

Simulación del experimento A3.1 en la instalación experimental ATLAS

Sánchez-Sáez, F.; Carlos, S.; Villanueva, J.F.; Martorell, S.
Empresa: Departamento de Ingeniería Química y Nuclear. Grupo MEDASEGI.
Universitat Politècnica de València
Dirección: Camí de Vera SN
Teléfono: 96 387 76 30
E-mail: frasansa@etsii.upv.es

Resumen – El trabajo que se presenta en esta ponencia forma parte del estudio que se está llevando a cabo en la UPV fruto del acuerdo específico de colaboración con el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) para la participación en los proyectos CAMP de USNRC, y PKL3 y ATLAS de NEA/OECD, y su aplicación a plantas españolas (CAMP-España). Se ha simulado el transitorio A 3.1 mediante el código termohidráulico Best Estimate TRACE en la instalación experimental ATLAS, que es una versión escalada de una central APR1400. El transitorio consiste en una pérdida total de agua de alimentación con fallos adicionales. En concreto, se produce el fallo parcial de la apertura de la PORV (al 50%) y el fallo parcial de las bombas de inyección de seguridad.

La progresión del transitorio consiste en que tras la pérdida del agua de alimentación se produce el secado de los generadores de vapor y posteriormente se produce el disparo de turbina y del reactor. Después del disparo de turbina, la presión del secundario crece hasta que es aliviada mediante las MSIV. Después, debido al secado de los generadores de vapor, la presión en el primario crece, hasta que es aliviada por la PORV del presionador. Una vez que se alcanza el punto de apertura de las PORV, de acuerdo con los procedimientos de emergencia del APR 1400, el operador debe realizar un feed and bleed, el cual se consigue manteniendo las PORV abiertas y con la inyección de seguridad. Por último, cuando la presión del primario decae del punto de tarado de los acumuladores, estos descargan parte de su inventario al primario y al cabo de un tiempo se alcanzan las condiciones de parada fría. Los principales eventos del transitorio se reproducen adecuadamente con TRACE.

1. INTRODUCCIÓN

Advanced Thermal-Hydraulic Test Loop for Accident Simulation (ATLAS) es una instalación experimental integral para reactores PWR avanzados que pertenece a KAERI. El diseño básico de ATLAS se completó en 2002 y desde 2007 se llevan a cabo experimentos dentro de diversos programas internacionales, como el programa CAMP. La instalación representa un reactor APR 1400 con factor de escala 1/2 en altura, 1/144 en área y 1/288 en volumen tal y como se muestra en la Figura 1 (Kang, K.H. et al., 2011).

En este trabajo se ha realizado la simulación del experimento 3 de la serie A, experimento A3.1: Pérdida Total de Agua de Alimentación (TLOFW) mediante el código termohidráulico TRACE (USNRC 2017).

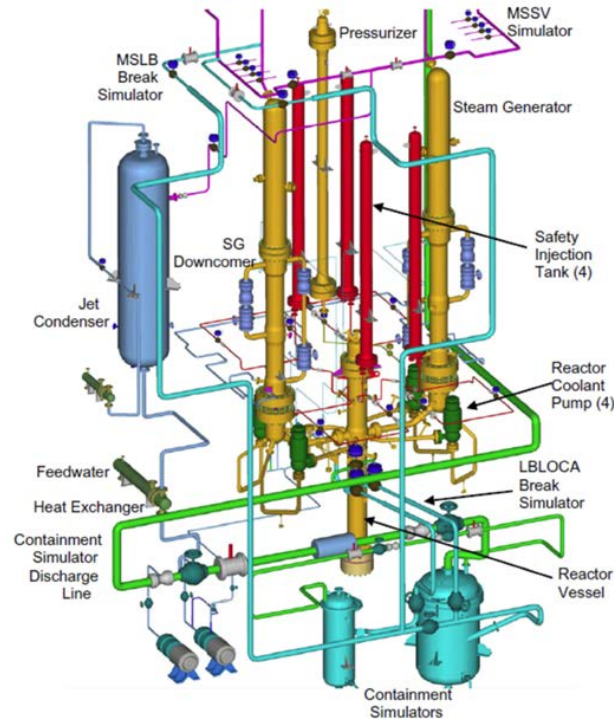


Figura 1. Distribución de los elementos de combustible gastado.

2. EL EXPERIMENTO A3.1

Este transitorio consiste en una pérdida total del agua de alimentación con fallos adicionales para simular uno de los accidentes incluido en los accidentes base de diseño combinado con múltiples fallos. Estos fallos son el fallo parcial de las bombas de inyección de seguridad (SIP, por sus siglas en inglés), donde sólo están disponibles las inyecciones en 2 de los 4 lazos, y el fallo parcial de una válvula de seguridad de alivio del presionador (PORV, por sus siglas en inglés), que sólo abre al 50% de su capacidad. El test A3.1 consta de dos fases temporales. La primera fase consiste en el secado de los generadores de vapor y la segunda fase es una operación de *feed and bleed* en el primario del reactor para realizar un enfriamiento del sistema de refrigeración del reactor (RCS, por sus siglas en inglés).

La primera fase comienza con la finalización del agua de alimentación principal y auxiliar en condiciones de plena potencia. Acto seguido, se produce el secado de los generadores de vapor debido a la pérdida de inventario a través de las válvulas de seguridad de vapor principales (MSSVs, por sus siglas en inglés). Después de producirse el secado de los generadores de vapor, tanto el nivel de agua en el presionador como la presión en el sistema primario aumentan continuamente debido a la pérdida del sumidero de calor, hasta que finalmente la PORV abre cuando se alcanza en el primario la presión de tarado.

La segunda fase comienza con la apertura sostenida de la PORV para realizar la operación de sangrado, que se produce un tiempo después de la primera vez que la PORV abre. Como la presión del primario se reduce hasta el tarado de actuación del SIP, se produce la inyección de agua de refrigeración de emergencia del núcleo por el SIP. Después de esto, el *feed* (SIP) and *bleed* (PORV) se mantiene hasta el fin del experimento.

Los principales parámetros termohidráulicos como las presiones de los diferentes sistemas, los niveles de agua colapsada y los caudales de los diferentes sistemas de seguridad han sido medidos y analizados. Se espera que los resultados de este experimento contribuyan a ampliar el conocimiento sobre los fenómenos físicos que se producen y proporcionen datos experimentales de efectos integrales útiles para la validación de códigos de análisis de seguridad para un transitorio TLOFW con múltiples fallos.

3. RESULTADOS

La pérdida del agua de alimentación principal provoca una disminución de nivel en el secundario de los generadores de vapor, por lo que cuando se llega a la señal de bajo nivel se produce la señal del *trip* del reactor, seguido del SCRAM y el *trip* de la turbina.

Como consecuencia de la pérdida y vaciado de los generadores de vapor, el primario aumenta su temperatura, lo cual lleva consigo un aumento de la presión del primario alcanzándose los límites de las PORV del presionador, y por tanto se produce su apertura. Al abrir las PORV se produce una pérdida de inventario por el presionador, lo cual permite disminuir la presión y la entrada del sistema de inyección de baja presión y, con posterioridad, el inicio de una inyección pasiva desde los tanques de inyección, que, a la larga, permitirá las condiciones para utilizar el sistema de refrigeración en condiciones de parada.

En la Figura 2 se muestra la presión en el primario y secundario del experimento (línea continua) y de TRACE (línea punteada). Se puede ver que la presión del primario simulada con TRACE cae más pronunciadamente que la experimental una vez que se ha producido el SCRAM. Posteriormente, se observa un adelantamiento en la primera apertura de la PORV. Después, se reproduce adecuadamente la despresurización hasta el tiempo de entrada de los acumuladores. A partir de ese instante de tiempo se observan diferencias entre la presión experimental y la obtenida en la simulación. La discrepancia se debe a la diferencia de caudal descargada por los acumuladores (ver Figura 8), en los que en el experimental se descarga más agua y, por lo tanto, la presión disminuye más.

En cuanto a la presión del secundario, se observa que las presiones obtenidas con TRACE reproducen bastante bien el comportamiento de las del caso experimental hasta la primera apertura de la PORV. A partir de ese momento, cuando la PORV del primario abre, se produce un enfriamiento del mismo, y a través de los GV, también del secundario lo que provoca un descenso de la presión. Este enfriamiento se reproduce adecuadamente, aunque en la simulación, la presión en el secundario obtenida es ligeramente superior a la experimental.

En la Figura 3 se muestra el nivel en el presionador. El nivel en el presionador simulado por TRACE reproduce la forma que se produce en el experimento, pero se está produciendo una predicción un tanto menor para todo el transitorio.

En la Figura 4 se muestra el nivel tanto en el *core* como en el *downcomer* de la vasija. El nivel en el *core* se reproduce correctamente, exceptuando la discrepancia que se produce debido al adelantamiento en la apertura de la PORV en la simulación. En cuanto al nivel en el *downcomer*, en la simulación es ligeramente inferior al experimental.

En la Figura 5 se muestra el nivel en el secundario de los generadores de vapor. El descenso en el nivel en el secundario de los generadores de vapor se reproduce correctamente en la simulación con TRACE.

En la Figura 6 se muestra la temperatura máxima de vaina. La temperatura máxima de vaina simulada reproduce la forma experimental adecuadamente hasta el momento en el que se produce la descarga de los acumuladores, y, como ya se ha comentado, en la simulación no se está introduciendo tanto caudal de agua como en el experimento.

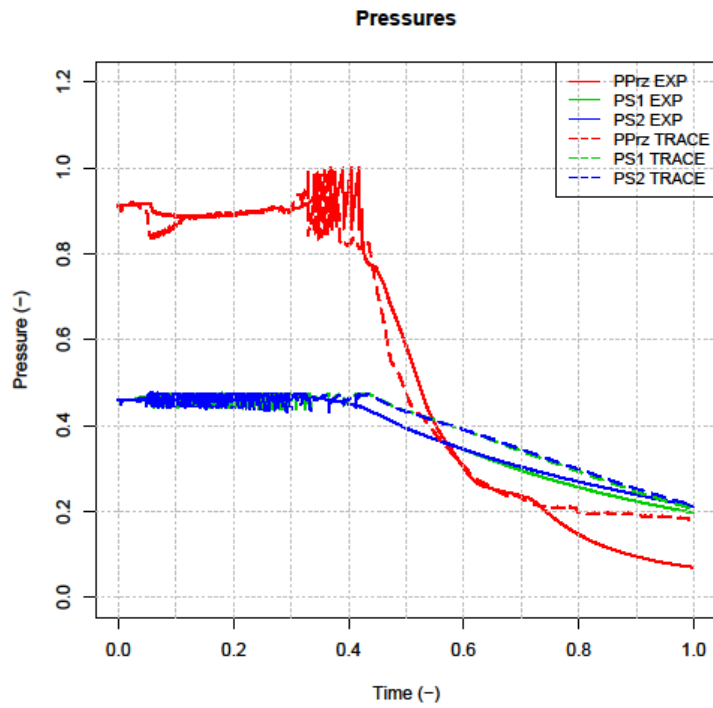


Figura 2. Presiones en el experimento A 3.1.

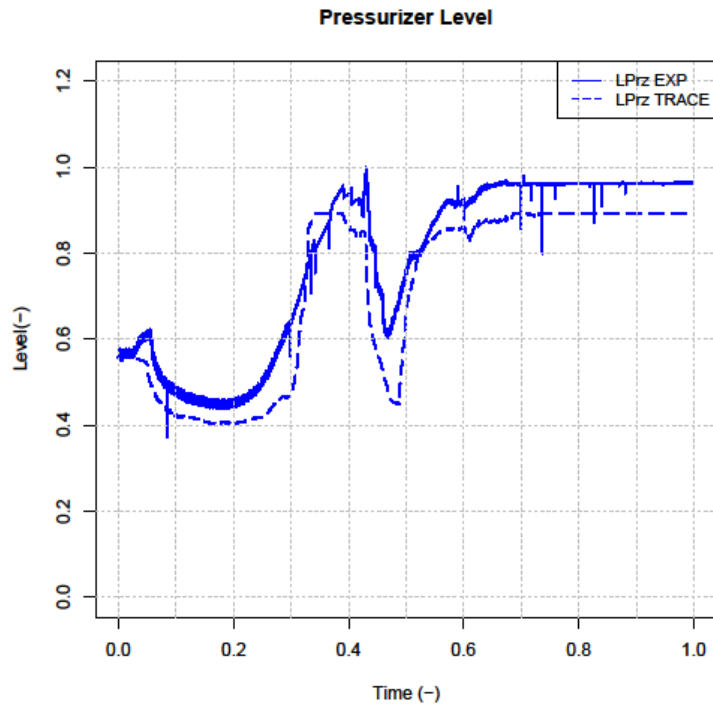


Figura 3. Nivel en el presionador en el experimento A 3.1.

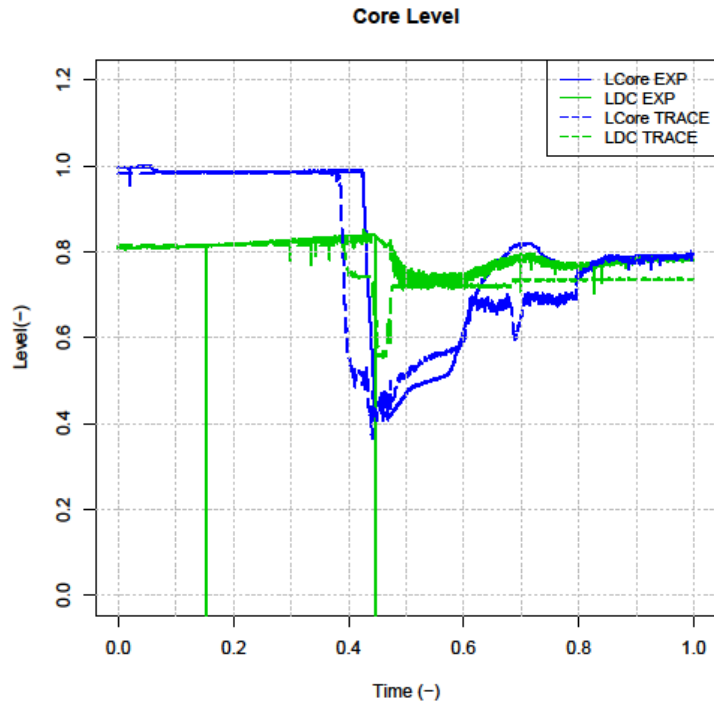


Figura 4. Niveles en la RPV en el experimento A 3.1.

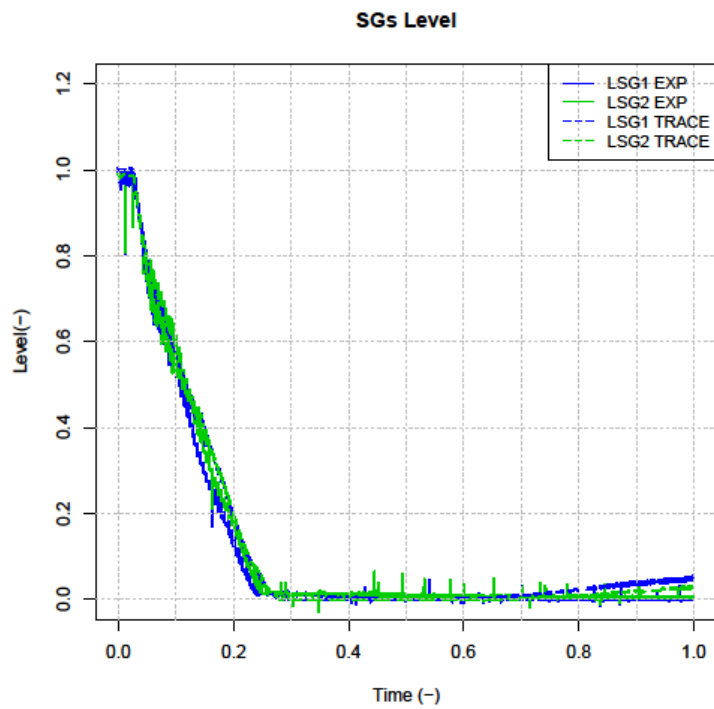


Figura 5. Niveles Secundario GV en el experimento A 3.1.

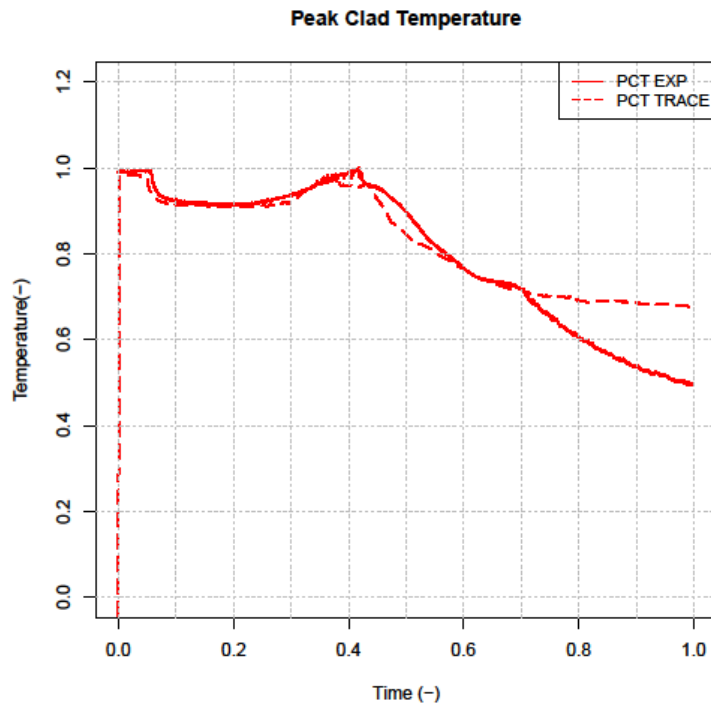


Figura 6. PCT en el experimento A 3.1.

En la Figura 7 se muestra el caudal descargado por el SIP. Se está reproduciendo adecuadamente el caudal inyectado por el sistema de seguridad activo. Se observa que la descarga es ligeramente asimétrica, ya que se descarga más por el SIP1 que por el SIP3.

En la Figura 8 se muestra la masa descargada por los SIT (acumuladores). La simulación de la descarga de los acumuladores no se logra simular correctamente. En el experimento la descarga se produce de forma más o menos constante mientras que en la simulación se descarga con retardo y en menor cantidad.

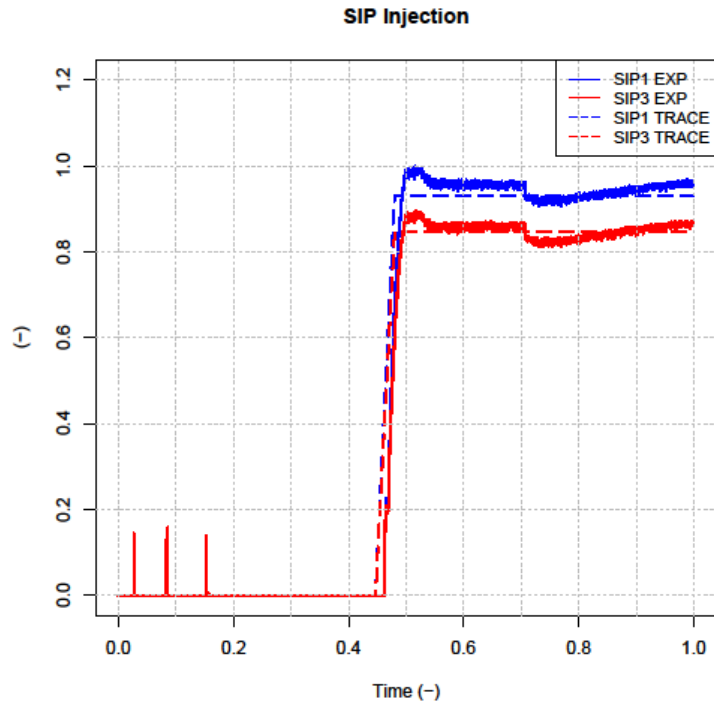


Figura 7. Caudal SIP en el experimento A 3.1.

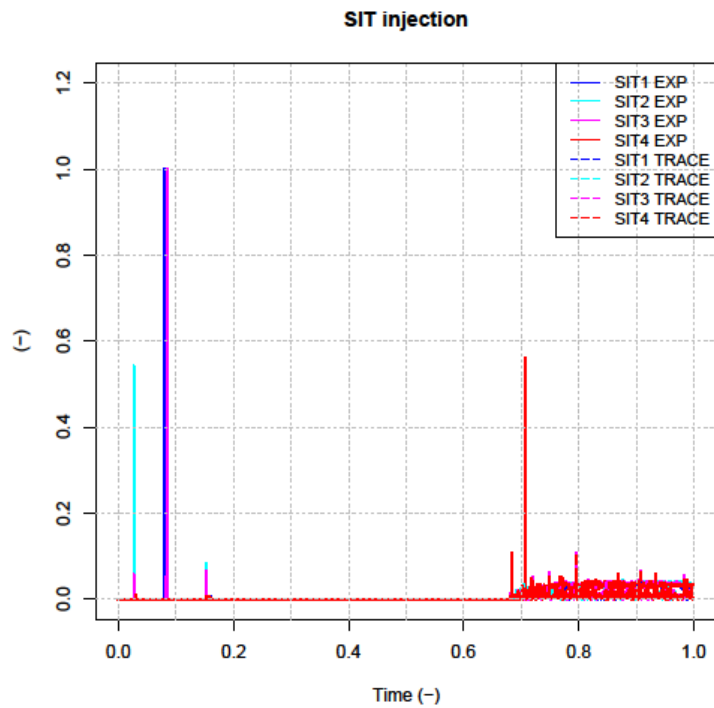


Figura 8. Caudal descargado SIT

4. CONCLUSIONES.

La simulación reproduce la fenomenología acaecida durante el transitorio y los tiempos en los que actúan los sistemas de seguridad se corresponden de una manera razonable con los del experimento, pero también hay discrepancias entre la simulación y el experimento que necesitan una mejor modelización como:

- La presión del primario, que debe ajustarse para evitar que se produzca el adelantamiento en la apertura de la PORV.
- Caudales de los sistemas de refrigeración de emergencia: existen discrepancias entre las descargas de los SIT (acumuladores), lo cual produce un desajuste entre muchas de las variables simuladas y las experimentales a partir de la actuación de este sistema.

Como mejora del modelo, se está trabajando en corregir la descarga de los acumuladores. Además, se están estudiando las causas que producen que la sobrepresión en el primario y, por tanto, la apertura de la PORV se adelante en la simulación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al equipo directivo de la instalación ATLAS por su esfuerzo a la hora de realizar los experimentos y distribuir los resultados obtenidos en los mismos.

REFERENCIAS.

- Kang, K.H. et al., 2011. Detailed Description Report of ATLAS Facility and Instrumentation, KAERI/TR-4316/2011, Korea Atomic Energy Research Institute.
- USNRC, 2017. TRACE v5.0 patch 5 user's manual volumes 1 and 2. USNRC, 2007. Acceptance criteria for emergency core cooling systems for light-water nuclear power reactors (10 CFR 50.46). U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.