

APLICACIONES DE LOS APS GESTIONADOS POR IBERDROLA

Tras el desarrollo de los análisis probabilistas de seguridad (APS) de las distintas centrales, es cada vez más frecuente el uso de dichos análisis para apoyo a la operación o mantenimiento y a la toma de decisiones informadas en el riesgo.

En este artículo se resume el estado actual de los diferentes análisis realizados para los APS de las centrales nucleares de Cofrentes, Almaraz y Trillo, que son gestionados por Iberdrola, y se describen las distintas aplicaciones desarrolladas para su uso como apoyo al diseño, operación o mantenimiento de las centrales.

ESTADO ACTUAL DE DESARROLLO DE LOS APS

Desde la primera revisión de los APS de las centrales españolas de Cofrentes (CNC), Almaraz (CNA) y Trillo (CNT), actualmente gestionados por Iberdrola, se emprendió un proceso de revisión de los análisis realizados y de desarrollo de otros nuevos análisis.

Por una parte se ha llevado a cabo el mantenimiento y actualización de los APS de acuerdo a las frecuencias indicadas por la Guía de Seguridad 1.15 del CSN [1] y por otro, tras la emisión por parte del CSN de la Instrucción de Seguridad IS-25 [2], se ha elaborado una serie de nuevos desarrollos de APS (Figura 1).

Adicionalmente, en las actualizaciones se van incorporando los avances metodológicos en el "estado del arte" del APS que se produ-

cen a nivel internacional. Son destacables:

- Utilización del documento de EPRI 1021086 *Pipe Rupture Frequencies for Internal Flooding PRAs* para el cálculo de la frecuencia de rotura de tuberías en el APS de inundaciones internas y del EPRI-1019194 *Guidelines for Performance of Internal Flooding Probabilistic Risk Assessment*.
- Incorporación de la metodología y datos de partida descritos en el NUREG/CR-6850 y el NUREG/CR-7114 para el desarrollo de los APS de incendios tanto a Potencia como en Otros Modos.
- Actualización del cálculo de las acciones humanas Tipo 3 con la utilización del HRA Calculator de EPRI. También se ha incluido un análisis de dependencias com-

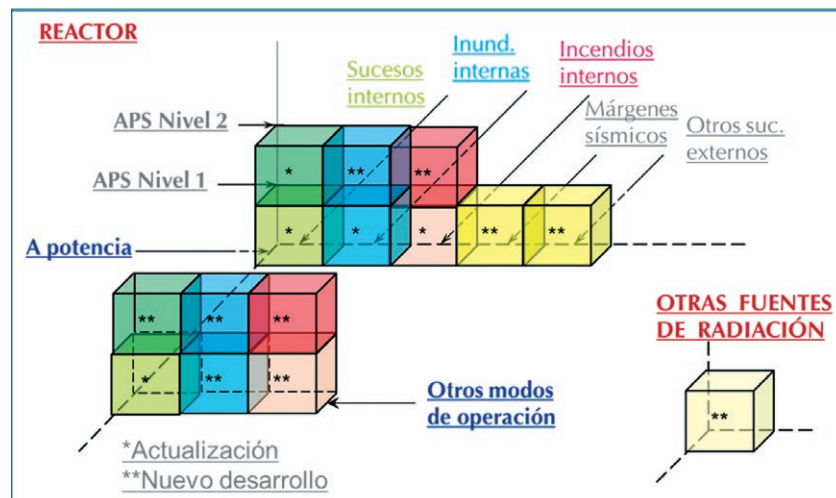


Figura 1. Desarrollos de APS.



CARLOS LÓPEZ FERNÁNDEZ-QUEVEDO

Jefe de Equipo de Ing. Seguridad en el Dpto. de Servicio Técnico Nuclear IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR. Ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Especialidad Técnicas Energéticas.



MARTA BENITO ROBERTI

Jefa de Equipo del APS de C.N. Cofrentes en el Dpto. de Sº Técnico Nuclear IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR. Licenciada en C.C. Químicas.



FRANCISCO OSORIO DE REBELLÓN VILLAR

Jefe de Proyecto del APS de C.N. Trillo en el Dpto. de Sº Técnico Nuclear IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR. Ingeniero industrial por la ETSII de Madrid. Especialidad Técnicas Energéticas.



ARÁNZAZU RÍSQUEZ BAILÓN

Jefa de Proyecto del APS de C.N. Almaraz en el Dpto. de Sº Técnico Nuclear IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR. Ingeniera de Minas por la ETSIM de Madrid. Especialidad Energía y Combustible.

APPLICATIONS OF THE PSA MANAGED BY IBERDROLA

Following the development of probabilistic safety analyses of various plant (PSA), is more often the use of such analyses for operation or maintenance and risk-informed decision making support.

This article summarizes the current state of the different analyses performed for the PSA of Cofrentes, Almaraz and Trillo nuclear power plants, which are managed by Iberdrola, and describes the various applications developed for use as a support to the design, operation, or maintenance of these power plants.



pleto para las acciones humanas modeladas y se ha identificado la instrumentación que participa en el estímulo, implantación y verificación de dichas acciones.

- Ampliación del alcance de tipos de componentes para los que se han modelado fallos de causa común, incorporación de la metodología de los parámetros alfa de acuerdo a los NUREG/CR-5485, NUREG/CR-5801 y NUREG/CR-6268, y uso para el cálculo de su probabilidad de fallo de la base de datos *CCF Parameter Estimations, 2015 Update* validada por la NRC.
- Homogeneización de metodologías con los APS de otras centrales nucleares españolas, mediante la utilización del documento UNESA CEN-45, cálculo de la probabilidad de no recuperación de energía eléctrica exterior tras una pérdida total, o el uso de una base de datos genérica común a todos los APS españoles, recogida en el documento UNESA CEN-35.
- Estimación directa de la probabilidad de fallo a la demanda y tasas de fallo en operación para grupos de componentes para los que se determina la existencia de suficiente evidencia estadística de acuerdo a los criterios indicados en el documento UNESA CEN-35.
- Actualización metodológica del análisis de fiabilidad humana de acuerdo con el NUREG-1921 *EPRI/NRC-RES Fire Human Reliability/Analysis Guidelines*.
- Como consecuencia de la transición de la base de licencia del análisis de incendios a la NFPA-805, el APS N1 y N2 de sucesos internos a potencia de CNA se ha adaptado a la Norma ASME/ANS RA-SA-2009.

APLICACIONES DE APS

Aunque aún no se han desarrollado todos los análisis que permitan afirmar que se dispone de un APS de alcance completo, los análisis existentes permiten la realización de determinadas aplicaciones que apoyen la toma de decisiones informadas en el riesgo. La OIEA [3] agrupa estas aplicaciones en tres categorías que permiten explorar la significación para el riesgo de diferentes aspectos del diseño u operación de la central, analizar el impacto en el riesgo de modificaciones en el diseño u operación y evaluar los sucesos anormales que puedan ocurrir. Dicho organismo, asimismo, categorizó las aplicaciones del APS en 6 grupos de acuerdo con su uso [4].

A continuación, se describen las aplicaciones desarrolladas para CNC, CNA y CNT, agrupándolas de acuerdo con dicha categorización.

Análisis de seguridad

Una de las principales aplicaciones del APS es la realización de propuestas de modificaciones de diseño y de mejoras operacionales tras cada revisión del APS con el fin de incrementar la seguridad de la planta. Estas propuestas se basan principalmente en la identificación y categorización respecto a la seguridad de sistemas, equipos, secuencias dominantes, acciones humanas y dependencias importantes para la seguridad.

Como ejemplo, en CNC, a partir de los resultados obtenidos del análisis de Márgenes Sísmicos se identificaron algunos componentes con una capacidad de "alta confianza de baja probabilidad de fallo" (HCLPF) por debajo del nivel del terremoto de comparación (SME) de 0,3 g y cuya modificación ha sido realizada como parte de las mejoras propuestas en el marco de las Pruebas de Resistencia tras el accidente de Fukushima.

En las revisiones periódicas de seguridad se realiza un sumario del estado de los APS, resultados, modificaciones originadas por dicho análisis y aplicaciones realizadas durante el periodo analizado, lo que ayuda a tener una visión actualizada de la planta.

Evaluaciones del diseño

Tras la primera edición el APS y en las actualizaciones y nuevos desarrollos se identifican vulnerabilidades relacionadas con el diseño, proponiendo modificaciones para resolverlas.

Algunos ejemplos son la instalación de un interruptor de generación que incorpora en CNC la fuente de 400 kV a la alimentación de los sistemas auxiliares que alimentan a los sistemas de salvaguardia o emergencia; la modificación o rediseño de sistemas de distribución de corriente alterna interiores a la central; la modificación de lógicas de actuación de componentes, o la implantación de medidas preventivas para evitar o minimizar la inundación de determinadas salas.

Igualmente, en CNA se ha utilizado el APS para evaluar la importancia de las desviaciones por cambios o actualización de las reglas de diseño, como ha sido la utilización del APS de incendios como apoyo para el análisis del cumplimiento con el Apéndice R del 10-CFR-50 y

la transición de la base de licencia a la NFPA-805.

Operación de la planta Mantenimiento

El APS se utiliza para optimizar el programa de mantenimiento en todas las centrales nucleares.

Por una parte, en todas las centrales se aplica la Regla de Mantenimiento (RM), para asegurar que los sistemas, componentes y estructuras significativos están siendo adecuadamente mantenidos y que las actividades de mantenimiento no reducen la seguridad de la planta por incrementar la indisponibilidad de los mismos.

Otra de las aplicaciones relacionadas con mantenimiento es el RCM, Mantenimiento Centrado en Fiabilidad, en la que el APS interviene en la fase de definición de alcance.

En algunas centrales, como CNC y CNT, el APS también se ha utilizado para justificar la realización del mantenimiento preventivo a potencia de determinados equipos, que implica el descargo simultáneo de diferentes equipos de la misma redundancia, durante un tiempo determinado que no genere una situación de riesgo inaceptable.

En el caso de CNA se ha utilizado el APS como soporte informado en el riesgo al programa de gestión de equipos por envejecimiento.

Planificación de la emergencia y mitigación de accidentes

Una de las aplicaciones más utilizadas es el desarrollo y mejora de procedimientos de operación de emergencia de las centrales.

A veces, con la actualización o mantenimiento del APS se realizan propuestas de mejoras de los Procedimientos de Operación de Emergencia (POE). Así, es de destacar el desarrollo en CNT de los manuales de operación en condiciones de parada por recomendación de APS y, en CNC, el desarrollo de manuales de protección contra incendios e inundaciones basados en estudios deterministas y en el APS, el apoyo del APS para el desarrollo de la Guía de Seguridad en Parada (Figura 2) y para la validación técnica y mejora de las Guías de Accidente Severo.

Entrenamiento de personal

El APS es cada vez más utilizado como apoyo para la mejora del programa de entrenamiento de los operadores.

Así, se procede a la identificación de las acciones humanas significa-



tivas para el riesgo para su entrenamiento por el personal de Operación. Además el equipo de APS participa en el entrenamiento de escenarios modelados en el APS y en la realización de observaciones en el simulador de alcance total ("full-scope"), o el apoyo al cumplimiento de los requisitos de la Instrucción IS-11 [5] sobre licencias de personal de operación.

Control de configuración basado en riesgo / Monitor de Riesgo

Para cada una de las centrales se ha desarrollado e instalado un monitor de riesgo que provee información rápida (cualitativa y cuantitativa) sobre el riesgo de una determinada configuración de la planta (Figura 3).

Esta herramienta calcula el perfil de riesgo sobre un determinado periodo de tiempo y es fácil de usar por las unidades de Operación y Mantenimiento sin requerir conocer el APS en detalle. En CNC y CNA están conectados con el Libro de Turno en tiempo real.

Otra utilización del APS es evaluar combinaciones de descargos. Así, en CNA sirvió de base para la evaluación del impacto en el riesgo de la posibilidad de tener simultáneamente indisponible uno de los dos generadores diésel en la Unidad 1 y el quinto generador diésel asignado a la Unidad 2.

Cambios operacionales permanentes Modificaciones de planta

Numerosas modificaciones de planta son evaluadas con el APS para determinar si su implantación pudiera tener impacto en el riesgo de la central.

Así, en CNA se utilizó para la realización de diversas evaluaciones, como el impacto en el riesgo de la instalación del quinto generador diésel o de los trabajos de sustitución de tuberías afectadas por corrosión por influencia microbiológica (MIC) en el sistema de agua esencial (SW).

En CNT se realizaron análisis de impacto en el riesgo del venteo filtrado de la contención y de la alimentación y purga (Feed & Bleed) del primario.

En CNC, a partir de los resultados del APS de inundaciones se deter-

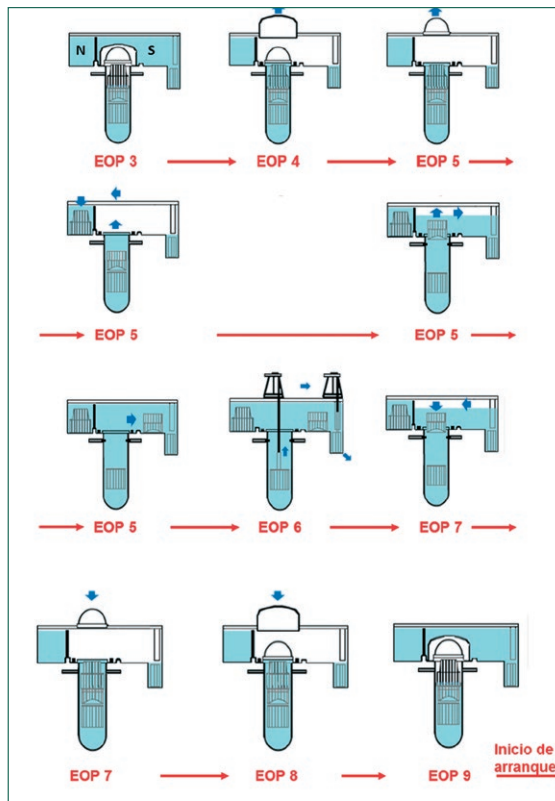


Figura 2. Estados operacionales del APSOM de CNC.

minó modificar el diseño del sistema de PCI para evitar posibles inundaciones de sala de control por rotura de sus tuberías.

Cambios en Especificaciones Técnicas

En determinados casos se ha hecho uso del APS como apoyo para justificar cambios en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF), por indisponibilidad o modificación del intervalo de pruebas, ya sea individualmente o mediante programas de optimización.

En CNA para permitir ampliar el periodo de inoperabilidad de un generador diésel tras la implantación del generador diésel 5. En CNT, para un aumento del tiempo de inoperabilidad permitido (AOT) en las ETF para los generadores diésel de salvaguardia y de emergencia. En CNC, para la extensión de 3 a 7 días del tiempo de inoperabilidad permitido del sistema de evacuación de calor residual (RHR). En esta última central, además, se ha utilizado el APS para el establecimiento de los tiempos de inoperabilidad permitidos de sistemas o funciones significativos para riesgo (Figura 4).

Otra utilización del APS es como apoyo para la determinación y evaluación de cambios a intervalos de pruebas de mantenimiento. Así, en



Figura 3. Monitor de riesgo de CNT

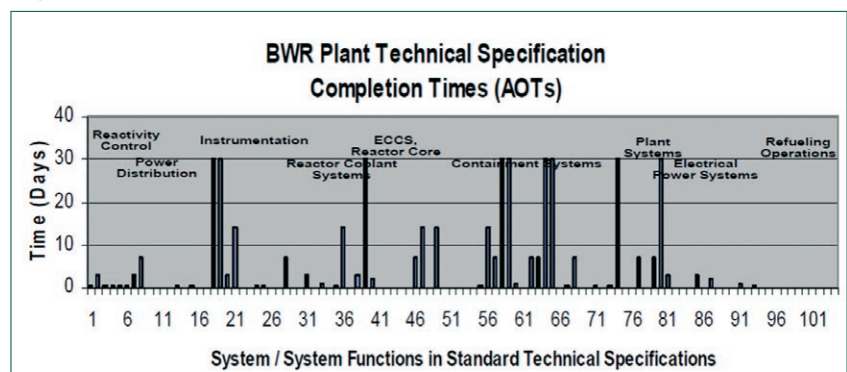


Figura 4. AOT en las ETF de centrales BWR para diferentes sistemas.

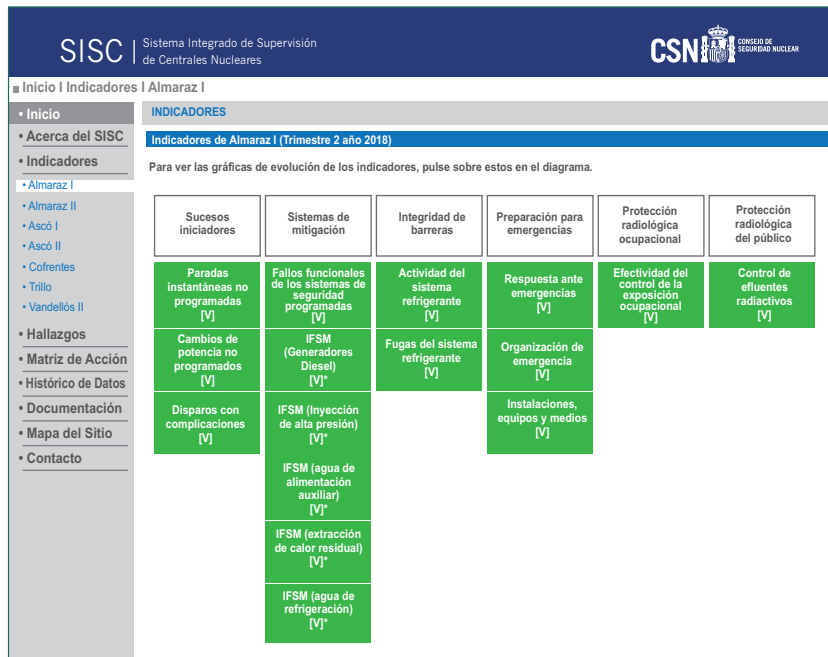


Figura 5. Indicadores de CNA.

CNC y CNA, se realiza una categorización basada en análisis de riesgo para establecer los requisitos mínimos para la operación de las válvulas operadas por aire (AOV) y motorizadas (MOV). En CNA, además, se utilizó el APS para la definición de frecuencias de revisión de internos de válvulas de retención clasificadas como de alta y potencial significación para la seguridad.

Otra aplicación del APS es el desarrollo de técnicas informadas en el riesgo al programa de pruebas en servicio (RI-IST) y a la inspección en servicio (RI-ISI) de tuberías, que permite optimizar estos programas tanto desde el punto de vista económico como de dosis al personal. El RI-IST se aplica en CNC a bombas y válvulas relacionadas con la seguridad. El RI-ISI se aplica en CNC a las tuberías Clases 1 y 2 y, en CNA, a las tuberías Clase 1.

Actividades de supervisión Monitorización del funcionamiento

En las centrales se utilizan indicadores de funcionamiento basados en el riesgo a largo y corto plazo (Figura 5).

Como indicador a largo plazo, se aplica en todas las centrales el Índice de Funcionamiento de los Sistemas de Mitigación (IFSM o MSPi) que es la suma de las desviaciones detectadas del sistema con respecto al comportamiento promedio de la industria debido a diferencias en la indisponibilidad y fiabilidad.

En las centrales, además, existe un procedimiento para la Gestión Integrada de Riesgos, que desarrolla un proceso que permite identificar, analizar y minimizar los riesgos de toda índole que pudiesen existir. Este proceso da respuesta a lo requerido por WANO en el documento de experiencia operativa SOER 2015-02 *Risk Management Challenges*.

En cuanto a los indicadores de funcionamiento a corto plazo, en las centrales se utiliza el monitor de riesgo para la planificación de las configuraciones de la central a potencia, así como para la preparación del mantenimiento preventivo a Potencia.

Evaluaciones del funcionamiento

El APS se utiliza también, por las inspecciones, para evaluar el impacto en el riesgo de los hallazgos y valorar posibles acciones correctivas. Por ejemplo, se ha utilizado para la valoración del impacto en el riesgo de propuestas de categorización preliminar de hallazgos como la instalación de elementos de grado comercial en equipos de seguridad o la insuficiente capacidad de los acumuladores de aire de instrumentos de ciertas válvulas neumáticas para CNA.

Otra aplicación del APS es determinar cómo puede un suceso operacional degenerar en un accidente con consecuencias serias y obtener la probabilidad condicionada de daño al núcleo de dicho suceso. Así, en CNA se realizó una evaluación

del impacto del estado de un transformador de arranque, cuyo fallo en determinadas condiciones podría dar lugar a un suceso iniciador y a la degradación de los sistemas de mitigación, resultando su impacto no significativo.

Evaluación de cuestiones de seguridad

El APS se utiliza para la evaluación del riesgo e identificación y clasificación de temas de seguridad, no sólo en la capacitación de ESC sino también en aspectos operacionales y organizacionales. Las distintas instituciones que revisan el estado de seguridad de las centrales, como el CSN o los *peer review* de WANO, se apoyan cada vez más en esta herramienta para valorar también estos otros aspectos.

CONCLUSIONES

El APS se utiliza cada vez más, de una manera complementaria a los análisis deterministas tradicionales y a los criterios de defensa en profundidad, como parte del proceso de toma de decisión para evaluar el nivel de seguridad y soportar las distintas aplicaciones existentes informadas en el riesgo, pudiendo influenciar también en su diseño y operación. La calidad del APS es un factor clave en la robustez de las decisiones inferidas del mismo y, por tanto, de la propia gestión de la central.■

- [1]. CSN. Guía de Seguridad 1.15. "Actualización y mantenimiento de los Análisis Probabilistas de Seguridad". Rev. 1. Enero 2017.
- [2]. CSN. Instrucción de Seguridad IS-25 sobre criterios y requisitos sobre la realización de los análisis probabilistas de seguridad y sus aplicaciones a las centrales nucleares. B.O.E. Núm. 153 de 24 de junio de 2010.
- [3]. IAEA-TECDOC-1200. "Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants". Febrero 2001.
- [4]. IAEA-TECDOC-1511. "Determining the quality of probabilistic safety assessment (PSA) for applications in nuclear power plants". Julio 2006.
- [5]. CSN. Instrucción de Seguridad IS-11 sobre licencias de personal de operación de centrales nucleares. B.O.E. Núm. 100 de 26 de abril de 2007.