

Mejoras pos-Fukushima

R. González Miguélez, M. Otero, G. Ruiz Granell,
J. F. Sánchez Marcos y V. Zuriaga

El accidente ocurrido en la central nuclear japonesa de Fukushima Daiichi en 2011 supuso un cambio sustancial en la gestión de emergencias de las centrales nucleares. Las pruebas de resistencia han analizado un conjunto de situaciones extremas que han puesto de manifiesto la robustez de las centrales nucleares españolas y han identificado medidas de mejora de la seguridad en el ámbito de los sucesos naturales extremos, gestión de emergencias, protección radiológica y accidentes severos.

The accident at Japan's Fukushima Daiichi nuclear power plant in 2011 implied a substantial change in the emergency management of nuclear power plants. Stress Tests have analyzed a set of extreme events that have shown the robustness of the Spanish plants and have identified measures for safety improvement in the area of extreme natural events, emergency management, radiological protection and severe accidents.

ANTECEDENTES

El terremoto y posterior *tsunami* que tuvieron lugar en la costa oriental de Japón el 11 de marzo de 2011, afectando gravemente a la central nuclear de Fukushima Daiichi, supusieron un cambio radical en la gestión de emergencias de las centrales nucleares.

Las pruebas de resistencia definidas para las centrales nucleares europeas en el ámbito de WENRA (*Western European Nuclear Regulators Association*), ENSREG (*European Nuclear Safety Regulatory Group*) y la Unión Europea han analizado un conjunto de situaciones extremas con el objetivo de poner de manifiesto la solidez de las medidas de protección de que disponen actualmente las centrales nucleares españolas e identificar planes apropiados de mejora de seguridad. Consisten en una reevaluación "dirigida" de los márgenes de seguridad de las plantas nucleares a la luz de los eventos sucedidos en Fukushima: fenómenos naturales que pueden poner en peligro las funciones de seguridad de las plantas y que puedan llevar a un accidente severo. Esta reevaluación, llevada a cabo por las centrales españolas a lo largo de 2011, consistió en:

- Una evaluación de la respuesta de la instalación frente a un conjunto de situaciones extremas.

- Una verificación de las medidas preventivas y mitigativas elegidas siguiendo la filosofía de defensa en profundidad: sucesos iniciadores, pérdidas consecuentes de funciones de seguridad y gestión de accidentes severos.

Mediante las pruebas de resistencia se verificó la robustez de las medidas de protección actuales. No obstante, se identificaron planes de mejora de la seguridad, como se expondrá a continuación.

ACCIDENTES SEVEROS Y SUCESOS NATURALES EXTREMOS

En el informe final de las pruebas de resistencia que realizaron las centrales nucleares españolas en octubre de 2011 y otros análisis adicionales requeridos por el CSN con posterioridad se realizaron análisis en las áreas de sucesos externos: terremotos, inundaciones externas, temperaturas extremas, etc.; en la pérdida escalonada de la energía eléctrica tanto exterior como interior a la central y en la pérdida del sumidero final de calor tanto el primario como el alternativo y por último en la gestión de accidentes severos; fruto de los cuales se concluyeron con una serie significativa de propuestas de mejora tanto de aumento de capacidad de la propia instalación de la

RODRIGO GONZÁLEZ MIGUÉLEZ

es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Madrid. Comenzó su actividad profesional en 1982 en Empresarios Agrupados en proyectos de centrales nucleares y, en 1984, ingresó en el Consejo de Seguridad Nuclear, donde prestó servicio en varios puestos, el último como director técnico de Protección Radiológica entre 2003 y 2012. En junio de 2012 ingresó en el OIEA, en Viena, donde en la actualidad presta servicio como director de la División de Ciclo de Combustible Nuclear y Tecnología de Residuos.

MAITE OTERO

es ingeniero industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, especialidad de Técnicas Energéticas. Desde 1981 trabaja en diferentes puestos de la organización en ANAV. Desde 2011 es responsable del Proyecto Fukushima en CN Ascó y Vandellós II.

GERARDO RUIZ GRANELL

es ingeniero industrial del ICAI con la especialidad mecánica. Se incorporó a CNAT en 1991 donde ha desempeñado diversos puestos, siendo en la actualidad jefe de Seguridad y Licencia y miembro del Grupo de Coordinación de CNAT para Fukushima.

JOSÉ FERNANDO SÁNCHEZ MARCOS

es licenciado en Ciencias Químicas y máster en Energía Nuclear. Ha trabajado en diversas centrales. En 2005 se incorporó a la central nuclear de Santa María de Garoña como responsable de Protección Radiológica Operacional. Desde 2013 ejerce de 2ª licencia de Protección Radiológica de la central.

VICENTE ZURIAGA

es ingeniero industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Valencia, especialidad de Electrónica y Automática. Desde 2004 pertenece al Departamento Técnico Nuclear de CN Cofrentes, siendo responsable de la modernización de los sistemas de Instrumentación y Control. Desde 2011 es responsable del Proyecto Fukushima en CN Cofrentes.

central como en las áreas de equipos portátiles y sus Guías de Mitigación de Daño Extenso (GMDE) asociadas, como la creación de nuevas infraestructuras (CAGE) y de nuevos centros de apoyo exterior común a todas las centrales nucleares (CAE).

Las actuaciones de mejora a llevar a cabo, se planificaron en tres bloques temporales: corto plazo, hasta diciembre de 2012; medio plazo, hasta diciembre de 2014; y largo plazo, hasta diciembre de 2016.

De manera sintética todas las actuaciones de mejora se pueden agrupar conceptualmente en tres bloques que afectan a las diferentes etapas de la defensa en profundidad.

- **Prevención:** Evitar que pase lo sucedido en Fukushima.

Dentro de este bloque se encuentran las actuaciones asociadas al aumento de robustez de las estructuras, sistemas y componentes desde el punto de vista sísmico (aumento de margen hasta 0.3 g de los equipos relevantes del SBO, de Gestión de Accidentes Severos, equipos susceptibles de provocar incendios o explosiones en caso de terremoto), etc.

Así mismo se aumenta la robustez frente a inundaciones externas, reforzando muros de barrancos adyacentes al emplazamiento, incrementando la capacidad de la red de drenajes, etc. También aumentará la robustez frente a otros sucesos externos que se ha estimado conveniente como temperaturas extremas.



Figura 1: Aumento capacidad barranco La Vaguada C.N. Asco.



Figura 2. Inyección Alternativa a los Generadores de Vapor para evacuación de calor residual del núcleo.

Todas estas mejoras ya implantadas o en curso de implantación; incrementan la robustez de las centrales nucleares, mejoran la respuesta de la central en el caso de hipotéticos sucesos naturales extremos, ya que las centrales quedan más protegidas frente a los mismos y, además, muchos más equipos en la central tendrán capacidad para aguantar dichas situaciones extremas.

- **Actuación:** evitar el daño al núcleo del reactor y a la piscina de combustible gastado.

Se han llevado a cabo o están en curso de implantación, modificaciones de diseño para facilitar las conexiones de los equipos portátiles a unos puntos de inyección definidos, de forma que sea lo más sencilla posible la ejecución de las estrategias cuyo objetivo es evitar el daño al núcleo. También se realizan mejoras en la instrumentación de nivel y temperatura de piscina de combustible gastado.

Es obvio que la formación y el entrenamiento del personal de la organización de emergencia en la aplicación de las GMDE y el uso de los equipos portátiles es clave para garantizar el éxito de las estrategias y evitar el daño al núcleo.

- **Mitigación:** mantener la integridad de contención y minimizar la liberación de productos radiactivos.

Caso extremo de que no se pudiera evitar el daño al núcleo existen también mejoras para mantener la integridad de contención y minimizar la liberación de productos radiactivos al exterior.

Para ello se han llevado a cabo o están en curso de implantación, modi-

ficaciones de diseño para facilitar las conexiones de los equipos portátiles a puntos de inyección definidos, de forma que sea lo más sencilla posible la ejecución de las estrategias cuyo objetivo es disponer de inyección alternativa al sistema de rociado de la contención.

Adicionalmente se van a implantar una serie de grandes modificaciones de diseño para garantizar la integridad de la contención, cuya condición de contorno más significativa es que sean lo más pasivas posible (no tienen dependencia de corriente alterna ni continua, ni sistemas soporte de enfriamiento como el sistema de agua de servicios esenciales, etc.; y requieran el mínimo de actuaciones humanas).

Dichas grandes modificaciones de diseño sirven para hacer frente a la generación de hidrógeno en el interior de contención, con la instalación de recombinadores pasivos autocatalíticos (excepto en el caso de CN Trillo, que ya disponía de ellos), y hacer frente a la potencial presurización de la contención con la instalación de un sistema de venteo filtrado, de forma que en caso de ser necesario el venteo de la contención para mantener su integridad, la liberación de productos radiactivos sea la mínima posible y, por tanto, el impacto a la población y a los trabajadores de las centrales nucleares sea también el mínimo.

Para que el conjunto de actuaciones definidas sean efectivas, hay aspectos transversales que se han revisado, tal es el caso de la formación y entrenamiento en todas las nuevas mejoras que se implantan.

EQUIPOS PORTÁTILES

La necesidad de disponer de equipos portátiles surge, por una parte, como consecuencia del segundo escalón de análisis de las Pruebas de Resistencia, que consistió en verificar la capacidad de hacer frente a pérdidas prolongadas de suministro eléctrico (LOOP, SBO), incluyendo el agotamiento de las baterías de corriente continua y la pérdida del sumidero final de calor; manteniendo la capacidad de alcanzar y mantener las plantas en condición segura.

En estos escenarios se postuló la imposibilidad de ayuda externa durante, al menos, 24 horas por lo que, durante ese tiempo, debía hacerse frente al accidente únicamente con equipos disponibles en los emplazamientos. Así, para mejorar su robustez, todas las plantas se han dotado de equipos portátiles e independientes de las fuentes normales de energía y que consisten, de forma común, en:

- Generadores eléctricos autónomos.
- Motobombas autónomas para poder inyectar agua en el sistema primario y/o secundario y para poder hacer reposiciones de agua o de combustible en tanques críticos.
- Instrumentación portátil adicional para poder realizar las maniobras manuales de control para alimentar al primario/secundario a través de turbobombas.
- Sistemas de comunicaciones inalámbricos y medios portátiles de iluminación para hacer frente a sucesos de pérdida prolongada de la alimentación eléctrica.
- Medios de transporte de combustible para motogeneradores y motobombas.

Para los equipos autónomos eléctricos y mecánicos se han dispuesto puntos de conexión *plug & play* con objeto de facilitar ésta en el menor tiempo posible. Al igual que la instrumentación portátil, estos equipos también podrán utilizarse en estrategias de mitigación de daño al combustible en caso de accidente severo (tercer escalón de las pruebas de resistencia), tanto en los reactores como en las piscinas de combustible gastado, en las que se utilizarán para reponer el inventario de agua y para el rociado de los elementos de combustible gastado en caso de que quedaran descubiertos.

Otra serie de equipos portátiles fueron identificados como una mejora, junto a los anteriores, para hacer frente a sucesos relacionados con la pérdida potencial de grandes áreas.



Figura 3: Motobomba.



Figura 4: Grupo electrógeno y cuadros de conexión.

Así, las centrales se han dotado de medios portátiles para la extinción de grandes incendios como:

- motobombas
- útiles y mangueras
- espumógeno

También se han reforzado los equipos de protección personal y equipos de respiración autónoma.

Todos estos equipos y materiales se almacenan en áreas seguras, alejadas al menos 100 yardas de los edificios de la isla nuclear, con fácil acceso desde y hacia estos y resistentes a los sucesos externos.

GMDE

Las estrategias denominadas Guías de Mitigación de Daño Extenso tienen como objetivo el mantener o restaurar la refrigeración efectiva del combustible, tanto en el núcleo como en la piscina de combustible gastado, y mantener la función de confinamiento del material radiactivo en caso de situaciones de emergencia con pérdida de grandes áreas de la planta debido a explosiones o incendios.

Estas guías contemplan adicionalmente la necesidad de prever los recursos de personal necesarios para abordar de modo simultáneo la lucha contra el fuego y las actuaciones de recuperación.

Como respuesta a los requerimientos de las ITC, a la hora de elaborar los estudios y análisis correspondientes, se han seguido, entre otros, los criterios establecidos en el documento de referencia desarrollado por el Nuclear Energy Institute NEI 06-12, Revisión 2, "B.5.b Phase 2 & 3 *Submittal Guideline*" y, posteriormente, se ha utilizado también como referencia el NEI 12-06 (FLEX).

Las estrategias de mitigación de daño al combustible y mantenimiento de la integridad de contención, contemplan:

- Guías de aislamiento manual remoto del primario para evitar la pérdida de refrigerante (sólo en BWR).
- Guías de rellenado de los tanques o depósitos de almacenamiento de agua usada en los sistemas de refrigeración (p. ej. tanque de agua de



Figura 5. Área de almacenamiento seguro de equipos en CN Almaraz.

- recarga, tanque de condensado).
- Guías de operación manual de sistemas y componentes, incluyendo el uso de turbo bombas en caso de no disponer de corriente continua.
- Guías de inyección alternativa al sistema primario, a los generadores de vapor (PWR) y al sistema de rociado de la contención.

En el caso del combustible almacenado en la piscina de combustible gastado se contemplan varias actuaciones, siendo las más significativas las siguientes:

- Disposición mejorada del combustible gastado en los bastidores de almacenamiento para distribuir adecuadamente la generación de calor.
- Disposición de un suministro de agua de refrigeración alternativo de emergencia.

CAGE

Una de las mejoras significativas que van a implantar las centrales nucleares españolas es la construcción de un Centro Alternativo para Gestión de Emergencias (CAGE), que permita coordinar y dirigir las actuaciones necesarias en caso de un accidente más allá de las bases de diseño que implique el abandono de la sala de control y del entorno de Apoyo Técnico (CAT).

El edificio contará con áreas apropiadas para poder cumplir sus funciones:

- Dirección de Emergencias/archivo.
- Coordinación y planificación de trabajos.
- Servicios médicos, control radiológico, control dosimétrico y descontaminación.
- Laboratorio para realizar medidas de radiación, contaminación y análisis radioquímico.
- Área de infraestructura de comunicaciones.
- Almacén para pequeños equipos (PCI/PR) y suministros.

- Servicios: WC químicos y cocina, con agua potable y comida para 72 horas.
- Zonas de espera y descanso.

CAE

El Centro de Apoyo en Emergencias (CAE), común para todas las centrales nucleares españolas, gestionado por Tecomat, se ha concebido como un complemento a las medidas adoptadas por cada central para responder ante una emergencia.

El CAE se crea con el objetivo de reforzar las capacidades de las centrales nucleares nacionales ante una situación extrema, proporcionando diversidad, independencia y complemento eficaz a las medidas disponibles en cada central, mediante un conjunto de equipos de respaldo, ubicados en un almacén centralizado, listos para ser implantados y operados por una Unidad de Intervención antes de que transcurran 24 horas de su activación.

El número de equipos está dimensionado para apoyar la intervención

simultánea en dos unidades de un mismo emplazamiento.

El CAE se encuentra en la actualidad completamente operativo, habiéndose realizado pruebas de validación consistentes en la activación y puesta en servicio de los equipos en todas las centrales nucleares españolas.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Seguidamente se presenta el alcance, desarrollo y estado de implantación de los requerimientos de Protección Radiológica contemplados en las Instrucciones Técnicas del CSN.

Medios humanos y equipos de protección radiológica adicionales

Las centrales han identificado los medios humanos y equipos de protección radiológica adicionales para hacer frente a accidentes severos, efectuando un esfuerzo de homogeneización. Para ello se creó un grupo de trabajo que evaluó los equipos a incorporar y su número. El análisis abarcó la necesidad de:

- Equipos con características apropiadas a condiciones radiológicas extremas y con autonomía suficiente.
- Sistemas de teledosimetría.
- Medios informáticos para la gestión de las dosis.
- Capacidad para realizar análisis de radioquímica.
- Apoyo externo en equipos y medios de protección radiológica

Red de alerta de radiactividad ambiental

Antes de la finalización del presente año todas las centrales (excepto Garoña, que en situación de cese no es requerido) tendrán implantada una red



Figura 6. Unidad de Intervención del CAE.



Figura 7. Ejemplo de sonda gamma.

de alerta de radiactividad ambiental que permita la recepción automática de los datos en sala de control y CAT y su posterior envío a la sala de emergencias del CSN.

Medios y equipos necesarios para estimar las emisiones radiactivas

Se han determinado las mejoras a implantar en el Plan de Vigilancia Radiológica en Emergencia (PVRE), de lo que ha derivado la incorporación de nuevos equipos en el vehículo del PVRE.

Adicionalmente todas las centrales disponen de una estación meteorológica portátil para emplearla en la evaluación del impacto de emisiones en caso de que no se disponga de las estaciones meteorológicas fijas.

Implicaciones radiológicas operacionales en caso de accidentes severos y de pérdida de refrigeración en las piscinas de combustible

Se han identificado las situaciones que impedirían el trabajo por cuestiones radiológicas en los escenarios de accidentes severos y/o de pérdida de la capacidad de refrigeración de las piscinas de combustible gastado.

Como resultado, se han elaborado guías específicas de actuación de Protección Radiológica, con fichas para cada actuación local en las que se contemplan los límites de actuación, clasificación de la zona (ver Figura 8), aspectos de protección radiológica a aplicar y condiciones radiológicas esperables, identificación de condiciones que comprometan las in-

tervenciones, medios de protección, duración para no superar los niveles de referencia y medidas para limitar las dosis individuales.

Estrategias y sistemas de rociado para la mitigación de las emisiones radiactivas y gestión de grandes cantidades de agua contaminada

En el análisis de los distintos escenarios y de los edificios en los que en caso de accidente se pudieran presentar fugas de material radiactivo se ha evaluado:

- Instalación de sprays fijos en puntos vulnerables de edificios.
- Utilización de sustancias fijadoras de partículas radiactivas.
- Adquisición de equipos y modificaciones de diseño asociadas.

El resultado han sido las guías de implantación en las que se establecen los criterios operativos para el lavado de la nube con el fin de reducir o mitigar la liberación de material radiactivo.

Estas guías obligan a disponer de medios para la gestión de grandes volúmenes de agua potencialmente contaminada. Para ello se ha procedido a:

- Determinar las necesidades de almacenamiento.

- Cubicar la capacidad almacenamiento agua en las cotas inferiores de los edificios.
- Establecer la capacidad de almacenamiento en las balsas de pluviales existentes.
- Definir las vías de escorrentía y el volumen puesto en juego en el exterior.
- Establecer medios de recogida y trasvase, sellado y obturación de redes de pluviales y almacenamiento adicional.

Las estrategias adoptadas han sido distintas, en función del diseño y de las capacidades de cada instalación.

Las centrales nucleares españolas se encuentran actualmente a punto de finalizar la implantación de las lecciones aprendidas del accidente de Fukushima, correspondientes al medio plazo. Estas medidas suponen por sí solas una ampliación significativa de los márgenes de seguridad frente a escenarios con origen en sucesos externos extremos, así como frente otros escenarios que supongan la pérdida prolongada de energía eléctrica exterior o grandes limitaciones en la utilización del foco frío habitual. ■

NIVEL DE RADIACIÓN	CLASIFICACIÓN DE ZONAS	CLASE DE ACCIÓN LOCAL	ACCIONES POSTERIORES
≥ 10 Sv/h	INACCESIBLE	Estas acciones locales no están permitidas ni autorizadas ni siquiera las acciones de rescate con el fin de salvar vidas humanas	N/A
≥ 1 Sv/h	INACCESIBLE ÚNICAMENTE PARA ACTUACIONES DE SALVAMENTO	Estas acciones locales solo estarán justificadas para intervenciones de rescate con el fin de salvar vidas humanas	• Lectura inmediata del TLD • Dosimetría biológica (a juicio del SM) • Atención médica • Descontaminación externa • Dosimetría interna
>100 mSv/h	CONDICIONADO NORMALMENTE INACCESIBLES. EN CASO DE ACCEDER SE LIMITARÁ EL TIEMPO DE PERMANENCIA	Se recomienda que estas actuaciones hayan sido planificadas y en particular si con ellas se pueda evitar condiciones catastróficas del accidente: por ejemplo, extinciones de incendios, apertura o cierre manuales de válvulas, etc.	• Lectura inmediata del TLD • Descontaminación externa • Dosimetría interna
Entre 10 y 100 mSv/h	ACCESIBLES CON LIMITACIÓN DE TIEMPOS DE PERMANENCIA	Aunque no hayan sido planificadas previamente, estas actuaciones se podrán autorizar si con ellas se pueden evitar que el accidente progrese a condiciones severas o catastróficas y/o se pueden reducir las emisiones radiológicas al exterior: extinción de incendios, uso de medios portátiles para reducir las emisiones, inyección manual de agua para reducir temperatura en piscinas o núcleo, etc.	• Es aconsejable la lectura inmediata del TLD • Descontaminación externa • Dosimetría interna
< 10 mSv/h	ACCESIBLES	Cualquier actuación local es posible, se haya ensayado antes o no, es decir sea o no planificada.	• Descontaminación externa • Dosimetría interna

Figura 8. Esquema en el que se definen los niveles de radiación, la clasificación de zonas y la clase de actuación local.