullición ha sido extensivamente estudiado durante los últimos 35 años. En un canal en ebullición la característica principal que determina su estabilidad, es la existencia de retardos en la propagación de las perturbaciones y las realimentaciones del sistema. Las ondas de densidad son una consecuencia de esto, siendo causadas por la interacción dinámica entre la presión, densidad, entalpía y título, como así también sus distribuciones [1].

Si se introducen fluctuaciones en el caudal de entrada, manteniendo constante el resto de las condiciones de contorno, se producen perturbaciones de entalpía. A su vez, estas últimas se convierten en oscilaciones de la frontera de ebullición, las que originan perturbaciones en la caída de presión en la zonas de una y dos fases, y en la fracción de vacío. Como la caída de presión total está impuesta externamente, las fluctuaciones en las caídas de presión, afectan el caudal de entrada. Dependiendo de la frecuencia, estas oscilaciones pueden volverse autosostenidas.

MODELO

Para el modelado de generadores de vapor un paso se utiliza el modelo presentado por Rabiti [2]. En este modelo, las ecuaciones se resuelven por un esquema de diferencias finitas con nodos fijos. Para el modelado del flujo se tienen en cuenta las siguientes hipótesis:

- Se considera modelo homogéneo para las dos fases. Esto es válido para este tipo de generadores de vapor de un paso, dadas las altas velocidades a las que circula el fluido.
- Se trata el problema en forma unidimensional.
- La ecuación de momento se resuelve en forma integral. No se consideran las ondas de presión.
- Para el cálculo del coeficiente de fricción se utiliza el diagrama de Moody. En la zona de flujo bifásico se utiliza un multiplicador de dos fases [3].

- Se desprecian los términos de contribución de energía por disipación viscosa y cambios de presión.

CONTRASTACIÓN

Para su verificación, se comparan resultados obtenidos para un caso simplificado con los que fueron obtenidos por un modelo de elementos finitos móviles [4]. En este modelo se tiene en cuenta las siguientes hipótesis:

- Flujo homogéneo para las dos fases.
- Flujo térmicamente expansible.
- Ambas fases son incompresibles. No se consideran las ondas de presión.
- Se desprecian la disipación viscosa, las energías cinética y potencial y el trabajo de flujo.
- Fricción distribuida constante para cada zona.

La limitación principal de este modelo es que no permite tener en cuenta vapor sobrecalentado. Además, se supone constante el factor de fricción para cada fase, mientras que en el caso del modelo de nodos fijos se calcula el coeficiente para cada punto del canal. Otra diferencia importante de los modelos reside en la resolución numérica de las ecuaciones.

Dada las limitaciones del modelo de elementos finitos móviles, los modelos se contrastan con un caso simplificado en el que las condiciones de salida corresponden a vapor saturado [4].

Las condiciones de flujo están determinadas si se fijan ciertos números adimensionales y las fricciones localizadas que se presenten en el canal. En primer lugar, se analiza una condición de flujo estable, y en segundo lugar se muestran los resultados para condición de flujo inestable.

Caso estable

Se parte de la condición estacionaria y se aplica una perturbación, la cual consiste en un aumento del 50% del caudal de ingreso en el instante inicial, durante un tiempo de 1 segundo.

La figura 1 muestra la velocidad adimensional en la entrada del canal (u_i) en función de la frontera de ebullición adimensional (λ) obtenida con el modelo de nodos fijos. En ésta se observa que después de la perturbación el sistema vuelve a la condición estacionaria, es decir el sistema se comporta de forma estable, lo cual está de acuerdo con el resultado de la referencia [4].

Caso inestable

En este caso se consideran condiciones bajo las cuales el flujo es inestable. Esto es, el sistema no vuelve a su condición estacionaria después de una perturbación. En este caso se tiene en proporción más calor entregado que en el caso anterior. Esto coincide con la tendencia general que tiene el flujo de calor de inestabilizar a los sistemas de flujos en ebullición.

Al igual que en el caso anterior, la perturbación es un aumento del 50 % en el caudal de entrada del canal, al instante inicial con una duración de un segundo.

En la figura 2 se muestra la velocidad adimensional en función de la frontera de ebullición adimensionalizada obtenida con el modelo de nodos fijos. Se observa que al

apartar el sistema de sus condiciones estacionarias éste no regresa a las mismas condiciones de las que partió, si no que permanece en un estado donde las variables oscilan con amplitud y período constante.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos con el modelo de elementos finitos móviles para una condición similar [4]. De la comparación se observa una buena concordancia de resultados entre los dos modelos.

ANÁLISIS DE UN GV TIPO CAREM

En esta sección se estudian las condiciones de flujo bajo las cuales el generador de vapor tipo CAREM25 se vuelve inestable, desde el punto de vista de ondas de densidad. Para este fin se utiliza el modelo de nodos fijos, el cual tiene en cuenta el vapor sobrecalentado.

El generador de vapor presenta una restricción (K) localizada en la entrada del flujo del lado secundario. En este punto la caída de presión es del doble que en todo el generador de vapor. Este valor tan alto es para evitar que se produzcan inestabilidades por ondas de densidad en las condiciones de operación [5].

Se estudia el valor de esta constante de fricción localizada K, a partir del cual el sistema se vuelve inestable. Para esto se disminuye su valor hasta observar un comportamiento inestable ante una perturbación dada.

Para el análisis particular de un generador de vapor tipo CAREM25 se considera al mismo en forma aislada, agregándosele al modelo de nodos fijos las siguiente hipótesis:

- El flujo de calor lineal es uniforme, y constante con el tiempo.
- Se fijan la presión a la entrada y salida del mismo.

Partiendo de la condición estacionaria, se plantea una perturbación que consiste en un aumento temporal del caudal de ingreso.

En la figura 4 se muestra la evolución temporal del caudal de entrada para las condiciones de diseño del generador de vapor, es decir con una constante de restricción a la entrada de $K = K_n$, donde K_n es el valor nominal. Se observa que el sistema vuelve rápidamente a la condición estacionaria, debido a la gran caída de presión a la entrada del mismo.

Luego se estudian las evoluciones temporales que se obtienen para constantes de restricción menores. En la figura 5 se observan los resultados obtenidos para $K = 0,1 K_n$ y $K = 0,06 K_n$.

Para el primer caso se observa que el sistema, después de la perturbación, vuelve a la condición estacionaria de la que partió, pero no de la misma forma que para $K = K_n$, si no que le lleva más tiempo regresar a la condición estacionaria. En este caso se puede decir que es “menos estable”.

Para el caso de $K = 0,06 K_n$ la perturbación que se utiliza es menor que para los casos anteriores, observándose que el sistema se vuelve inestable. El sistema evoluciona hasta la aparición de caudales negativos en la entrada del mismo, es decir de sentido opuesto al de circulación en condiciones estacionarias.

De estos resultados se observa que el límite de estabilidad se encuentra entre los dos casos anteriores. Realizando un barrido más fino, se obtiene que el valor crítico, K_c , para el cual el sistema se vuelve inestable es $0,08 K_n$.

CONCLUSIONES

Se implementó un modelo numérico de nodos fijos, el cual permite modelar zonas líquidas, de dos fases y de vapor sobrecalentado, como las que aparecen en un generador de vapor de un paso. Este modelo simple fue utilizado para estudiar la estabilidad de un generador de vapor tipo CAREM-25. De acuerdo a los resultados obtenidos, el diseño de generador de vapor en condiciones nominales es robusto ante inestabilidades termohidráulicas.

REFERENCIAS

- [1] Delmastro, D. y Juanicó, L.; "The Influence of Gravity on the Dynamic of Two-phase Boiling Channels", *LATCYM 98*, Salta, Octubre de 1998.
- [2] Rabitti, A. et als.; "Desarrollo y Aplicación de un Código de Planta al Análisis de Transitorios en Reactores Integrados", *XXVIII Reunión Anual AAATN*, Buenos Aires, Noviembre del 2001.
- [3] Zanocco, P.; "Criterios de Diseños de Reactores Integrados Basados en Transitorios", *Instituto Balseiro, Trabajo Especial de Ingeniería Nuclear*, Bariloche, Junio de 1998.
- [4] Delmastro, D. F.; "Aplicación de la Teoría de Sistemas Dinámicos al Análisis de Inestabilidades Termohidráulicas", *Instituto Balseiro, Tesis de Doctorado en Ingeniería Nuclear*, Bariloche, Enero de 1993.
- [5] Mazufri, C.; "Diseño Termohidráulico del Generador de Vapor de Un Paso Tipo Helicoidal Modular", *XXVII Reunión Anual AAATN*, Buenos Aires, Noviembre del 2000.

FIGURAS

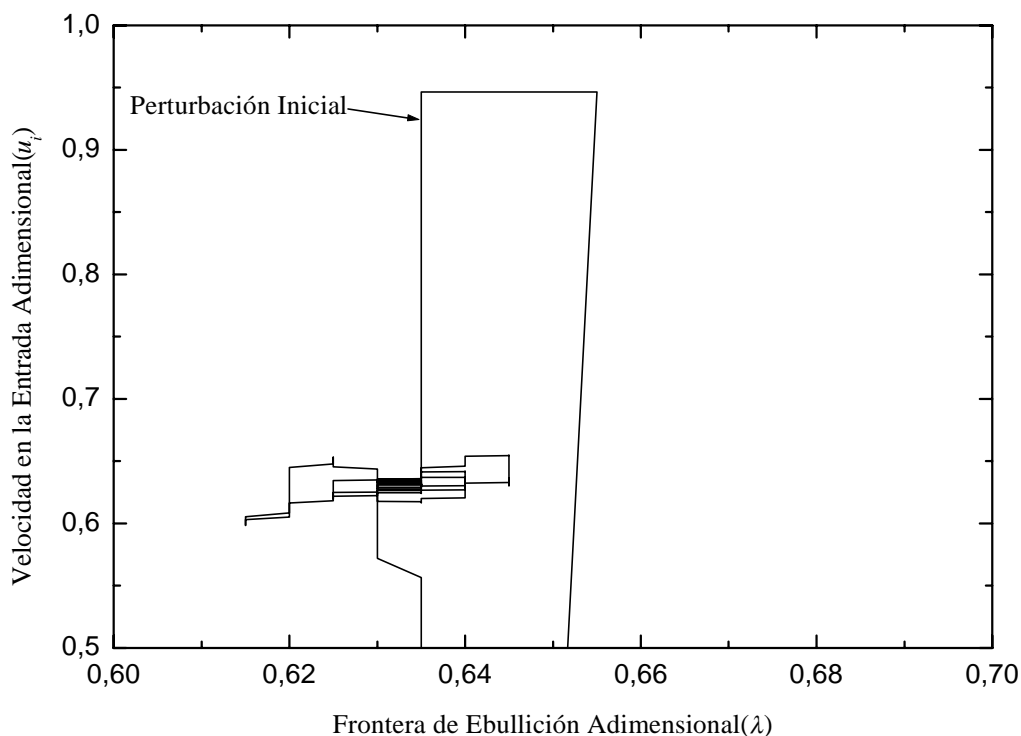


Figura 1. Diagrama de fases para un comportamiento estable (modelo de nodos fijos).

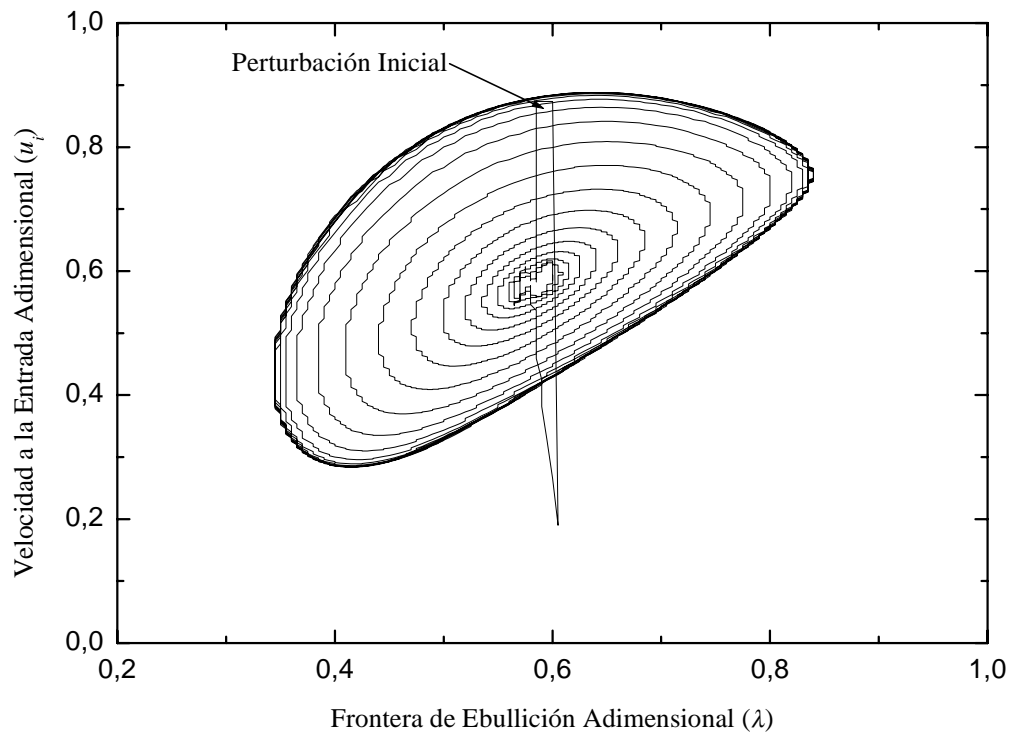


Figura 2. Diagrama de fases para un comportamiento inestable (modelo de nodos fijos).

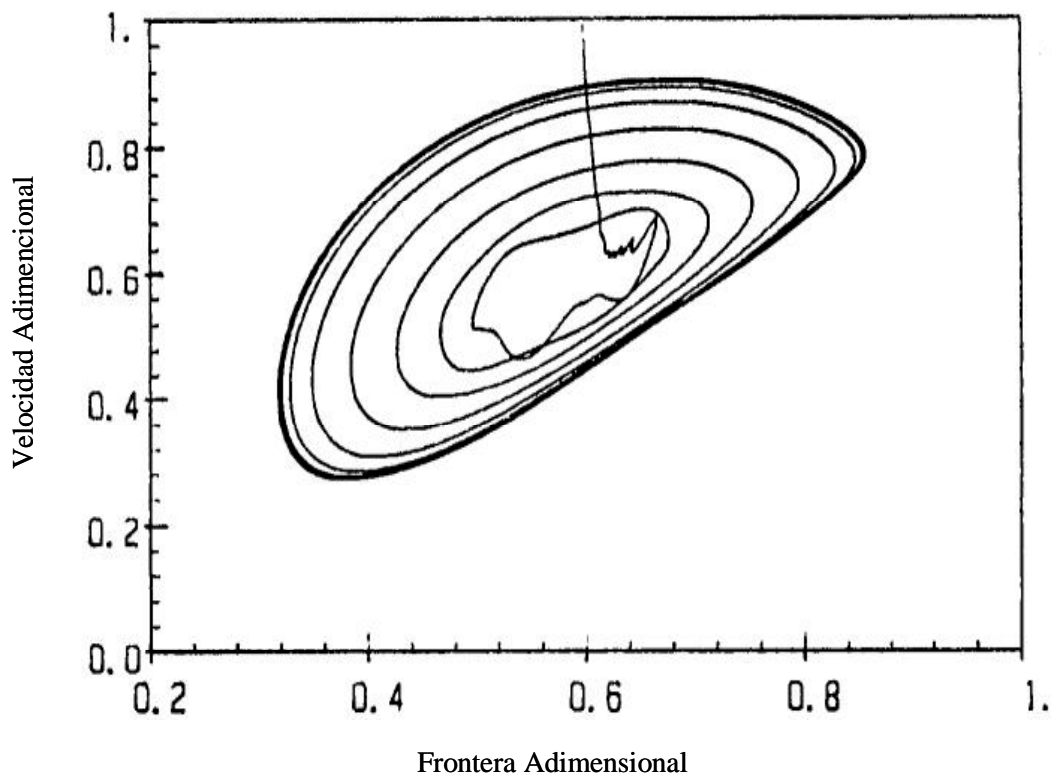


Figura 3. Diagrama de fases para un comportamiento inestable [3].

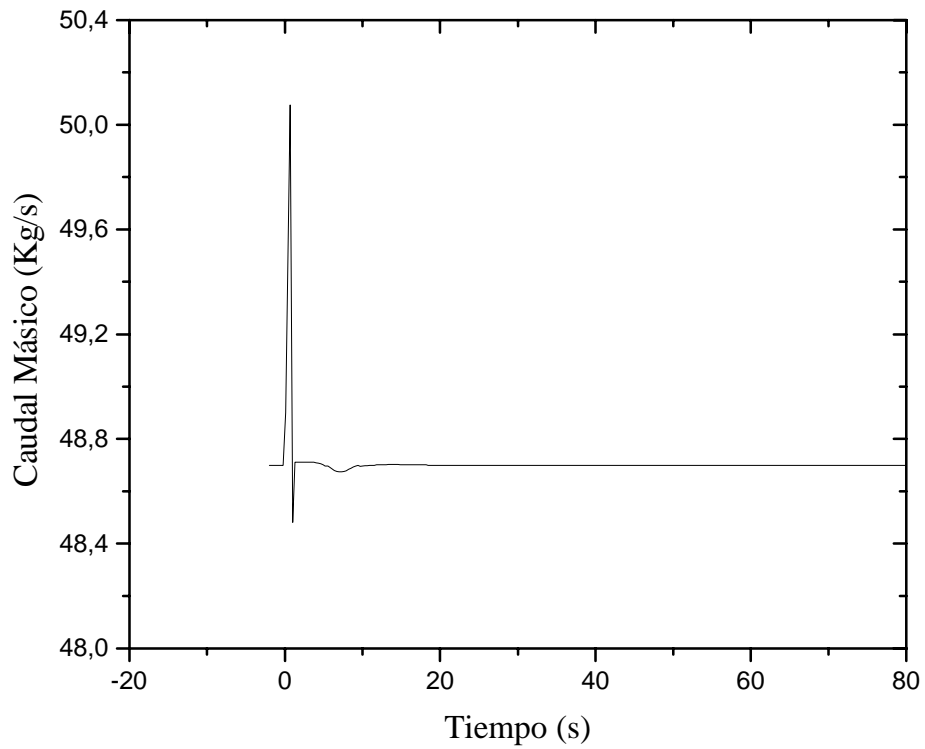


Figura 4. Evolución del caudal en la condición de diseño.

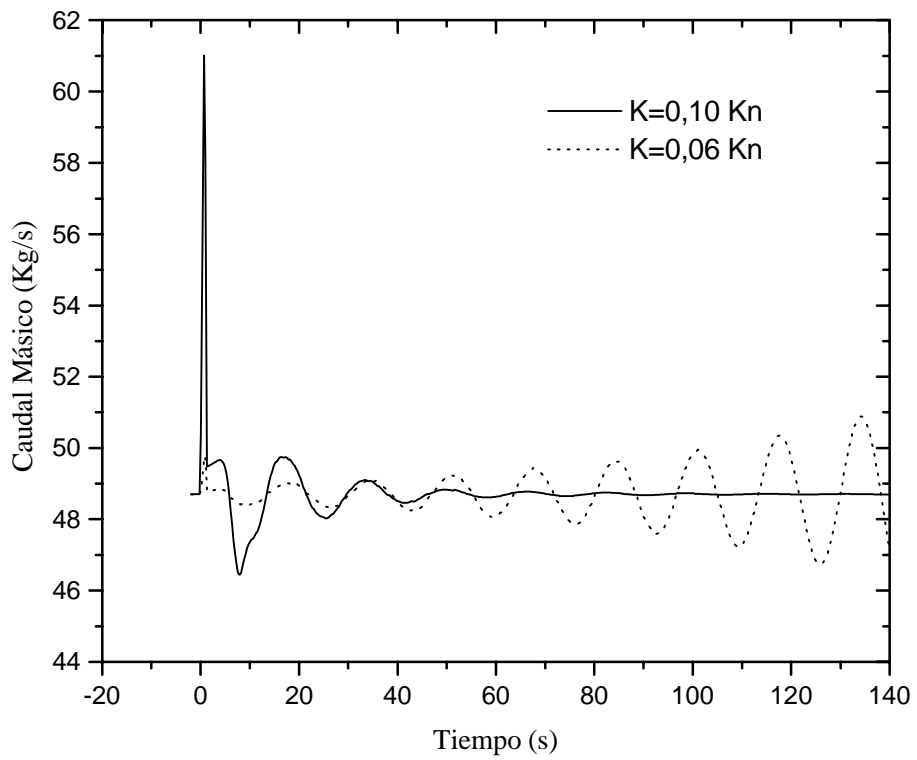


Figura 5. Evolución del caudal para valores de K menores que Kn.