



Alain CARDOSO CABEZON es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid (1976). Ingresó en Tecnatom, el mismo año, en la Sección de reactores de agua en ebullición (BWR), impartiendo cursos de tecnología nuclear y de simulador a diversas centrales nucleares españolas y extranjeras (Suiza y México). Ha sido coordinador de la Preparación de Licencia de los operadores y jefes de turno de CN Cofrentes. Ha colaborado con las centrales nucleares españolas BWR, en la redacción de los procedimientos de operación de emergencia, y tomó parte activa en la primera revisión de la sala de control de CN Valdecaballeros. En 1984 fue asesor técnico del CSN para las pruebas nucleares y la puesta en marcha de CN Cofrentes. Actualmente desempeña el cargo de Jefe de Sección de Adiestramiento del Departamento de Formación de Tecnatom, S. A.

METODOLOGIA DE VALIDACION DE SIMULADORES DE ADIESTRAMIENTO

CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo de este documento es desarrollar la metodología de validación que se pretende aplicar para la cualificación de los modelos avanzados de los simuladores PWR y BWR de Tecnatom, S. A., teniendo en cuenta las perspectivas de entrenamiento.

Básicamente, la metodología consiste en ejecutar varios transitorios en el simulador, con todos los modelos interaccionando con el modelo a validar, y comparar los resultados (evolución de variables preseleccionadas) con la respuesta de un código de ingeniería en el que se ejecutarían los mismos transitorios, tomando las precauciones necesarias para reproducir en el código de ingeniería las mismas condiciones iniciales, de contorno, de determinación de parámetros y acciones del operador que se verifiquen en el simulador.

La metodología desarrolla los objetivos de cualificación y los detalles necesarios para preparar el simulador, el código de ingeniería, ejecutar un transitorio determinado, comparar el simulador con el código y evaluar los resultados.

Dicha metodología tiene como hipótesis fundamental la de asumir que los modelos implementados en el simulador y objeto de la validación son «modelos físicos», es decir, que cumplen las leyes físicas de la naturaleza.

Se establece también que el código de ingeniería que se utilice como «patrón» debe ser validado previamente, bien con otro código, bien con datos de la central de referencia obtenidos durante pruebas. En el caso de Tecnatom se utilizará el código RETRAN 02 MOD 002 nodalizados para CN Cofrentes y CN Almaraz para los simuladores BWR y PWR respectivamente, y validados contra los datos de planta disponibles, aunque no se descarta, por el momento, la utilización de otros códigos de ingeniería.

Por otro lado, hay que tener presente en todo el proceso de validación que el simulador es una herramienta de entrenamiento y no de ingeniería. Con esta ob-

servación se quiere hacer hincapié en que las diferencias que pueden detectarse entre el modelo del simulador y el código de referencia se tendrían en cuenta, sólo si afectan negativamente al juicio del operador en el análisis de las variables observables en sala de control, directa o indirectamente.

La metodología que se desarrolla en este documento sigue una estructura secuencial, por lo que es imprescindible terminar una etapa antes de seguir con la siguiente. No obstante, hay determinados pasos de la metodología que *inicialmente* pueden considerarse superfluos, sobre todo los relacionados con la cuantificación de las discrepancias, ya que antes de desarrollar y aplicar dichos pasos hay que hacer una comparación cualitativa entre el modelo del simulador y el código de referencia.

SOMERA DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA

INTRODUCCION

La metodología se divide, principalmente, en dos fases. La primera tiene como objetivo «traducir» las necesidades y perspectivas de entrenamiento y el juicio ingenieril en requisitos cuantificables de comportamiento de los modelos del simulador, que son vitales para las acciones y decisiones del operador. Es una fase de gabinete y no requiere, si se dispone de toda la información necesaria, la ejecución de los transitorios en el simulador ni en el código de referencia.

La segunda fase consiste, esencialmente, en realizar una evaluación eficiente del comportamiento del simulador frente al código de referencia utilizando los criterios establecidos en la fase anterior. Es el momento de ejecutar los transitorios, tanto en el simulador como en el código de referencia elegido.

FASE I: PREPARACION GENERAL

Consta de cuatro etapas bien diferenciadas que se describen a continuación.

Determinación del alcance de los modelos a validar

Es necesario recordar, en este momento,

que el alcance de un código de ingeniería no puede duplicar el de un simulador de entrenamiento. Consecuentemente, es imprescindible definir los componentes principales del modelo a validar para configurar adecuadamente el código de ingeniería. Por otro lado, es conveniente recalcar que el objetivo principal de la validación es cualificar la parte dinámica de los modelos y no la parte de la lógica, pues ésta es fácilmente comprobable con los planos de cableado y documentos específicos de puntos de ajustes de la central.

Determinación de los transitorios de interés

En esta etapa se van a definir para cada componente y cada modelo, los «estados dinámicos» en los cuales pueden encontrarse dichos componentes. Se entiende por estado o «modo dinámico» una característica de un componente que el operador debe ser capaz de observar y analizar. Para realizar esa definición es imprescindible conocer los fenómenos físicos modelados en el modelo del simulador. Posteriormente, se definirán unos transitorios que sean «capaces» de provocar una excursión hacia esos modos dinámicos con la intención de desafiar el modelo del simulador y analizar su comportamiento.

Finalmente, se selecciona el conjunto mínimo de transitorios que activen todos los modos dinámicos de todos los componentes del modelo a validar (transitorios seleccionados).

Determinación de las características de las variables críticas

En esta etapa se pretende, para cada transitorio seleccionado, primero identificar las variables más importantes o críticas asociadas al transitorio y en segundo lugar las características fundamentales de dichas variables. Se entiende por característica fundamental de una variable el comportamiento particular de la misma que sirve al operador para tomar

MATRIZ SELECCION TRANSITORIOS BWR																						
BOMBAS DE RECIRCULACION DEL REACTOR										REACTOR												
TRANSITORIOS	MODOS DINAMICOS	Cavitación Bifásica	Disp. y Coast-down	Rotura Eje Bomba	Caudal Inverso Bomba	Transf. Bajas Velocidad	Trans. porte Incondensables	Arranque Bomba		Circulación Natural	Pérdida Circulación Natural	CCFL en Plenum Superior	Descub. Toberas Bombas Chorro	Flujo Inver. Bombas Chorro	Reacción Metal Agua	DNBR <1,0	Refrigeración Núcleo por Vapor	Liber. Prod. de fisión	Remoción del núcleo	Distorsión en la Distrib. Ø	Inestabilidad Neutrón Ø	Rot. no Aislable MSL o SORV
1. DISPARO TURBINA PRINCIPAL			X		X					X		X										
2. CIERRE MSL V'S ATWS			X							X	X	X	X		X?		X?		X?	X	X	
3. ROTURA EJE BOMBA RECIRCULACION				X	X	X									X						X	
4. PERDIDA AGUA ALIMENT. + FALLO HPCS + RCIC	X?	X				X				X	X		X		X	X	X?	X?	X?			
5. LOCA PEQUEÑO DE RECIRCULACION 92.9 cm ² + FALLO HPCS + RCIC + AA	X	X			X?	X				X	X	X	X		X?		X?		X	X		
6. LOCA PEQUEÑO RECIRCULACION DE 92.9 CON 1 LPCI + FALLO ADS	X	X			X?	X	X			X	X		X		X	X	X?	X	X	X	X	
7. ROTURA MSL 92.9cm ² CON 1 LPCI Y FALLO ADS	X	X				X	X			X	X		X		X?		X		X			X
8. AISLAMIENTO SIN ROTURA CON FALLO ADS Y SOLO LOS ECCS DE BP	X	X				X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	X			
9. DISPARO Y REARRANQUE DE UNA BOMBA DE RECIRCULACION			X					X							X					X	X?	

acciones, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la central.

En esta etapa y en la siguiente es cuando realmente se aplican las perspectivas del entrenamiento, donde se pretende penalizar fuertemente aquellas variables que por su comportamiento inadecuado confunden o retrasan al operador en sus decisiones y/o acciones para un transitorio determinado.

En consecuencia, para realizar esa etapa, es conveniente disponer de la mayor información posible respecto a la evolución de los transitorios con objeto de minimizar el grado de subjetividad que le es propio a esta actividad.

Cuantificación de las características de las variables críticas

Finalmente, la última tarea consiste en cuantificar, desde el punto de vista del entrenamiento, la importancia relativa de las características de las variables. Se aplicará a cada variable el llamado «filtro de sala de control» (rango del instrumento, precisión de la escala...) y los «crite-

rios de la validación» que se desarrollen para enfatizar las características más importantes de las variables, esto es, tendencia o pendiente, valor medio y tiempo que media para alcanzar un determinado punto de ajuste.

Se establecerá también una escala para cuantificar las desviaciones desde el punto de vista de entrenamiento, es decir, las desviaciones que serán penalizadas y aquellas que podrán ser toleradas.

FASE II: EVALUACION DE LOS MODELOS AVANZADOS

Consta de seis etapas que se describen a continuación.

Protocolo del simulador

En esta etapa se especificarán los requisitos del simulador para ejecutar cada uno de los transitorios seleccionados. En otras palabras, se detallarán las condiciones iniciales, las malfunciones a introducir y en qué momento, las acciones del operador si las hubiese, la duración del transitorio, etc.

Esquema de la metodología de validación



MATRIZ SELECCION TRANSITORIOS BWR

SISTEMA DE REFRIGERANTE DEL REACTOR																	TUBERIAS DEL REFRIGERANTE DEL REACTOR						
TRANSITORIOS	MODOS DINAMICOS	Apertura SRV's en alivio	Apertura SRV's en seguridad	Alta Presión Reactor	Despresurización Reactor	Caudal 20 SRV	Bajo nivel RPV (L-1)	Alto nivel RPV	Sólido RPV	Opera. Desec. Bombas Recir.	Inyección HPCS/ RCIC	Inyección LPCI/ LPCI	Inyección SBLC	Steam Carr Under	Caudal Inver. Lazo Recirculación	Arrastre Humed. Vapor principal	Transporte Incondensables	Actuación ADS	Caudal Bifásico por la Rotura	Rotura y Caudal Inverso	Caudal Inverso	Transporte Incondensables	
1. DISPARO TURBINA PRINCIPAL		X		X							X												
2. CIERRE MSIV's Y ATWS		X	X?	X			X				X		X										
3. ROTURA EJE BOMBA RECIRCULACION		X		X				X		X	X				X							X?	
4. PERDIDA AGUA ALIMENT. + - FALLO HPCS + RCIC		X		X	X	X	X				X	X		X?		X?	X	X		X?			
5. LOCA PEQUEÑO DE RECIRCULACION 92.9 cm ² + FALLO HPCS + RCIC + AA		X?		X?	X	X	X			X		X			X?	X?	X	X		X	X	X	X
6. LOCA PEQUEÑO DE 92.9 cm ² CON 1 LPCI Y FALLO ADS		X		X	X		X					X			X?		X			X	X	X	X
7. ROTURA MSL 92.9 cm ² CON 1 LPCI Y FALLO ADS					X		X					X					X			X	X	X	X
8. AISLAMIENTO SIN ROTURA CON FALLO ADS Y SOLO LOS SISTEMAS DE BP		X	X?	X	X	X	X	X	X			X				X	X						X
9. DISPARO Y REARRANQUE DE UNA BOMBA DE RECIRCULACION										X			X										

Protocolo del código de referencia

Esta etapa es quizá la más laboriosa y delicada de toda la metodología, pues de ella depende que la evaluación de los resultados del modelo del simulador sea consistente, eliminando todos los posibles factores de confusión. Dependiendo de los datos disponibles del simulador es posible, además, que requiera previamente la ejecución del transitorio en el simulador.

Esta etapa puede dividirse en cuatro subetapas o actividades

• CONFIGURACION DEL CODIGO DE REFERENCIA

Al ser, en general, los códigos de ingeniería semi-modulares, en esta actividad se puede realizar, si se quiere, una simplificación eliminando los modelos que no van a interactuar con el modelo a validar o bien incluso interaccionando con él, eliminarlos y establecer unas condiciones de contorno adecuadas (por ejemplo, los sistemas de emergencia si el modelo a validar es el primario).

• DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DEL CODIGO DE REFERENCIA

La determinación de los parámetros del código de referencia consiste, básicamente, en introducir en el código los mismos parámetros que se utilizan en el modelo del simulador o, en su defecto, parámetros equivalentes para que la respuesta en ambos modelos sea consistente y comparable.

Por ejemplo, en el caso del simulador BWR, se deberá introducir en el código de referencia el mismo volumen libre de la vasija (o relación volumen/nivel) ya que si no, difícilmente podría el nivel de la vasija comportarse de la misma manera para un mismo caudal de inyección y de fuga en caso de accidente.

• DETERMINACION DE LAS CONDICIONES DE CONITORNO

Análogamente a la determinación de los parámetros, es esencial reproducir en el código de referencia las mismas condiciones de contorno que se verifiquen en el simulador para que la respuesta de ambos modelos sea consistente.

Por ejemplo, si la iniciación de los sistemas de seguridad depende de la presión de la contención (variable que no calcula el modelo que se está validando) y esto sucede a los tres segundos en el simulador desde la iniciación del evento, entonces se introducirán los datos en el código de referencia para que a los tres segundos se inicien también los sistemas de seguridad.

• INICIALIZACION DEL CODIGO DE REFERENCIA

Análogamente a la determinación de los parámetros y condiciones de contorno, es esencial reproducir en el código de referencia las mismas condiciones iniciales que se verifiquen en el simulador para que las respuestas de ambos modelos sean consistentes y la comparación tenga sentido.

Ejecución de los transitorios en el simulador

En el supuesto de que no se hubiera necesitado anteriormente la ejecución de los transitorios en el simulador (véase etapa anterior), se ejecutarían éstos de acuerdo con la primera etapa de esta fase. Se registrarían, en una cinta con un formato adecuado, las variables críticas preseleccionadas, así como aquéllas que forman la base de las condiciones de contorno implementadas en el código de referencia.

Ejecución de los transitorios en el código de referencia

Antes de ejecutar los transitorios en el

código de referencia es necesario comprobar que las condiciones de contorno definidas se han comportado como se esperaba. Hay, por tanto, dos actividades bien diferenciadas.

• COMPROBACION DE LAS CONDICIONES DE CONITORNO

Utilizando los datos registrados en la ejecución de los transitorios en el simulador, se analizarían las condiciones de contorno establecidas y se corregirían las diferencias inesperadas antes de ejecutar el/los transitorios en el código de referencia.

• **EJECUCION DE LOS TRANSITORIOS**
Se ejecutaría el/los transitorios en el código de referencia y se registrarían en una cinta, con el mismo formato que el utilizado para el simulador, las variables críticas preseleccionadas.

Comparación y evaluación de las discrepancias

• EVALUACION DE LAS REPERCUSIONES EN EL ENTRENAMIENTO

Utilizando el código de comparación se contrastarían los datos del simulador y del código de referencia, y se cuantificarían las desviaciones de acuerdo con los criterios establecidos en la primera fase.

• **VERIFICACION «MODOS DINAMICOS»**
Se debe verificar si se ha conseguido reproducir todas las situaciones especiales o modos dinámicos que estaban previstos y que sirvieron de base para la elección de los transitorios.

Resolución de las discrepancias

Las discrepancias que tengan impacto en el entrenamiento deberán resolverse revisando el modelo del simulador si se demuestra que las condiciones de contorno, los parámetros y la inicialización en el código no han sido responsables de las mismas.