

Aplicación a una planta comercial de los resultados de PKL en una rotura de la Línea de Vapor Principal

Jose F. Villanueva, Sofia Carlos, Francisco Sánchez, Sebastián Martorell
Dpto. Ingeniería Química y Nuclear.
Universitat Politècnica de València

1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la utilización de la energía nuclear en plantas comerciales, la seguridad ha sido uno de los principales campos de estudio en su desarrollo y aplicación. En este campo, las simulaciones de secuencias accidentales desempeñan un papel muy importante para mejorar el conocimiento sobre los fenómenos físicos que tienen lugar dentro del reactor durante un cierto transitorio y analizar la efectividad de los sistemas de emergencia para garantizar una situación de planta segura. Tales simulaciones se han venido realizando mediante códigos termohidráulicos *best estimate*, como RELAP 5, TRAC, CATHARE, ATHLET o TRACE. Entre estos códigos, RELAP 5 es uno de los más empleados.

Para la mejora de dichos códigos y de los modelos de centrales, las instalaciones experimentales han sido esenciales en su desarrollo. Así, los datos recogidos en los experimentos han sido y son de gran importancia en la evaluación de las capacidades de códigos termohidráulicos para reproducir los diferentes fenómenos físicos que pueden tener lugar dentro del reactor en situaciones accidentales. PKL es una instalación de prueba ubicada en Alemania que representa un diseño típico occidental de PWR. Varios programas experimentales se han realizado en instalaciones PKL. Así, programas PKL I y II, se centraron en el estudio de accidentes de grandes roturas con pérdidas de refrigerante (LBLOCAs) y accidentes de roturas pequeñas (SBLOCAs). El Programa III PKL comenzó con el objetivo de estudiar diferentes transitorios con y sin LOCAs [1]. Un ejemplo de un transitorio considerado en este último. Los resultados de las pruebas en la instalación PKL se han utilizado para la preparación y verificación de los procedimientos descritos en los manuales de operación, para responder a las preguntas expuestas por organismos reguladores y para realizar la evaluación de cálculos de código. En particular, en el marco del proyecto AEN/OCDE CSNI PKL-2 se ha llevado a cabo el experimento G3.1, con una rotura en la línea de vapor principal.

Dicha rotura conduce a aumentar la transferencia de calor del primario al secundario a través de los generadores de vapor y provoca un enfriamiento rápido en el lado primario. Dentro de los objetivos de este proyecto es la traslación de las lecciones aprendidas a plantas comerciales, además de estudiar las capacidades de los códigos actuales para simular los procesos transitorios. En la Universitat Politècnica de València estamos trabajando en el análisis de seguridad de un reactor Westinghouse, y existe un gran interés en la transferencia de los conocimientos de los experimentos en instalaciones PKL a este tipo de reactores, diferentes de la planta PKL de referencia. En este marco, el trabajo presentado analiza las diferencias que existen entre PKL y un reactor Westinghouse y las hipótesis formuladas para adaptar las condiciones del experimento a la tecnología de la planta comercial. Se ha realizado una simulación utilizando el código RELAP y se presenta el resultado de dicha simulación, que muestra que los fenómenos físicos más importantes presentados en el experimento de PKL-G3.1 se reproducen bien en un reactor de diseño Westinghouse.

2. Instalación Experimental PKL vs Planta diseño Westinghouse

La instalación experimental PKL simula el comportamiento de un reactor de agua a presión (PWR) de diseño occidental con una potencia nominal de 1300 MWe, y se utiliza para la investigación del comportamiento termohidráulico de este tipo de plantas bajo condiciones de accidente [1].

La instalación simula completamente el primario, con 4 lazos distribuidos simétricamente alrededor de la vasija, y las partes más importantes del secundario del reactor con una escala de 1:145 en volumen y potencia, mientras que la longitud de los volúmenes corresponde con las dimensiones reales de la planta. La figura 1 muestra un esquema de la instalación experimental PKL. Para esta instalación se ha tomado como referencia una central clase KONVOY (Siemens/KWU).

Además, esta instalación también dispone de los sistemas operacionales y de seguridad tanto en el primario como en el secundario. Entre los sistemas de los que dispone la instalación PKL se encuentran cuatro inyecciones de seguridad a alta y baja presión, independientes para cada lazo, el sistema de extracción del calor residual, 8 acumuladores dispuestos tanto en las ramas calientes como en las frías de los lazos del primario, a la entrada y salida de la vasija, el sistema de control de la presión en el presionador, y el sistema de control de volumen. Todo esto hace que con esta instalación se puedan simular un amplio espectro de escenarios accidentales.

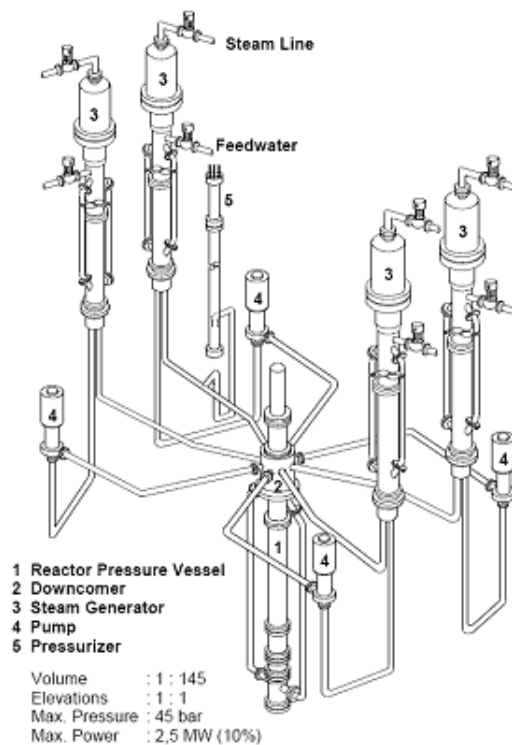


Figura 1: Instalación Experimental PKL

La instalación de referencia tomada es una PWR de diseño Westinghouse de 3 lazos y con una potencia nominal de 2900 Mwt.

En la Tabla 1 se muestran las principales diferencias geométricas respecto una instalación y otra.

Tabla 1: Principales características de las instalaciones

	<i>PKL</i>	<i>KONVOY</i>	<i>Westinghouse Nuclear Power Plant</i>
Power 100% (kW)	250000	3625000	2940000
Number of loops	4	4	3
PRIMARY			
Pressure (bars)	42	42	42
Temperature (°C) (core exit)	246	246	246
Loop Mass Flow (kg/s)	34	4930	5531
SECONDARY			
Pressure (bars)	35	35	35
Temperature Riser (°C)	240	240	240

Como se puede apreciar las principales diferencias estriban en la potencia nominal de trabajo y en el volumen total, existiendo una relación en ambos casos de 1:145 con la instalación de referencia y esta a su vez con una relación 0.811 con respecto a una Westinghouse típica, manteniendo una relación 1 a 1 respecto a presiones y alturas.

En la obtención de las condiciones iniciales para la simulación del experimento en la planta comercial se ha tenido en cuenta dichas diferencias y a su vez la diferencia en el volumen debido al número de lazos diferente, particularmente en el caudal inicial por cada uno de los lazos y el inyectado posteriormente por el sistema de inyección a alta presión. El resto de características se ha ajustado según el funcionamiento normal de la instalación nuclear.

En la Tabla 2 se muestran las características particulares para el transitorio simulado en la planta comercial.

Tabla 2: Características particulares

	<i>PKL</i>	<i>Westinghouse Nuclear Power Plant</i>
Number of loops	4	3
Loop Mass Flow (kg/s)	34	5531
0.1 A break (m²)	0.00066	0.07767
0.8 %Power (kW)	110	12935.45
HPSI	1-4	1-2
HPSI Mass Flow (kg/s)	0.20	Normal Operation

3. Descripción del transitorio

El principal objetivo del test G3.1 es la evaluación de los resultados termohidráulicos en cuanto a la evacuación del calor a través de la rotura de la línea de vapor principal y a la transferencia de calor entre el primario y el secundario en el lazo afectado y en los intactos.

El experimento consiste en una ruptura en la línea de vapor principal (MSLB), en la conexión con uno de los generadores de vapor. Esto lleva a aumentar la transferencia de calor del primario hacia el secundario a través del generador de vapor afectado y provoca un enfriamiento rápido transitorio en el lado primario. Después de eso, se activa la inyección del sistema de inyección de alta presión (HPIS), lo que produce un aumento en la presión principal. La presión se eleva hasta el punto de ajuste de las válvulas de seguridad, cuando las válvulas se abren, se pierde vapor y la presión disminuye. Se pueden observar dos fases. La primera de ellas comienza con la ruptura hasta que el secundario de dicho generador de vapor se encuentra prácticamente vacío. La segunda fase comienza con la inyección de HPIS hasta el final del transitorio.

Las condiciones iniciales para el test G3.1 fueron ajustadas durante la fase preparatoria previa al comienzo del test. La fase preparatoria del test comienza con el llenado completo del primario y del secundario, seguida por el calentamiento de ambos bucles. Al comienzo del test, la presión del sistema de refrigeración del reactor es de 42 bar, la potencia del núcleo tiene un valor aproximadamente del 0,8 % de la potencia residual. La salida del núcleo presenta un subenfriamiento de unos 7 K. Los generadores de vapor están llenos de agua y la presión del bucle secundario es de, aproximadamente, 35 bar. Esta situación previa al comienzo del test no corresponde a un estado estacionario, lo que produce un lento y constante incremento de temperatura en el primario y en el secundario antes del comienzo del transitorio. Durante esta fase, todos los generadores de vapor están aislados del agua de alimentación y de la línea de vapor principal.

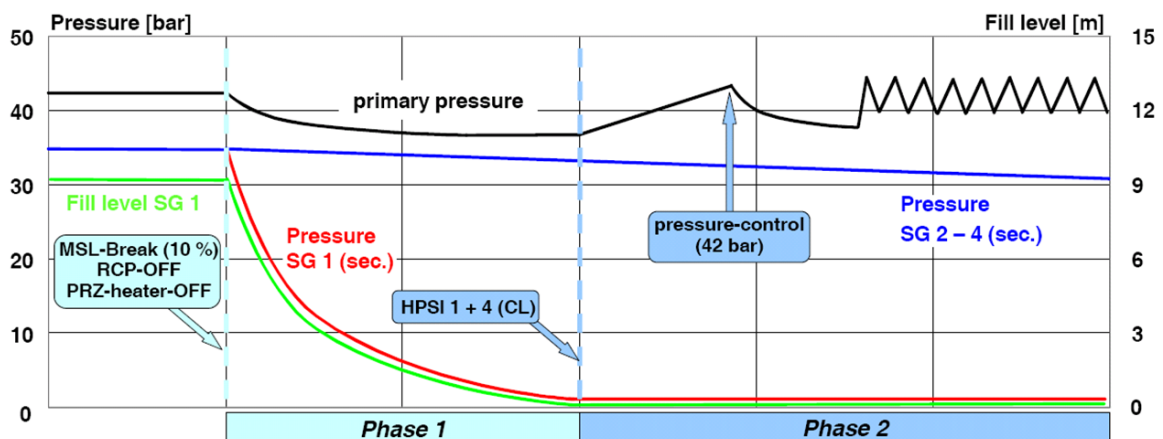


Figura 2: Evolución del transitorio

4. Resultados

A continuación se muestran los principales resultados referentes a la fenomenología que acontece en el experimento G3.1.

En primer lugar en las Figuras 3 y 4 se compara la despresurización y vacío del generador de vapor afectado en los instantes posteriores a la rotura, así como como afecta a la presión en el primario y el nivel en el presionador. Se puede apreciar que la aplicación a planta la despresurización es más intensa lo que lleva a una mayor disminución en los niveles tanto en el secundario como en el primario durante la primera fase del transitorio.

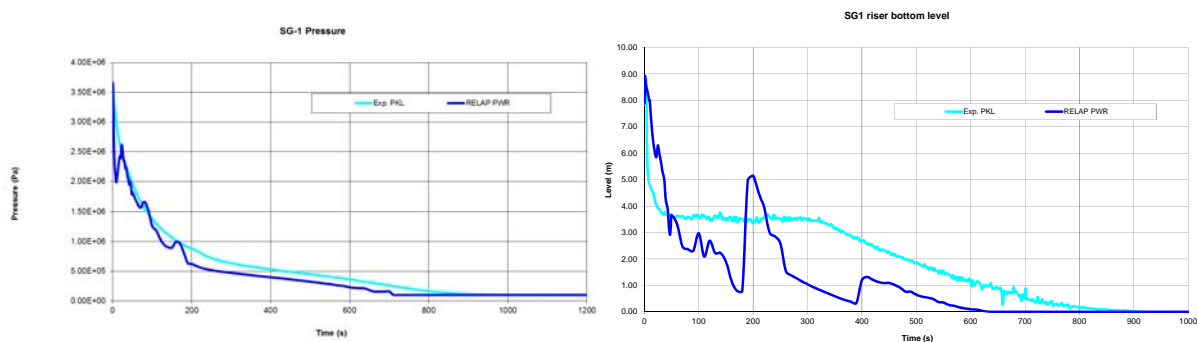


Figura 3: Evolución Presión y Nivel Secundario Generador de Vapor afectado

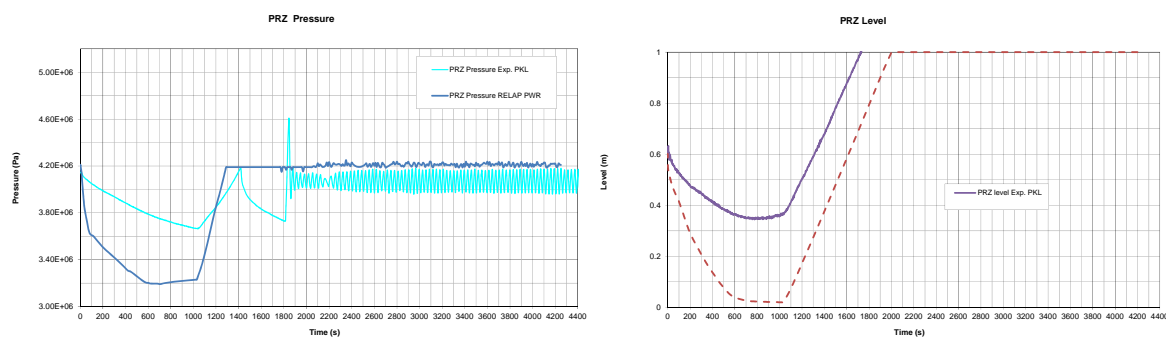


Figura 4: Evolución de la Presión en el Primario y Nivel en el Presionador

Esta mayor despresurización provoca un mayor enfriamiento del primario y que las diferencias de temperatura entre la entrada y a la salida del generador de vapor afectado sean mayores así como las diferencias a la entrada a la vasija tal y como se puede apreciar en la Figura 5 durante la primera parte del transitorio.

Una vez vacío el generador de vapor afectado, se inicia un llenado del primario mediante el sistema de inyección de alta presión que mantiene a la planta en condiciones de temperatura estables tal y como se aprecia en la Figura 6, aunque en el caso de aplicación a temperatura menores, en parte a la despresurización inicial y en parte a la configuración de las bombas de inyección que para el caso de la planta comercial inyectan mayor volumen de agua que el correspondiente por escalado volumétrico que le correspondería según el experimento de PKL.

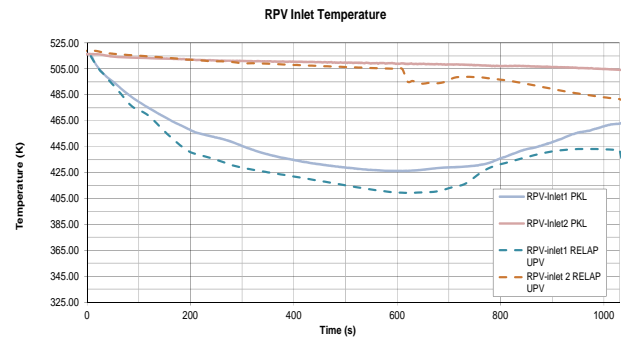
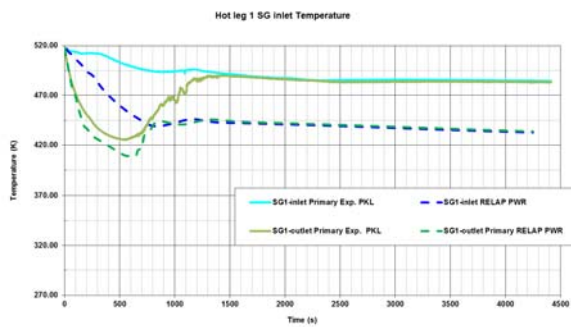


Figura 5: Temperatura Entrada-Salida del Generador de Vapor afectado y Entrada Vasija

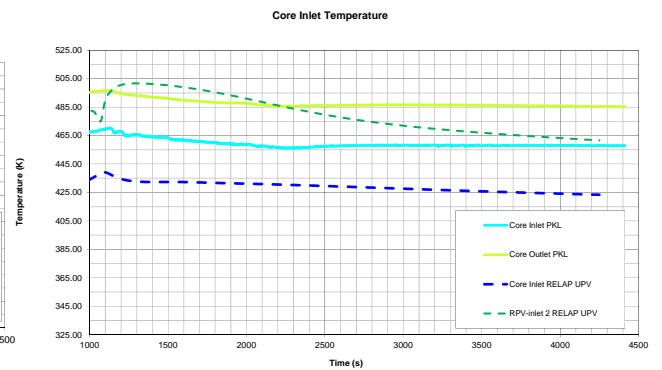
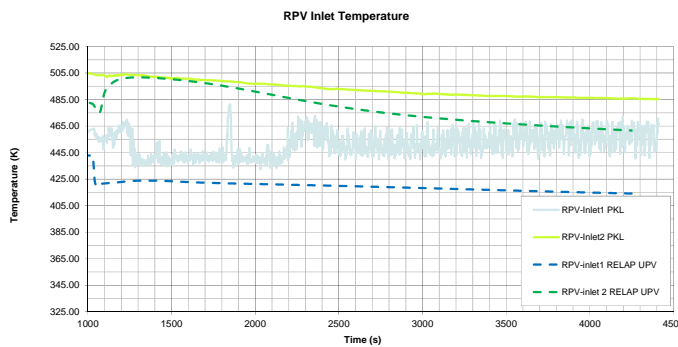


Figura 6: Temperatura entrada vasija y núcleo

Reseñar también que las inyecciones son efectivas y no existe una recirculación hacia los generadores de vapor inyectando todo el flujo directamente a la vasija con el beneficio subsiguiente observado en el experimento.

Una vez más las temperaturas de estabilización (Figura 7) son menores por los motivos apuntados anteriormente.

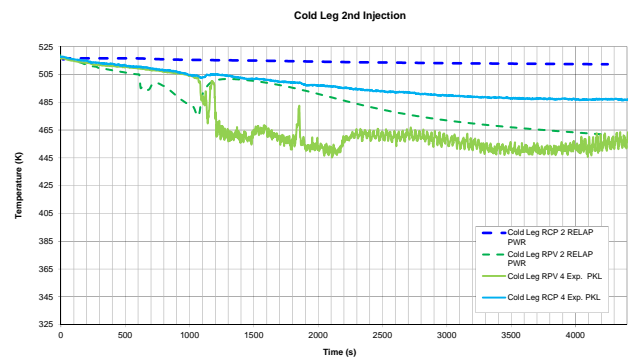
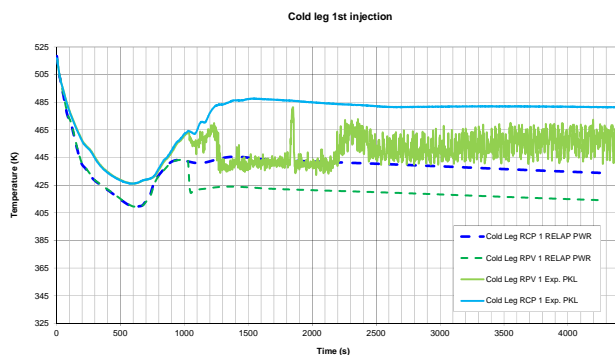
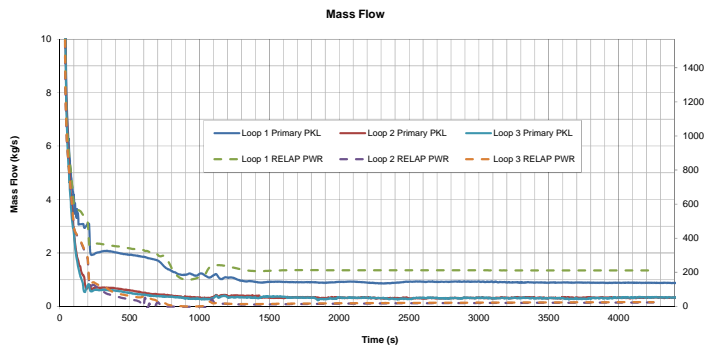


Figura 7: Temperatura antes y después de la inyección

Finalmente, en la Figura 8 se muestra la evolución de los caudales en los distintos lazos, en especial en el lazo afectado por la rotura.



Se muestra que persiste la diferencias con el lazo afectado por la rotura incluso después de la inyección, y a que los valores de estabilización son bastante próximos en términos de escalado, por lo que la relación volumétrica inicial parece mantenerse a lo largo del transitorio.

Figura 8: Caudal lazos primario

5. Conclusiones

En general parece que los datos experimentales obtenidos en lo referente a la transferencia de calor y relación de masas en grandes términos se pueden aplicar a una central, gracias en parte a que la relación de presiones y alturas se mantiene en un escalado 1:1.

Las dimensiones y las características de la instalación PKI en relación a su semejante real KONVOI PWR son bastante similares, en lo referente a pérdidas de calor, etc., lo que ayuda a que los resultados sean bastante aproximados.

Pese a las diferencias de escalado en relación a la potencia y volumen total, los resultados presentan un comportamiento semejante, mostrándose la misma fenomenología presente en el experimento, desarrollando las mayores diferencias en cuanto a la estabilización a temperaturas inferiores por la mayor despresurización inicial.

Los experimentos PKL muestran su importancia y validez para ser tenidos en cuenta y aplicados al estudio de dichos accidente en centrales convencionales.

Agradecimientos

Este estudio es parte del trabajo desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia dentro del proyecto de la OCDE, en el que los autores han participado bajo el liderazgo del Consejo de Seguridad Nuclear. Los autores queremos agradecer a los organizadores del programa PKL III, especialmente a AREVA, por la información suministrada.