

ANÁLISIS DE FIABILIDAD HUMANA DENTRO DEL APS. TOMA DE DATOS EN PLANTA



VÍCTOR DOMINGO FERRERAS

Analista de Fiabilidad Humana del APS
IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR

INTRODUCCIÓN

El Análisis Probabilístico de Seguridad (APS), es una herramienta fundamental para evaluar el riesgo de una Central Nuclear, en su totalidad, y también de sus diferentes constituyentes, lo que ayuda a focalizar a la planta en el control y mejora de sus puntos más débiles.

Se consideran constituyentes en su definición más amplia, no solo equipos, sistemas y componentes, también pruebas, mantenimientos y actuaciones del personal de planta.

Para conseguir su objetivo, el APS se construye realizando una serie de tareas que supone la evaluación de la planta y sus potenciales riesgos desde múltiples puntos; tareas como el análisis de sucesos iniciadores, secuencias de accidente, datos de fiabilidad de equipos, análisis de sistemas, fiabilidad de las actuaciones humanas, etc.

Dentro de estas tareas, la Fiabilidad Humana es uno de los puntos que más está impactando en los resultados y conclusiones del APS.

En los últimos años los análisis de Fiabilidad Humana están adquiriendo cada vez mayor relevancia en la seguridad de las centrales nucleares. Este protagonismo está asociado a un uso más intensivo del APS en la gestión de seguridad de las Centrales, pero también a la experiencia de sucesos recientes, como el accidente de Fukushima, que ha supuesto un incremento del uso de estrategias de mitigación dominadas por acciones humanas.

La tarea de Fiabilidad Humana consiste en la modelización de acciones humanas cuyo fallo puede ser importante para la seguridad de las centrales nucleares. Las más relevantes son las acciones que tienen que realizar los operadores de Sala de Control y los auxiliares de planta para la mitigación de sucesos iniciadores, además de las maniobras realizadas en mantenimientos y en pruebas, que puedan comprometer la integridad de la central.

Para el modelado y cálculo de estas acciones humanas, el analista de Fiabilidad Humana dispone de diversas herramientas. Estas herramientas se sustentan en los marcos y estándares definidos por las metodologías internacionales, las amplias bases de datos recopiladas con la experiencia de las plantas en operación y la realimentación con el resto de los analistas de datos y de sistemas del APS.

Además de lo anterior, una de las fuentes más decisivas para el correcto modelado de las acciones humanas es la toma de datos en planta, mediante dos de las actividades más características de la Fiabilidad Humana: las observaciones en Simulador de Sala de Control y la verificación y validación (V&V) de acciones humanas locales.

A continuación, se analizan en detalle estas actividades, destacando sus aspectos más relevantes.

OBSERVACIONES EN SIMULADOR

El entrenamiento del personal de operación se rige por la Instrucción de Seguridad IS-11, "Sobre licencias de personal

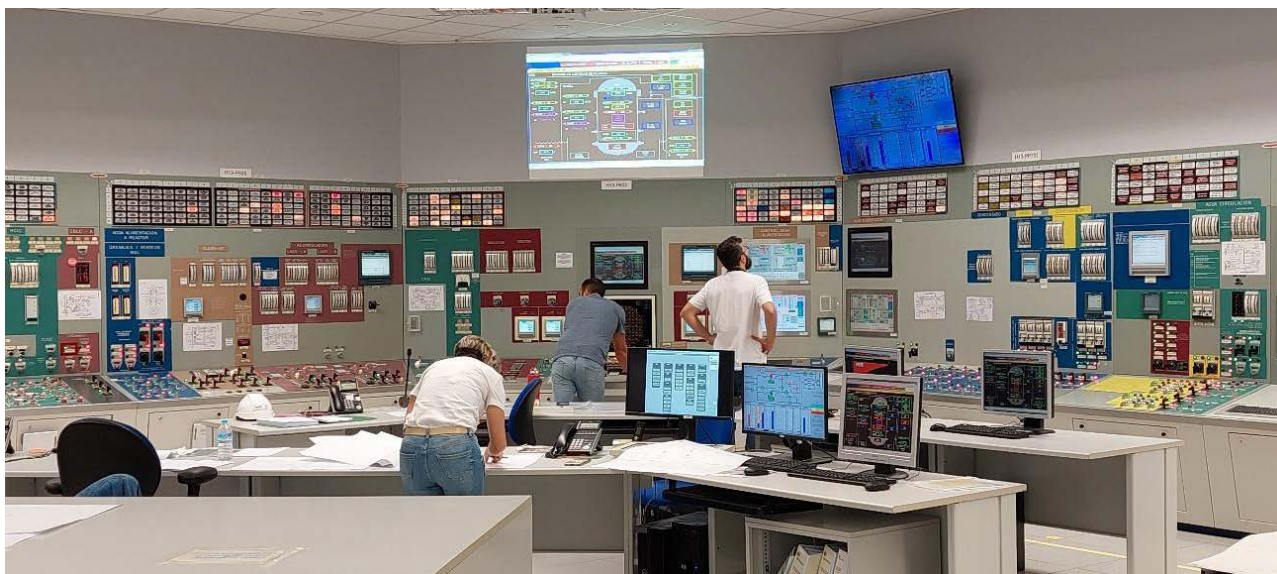


Figura 1. Simulador de Sala de Control durante un entrenamiento.

de operación de centrales nucleares” [1], del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

En esta Instrucción de Seguridad se requiere a las instalaciones un plan de entrenamiento en el Simulador de Sala de Control de cada central, tanto para la cualificación del personal aspirante a licencia, como para la formación continua del personal con la licencia obtenida del turno de operación, compuesto, en general, por un Jefe de Turno, un Supervisor de Sala/Turno, y dos Operadores polivalentes de Turbina y Reactor.

Este entrenamiento se realiza para cada turno de operación (en general en cada planta están organizados 7 u 8 turnos) de una semana de duración por semestre.

Durante esta semana de entrenamiento, el grupo de operación se enfrenta a diversos escenarios, algunos implican la realización de maniobras rutinarias (subidas/bajadas de carga), en otros tratan con condiciones de operación anómalas, y en otros se enfrentan a sucesos iniciadores que derivan en accidentes. Son estos últimos escenarios los que revisten de mayor interés para la tarea de Fiabilidad Humana dentro del análisis del APS.

En estos escenarios de accidente los operadores deben realizar acciones humanas, siguiendo los procedimientos de emergencia, que mitiguen el accidente, estabilicen la planta y minimicen sus consecuencias para el personal y el medio ambiente. Gran parte de estas acciones humanas críticas son modeladas en el APS en los análisis de secuencias de accidentes.

Las observaciones en el Simulador por parte de los analistas de Fiabilidad Humana facilitan una gran cantidad de información sobre las maniobras que realiza el grupo de operación, como por ejemplo los tiempos de reacción y de ejecución, los procedimientos utilizados, la selección de estrategias, la toma de decisiones, etc., datos que intervienen en la narrativa, definición y cálculo de las acciones humanas.

Sistemática de las observaciones en simulador

Para que las observaciones sean realmente útiles y

proporcionen la mayor cantidad de información posible, se ha establecido una sistemática específica para su realización de acuerdo a los estándares internacionales.

En primer lugar, se realiza una reunión previa con Formación y con los instructores y responsables del simulador que establecen los escenarios a entrenar. Esta reunión se suele realizar antes o durante la semana de pruebas piloto de los escenarios, antes de que comience el periodo de entrenamiento de los distintos turnos.

En ella se intercambia información sobre, entre otros, los escenarios, los sucesos iniciadores, equipos indisponibles, personal de planta implicado y las acciones humanas esperables. Durante esta reunión el equipo de APS tiene la opción de realizar comentarios a los escenarios planteados para que Formación evalúe la posibilidad de introducir cambios, de tal forma que puedan resultar de mayor interés al APS, siempre sin desvirtuar el objetivo fundamental del proceso a desarrollar en el simulador, que es la formación y entrenamiento del personal con Licencia de Operación.

Cabe destacar que estas reuniones resultan igualmente beneficiosas para Formación, puesto que el APS pone de manifiesto la relevancia de las acciones humanas entrenadas en relación al riesgo de la planta, lo que permite priorizar la formación de unas sobre otras en función de su nivel de riesgo.

Una vez definidos y probados los escenarios definitivos durante las pruebas piloto, comienza el periodo de entrenamiento, donde se realizan las observaciones y la toma de datos.

En estas observaciones suele participar uno o dos observadores de APS, que se sitúan estratégicamente en un lugar desde el cual sea posible tener una visión completa de la Sala de Control, como la sala de los instructores, o un punto dentro de la propia sala donde no se interfiera con las maniobras de los operadores. Es importante señalar que los observadores, mantienen en todo momento un papel pasivo durante el entrenamiento de los escenarios, es decir, no intervienen ni alteran el desarrollo cronológico de los mismos.

Durante las observaciones se recopilan datos, utilizando un formato diseñado para ello (**Figura 2**) en el que se registran los eventos, las órdenes y las maniobras más importantes realizadas por los operadores, así como el momento en que se producen y cualquier comentario o información adicional que complemente el evento o maniobra registrado.

En esta toma de datos, el observador debe poner el foco en la siguiente información:

- Identificación de los roles y funcionamiento de los integrantes del grupo de operación presente en Sala de Control.
- Análisis del uso y adherencia a los procedimientos durante la mitigación de un accidente.
- Análisis de la gestión de las alarmas durante un accidente.
- Identificación de las posibles herramientas utilizadas para prevenir un posible error humano (por ejemplo, alfabeto fonético, comunicación a tres vías...).
- Análisis de las etapas involucradas en los posibles errores humanos modelados en el APS (detección, diagnóstico, selección de la estrategia y realización de cada acción humana).
- Análisis del nivel de resiliencia del grupo de operación, así como la carga de trabajo durante el escenario.
- Recopilación de información para poder realizar un análisis temporal realista y estadísticamente fiable de las acciones humanas modeladas en el APS.

Cabe destacar que el objetivo final de estas observaciones es la recogida de información que sirva de apoyo al modelado del APS, y que en ningún caso persiguen evaluar ni valorar el programa de formación en el simulador ni el desempeño del grupo de operación presente en Sala de Control. Este enfoque debe comunicarse explícitamente tanto a los instructores del simulador como al grupo de operación, con

el fin de evitar que la actividad de observación condicione la actuación de los operadores. De este modo se favorece un ambiente más distendido y, sobre todo, más realista.

Tras el proceso de observaciones en el Simulador, se procede a recopilar todos los datos obtenidos con el fin de extraer, a partir de ellos, toda la información relevante que complemente el modelado de las acciones humanas en el APS, documentando de forma adecuada todo el proceso seguido y notificando las propuestas de mejora derivadas de las observaciones que pudieran surgir.

VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN (V&V) DE ACCIONES LOCALES

En escenarios de accidente, además de las acciones del grupo de operación en la Sala de Control, a menudo es necesario la actuación manual de equipos o componentes situados localmente en planta, como por ejemplo la apertura de válvulas, cierre de interruptores o arranque de bombas, que realizan los auxiliares de operación a requerimiento del grupo de Sala de Control.

A estas acciones humanas solo se les puede dar crédito en el APS si están debidamente procedimentadas, es decir, si se encuentran recogidas en los procedimientos de operación de la central.

En este sentido, la Instrucción de Seguridad IS-26 [2], sobre requisitos básicos de seguridad nuclear, indica:

“El titular deberá verificar y validar los procedimientos de operación antes de su entrada en vigor, y mantenerlos actualizados para reflejar la situación de la instalación y de la organización”.

Adicionalmente, la Instrucción de Seguridad IS-36 [3], sobre procedimientos de operación de emergencia y gestión de accidentes severos en centrales nucleares, requiere disponer de un conjunto de procedimientos y/o guías de operación para hacer frente tanto a accidentes base de diseño, como a

Escenario de Incendios			
Fecha:		Observador:	
		Firma:	
Paso	Hora	Acción	Comentarios
10	00:00:00	Inicio del escenario.	
20	00:02:50	El grupo de operación coloca carteles de equipo protegido en las manetas de los extractores en funcionamiento. Llama a Mantenimiento Eléctrico para que revisen y solucionen el fallo del Jansen del TA1.	Utilización de herramientas de prevención de error.
30	00:05:00	Aparece alarma de incendios.	
40	00:05:15	Operador de Turbina identifica las zonas afectadas.	
50	00:05:50	Operador de Turbina llama al Auxiliar para que se dirija a la zona donde se localiza el incendio y confirme fuego real.	
60	00:06:15	Brigada de bomberos llama al Supervisor de Sala para informar que han recibido la alarma de incendios y que han enviado a los bomberos a la zona.	
70	00:06:48	Jefe de Turno considera declarar suceso del PEI si el incendio no se extingue antes de 10 minutos desde que se confirmó.	PEI: Plan de Emergencia Interior
80	00:07:20	Auxiliar confirma incendio real.	

Figura 2. Formato de observaciones en simulador.

accidentes severos más allá de las bases de diseño. A este respecto, la instrucción establece que:

“Para que la calidad de los procedimientos y guías sea la adecuada es necesario que sean sometidos a procesos de verificación y validación, y ello con el fin de garantizar la idoneidad de las estrategias de gestión de transitorios y accidentes que contienen”.

Es decir, estas acciones humanas, necesarias para hacer frente a accidentes base de diseño y gestionar accidentes severos, solo pueden tener crédito en APS si han sido sometidas a un proceso de verificación y validación, debidamente documentado, que garantice su viabilidad desde el punto de vista de factores humanos.

De este modo, los procesos de verificación y validación proporcionan al APS información suficientemente contrastada que permite garantizar el correcto modelado de estas acciones locales, que pueden presentar un alto grado de complejidad, derivado de la participación de diferente personal, actuando en distintas localizaciones, y sobre una diversidad de equipos y componentes.

Sistemática de la V&V

Para verificar y validar cada acción humana con actuaciones fuera de Sala de Control, se realiza un análisis estructurado de los pasos y actuaciones que componen la acción humana, tanto en Sala de Control como en campo. Para ello se siguen diversos estándares o sistemáticas reconocidas internacionalmente en factores humanos, NEA No. 7466 [4], NUREG-0711 [5], y/o Capítulo 18 del NUREG-0800 [6].

Para cada una de las acciones humanas modeladas, con actuación fuera de Sala de Control, se analiza:

- El proceso de detección, diagnóstico y selección de la estrategia (instrumentación disponible, disposición y adecuación de la instrumentación, adecuación de los procedimientos e instrucciones al personal).
- Los procedimientos y/o instrucciones de operación, formación y complejidad de la acción humana.
- La carga de trabajo y estrés del personal.
- Los protocolos de comunicación tanto en Sala de Control como entre Sala de Control y los Auxiliares.

- La accesibilidad a los equipos a manipular localmente.
- La identificación y localización de estructuras, sistemas y componentes (interfaz).
- Las herramientas y equipos especiales necesarios (incluyendo equipos de protección individual).
- Las condiciones ambientales (ruido, iluminación, humedad, temperatura...) de las acciones locales.
- Los tiempos de actuación: tiempo hasta alcanzar el estímulo (en los casos en los que aplique), tiempo en el proceso cognitivo (detección, diagnóstico y selección de la estrategia) y tiempo en la ejecución de la acción humana (para aquellas maniobras que, por la situación operativa de la planta en el momento de la toma de datos, no se puedan realizar, como por ejemplo la actuación real de válvulas, se estima el tiempo de actuación en base a la tarea, tamaño del equipo, complejidad, y por medio de entrevistas a los Auxiliares de operación).
- Los posibles errores de comisión, tanto en el proceso cognitivo (instrumentación) como en la ejecución de la acción humana.

Organización y proceso de la V&V

El proceso se inicia con la verificación previa de cada acción, en la que se analiza, desde el punto de vista de factores humanos, el procedimiento y los pasos en los que se desglosa la acción. Este análisis contempla, entre otros aspectos, la identificación del estímulo que desencadena la acción; las tareas y actuaciones demandadas; la instrumentación implicada, tanto para la detección del estímulo como para la ejecución y verificación de la acción; el personal necesario para su realización; la correcta identificación y localización de los equipos sobre los que se debe actuar; el uso de herramientas y su punto de acopio; así como la incorporación de elementos de prevención del error humano en el propio procedimiento, entre otros factores (**Figura 3**).

Posteriormente se lleva a cabo la validación de cada acción, para determinar su viabilidad desde el punto de vista de factores humanos.

Como ya se ha indicado, la validación de las acciones locales se lleva a cabo, tanto en Sala de Control (ya sea en

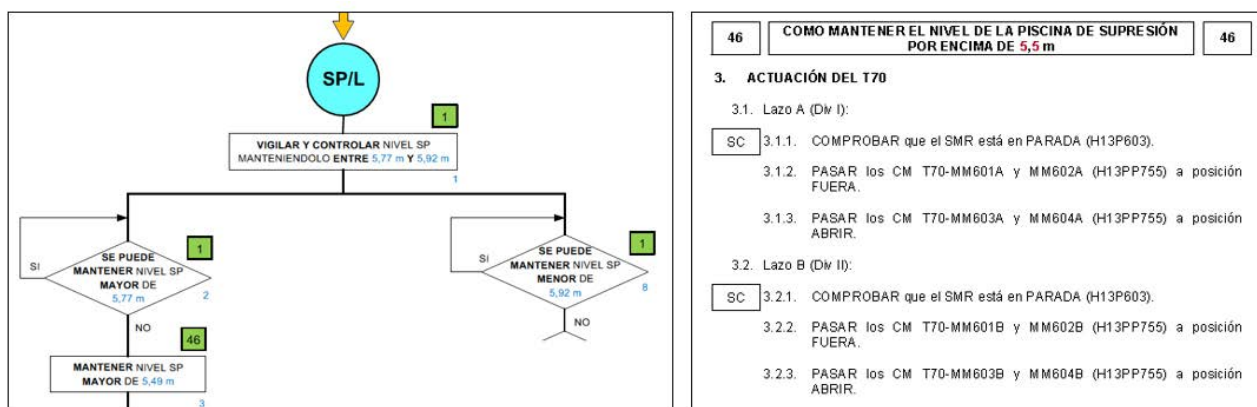


Figura 3. Extracto de Procedimientos de Emergencia e Instrucciones de operación.

la propia sala o en el Simulador) como en campo, mediante la participación de un equipo multidisciplinar, integrado habitualmente por personal de Operación, Factores Humanos y APS:

- Coordinador del análisis: personal de APS.
- Equipo de validación: formado por personal de APS, y eventualmente personal de Factores Humanos.
- Equipo ejecutor: compuesto, en función de la acción humana a analizar, por operadores de Sala de Control y Auxiliares.

Tradicionalmente, la validación de las acciones humanas se realiza de forma secuencial, es decir, cada acción humana es validada de forma lineal, empezando con el análisis de su(s) estímulo(s) en Sala de Control, para continuar con la validación en campo de las acciones locales y finalizando, cuando es posible, con la comprobación de su correcta realización en Sala de Control.

Eventualmente, y con objeto de (a) optimizar los recursos necesarios para la validación de las acciones humanas locales (disponibilidad de los Auxiliares y de los turnos de Sala de Control), (b) aprovechar las sesiones de recalificación en el Simulador, y/o (c) acceder a determinados cubículos minimizando la dosis del equipo de validación, se opta por verificar y validar de forma independiente las actuaciones en Sala de Control y las maniobras locales asociadas.

De esta manera, las actuaciones en Sala de Control se pueden analizar durante las sesiones de entrenamiento en el simulador, y/o a través de sesiones talk-throughs o walk-throughs, tomando nota de la opinión y criterio de los turnos de operación.

En esta fase se analiza **(Figura 4)**:

- El proceso de detección, diagnóstico y selección de la estrategia, identificando procedimientos a utilizar en Sala de Control, así como la instrumentación involucrada, tanto en el estímulo como en la ejecución y/o comprobación del éxito en la ejecución de la acción humana.
- A nivel de procedimientos, si la acción humana es traceable y que todas las actuaciones a realizar están explícitamente indicadas.
- La interfaz persona-máquina, a nivel de instrumentación,

identificando sobre todo los posibles errores de comisión en la instrumentación que determina el estímulo de la acción humana, así como la instrumentación necesaria para la posterior comprobación del éxito en su ejecución.

- La instrumentación alternativa (si la hubiera) en caso de fallo/indisponibilidad de la instrumentación de referencia (instrumentación post-accidente), así como su interfaz.
- La interfaz persona-máquina, a nivel de componentes (manetas, botones, conmutadores, etc), identificando sobre todo los posibles errores de comisión.

Las maniobras locales se pueden agrupar por edificios para aprovechar al máximo la disponibilidad y desempeño de los Auxiliares, así como minimizar la dosis del equipo de validación.

Para estas maniobras se analizan:

- Los procedimientos/instrucciones necesarias para realizar las acciones locales, su disponibilidad, si es necesario desplazarse a Sala de Control, las copias controladas, la comunicación entre Operadores y Auxiliares, etc.
- Localización y ruta de acceso a los componentes a actuar **(Figura 5)**.
- La interfaz persona-máquina de los componentes, identificando posibles errores de comisión **(Figura 6)**.
- La accesibilidad de los componentes **(Figura 7)**.
- En caso de ser necesarios equipos/herramientas, su disponibilidad en los paños y puntos de acopio, así como su facilidad de acceso.
- Las condiciones ambientales en las que se desarrolla las actuaciones locales (ruido, iluminación, humedad, temperatura, radiación, etc.) **(Figura 8)**.

Adicionalmente, tanto en el Simulador/Sala de Control como de forma local, se analizan los siguientes aspectos "transversales":

- Las comunicaciones entre Sala de Control y los Auxiliares (telefonía inalámbrica, megafonía, etc).
- Formación/grado de entrenamiento de las acciones humanas (tanto del personal con licencia como del personal sin licencia), así como su complejidad.



Figura 4. Interfaz persona-máquina en paneles de Sala de Control.

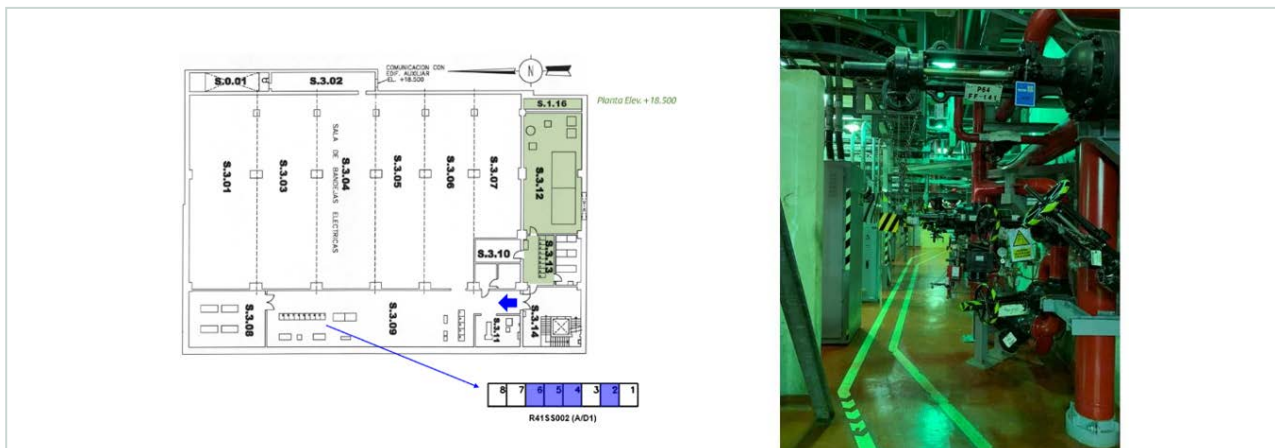


Figura 5. Localización y rutas de acceso.



Figura 6. Interfaz persona-máquina de componentes a actuar.

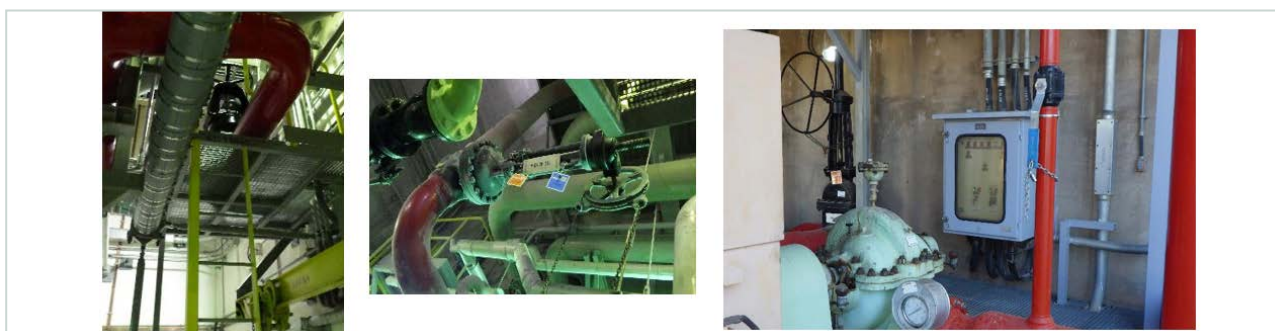


Figura 7. Accesibilidad de componentes.

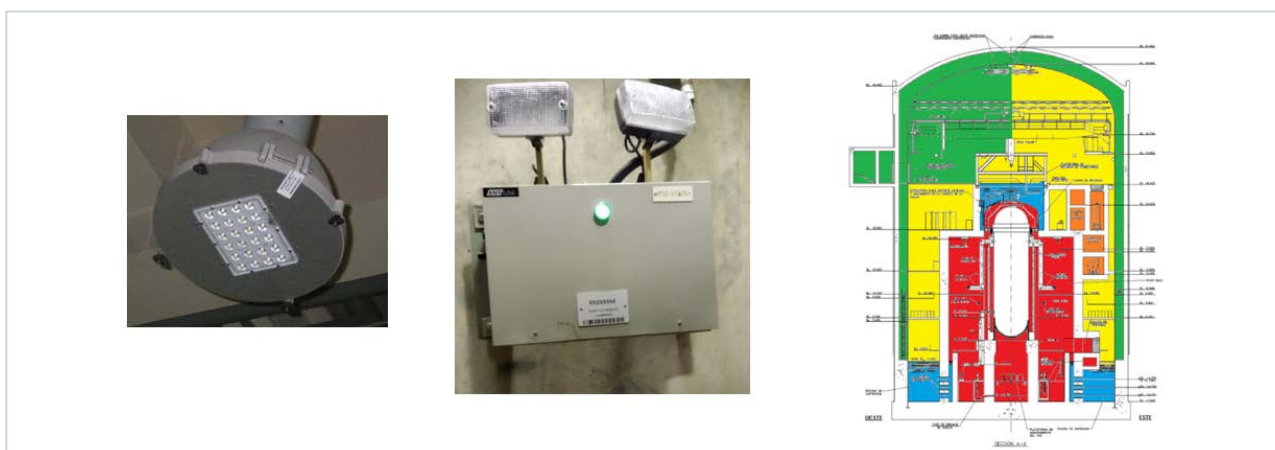


Figura 8. Equipos de iluminación y zonas radiológicas.

- Los tiempos involucrados, es decir, desde que se produce el estímulo en Sala de Control hasta que se determinan las actuaciones a realizar (tiempo cognitivo), así como los tiempos de comunicación, desplazamiento y actuaciones locales (tiempo de ejecución).
- La carga de trabajo.

Tras el proceso de observaciones en campo, se procede a recopilar todos los datos tomados y, en base a éstos, realizar un análisis de la viabilidad de cada acción, desde el punto de vista de factores humanos, identificando posibles precursores de error, discrepancias o áreas de mejora, documentando todo este proceso adecuadamente y notificando las propuestas de mejora derivadas.

CONCLUSIÓN

En los últimos años los análisis de Fiabilidad Humana están adquiriendo cada vez mayor relevancia en la seguridad de las centrales nucleares, debido a un uso más intensivo del APS en la gestión de seguridad de las Centrales, y a la experiencia de sucesos recientes, como el accidente de Fukushima, que ha supuesto un incremento del uso de estrategias de mitigación dominadas por acciones humanas.

Tanto las observaciones en el simulador de Sala de Control, como la verificación y validación de acciones humanas con actuaciones locales, son herramientas muy útiles para la tarea de Fiabilidad Humana dentro del APS, ya que suministran información muy valiosa sobre las acciones humanas que los Operadores de Sala de Control y los Auxiliares de planta realizan para la mitigación de sucesos iniciadores de accidentes, permitiendo un modelado realista

y consistente con las actuaciones del personal de planta.

Por otro lado, la central se beneficia de estas actividades, dado que existe una realimentación continua desde el APS hacia la planta. Efectivamente, la recopilación y análisis de la información obtenida por el APS puede detectar oportunidades de mejora que transmite a planta en forma de recomendaciones de, entre otras, clarificación de procedimientos, mejoras en la interfaz persona-máquina y propuestas de modificaciones de diseño, que redundan en la mejora de la seguridad de las centrales nucleares.

REFERENCIAS

- [1] IS-11: Instrucción IS-11, revisión 1, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre licencias de personal de operación de centrales nucleares. 30 de enero de 2019.
- [2] IS-26: Instrucción IS-26, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre requisitos básicos de seguridad nuclear aplicables a las instalaciones nucleares. 16 de junio de 2010.
- [3] IS-36: Instrucción IS-36, del Consejo de Seguridad Nuclear, sobre Procedimientos de operación de emergencia y gestión de accidentes severos en centrales nucleares. 21 de enero de 2015.
- [4] NEA No. 7466: Multi-Stage Validation of Nuclear Power Plant Control Room Designs and Modifications. 2019.
- [5] NUREG-0711: Human Factors Engineering Program Review Model. Rev. 3, noviembre de 2012.
- [6] NUREG-0800: 18.0 Human Factors Engineering. Rev. 3, diciembre de 2016. ■