

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD EN UNA ROTURA DE TAMAÑO INTERMEDIO CON TRACES

A.QUEROL, S.GALLARDO, G.VERDÚ

Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València

Camí de Vera, s/n 46022 València – Spain

Tlf:96 3879631 Fax:96 3877639

anquevi@upvnet.upv.es; sergalbe@iqn.upv.es; gverdu@iqn.upv.es

SINOPSIS:

Dentro del Proyecto OECD/NEA ROSA-2, se ha realizado el experimento 2 que simula una rotura intermedia en una de las ramas frías de la instalación Large Scale Test Facility (LSTF) de la Agencia Japonesa de Energía Atómica (JAEA). El principal objetivo de este trabajo es estudiar la capacidad del programa termohidráulico TRACES5 para simular la rotura intermedia en la instalación LSTF. Tras la comparación de los datos experimentales con los resultados de la simulación se ha estudiado el efecto de variar los coeficientes de fricción de los componentes que simulan el sistema de inyección de los acumuladores (AIS) y el tamaño de la rotura. Además, también se ha estudiado el comportamiento de diferentes versiones de TRACES5 (Release Candidate 3, V5.0 and V5.0 patch 1) para reproducir dicho transitorio. En general, se puede decir que TRACES5 reproduce adecuadamente todos los fenómenos que ocurren durante dicho transitorio. Respecto a la comparación entre las distintas versiones de TRACE, se obtiene que la versión TRACE V5.0 patch 1 es la que mejor se ajusta a los resultados experimentales en comparación con las versiones anteriores.

1- INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto OECD/NEA ROSA-2, se ha realizado el experimento 2 (IB-CL-03) [1] que simula una rotura intermedia en una de las ramas frías, del 17% de su diámetro, en la instalación Large Scale Test Facility (LSTF) [2] de la Agencia Japonesa de Energía Atómica (JAEA).

La instalación LSTF simula un reactor de agua a presión tipo Westinghouse, escalado 1/48 en volumen y de 2 lazos. En este caso se asume el fallo parcial (en el SG-B) de los sistemas de inyección de alta y baja presión (HPI y LPI), así como el fallo total (en ambos lazos) del sistema de alimentación de agua auxiliar (AFW). Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha desarrollado un modelo de simulación detallado de la instalación LSTF utilizando el programa termohidráulico TRACES5 [3, 4]. Además, se han realizado diferentes análisis de sensibilidad variando el coeficiente de fricción en el sistema de inyección de los acumuladores (AIS) y variando el tamaño de la rotura. Se han utilizado diferentes versiones del programa TRACES5 para simular este transitorio.

2- MODELO DE TRACES5

La instalación LSTF se ha modelado utilizando 82 componentes hidráulicos del programa TRACES5 (7BREAKs, 11 FILLs, 24 PIPEs, 2 PUMPs, 1 PRIZER, 22 TEEs, 14 VALVEs y 1 VESSEL). La Figura 1 muestra la nodalización del modelo utilizando el programa SNAP (Symbolic Nuclear Analysis Package) [5].

La vasija del reactor se ha modelado mediante un componente 3-D VESSEL, cuya nodalización consiste en 19 niveles axiales, 4 anillos radiales y 10 sectores acimutales. Dicha nodalización consigue caracterizar de modo aceptable las características reales de la vasija de la LSTF. Dicha vasija se conecta a diferentes componentes 1-D: 8 tubos guía para las barras de

control (CRGT), ramas calientes A y B (nivel 15), ramas frías A y B (nivel 14) y un bypass (nivel 15).

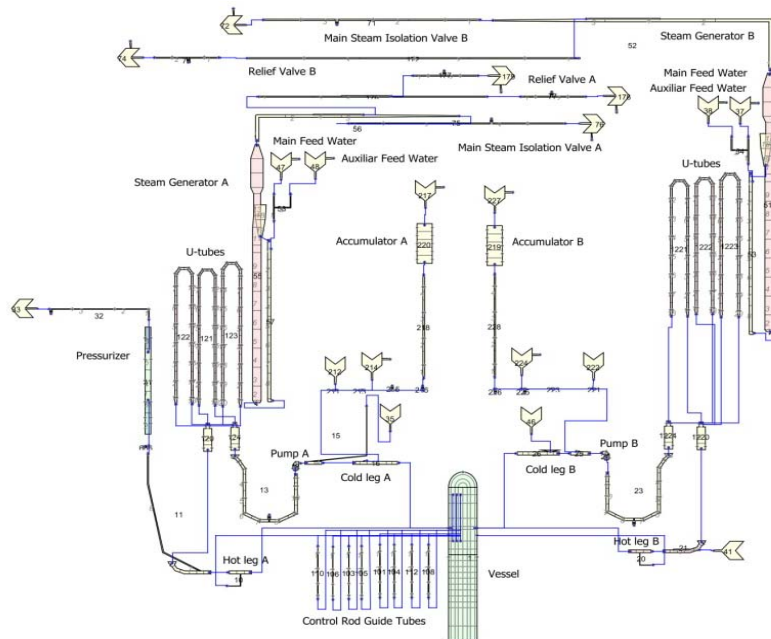


Figura 1: Modelo de nodalización.

La transferencia de calor (tubos en U de los generadores de vapor, la potencia del núcleo, los calentadores del presionador y las pérdidas de calor) se ha caracterizado mediante 48 componentes estructuras de calor, HTSTRs.

Para modelar los elementos combustibles del núcleo de la vasija (1008 en la instalación LSTF) se han utilizado otras 30 estructuras de calor (HTSTRs). Un componente POWER simula la potencia suministrada por los componentes HTSTRs a la vasija. Las barras de combustible se han distribuido en los tres anillos en los que se ha dividido la vasija de la siguiente manera: 154 barras en el anillo 1, 356 en el anillo 2 y 498 en el anillo 3.

La rotura se ha simulado en la rama fría del lazo B utilizando un componente VALVE conectado a un componente BREAK que establece las condiciones de contorno. El componente VALVE se ha conectado al side-junction de un componente TEE en el cual se ha activado el modelo OFFTAKE para tener en cuenta la posible estratificación.

Además, en este trabajo se han considerado tres versiones del programa TRACE5: TRACE V5.0 Release Candidate (RC) 3, TRACE V5.0 y TRACE V5.0 patch 01. Las versiones TRACE V5.0 patch 01 y TRACE V5.0 incluyen mejoras y cambios respecto a la versión TRACE V5.0 RC3. De entre todas las mejoras en este trabajo solo se han tenido en cuenta las que afectan al transitorio fruto de estudio de este trabajo, es decir, las que están relacionadas con la evaluación de los términos de transferencia de momento, the water packing logic, el modelo OFFTAKE, el modelo de flujo crítico y la determinación de la fracción de vacío.

3- DESCRIPCIÓN DEL TRANSITORIO

El experimento 2 comienza con la apertura de la válvula que simula la rotura. Como consecuencia de la pérdida de refrigerante por la rotura, la presión del sistema primario empieza a caer. Cuando la presión del primario desciende del valor fijado para la señal de scram se inicia el coastdown de las bombas del circuito primario, el trip de turbina y el scram del reactor, simulado mediante una curva de potencia.

Simultáneamente, en el sistema secundario se cierra la válvula principal de la línea de vapor (MSIV) y acaba la inyección del agua de alimentación principal (MFW). El transitorio

continúa con la señal de inyección de seguridad (SI) que se activa cuando la presión del sistema primario es menor del valor de presión fijado para dicha señal. Unos pocos segundos después, el sistema de inyección de alta presión (HPI) se activa en el lazo A (con presionador). El sistema de acumuladores (AIS) actúa cuando la presión primaria es menor de un determinado valor. La potencia del núcleo empieza a disminuir por la actuación del sistema de protección que dispone la instalación LSTF cuando la temperatura máxima de la superficie de la barra de combustible alcanza 958 K. Finalmente, cuando se alcanza la presión determinada actúa el sistema de inyección de baja presión (LPI) en el lazo A. El experimento 2 finaliza cuando las presiones de los sistemas primario y secundario se estabilizan y se cierra la válvula que simula la rotura

4- RESULTADOS

En esta sección se analizan algunos parámetros del modelo de transitorio. Los resultados se han normalizado al valor inicial del estado estacionario (NV) y al tiempo total del transitorio (500 s) (NT).

4.1- EFECTO DE LOS COEFICIENTES DE FRICCIÓN.

Con el fin de estudiar el efecto de los coeficientes de fricción se han desarrollado diferentes modelos variando dichos coeficientes (0, 10, 20, 50 y 100) en el sistema de inyección de los acumuladores (AIS). En todos los casos el tanque del acumulador se ha modelado mediante un componente PIPE con la opción ACC, la cual evita la salida de gas no condensable. Los resultados muestran que el coeficiente de fricción utilizado en el sistema de acumuladores es muy importante ya que puede afectar el comportamiento de algunos parámetros del transitorio como el nivel de líquido colapsado en el núcleo y, por tanto, afectar la máxima temperatura de la superficie de la vaina del combustible (PCT). La Figura 2 muestra la comparación entre las presiones de los sistemas primario y secundario tanto experimentales como simuladas.

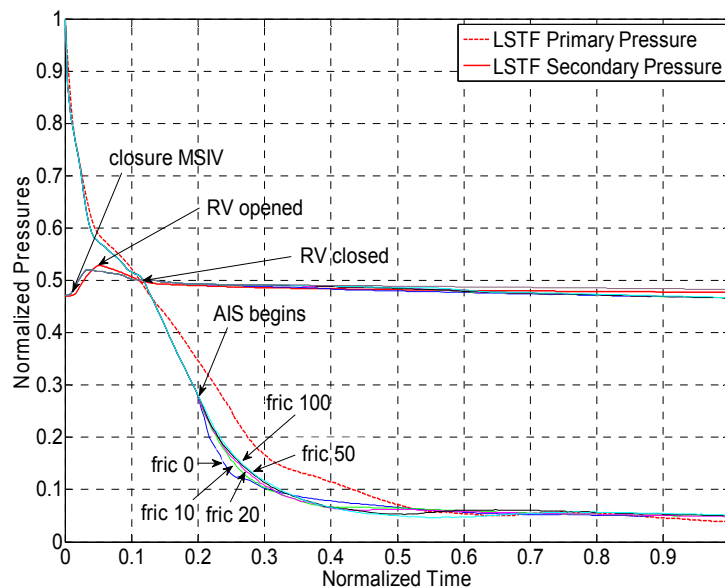


Figura 2: Presiones del sistema primario y secundario (Efecto de los coeficientes de fricción en el AIS).

Como se puede observar, debido al tamaño de la rotura se produce una rápida despresurización en el sistema primario. Después del cierre de las MSIVs la presión del circuito

secundario aumenta alcanzando su valor máximo, mientras que la presión del primario se mantiene temporalmente a 0,05 NT.

Debido a este incremento de la presión del secundario, las válvulas de seguridad de los generadores de vapor se abren hasta que la presión cae hasta un determinado valor. A 0,12 NT la presión del primario pasa a ser menor que la del secundario y a partir de este momento, los generadores de vapor dejan de servir como disipadores de calor. El sistema acumulador se activa cuando la presión del primario alcanza el valor fijado para tal fin y la despresurización empieza a ser efectiva ya que se produce la condensación de vapor causada por la inyección de refrigerante en las ramas frías.

Las principales diferencias entre la presión del primario simulada y experimental se observan cuando dicha presión es inferior a la del secundario (entre 0,12 y 0,5 NT). Durante este tiempo, la presión del primario simulada es inferior a la experimental, hecho que puede deberse a la gran cantidad de vapor que deja el sistema y a la alta pérdida relativa de entalpía producida durante este periodo. También se puede observar que la presión del primario no se ve afectada por la variación de los coeficientes de fricción en el AIS. Sin embargo, la presión del secundario se reproduce adecuadamente siendo la ligera pérdida de presión debida a las pérdidas de calor en los generadores de vapor.

En la Figura 3 se puede ver el caudal másico del AIS, el cual se activa en el lazo con presionador (lazo A) cuando la presión de la vasija es menor de un determinado valor. La entrada de agua fría en una de las ramas frías produce la condensación del vapor en el núcleo activo con lo que se incrementa su nivel colapsado de líquido. En la Figura 3 se puede observar que el coeficiente de fricción en el AIS tiene un importante efecto sobre el caudal inyectado. Es importante remarcar que reduciendo dicho coeficiente se consigue una mejor estimación del máximo del caudal másico inyectado. Sin embargo, el efecto de la activación del AIS en la PCT, mostrado en la Figura 4, pone de manifiesto que a mayores coeficientes de fricción la evolución de la PCT es más próxima a la experimental.

Estos resultados demuestran que es muy difícil conocer las condiciones y características exactas de la instalación y, por tanto, es necesario hacer un estudio de incertidumbres para delimitar el efecto del coeficiente de fricción sobre el caudal inyectado y la PCT.

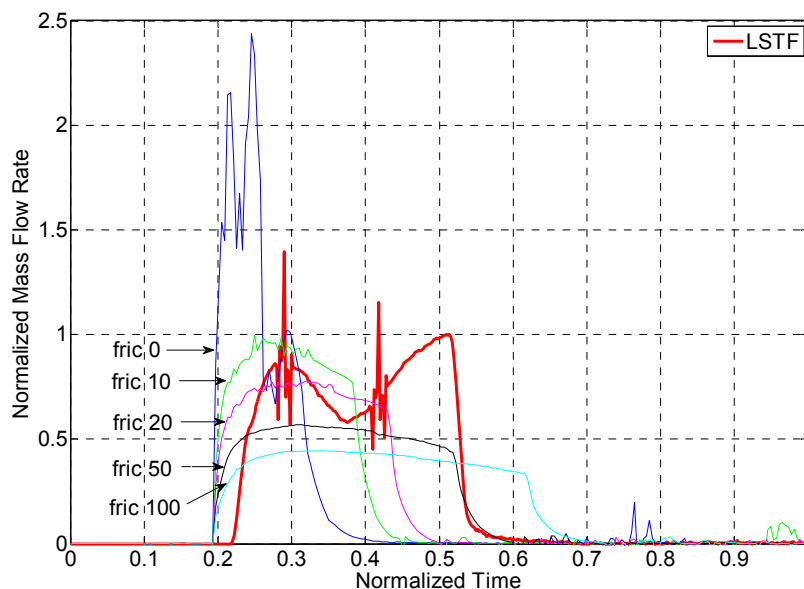


Figura 3: Caudal másico del acumulador inyectado en el lazo A (Efecto de los coeficientes de fricción en el AIS).

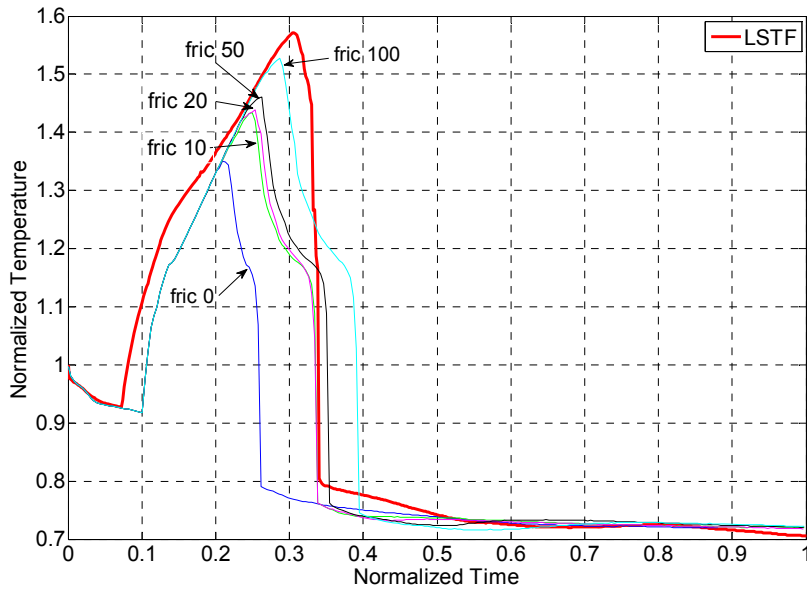


Figura 4: Máxima temperatura de vaina (Efecto de los coeficientes de fricción en el AIS).

4.2- ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE ROTURA

En esta sección se va a estudiar el efecto de variar el tamaño de la rotura (13,6%, 15,3%, 17%, 18,7% y 20,4% de la rama fría) en los resultados utilizando la versión de TRACE V5.0 patch 1. En la Figura 5 se muestran las presiones del primario y del secundario obtenidas en comparación con las mismas presiones obtenidas experimentalmente. Como se puede observar a mayor rotura más rápida es la despresurización del primario. Las principales diferencias se observan cuando la presión del primario pasa a estar por debajo de la del secundario.

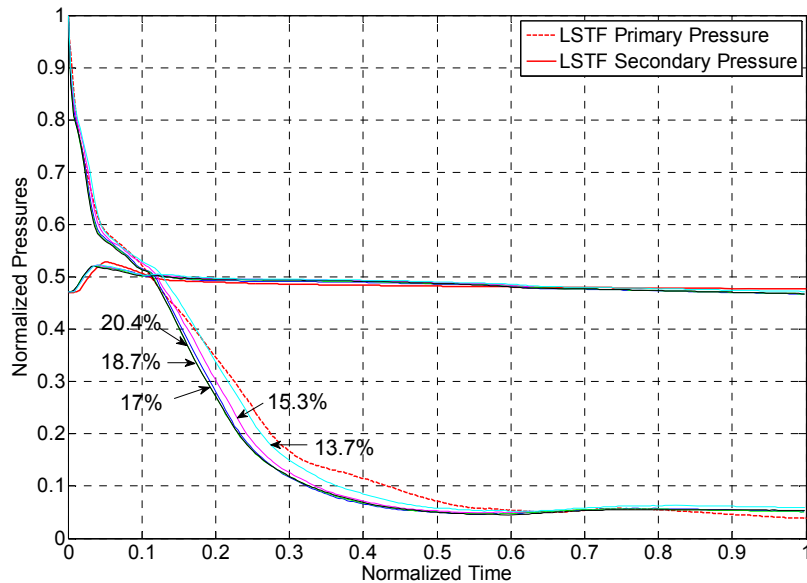


Figura 5: Presiones del sistema primario y secundario (Análisis del tamaño de rotura).

En la Figura 6, donde se muestra la evolución de la PCT, se observa que a mayor rotura menor es el máximo de temperatura alcanzado. Sin embargo, la rotura de mayor tamaño

produce una caída más rápida de temperatura puesto que, dicho tamaño produce una despresurización del sistema primario más rápida activando antes el AIS.

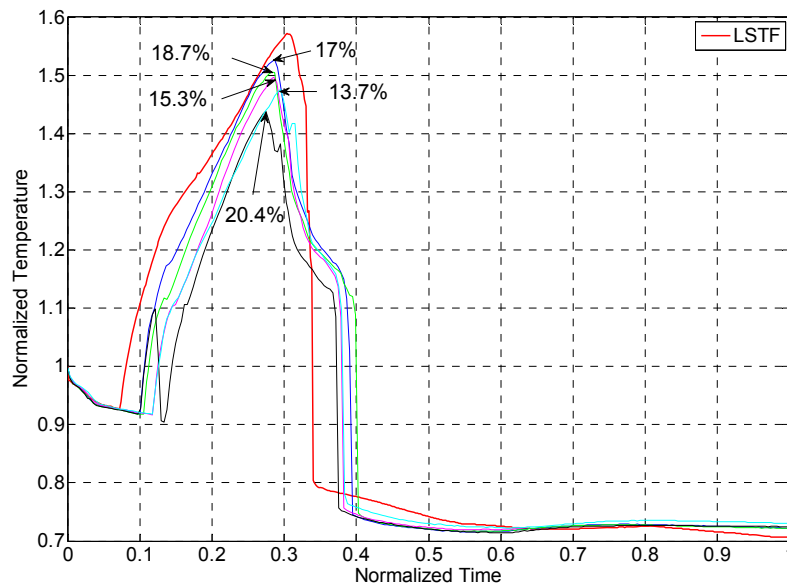


Figura 6: Temperatura de vaina (Análisis del tamaño de rotura).

4.3- COMPARACIÓN DE LAS VERSIONES DE TRACE5

La simulación se ha realizado con diferentes versiones de TRACE5: TRACE V5.0 Release Candidate (RC) 3, TRACE V5.0 y TRACE V5.0 patch 01. En la Figura 7 se muestran las presiones del primario y del secundario obtenidas en comparación con los datos experimentales. Utilizando la versión V5.0 patch 1 la presión del primario empieza a ser inferior a la experimental a 0,1 NT, momento en el cual la PCT empieza a aumentar hasta 0,5 NT que se vacía el acumulador, como se puede ver en la Figura 8. A partir de este momento, la versión V5.0 patch 1 simula una presión del primario más ajustada a la experimental que las versiones V5.0 y RC3. Estas versiones predicen una mayor presión del primario en comparación con la experimental desde 0,1 NT hasta 0,2 NT mientras que, en la parte final del transitorio predicen una presión del primario inferior a la experimental.

La rápida caída de presión del primario que se produce con la versión V5.0 patch 1 se debe a que la descarga de refrigerante simulada con dicha versión es mayor. Esto puede deberse a las modificaciones realizadas en esta versión en los modelos de OFFTAKE y de flujo crítico.

Respecto a la presión del secundario, se observa que todas las versiones de TRACE reproducen adecuadamente su evolución, siendo la subida de presión (de 0 a 0,1 NT) debida a la abertura de las válvulas de alivio de los generadores de vapor. A 0,1 NT dichas válvulas se cierran y la pérdida de presión pasa a deberse a pérdidas de calor en los generadores de vapor. En general, se puede decir que todas las versiones de TRACE reproducen de manera adecuada el comportamiento de ambas presiones.

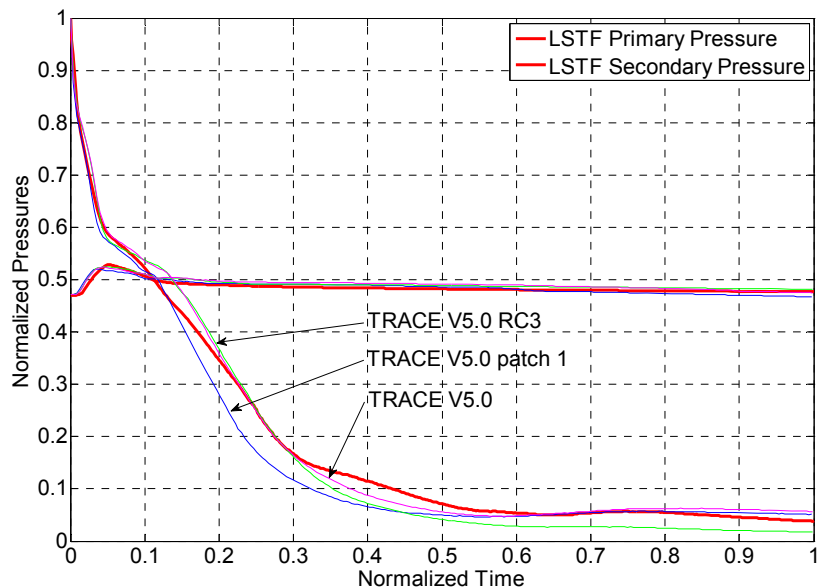


Figura 7: Presiones del sistema primario y secundario (Versiones TRACE5).

Todas las versiones de TRACE reproducen un incremento de la temperatura como se puede observar en la Figura 8, pero sólo la versión RC3 alcanza el valor de temperatura necesario para que actúe el sistema de protección de la instalación LSTF (a 958 K) y se reduzca la potencia del núcleo. El llenado del núcleo es mucho más lento y por tanto, la caída de temperatura se retrasa con respecto a la del experimento. En el caso de la versión V5.0 patch 1 la entrada del AIS produce un rápido descenso de la temperatura, la cual se ajusta más a la del experimento en comparación con el resto de las versiones. A la vista de estos resultados, se ha considerado que la versión de TRACE V5.0 patch 1 es la que ligeramente mejora la simulación de los resultados en comparación con las otras versiones estudiadas.

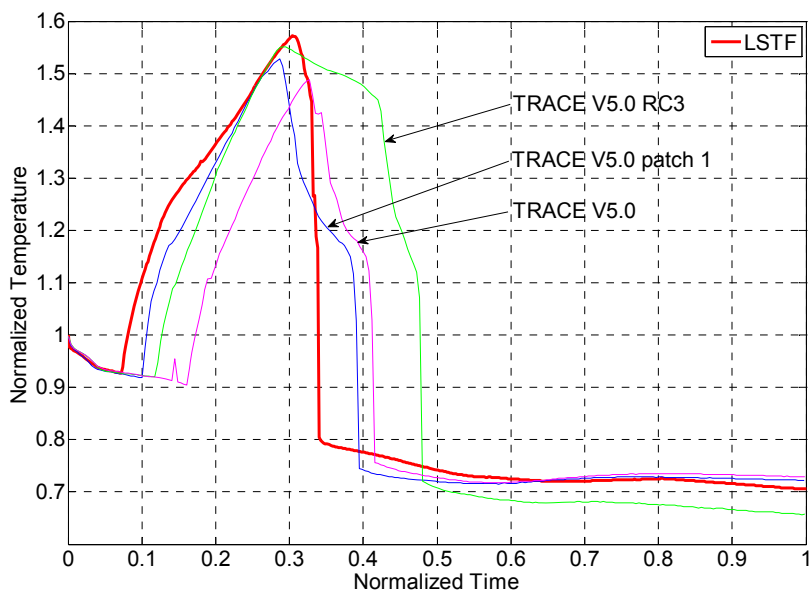


Figura 8: Temperatura de vaina (Versiones TRACE5).

4- CONCLUSIONES

Se ha realizado la simulación del experimento 2 dentro del Proyecto OECD/NEA ROSA-2 utilizando el programa termohidráulico TRACE5 con resultados satisfactorios. La simulación del AIS resulta muy importante en este transitorio. Diferentes modelos de TRACE5 se han estudiado modificando los coeficientes de fricción del AIS y se ha obtenido que a menor coeficiente de fricción mejor reproducción del máximo del caudal másico inyectado por el AIS. Sin embargo, a mayor coeficiente de fricción mejor estimación del máximo de la PCT y su evolución. Esto demuestra que es muy difícil conocer con precisión las condiciones y características exactas de la instalación LSTF, por lo que se hace necesario realizar un estudio de incertidumbres respecto al efecto de los coeficientes de fricción en el AIS. Del análisis del tamaño de la rotura se obtiene que para una mayor rotura el máximo de la PCT es menor debido a la rápida actuación del AIS. Tras el estudio de diferentes versiones del programa TRACE se concluye que la versión TRACE V5.0 patch 1 es la que mejor reproduce los resultados en comparación con las versiones anteriores RC3 y V5.0.

AGRADECIMIENTOS

En este trabajo aparecen los resultados que se obtuvieron en el Proyecto Internacional OECD/NEA ROSA-2. Los autores agradecen al "Management Board" del Proyecto ROSA su consentimiento a esta publicación, y al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) por el apoyo técnico y financiero en virtud del acuerdo STN/1388/05/748.

Además este trabajo también ha sido apoyado por la beca de Formación de Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación y Ciencia, referencia AP2009-2600.

REFERENCIAS

1. Thermohydraulic Safety Research Group, Nuclear Safety Research Center, *Quick-look Data Report of ROSA-2/LSTF Test 2 (Cold Leg Intermediate Break LOCA IB-CL-03 in JAEA)*, Japan Atomic Energy Agency, JAEA (2010).
2. The ROSA-V Group, *ROSA-V Large Scale Test Facility (LSTF) system description for the 3rd and 4th simulated fuel assemblies*, JAERI-Tech, Japan, (2003).
3. Division of Risk Assessment and Special Projects. Office of Nuclear Regulatory Research, TRACE V5.0. Theory manual. Field Equations, Solution Methods and Physical Models, Nuclear Regulatory Commission, U.S., 2007.
4. Division of Risk Assessment and Special Projects, Office of Nuclear Regulatory Research, *TRACE V5.0. User's manual. Volume 1: Input Specification*, Nuclear Regulatory Commission, U.S. (2007).
5. Nuclear Regulatory Commission and Applied Programming Technology, *Symbolic Nuclear Analysis Package (SNAP) User's Manual*, Nuclear Regulatory Commission, U.S. (2007).