



M.ª Dolores MORALES DORADO es Ingeniero Industrial, Especialidad Técnicas Energéticas, por la ETSIIM (1982). Comenzó su actividad profesional en 1983 en Empresarios Agrupados como Ingeniero de Seguridad en el proyecto de C.N. Valdecaballeros. En 1984 pasó a formar parte del PIACR, patrocinado por UNESA y desarrollado en la Cátedra de Tecnología Nuclear de la ETSII de Madrid. En 1986 se incorporó a C.N. Almaraz en el área de Seguridad, siendo responsable en la actualidad de las tareas relacionadas con el desarrollo, mantenimiento y aplicaciones del APS/IPE.



Eduardo GUTIERREZ FERNANDEZ es Ingeniero Aeronáutico por la ETSIA de Madrid. Colaborador del Departamento de Seguridad Nuclear de la Junta de Energía Nuclear, participó en la Dirección de Innovación y Desarrollo del Grupo CIAT (1982). Consultor en el Área de Seguridad, Fiabilidad y Mantenibilidad en OPTIPLANT (1983). En 1987 se incorporó a UITESA, habiendo participado en los APS de C.N. Almaraz, C.N. Cofrentes, C.N. de Ascó y C.N. Vandellós, formando parte en la actualidad del grupo de desarrollo, mantenimiento y aplicaciones del APS/IPE de C.N. de Almaraz.



Isaac FUENTE PRIETO es Ingeniero Industrial, especialidad Técnicas Energéticas, por la ETSII de Bilbao (1981) y Diplomado en Ingeniería Nuclear por el Instituto de Estudios Nucleares de la JEN (1983). Ingresó en Empresarios Agrupados en 1983 como Ingeniero de Seguridad en el proyecto de C.N. Cofrentes. Desde 1986 forma parte de la Sección de Estudios y Fiabilidad, habiendo trabajado en el Análisis Probabilista de Seguridad de C.N. Almaraz como Jefe de Proyecto desde 1988. Actualmente forma parte del grupo de desarrollo, mantenimiento y aplicaciones del APS/IPE de C.N. Almaraz.

APLICACIONES DE APS

COMBINACION DE TECNICAS DETERMINISTAS Y PROBABILISTAS EN EL PROCESO DE TOMA DE DECISIONES

M. D. MORALES - E. GUTIERREZ - I. FUENTE - F. PEREZ

INTRODUCCION

Aunque es comúnmente aceptado que la metodología de ejecución de los análisis probabilistas de seguridad de Nivel 1 está suficientemente desarrollada y madura, no se puede decir lo mismo en lo que respecta a sus aplicaciones en los proce-

sos de toma de decisiones. Es necesario llegar a un consenso técnico sobre cómo aplicar esta metodología, con la aceptación del organismo regulador y de las empresas eléctricas, con los objetivos de ser capaces de mejorar la seguridad y disponibilidad de las plantas y, si es posible, optimizar los costes de explotación.

Es muy importante definir cuál es el nivel de seguridad aceptable y, teniendo en cuenta esta definición, focalizar los limitados recursos existentes en aquellos aspectos más importantes entre el casi infinito número de temas que pueden ser evaluados antes de realizar un análisis coste/beneficio.

Los análisis probabilistas de seguridad (APS) constituyen una herramienta adecuada para conseguir este objetivo porque permiten fijar prioridades en base a un análisis sistemático y coherente del riesgo global, considerando criterios e hipótesis uniformes.

La lista de posibles aplicaciones de los APS es muy larga:

- Entrenamiento de operadores, personal de mantenimiento, personal de apoyo en emergencia, etc.
- Mejoras en procedimientos de emergencia y operación.
- Soporte a mantenimiento para efectuar priorización de actividades, fijar prácticas e intervalos de mantenimiento preventivo, analizar políticas



Fernando J. PEREZ MARTIN es Ingeniero Naval, especialidad Tecnología Nuclear, por la ETSIN (1986). Ingresó en Empresarios Agrupados en 1987 como ingeniero mecánico en el proyecto de C.N. Trillo; en 1988 se incorporó al Proyecto del Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de C.N. Almaraz, participando como analista de Fiabilidad Humana y posteriormente en el Análisis de Inundaciones Internas. Desde 1992 presta sus servicios dentro del grupo de desarrollo, mantenimiento y aplicaciones del APS/IPE de C.N. Almaraz.

de mantenimiento en parada frente a operación a potencia para reducir la duración de las paradas, etc.

- Recogida de datos y análisis de tendencias de fallo.
- Evaluación de Especificaciones Técnicas, incluyendo intervalos de pruebas de vigilancia (STIs), tiempo fuera de servicio permitido (AOTs), condiciones límites de operación (LCOs), relajación de requisitos operacionales, etc.
- Justificación para evaluaciones de operación continuada y cumplimiento con los nuevos requisitos reguladores, con estrategias de resolución genérica frente a resolución específica de planta o de tipos de plantas similares.
- Definición de estrategias para mejora de la seguridad de acuerdo a las características específicas de una planta (diseño, emplazamiento, etc.).
- Evaluación de modificaciones de diseño para identificación de cambios aconsejables y su impacto en la seguridad.
- Apoyo a los estudios de gestión de accidentes y resolución de cuestiones relativas a la política de accidentes severos (IPE/IPEEE).
- Estudios económicos de requisitos reguladores frente a mejora en la seguridad asociada.
- Etc...

El desarrollo de las distintas aplicaciones de los APSs varía de planta a planta dependiendo de la cantidad de tiempo y recursos que se pueden dedicar a ello. En los siguientes apartados se describirán las principales aplicaciones llevadas a cabo en la Central Nuclear de Almaraz hasta la fecha, tratando de indicar la problemática asociada con la ejecución de las mismas, así como los resultados obtenidos.

APLICACIONES REALIZADAS EN C.N. ALMARAZ

En diciembre de 1990, y en respuesta al requisito previamente efectuado por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), C.N. Almaraz entregó a dicho organismo la revisión 1 de su Análisis Probabilista de Seguridad (APS) de Nivel 1, incluyendo análisis de riesgos de incendios y evaluación de los Sistemas de Aspersión y Aislamiento de Contención. Dicha revisión incluía todos los comentarios del CSN a la revisión 0 del análisis, entregada en noviembre de 1989. Unos meses más tarde, en abril de 1991, el CSN expresó su aprobación final al análisis realizado hasta tal fecha, notificando a C.N. Almaraz que en el futuro los análisis deberían extenderse hasta tener el mismo alcance que el requerido con posterioridad a otras plantas en España.

De esta forma, con el alcance inicialmente requerido y aprobado por el CSN, C.N. Almaraz dispone de una nueva herramienta de trabajo en el área de seguridad complementaria a las ya existentes de carácter determinista. Esta nueva herramienta incluye un análisis muy detallado y sistemático de todos los posibles sucesos iniciadores (transitorios o accidentes) que pueden ocurrir en la planta, junto con la respuesta de los sistemas de mitigación a dichos incidentes, teniendo en consideración posibles errores humanos, fallos de componentes, indisponibilidad por pruebas y/o mantenimiento y dependencias y fallos de causa común. La documentación asociada es sistemática y exhaustiva, lo que permite no sólo reproducir el estudio entero, sino también modificar cualquier aspecto particular y evaluar su impacto en los resultados de frecuencia de daño al núcleo, de cara a mejorar la seguridad de la planta. De acuerdo con lo anterior, desde la conclusión de su APS Nivel 1, C.N. Almaraz ha tratado de aplicar este estudio en diferentes aspectos relacionados con la seguridad, intentando aprovechar sus posibilidades como herramienta de apoyo en el proceso de toma de decisiones. Las áreas básicas en las que se han realizado aplicaciones del APS en C.N. Almaraz son las siguientes:

- Entrenamiento.
- Nuevos procedimientos de mantenimiento preventivo.
- Recogida y análisis de datos.
- Optimización de especificaciones técnicas.
- Priorización de pruebas y mantenimiento.
- Análisis de incendios.
- Definición de estrategias para mejoras de la seguridad.
- Modificaciones de diseño.

En los subapartados siguientes se describe con más detalle cada una de las aplicaciones mencionadas.

ENTRENAMIENTO

Se han transmitido a los operadores, a través de su programa de entrenamiento, diferentes aspectos de los resultados del APS que pueden ser de mayor utilidad para ellos, como, por ejemplo, la lista de acciones humanas cuyo tiempo disponible en caso de accidentes es muy corto, con el fin de llamar su atención en relación con la rapidez necesaria de actuación en estos casos.

Adicionalmente, se está trabajando actualmente para incluir los resultados y conclusiones más importantes del análisis de incendios realizado, en los cursos de protección contra incendios en planta, así como en futuros simulacros de incendios.

MEJORA DE PROCEDIMIENTOS

Durante el desarrollo del APS, se efectuó una revisión sistemática de los procedimientos asociados a funciones y sistemas de seguridad, con el fin de adecuar los modelos de sistemas y secuencias de accidente a la operación real de la planta. Asimismo se efectuaron comentarios a las revisiones iniciales (rev. A y rev. 0) de los procedimientos de operación de emergencia basados en síntomas (POE's).

Como resultado de esta revisión sistemática de procedimientos, se han efectuado modificaciones de mayor o menor entidad en algunos de ellos (~ 50 casos) con distintos objetivos, desde mejorar la realización de pruebas periódicas, ampliando sus objetivos, hasta garantizar la operabilidad de sistemas bajo determinadas circunstancias de operación o corregir erratas o errores detectados en el texto.

NUEVOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Se han elaborado seis nuevas gamas de mantenimiento para garantizar la prueba periódica de determinados componentes, cuya conveniencia se identificó a partir de los resultados del APS.

RECOGIDA Y ANALISIS DE DATOS

A partir de la experiencia adquirida en el área de recogida y análisis de datos de fallos, demandas, tiempos de operación e indisponibilidad por pruebas y mantenimiento, se ha prestado apoyo a la definición de criterios para el desarrollo del banco de datos español (DACNE), juntamente con el resto de las centrales nucleares españolas.

Adicionalmente, se han efectuado comentarios puntuales a determinados criterios establecidos en el SAMO (Sistema de Apoyo Mecanizado a la Operación), y se ha revisado el análisis de disponibilidad de dicho sistema realizado por GE.

OPTIMIZACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DE FUNCIONAMIENTO

Se han desarrollado y enviado al CSN para su evaluación varias propuestas de cambio de Especificaciones Técnicas, procedentes del área de Licenciamento o del APS en sí mismo, analizándolas con la herramienta probabilista para evaluar su impacto en la frecuencia de daño al núcleo y determinar su viabilidad desde el punto de vista de seguridad. Entre los casos estudiados, se pueden mencionar:

Cambio de estado de la alimentación eléctrica a una válvula de inyección de seguridad

El propósito de este cambio es minimizar el tiempo requerido de puesta en servicio de la línea de derivación del tanque de inyección de boro (BIT) en caso de necesidad por fallo de la inyección a través del camino normal de inyección.

La situación previa de la válvula incluida en ese camino alternativo era cerrada con el interruptor no insertado. De esta forma, en caso de fallo en el camino normal de inyección a ramas frías, era necesario insertar localmente el interruptor y después abrir manualmente la válvula desde la sala de control, retrasando la inyección de agua al núcleo.

La modificación propuesta consiste en dejar el interruptor insertado durante operación normal, manteniendo la válvula cerrada, pero capaz de abrir inmediatamente desde sala de control si es necesario.

Esta propuesta implicó un cambio en las especificaciones técnicas de C.N. Almaraz, que fue aprobado por el Consejo de Seguridad Nuclear.

Tiempos de indisponibilidad de los inversores

La propuesta consistió en permitir la indisponibilidad de un inversor durante 72 horas, si la barra vital se energiza en el plazo de dos horas. Adicionalmente, se incluyó la posibilidad de tener dos inversores del mismo tren eléctrico fuera de servicio durante 24 horas.

Esta propuesta fue evaluada utilizando los modelos y resultados del APS para analizar el impacto en la seguridad de la extensión de los tiempos de indisponibilidad. De acuerdo con este objetivo se recalculó la frecuencia de daño al núcleo, obteniendo que el potencial incremento en la misma es despreciable ($<0,085\%$), por lo que se considera justificado permitir la operación de la planta en las condiciones propuestas, considerando además el incremento potencial en el riesgo inherente a un cambio de modo de operación, necesario para ir a parada fría en un tiempo más corto si el tiempo de indisponibilidad permitido es más pequeño.

En este caso, la propuesta ha sido evaluada y aprobada por el CSN, y ha sido incorporada a las especificaciones técnicas de C.N. Almaraz.

Tiempo de indisponibilidad para las unidades de refrigeración de emergencia de las salas de interruptores

La propuesta consistió en permitir la

operación de la planta durante 72 horas con una unidad de refrigeración de emergencia de la sala de interruptores indisponible, siempre que la temperatura del aire de la sala, medida cada 4 horas, no supere los 40°C .

Es preciso señalar que existen otros sistemas de ventilación en dicha sala, aunque no están alimentados desde barras de salvaguardia.

C.N. Almaraz está a la espera de respuesta oficial del CSN a esta propuesta.

PRIORITIZACION DE PRUEBAS Y MANTENIMIENTO

El impacto de la indisponibilidad derivada de pruebas y/o mantenimiento de los diferentes componentes en la frecuencia global de daño al núcleo, puede ser muy importante. En este sentido, y como consecuencia de los resultados del APS, se han efectuado distintas recomendaciones al personal de explotación, entre las que destaca la conveniencia de optimizar los mantenimientos de la turbobombona del Sistema de Agua de Alimentación Auxiliar y sus equipos asociados, reduciendo tanto su frecuencia como su duración en la medida de lo posible.

Adicionalmente, se presentó al CSN una propuesta de priorización y reducción del impacto en planta de las pruebas de válvulas motorizadas para dar cumplimiento a la Carta Genérica 89-10, basada en la importancia de las distintas válvulas desde el punto de vista de seguridad, no habiendo sido aceptada en su planteamiento actual por el CSN.

ANALISIS DE INCENDIOS

Introducción

Una de las aplicaciones más significativas del APS Nivel 1 de Almaraz ha sido el trabajo efectuado en apoyo al reanálisis del estudio de cumplimiento con el Apéndice R al 10CFR50 sobre medidas de protección contraincendios, basada en un profundo conocimiento de los trazados de cables asociados a los equipos de seguridad, a través de las diferentes áreas y edificios de la planta.

De acuerdo con lo anterior, y teniendo en cuenta tanto el análisis probabilista de incendios realizado (incluyendo la identificación de los transitorios que pueden suceder en cada zona de fuego, así como los posibles orígenes de incendio y combustibles transitorios) como el estudio determinista acometido (incluyendo el cálculo de cargas térmicas en cada zona), se ha evaluado el riesgo asociado en cada caso y, por tanto, el impacto en dicho riesgo de la protección contrain-

cendios propuesta, con el objetivo de garantizar el cumplimiento de las funciones de seguridad necesarias para llevar y mantener la planta en parada segura.

Requisitos generales

El Apéndice R al 10CFR50 indica que se deben instalar medidas de protección contraincendios para garantizar la capacidad de parada segura de la planta en caso de incendio.

Estas protecciones deben ser capaces de limitar el daño por incendio de manera que un tren de los sistemas necesarios para alcanzar y mantener las condiciones de parada segura (disponible caliente en el caso de C.N. Almaraz), desde sala de control o desde los paneles de parada de emergencia, esté libre de daño por incendio, y los sistemas necesarios para alcanzar y mantener las condiciones de parada fría pueden ser reparados en 72 horas.

En el caso de que trenes redundantes de los sistemas anteriormente mencionados coincidan en el mismo área de fuego, existen diferentes formas aceptables de asegurar que uno de dichos trenes redundantes está libre de daño por incendio:

- Separación de trenes redundantes por barrera de tres horas de resistencia al fuego.
- Separación de trenes redundantes por una distancia horizontal de más de 20 pies sin combustible intermedio, e instalación de sistemas automáticos de detección y extinción de incendios en la zona.
- Separación de trenes redundantes por barrera de una hora de resistencia al fuego e instalación de sistemas automáticos de detección y extinción de incendios en la zona.

De lo anterior se deduce fácilmente que, para plantas diseñadas antes de que estuviera vigente este tipo de regulación, las posibles medidas de protección contraincendios a instalar cubrirían la mayor parte de los sistemas de seguridad, teniendo en cuenta que no fue un criterio de diseño en su momento separar los trenes redundantes una distancia mayor de 20 pies.

Basado en ello, la estricta aplicación de la nueva regla implicaría la instalación masiva de protecciones pasivas en la planta, con el consiguiente incremento en el grado de complejidad y dificultad de las diferentes tareas de mantenimiento.

Por esta razón, Almaraz decidió combinar las técnicas deterministas y probabilistas para tratar de minimizar el número de protecciones pasivas a instalar en conductos y bandejas de cables, garantizando el cumplimiento de las funciones básicas de seguridad necesarias para alcanzar y mantener la parada segura.

Etapas del análisis

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, el reanálisis de la planta, desde el punto de vista de riesgo de incendios, se ha estructurado en tres etapas:

- Análisis de las zonas de fuego importantes tanto desde el punto de vista determinista como probabilista.
- Análisis de las zonas de fuego incluidas en el estudio determinista de cumplimiento con el Apéndice R, pero no significativas desde el punto de vista probabilista.
- Análisis de las zonas de fuego no consideradas en el estudio determinista de cumplimiento con el Apéndice R porque no necesitan separación de trenes redundantes, pero que aparecen significativas de acuerdo con los resultados del análisis probabilista de incendios.

De esta forma se ha analizado cada zona de fuego de la planta, desarrollándose propuestas específicas de protección contraincendios para las mismas, consistentes en algunos casos en la instalación de nuevas medidas de protección y en otros casos en la verificación de que las medidas de protección existentes son suficientes para garantizar la seguridad de la planta. Adicionalmente, en algunas zonas se han propuesto mejoras a los sistemas de detección y/o extinción de incendios existentes, y se han desarrollado nuevos procedimientos o modificaciones a los existentes para incluir posibles recuperaciones de equipos, con el objetivo de minimizar el riesgo de daño al núcleo debido a incendios, y cumplir con la reglamentación.

El reanálisis realizado para cada zona de fuego se ha documentado de manera sistemática, incluyendo un apartado de descripción de la zona (localización, cables asociados, sistemas de detección y extinción existentes, estimación de carga térmica, etc.), un apartado de justificación de la propuesta de protección contraincendios para la zona (funciones básicas de seguridad a garantizar en la misma), un apartado resumen de acciones a tomar, indicando claramente las protecciones pasivas a instalar o mejoras en los sistemas de protección contraincendios existentes (conductos y bandejas de cables asociados, dimensiones, superficie de protección resultante, etc.) y, por último, un apartado de consideraciones desde el punto de vista probabilista, indicando la reducción en el riesgo asociada a la implementación de las modificaciones propuestas.

Este conjunto de propuestas de protección contraincendios para todas las zonas de la planta ha sido presentado al CSN y evaluado por dicho organismo, junto con un programa de implementación de las mejoras adoptadas, estando

actualmente en proceso de ejecución las modificaciones de diseño correspondientes, tras haber llegado a un acuerdo final con el organismo regulador, una vez incorporados al análisis los comentarios procedentes de su evaluación.

DEFINICION DE ESTRATEGIAS PARA MEJORA DE LA SEGURIDAD

Teniendo en cuenta que C.N. Almaraz dispone de dos unidades similares en el mismo emplazamiento, existe la posibilidad de aprovechar esta situación para permitir la utilización, en determinadas condiciones de emergencia, de recursos compartidos entre ambas unidades o de equipos similares de la otra unidad.

En la práctica, esto se ha traducido en la modificación de dos procedimientos (instrucciones de fallo), para permitir la recuperación de agua de servicios esenciales y agua de refrigeración de componentes, alineando una bomba desde una unidad a otra. Esta consideración se incorporó a los modelos desarrollados en el APS para calcular la frecuencia de daño al núcleo.

CAMBIOS DE DISEÑO

El APS es una herramienta útil para analizar el impacto en la seguridad de las modificaciones de diseño, porque permite efectuar una evaluación sistemática y coherente de todas ellas con las mismas hipótesis y modelos, proporcionando una visión global del impacto del fallo propuesto en la seguridad de la planta y no sólo en el componente o sistema específico afectado por la modificación.

Durante el desarrollo del APS de C.N. Almaraz, en la fase de análisis de resultados, se decidió proponer e implementar una modificación de diseño consistente en la incorporación de una nueva batería, cargador de batería y panel de distribución de 125 Vcc, para alimentar equipos asociados al funcionamiento de la turbobomba de agua de alimentación auxiliar, eliminando de esta forma su dependencia de una sola barra de corriente continua.

Adicionalmente, tras finalizar el APS Nivel 1 y el análisis probabilista de incendios, se propuso implementar una doble alimentación desde ambas barras de corriente continua a las válvulas de alivio del presionador (PORV's), para mejorar la fiabilidad de la función feed & bleed.

Por otro lado, diversas modificaciones de diseño relacionadas con la seguridad y propuestas por otros departamentos de la planta, han sido evaluadas utilizando el APS, con el objetivo de proporcionar un punto de vista adicional a los responsables del proceso de toma de decisiones.

POSIBLES APLICACIONES FUTURAS

C.N. Almaraz está actualmente desarrollando el análisis IPE (back-end)/IPEEE, de acuerdo con la Carta Genérica 88-20 y suplementos. Esto significa que en el futuro el APS cubrirá también aspectos de gestión de accidentes severos a implementar y posibles procedimientos a desarrollar, así como posibles mejoras en el comportamiento de la contención si ello se considera necesario.

Asimismo, se prevé que se podrán realizar en el futuro nuevas aplicaciones en todas las áreas mencionadas en los apartados anteriores, en algunos casos extendiendo su alcance, y en otros realizando análisis económicos de coste/beneficio para evaluar requisitos reguladores o situaciones operacionales en la seguridad global de la planta, y la necesidad real del cambio o de estudios adicionales.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los análisis probabilistas de seguridad constituyen un método completo, sistemático y reproducible de analizar la evolución de los transitorios y accidentes en la planta, así como el comportamiento e importancia de los sistemas de mitigación en cada caso, permitiendo la evaluación del impacto de cualquier modificación de diseño o procedimientos, a todos los niveles (componentes, sistema, secuencia de accidente o daño al núcleo).

Bajo esta perspectiva, es posible realizar múltiples aplicaciones de los APSs, que pueden ser útiles para mantener y/o mejorar la seguridad de la planta. En cualquier caso, es importante señalar que estas técnicas probabilistas deben ser integradas con las técnicas deterministas existentes para evaluación de la seguridad, y tener presente que no se pretende que el APS sustituya completamente otros tipos de estudios de seguridad, sino que puede resultar útil para apoyarlos y dar nuevas perspectivas en el proceso de toma de decisiones, dado el amplio alcance de los estudios probabilistas que integran de manera global los sistemas de seguridad y las acciones de los operadores en la planta, ante cualquier transitorio o accidente que pueda ocurrir.

Esta mentalidad debe ser asumida no sólo por las compañías eléctricas que realizan los APS's, sino también por el Organismo regulador que requiere y evalúa dichos estudios y sus aplicaciones, y simultáneamente efectúa requerimientos deterministas, con el fin de asegurar la coordinación y coherencia entre todas las peticiones y trabajos juntos en la común idea de mejorar la seguridad de la planta.