

Toma de decisiones informada en el riesgo en el análisis probabilista de cambios de AOT mediante el tratamiento de las incertidumbres de completitud

Sebastián Martorell ⁽¹⁾, Ana Isabel Sánchez ⁽²⁾, Isabel Martón ⁽¹⁾, Sofía Carlos ⁽¹⁾,
Maryory Villamizar ⁽¹⁾, Jose F. Villanueva ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Química y Nuclear

⁽²⁾ Departamento de Estadística, Investigación Operativa Aplicadas y Calidad
Universidad Politécnica de Valencia

1. Introducción

La mejora de la seguridad y competitividad de la explotación en las centrales nucleares se basa en los requisitos operacionales establecidos en las Especificaciones Técnicas de funcionamiento (ETF), que forman parte de las bases de licencia de explotación, tanto en los requisitos de vigilancia (RV) como en las condiciones límite de operación (CLO), tales como el tiempo entre mantenimientos (STI) y el tiempo permitido de inoperabilidad (AOT). Para ello en los últimos años se han desarrollado metodologías para a partir de métodos probabilistas estudiar cambios en ETF informado en el riesgo, utilizando los modelos y datos del análisis probabilista de seguridad (APS), pero sin tener en cuenta el tratamiento sistemático que las incertidumbres, tanto de completitud, de modelo o de parámetro, tienen en los resultados obtenido.

La Nuclear Regulatory Commission (NCR), siguiendo su política de seguridad en las centrales nucleares, reconoce la importancia de abordar la incertidumbre con el uso del APS como una parte integral en la toma de decisiones, estableciendo el impacto potencial de estas incertidumbres con la comparación de los resultados obtenidos con unos criterios de aceptación dados.

Para definir la metodología y fomentar las aplicaciones del APS en el análisis de cambios de especificaciones técnicas integrando la información tanto probabilista como determinista, bajo lo que se denominó como RITS (" Risk Informed Technical Specifications"), la NCR desarrolló a mediados de los 90 la RG. 1.174 [1] Y RG. 1.177 [2]. Aunque esta guía requiere que todas las fuentes de incertidumbre que forman parte del APS sean identificadas y analizadas de forma que el impacto sea comprendido, ha sido recientemente cuando la NCR ha propuesto una guía (NUREG-1855 [3]) para el tratamiento de las incertidumbres asociadas en el APS en la toma de decisiones informadas en el riesgo.

El objetivo del NUREG-1855 [3] se basa en analizar y caracterizar todo tipo de incertidumbre epistémica asociada a los eventos del modelo, una vez definido el proceso, el modelo de riesgo y en particular desarrollado el APS. Por tanto, en el documento se describe el proceso para identificar las diferentes fuentes de incertidumbre y las diferentes formas de ser tratadas. Los diferentes tipos de

incertidumbres epistémicas son las incertidumbres de parámetro, de modelo y de completitud.

Esta ponencia presenta la adecuación de la metodología presentada en la 37ª Reunión de la Sociedad Nuclear Española [4] para el tratamiento de las incertidumbres de completitud y aporta un caso de aplicación de ejemplo para el tratamiento de estas incertidumbres en el análisis de cambios en CLO, concretamente en el tiempo máximo permitido de inoperabilidad (AOT), mediante el uso del APS.

Desde el punto de vista de toma de decisiones, se analiza los resultados y cómo influyen estos en la aceptabilidad del cambio utilizando la información sobre el riesgo en presencia de este tipo de incertidumbre.

El caso de aplicación se centra en el análisis del efecto de un AOT del sistema de evacuación del calor residual (RHR) en otros modos, concretamente en los modos 4 y 5.

2. Incertidumbre de completitud

Los modelos de APS que abordan el riesgo de CC.NN son modelos complejos, ya que su desarrollo considera un gran número de diferentes tareas. Estas tareas incluyen el desarrollo de estructuras lógicas (árboles de eventos y árboles de fallos) y una valoración sobre las frecuencias y probabilidades de los eventos básicos de las mismas. El desarrollo de modelos lógicos junto con la valoración de probabilidades puede introducir incertidumbres que podrían tener un impacto significativo en las predicciones del modelo APS, y por tanto, estas incertidumbres necesitan ser tratadas. Aunque las incertidumbres en el modelo APS tienen diferentes fuentes, existen dos clases de incertidumbre, aleatoria y epistémica.

La incertidumbre aleatoria está asociada con la naturaleza aleatoria de los acontecimientos, tales como sucesos iniciadores y fallos de componentes. El modelo APS es un modelo explícito de los procesos aleatorios y por lo tanto es un modelo de la incertidumbre aleatoria.

Las incertidumbres epistémicas surgen haciendo interferencias a partir de datos estadísticos, y sobre todo, de la falta de conocimiento sobre la forma de representar el comportamiento de la planta en el modelo APS. La incertidumbre epistémica se relaciona con el nivel de creencia que los analistas tienen en la representatividad o validez del modelo APS y en sus predicciones, es decir, en qué grado el modelo APS refleja el diseño, operación en planta y respuesta ante accidentes postulados.

Los tres tipos de incertidumbres epistémicas encontradas en el APS son la incertidumbre de parámetro, modelo y de completitud. En esta ponencia se tiene en cuenta únicamente la incertidumbre de completitud. La incertidumbre de completitud trata de abordar todas las contribuciones que no han sido incluidas en el alcance o el nivel de detalle del APS.

3. Metodología y métricas de riesgo

La metodología utilizada en esta ponencia se basa en la establecida en la RG. 1.174 [1], la cual se basa en el uso del APS como herramienta en el en la toma de decisiones informada en el riesgo. Los pasos que componen esta metodología se pueden resumir en los siguientes:

A partir de un APS que presente el alcance, el nivel de detalle y el grado de actualización necesario, se analiza y se determina si este alcance o nivel de detalle son necesarios para soportar una decisión informada en el riesgo. Se analiza si falta incluir alguna contribución en el alcance del APS y si se cree conveniente incluir alguna contribución, se realiza el cambio en modelo considerando el impacto en el riesgo de este cambio en el APS. Un cambio propuesto en el modelo puede impactar en múltiples estructuras, sistemas y componentes de varias maneras y a su vez en secuencias accidentales. Por tanto, la aplicación puede requerir cambios en uno o más elementos del APS. En esta ponencia se plantea un cambio en un cabecero de una secuencia accidental.

Una vez obtenidos los resultados obtenidos en el APS antes y después del cambio realizado se calcula el riesgo en términos de frecuencia de daño al núcleo (FDN). Posteriormente se calculan las métricas necesarias para caracterizar el impacto del cambio en el nivel de riesgo y se caracteriza el impacto en el riesgo de las incertidumbres incluidas en el análisis, en este caso la incertidumbre de completitud.

4. Métricas de riesgo

Las mediciones de riesgo se realizan a partir de los resultados numéricos del APS. Estas mediciones de riesgo, incluyendo la incertidumbre asociada, se comparan con los criterios de aceptación adecuados para la toma de decisiones informada en el riesgo. En la RG. 1.177 y en el NUREG 6141 [5], se establecen las medidas de riesgo que se deben de cuantificar para evaluar el impacto en el riesgo de AOT. Estas medidas son el riesgo instantáneo, el riesgo simple y el riesgo anual. Estas medidas particularizadas para esta ponencia se detallan a continuación.

A partir de los riesgos condicionales, particularizados en términos de FDN [años⁻¹], se puede obtener el incremento condicional del nivel de riesgo, ΔR_x . Este incremento se puede expresar, de manera aproximada mediante la siguiente expresión:

$$\Delta R_x = R_1 - R_n \quad (1)$$

Donde, R_1 , es el riesgo condicional cuando el equipo o sistema está fuera de servicio y R_n es el riesgo base de la planta.

El incremento condicional de la probabilidad de daño al núcleo asociado con un tiempo de indisponibilidad asociado con el AOT, r_x , se calcula mediante:

$$r_x = AOT \cdot \Delta R_x \quad (2)$$

Donde, el AOT [años], es la duración asociada al AOT.

La contribución de la desviación al riesgo medio a un año, tiene la siguiente expresión:

$$R_x = f_x \cdot AOT \cdot \Delta R_x \quad (3)$$

Donde, f_x [años⁻¹] es la frecuencia de ocurrencia de la desviación, en este caso de entrada en la CLO que tiene asociada el AOT en estudio.

5. Caso de aplicación

El caso de aplicación se centra en el análisis del efecto de las incertidumbres de completitud en el impacto en el riesgo de un AOT del sistema de evacuación del calor residual (RHR) en otros modos, concretamente en los modos 4 y 5.

En el APS de otros modos se consideran diversos estados operacionales de planta (EOP). La CLO considerada y fundamentalmente la secuencia accidental, pérdida del sistema de evacuación de calor en modos 4 y 5, afecta a los EOP-3, 13, 4 y 12.

La función del sistema de evacuación del calor residual (RHR) es extraer del refrigerante del primario la energía calorífica producida por el núcleo del reactor en aquellas situaciones en las que los generadores no desempeñan esta función, como ocurre durante el enfriamiento a partir del modo 4, hasta el inicio del modo 5. El sistema consta de dos trenes diferenciados, en la secuencia que se está analizando, uno en servicio y el otro en reserva que actuará en caso de pérdida del primero.

La secuencia accidental que plantea en el alcance del APS, ante una pérdida intrínseca del tren RHR en servicio, se considera la reposición de la evacuación del calor mediante la puesta en marcha del tren RHR en reserva. En caso de imposibilidad de recuperación del tren RHR en reserva, la evacuación del calor del primario se podrá efectuar mediante el inventario inicial existente en los generadores de vapor y las válvulas de alivio de los mismos, con reposición de inventario en los generadores de vapor a medio plazo con el sistema de agua de alimentación auxiliar (AAA).

Una vez analizada la secuencia en detalle se plantea una posible modificación del modelo del APS con una secuencia diferente, dando lugar a un modelo nuevo de análisis. La principal diferencia con el modelo del APS es que al inicio del modo 4 bajando de potencia, se imposibilita la recuperación del tren de RHR en reserva tras la pérdida del tren RHR en servicio, debido a que no se dan las condiciones tanto de presión como de temperatura para su puesta en funcionamiento. Por tanto, la evacuación de calor del primario se realizará a través de las válvulas de alivio del generador de vapor, mediante la reposición de inventario de los generadores a través del AAA hasta que se alcancen las condiciones (presión y temperatura del secundario) adecuadas, que darán crédito a la puesta en funcionamiento del tren RHR en reserva.

En el modelo nuevo, se considera que en el modo 5, se dan las condiciones que posibilitan la recuperación del calor a través del RHR en servicio dándose la misma

secuencia accidental planteada en el APS original. Por tanto, el cambio solo afectará a la secuencia accidental en modo 4, es decir a los EOP-3 y 13.

La condición límite de operación (CLO) considerada, en modo 4, para observar el efecto que esta tiene sobre el cambio del modelo, será que el tiempo permitido de inoperabilidad (AOT) de los trenes del RHR no será superior a 1 hora.

La frecuencia de cada secuencia para cada EOP, 3 y 13, que en este caso de aplicación coinciden con la frecuencia del suceso iniciador, son $5,81E-04$ [años⁻¹] y $7,87E-04$ [años⁻¹], respectivamente.

Tras definir el cambio en el alcance del modelo del APS se cuantifican las métricas de riesgo necesarias para evaluar el impacto en el riesgo del cambio en el AOT y comparar los resultados con los márgenes de seguridad que se establecen en la RG. 1.174 [1].

6. Resultados

Se calcula el riesgo condicional (R_n) para cada uno de los EOP's involucrados en la secuencia accidental modificada, es decir EOP-3, $R_n(\text{EOP-3})$, y EOP-13, $R_n(\text{EOP-13})$, y la aportación que la secuencia accidental tiene en cada uno de los EOP's ($R_n(\text{RHR-EOP-3})$, $R_n(\text{RHR-EOP-13})$). En la Figura 1, se muestran los resultados obtenidos.

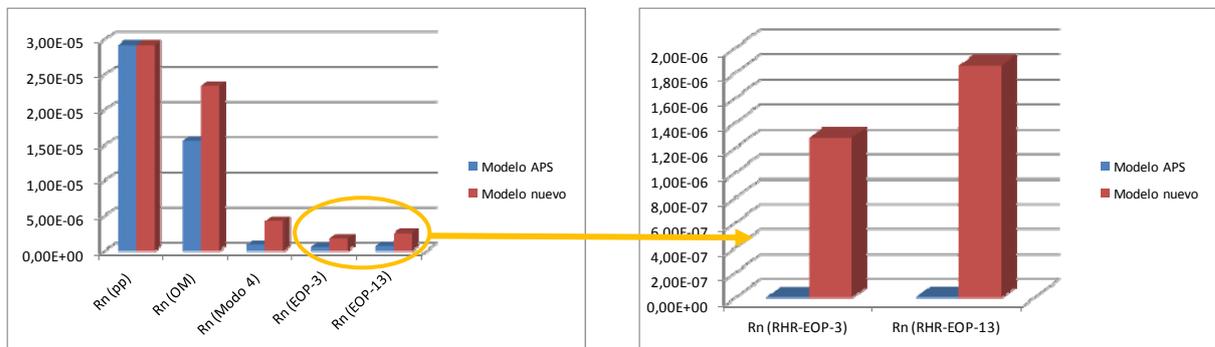


Figura 1. Contribuciones al riesgo

En la Figura 1, se observa cómo se incrementa el riesgo condicional (R_n) debido al cambio en el modelo.

En la Tabla 1 se resumen las diferentes medidas de riesgo, obtenidas a partir de las ecuaciones 1-3, para ser comparadas con los umbrales de aceptación y de esta forma asegurar que las incertidumbres consideradas no comprometan los resultados alcanzados.

Tabla 1. Resumen de resultados de las medidas de riesgo calculadas

EOP	MODELO APS			MODELO NUEVO		
	ΔR_x [años ⁻¹]	r_x [-]	R_x [años ⁻¹]	ΔR_x [años ⁻¹]	r_x [-]	R_x [años ⁻¹]
EOP-3	3,20E-05	3,66E-09	2,12E-12	3,09E-05	3,53E-09	2,05E-12
EOP-13	4,31E-05	4,92E-09	3,87E-12	4,20E-05	4,79E-09	3,77E-12
Modo 4		8,57E-09	5,99E-12		8,32E-09	5,82E-12

El umbral de aceptación para cada una de las métricas de riesgo calculadas anteriormente que establece la RG.1.174 [1] se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios de aceptación RG.1.174 [1]

	ΔR_x [años ⁻¹]	r_x [-]	R_x [años ⁻¹]
Umbral de aceptación RG.1.174	1,00E-03	5,00E-07	1,00E-05

Se muestra el impacto en el riesgo en las diferentes medidas es pequeño ya que las medidas de riesgo están por debajo de los umbrales con respecto a las directrices de aceptación específicas para cambios de AOT teniendo en cuenta las incertidumbres de modelo (RG.1.174).

7. Resultados

Esta ponencia presenta una adaptación a la metodología propuesta en la 37^a Reunión de la sociedad nuclear española para el tratamiento de las incertidumbres de completitud. Además, esta ponencia aporta un caso de aplicación para el tratamiento de la incertidumbre de completitud en el análisis de cambios de AOT.

El caso de aplicación se centra en el análisis de un cambio en el AOT del sistema de evacuación del calor residual (RHR) en otros modos, concretamente en los modos 4 y 5.

A la vista de los resultados se puede concluir que al riesgo condicional debido al cambio de modelo teniendo en cuenta la incertidumbre de completitud se incrementa aproximadamente dos órdenes de magnitud, lo cual plantea establecer medidas de gestión de la configuración frente dicha incertidumbre de completitud. No obstante, cabe destacar que el impacto en el riesgo del AOT, considerado en la condición límite de operación es muy pequeño y que según la RG. 1.174 no se superan los umbrales de aceptación.

Agradecimientos

El trabajo que se presenta forma parte del proyecto de investigación ENE2010-17449 (Desarrollo de una metodología basada en el APR para el estudio de mejoras en las CLO de las CCNN teniendo en cuenta el efecto de las incertidumbres) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Referencias

[1] RG 1.174 (2002). "An Approach For Using Probabilistic Risk Assessment In Risk-Informed Decisions On Plant-Specific Changes To The Licensing Basis", USNRC.

[2] RG 1.177 (1998). "An Approach For Plant-Specific, Risk-Informed Decision making: Technical Specifications", USNRC.

[3] NUREG 1855 Vol 1 (2009). "Guidance on the Treatment of Uncertainties Associated with PRAs in Risk-Informed De-cision Making", USNRC.

[4] Martorell.S., Villamizar.M, Villanueva J.F., Sánchez I., Martón I., Carlos S., Tratamiento de las incertidumbres en el análisis probabilista de cambios de AOT, 37ª Reunión de la Sociedad Española, Burgos, 2011.

[5] NUREG/CR-6141, BNL-NUREG-52398 (1994). "Handbook of Methods for Risk-Based Analyses of Technical Specifi-cations", USNRC.