

CENTROS ALTERNATIVOS DE EMERGENCIAS DE LAS CENTRALES NUCLEARES DE ASCÓ Y VANDELLÒS II

Los edificios CAGE de las centrales nucleares de Ascó y Vandellòs II han sido concebidos para poder gestionar de forma segura emergencias extremas en situaciones más allá de las Bases de Diseño de las propias centrales.

Preparados para operar durante un periodo mínimo de 72 horas sin asistencia externa garantizando su habitabilidad para dotaciones de 120 y 70 personas respectivamente, los edificios han sido diseñados conforme a los requisitos del CSN.

Este artículo describe la concepción arquitectónica de los edificios, así como las prestaciones y los principales sistemas de que se dotan.

INTRODUCCIÓN

Los edificios CAGE (Centro Alternativo de Gestión de Emergencias) de las centrales nucleares de Ascó y Vandellòs II se ubican dentro del emplazamiento de las mismas, en el área denominada "Área Segura" (Figura 1), la cual integra un almacén seguro de equipos de emergencia, una plataforma de evacuación aérea, y el propio. Éste Área Segura se encuentra en la denominada "zona vigilada" de las centrales nucleares, que corresponde al área contenida entre el vallado simple perimetral y el doble vallado que controla el acceso al bloque de potencia.

El CAGE está concebido para ser un centro alternativo para la gestión de situaciones de emergencia nuclear muy severas. Para ello está diseñado de acuerdo con el criterio básico de defensa en profundidad seguido en el proceso europeo y español posFukushima. Sin embargo, el CAGE no es un edificio "nuclear", por lo que no le aplican los criterios de diseño de sistemas, estructuras y componentes relacionados con la seguridad.

Un aspecto adicional a destacar, por el impacto que tiene en numerosos aspectos del diseño, es que la activación del CAGE se debe realizar en base a la decisión del director del PEI (Plan de Emergencia Interior) de la instalación y de acuerdo con los

criterios que explícitamente se definan en los procedimientos de la central, los cuales deben también contemplar aquellas situaciones en las que se podría hacer un uso parcial del CAGE, tales como aquellas en que las actuaciones de los CAO (Centro de Apoyo Operacional), de los monitores de PR (Protección Radiológica) o del Servicio médico se pudieran realizar en mejores condiciones desde el propio CAGE, manteniendo también en estos casos el director del PEI la capacidad de adoptar la decisión final. Por lo tanto se prevé que el CAGE esté preparado para entrar en operación cuando éste lo estime en una emergencia, pero no estará en funcionamiento, y por lo tanto tampoco ocupado, en condiciones de NO emergencia.

PRESTACIONES DE LOS CAGE DE ANAV

Las principales prestaciones del CAGE de la central nuclear de Vandellòs II y de la central nuclear de Ascó son las requeridas en el anexo 4 del acta del Pleno del CSN (Consejo de Seguridad Nuclear) nº 1.297 [1]:

- **Blindaje radiológico.** Para asegurar la habitabilidad del CAGE en condiciones de emergencia se ha realizado un cálculo de dosis en su interior. Éste se ha llevado a cabo mediante el acoplamiento de diferentes códigos:



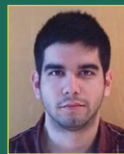
JOAN MASSUET

Director de Encargo
IDOM NUCLEAR SERVICES
Ingeniero Industrial



JUAN SABATER

Jefe de Ingeniería Civil y Estructural.
Dirección de Servicios Técnicos.
ASOCIACIÓN NUCLEAR
ASCÓ-VANDELLÒS II
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos



SERGIO MIRALLAS ESTEBAN

Arquitecto de Proyecto
IDOM NUCLEAR SERVICES
Arquitecto

NUCLEAR EMERGENCY BUILDINGS OF ASCÓ & VANDELLÒS II NUCLEAR POWER PLANTS

The Nuclear Emergency Buildings sited at Ascó and Vandellòs II Nuclear Power Plants (NPP) are designed to safely manage emergencies in extreme situations, beyond the design basis of the Nuclear Power Plants.

Designed in accordance with the requirements of the Spanish Nuclear Regulator (Consejo de Seguridad Nuclear – CSN) these buildings are ready to operate over a period of 72 hours without external assistance and ensure habitability for crews of 120 and 70 people respectively.

This article describes the architectural conception, features and major systems of the Nuclear Emergency Buildings sited at Ascó and Vandellòs II.

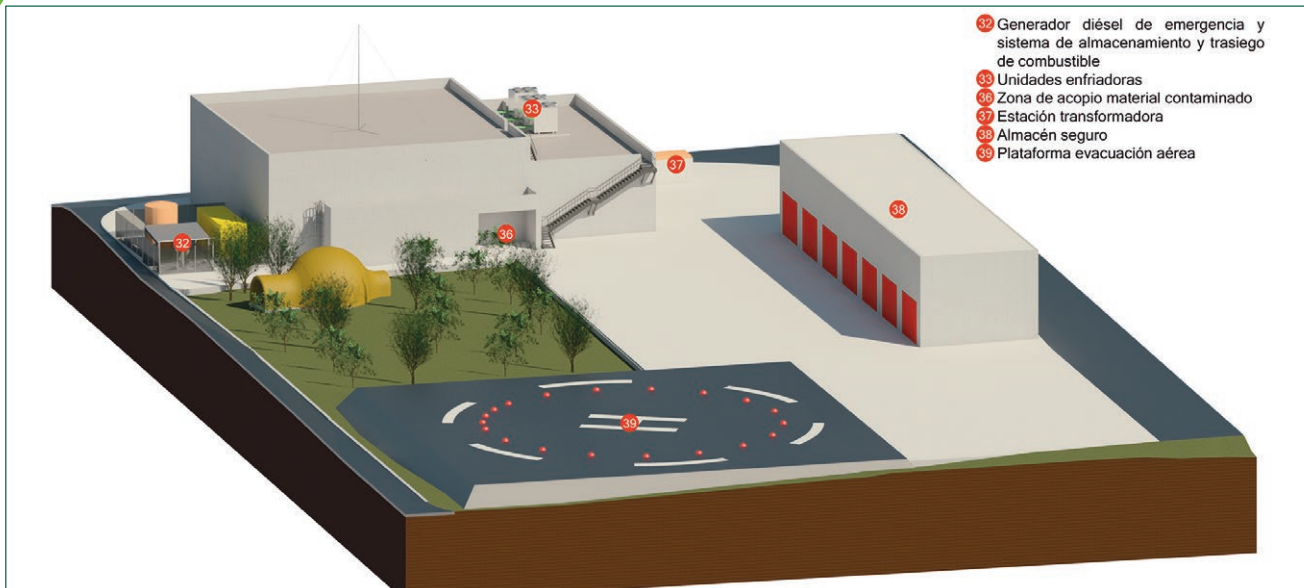


Figura 1. Área Segura.

- Para el estudio de los condicionantes meteorológicos se parte de los datos del emplazamiento, determinándose así las concentraciones relativas de radionucleidos en el aire con el código ARCON96. La actividad en el aire se caracteriza en función del término fuente y secuencia de liberación especificados en el NUREG-1465 [2] mediante el código RADTRAD, que proporciona los resultados de contribución por nube interior.
- Conocidas las actividades, se infieren los espectros energéticos utilizando el código Origen-S.
- Los espectros energéticos se utilizan como *input* para los modelos generados con MCNP5 de la nube exterior, los filtros de las unidades de filtrado del propio CAGE y la contención.

El cálculo de dosis ha determinado la necesidad de que el edificio incluya cerramientos exteriores de hormigón armado de 50 cm de espesor, sellados radiológicos de las penetraciones de su envolvente, y geometrías especiales en los accesos. Con todo ello se asegura un blindaje suficiente garantizando la habitabilidad del CAGE con una dosis en su interior a 30 días por debajo de los límites establecidos por el CSN.

- **Espacio libre de contaminación radiológica.** En el interior del CAGE se asegura un ambiente libre de elementos contaminantes y de radioisótopos. Esto se consigue mediante un sistema de ventilación capaz de generar una sobrepresión del edificio respecto al exterior y un

sistema de filtrado de carbón activo de eficiencia no inferior al 99,9%.

Las estancias requeridas en el CAGE se han distribuido tomando en consideración criterios radiológicos y aplicando el principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Para ello se ha establecido un sentido de circulación único que permite minimizar la dispersión de contaminación por el interior del edificio, a lo largo del cual se disponen de forma secuencial las siguientes medidas de control radiológico: (a) despojo de vestuario potencialmente contaminado (buzos y calzado), (b) chequeo radiológico manual, (c) disposición de vestuario limpio (buzo, cubre-calzado), (d) control radiológico de contaminación interna/externa mediante pórtico, (e) acceso seguro a zona limpia.

Asimismo, dispone de dos niveles de sobrepresión interior, de forma que se organiza en dos zonas distintas: (a) zona con sobrepresión interior de 6mm.c.a. y (b) zona con sobrepresión interior de 3mm.c.a. (zona limpia). La clasificación de estas zonas se realiza en función del potencial grado de contaminación de cada zona. Por otro lado, a pesar de disponer de sobrepresión interior y de equipos de filtrado, no se considera zona limpia ningún espacio que se disponga previo al pórtico de detección de radiación.

- **Autonomía.** El CAGE puede funcionar de forma completamente autónoma, disponiendo de víveres, agua potable y suministro energé-

tico autónomo mediante un generador diésel para asegurar el autoabastecimiento durante un periodo mínimo de 72 h. Pasado este tiempo se considera que el Área Segura podrá ser abastecida por refuerzos externos a la central nuclear.

- **Capacidad de suministro de aire respirable limpio.** El CAGE dispone de una estación de llenado de botellas para equipos de respiración autónoma, que asegura la disponibilidad de aire embotellado para 30 personas de forma indefinida.
- **Servicios e instalaciones para la gestión de emergencias.** El CAGE incluye todas las instalaciones y equipos para el control y gestión de personal y material contaminado, la gestión de comunicaciones, atención primaria de servicios médicos, salas de coordinación y trabajo, zonas de descanso, etc.
- **Capacidad sísmica.** Los criterios específicos a aplicar al diseño sísmico del edificio y las estructuras del CAGE garantizan un margen de robustez superior a lo analizado para otros edificios de seguridad en el contexto de las pruebas de resistencia.

Por su consideración, el edificio CAGE se ha diseñado para que mantenga su integridad estructural ante sismos severos de aceleración base de hasta 0,5 g. Toda la estructura se ha concebido en hormigón armado, incluida la tabiquería interior constituida

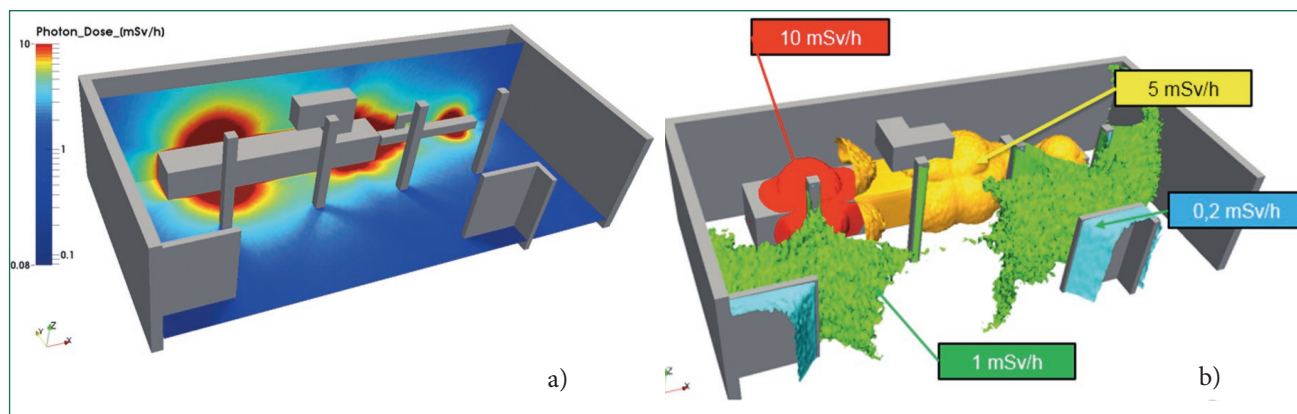


Figura 2. (a) Tasa de dosis en el recinto de CVAA tras 30 días de emergencia en las condiciones radiológicas más desfavorables (filtros colmatados). (b) Tasa de dosis en el recinto de CVAA tras 30 días de emergencia en las condiciones radiológicas más desfavorables (filtros colmatados).

por muros de 30 cm de espesor, empleando aceros con alto grado de ductilidad para asegurar el comportamiento deseado en caso de sismo.

Para el diseño sísmico se ha seguido la siguiente metodología:

- Se ha analizado la estructura frente al terremoto definido en campo libre por el espectro de respuesta mediano del NUREG/CR-0098 (3) para un 5% de amortiguamiento escalado a un valor de 0.5g.
- Para tener en cuenta las características estratigráficas del terreno sobre el que apoya el edificio y como éstas pueden influir en el comportamiento de la estructura, se ha deconvolucionado dicho espectro hasta llegar a roca.
- La forma espectral allí obtenida se ha escalado a 0.5g y se ha propagado hasta la superficie a través de las capas del suelo. Los espectros superficiales propagados han constituido la base para el posterior cálculo estructural de la estructura mediante modelos de elementos finitos.
- En el diseño estructural se ha tomado en consideración no sólo la estructura de los edificios, sino también las características del terreno en cada emplazamiento realizando la interacción suelo-estructura.
- Estos modelos de elementos finitos a su vez, han permitido determinar los espectros de piso, base para el diseño de los sistemas de anclaje y bancadas de soporte de todos los equipos y sistemas.

Con ello, se garantiza un margen sísmico estructural tanto para el edificio como sus instalaciones de 0,5 g, y un margen sísmico funcional postsismo para las instalaciones esenciales (generador diésel, sistema eléctrico, suministro de agua y sistema CVAA) de 0,3 g.

DISTRIBUCIÓN Y FUNCIÓN DE LOS RECINTOS INCLUIDOS EN EL CAGE

Para conseguir las prestaciones requeridas en el CAGE se incluyen los siguientes sistemas:

- Sistema estructural.
- Sistema eléctrico.
- Sistema alumbrado.
- Sistema de almacenamiento y transporte de combustible.
- Sistema de puesta a tierra y protección frente a descargas de agentes atmosféricos.
- Sistema de CVAA (Climatización, Ventilación y Aire Acondicionado).
- Sistema de comunicaciones.
- Sistema de comunicaciones de proceso.
- Sistema de megafonía.
- Sistema de suministro de agua.
- Sistema de drenaje de agua contaminada.
- Sistema de drenaje de agua convencional.
- Sistema de llenado de botellas para respiración autónoma.
- Sistema contra incendios.

Estos sistemas se integran en los distintos recintos del CAGE cuya distribución y función se detalla a continuación.

Zona con sobrepresión de 3 mm.c.a

- [1] Zona de acceso. Esta zona tiene una doble función: (a) por un lado actúa como esclusa de salida/entrada permitiendo que el CAGE se mantenga en sobrepresión respecto al exterior, evitando así la entrada de aire contaminado y (b) por otro, tiene la función de permitir al personal de campo dejar los equipos de respiración autónoma, los equipos portátiles y todo aquel vestuario (buzos) potencialmente contaminado

antes de proceder a acceder al recinto principal del CAGE.

En el acceso se ubican estanterías para el acopio de los equipos de respiración autónoma y otro material reutilizable, carritos para la recogida de vestuario contaminado y puestos de recarga de baterías para los equipos portátiles. Asimismo, antes de acceder al recinto principal del CAGE se prevé un chequeo radiológico manual y la entrega de cubre calzados y vestuario limpio, por lo que se han dispuesto un puesto de trabajo y estanterías para vestuario limpio.

- [2] Zona de descontaminación y almacenaje. En esta zona se prevé que personal de PR realice las tareas de descontaminación y posterior almacenaje de los equipos reutilizables acopiados tras su uso en la zona de acceso. Para ello se dispone un recinto con pica y poyata, carritos para material contaminado y estanterías para el almacenaje de equipos.
- [3] Zona de recarga de botellas. Para asegurar la disponibilidad continua de un equipo de 30 personas en planta se ha previsto el empleo de 150 botellas para los equipos de respiración autónoma. Estas botellas se descontaminarán y rellenarán de forma continua en el CAGE. Las tareas de descontaminación se llevarán a cabo en la zona de descontaminación y una vez descontaminadas, las botellas se rellenarán en la estación de recarga de botellas, constituida por una sala con las estaciones de llenado.
- [4] Área de radioquímica y PR. Laboratorio para realizar pruebas, ensayos, chequeos, análisis, frotis, etc. En este espacio se prevé disponer de una vitrina, estanterías,

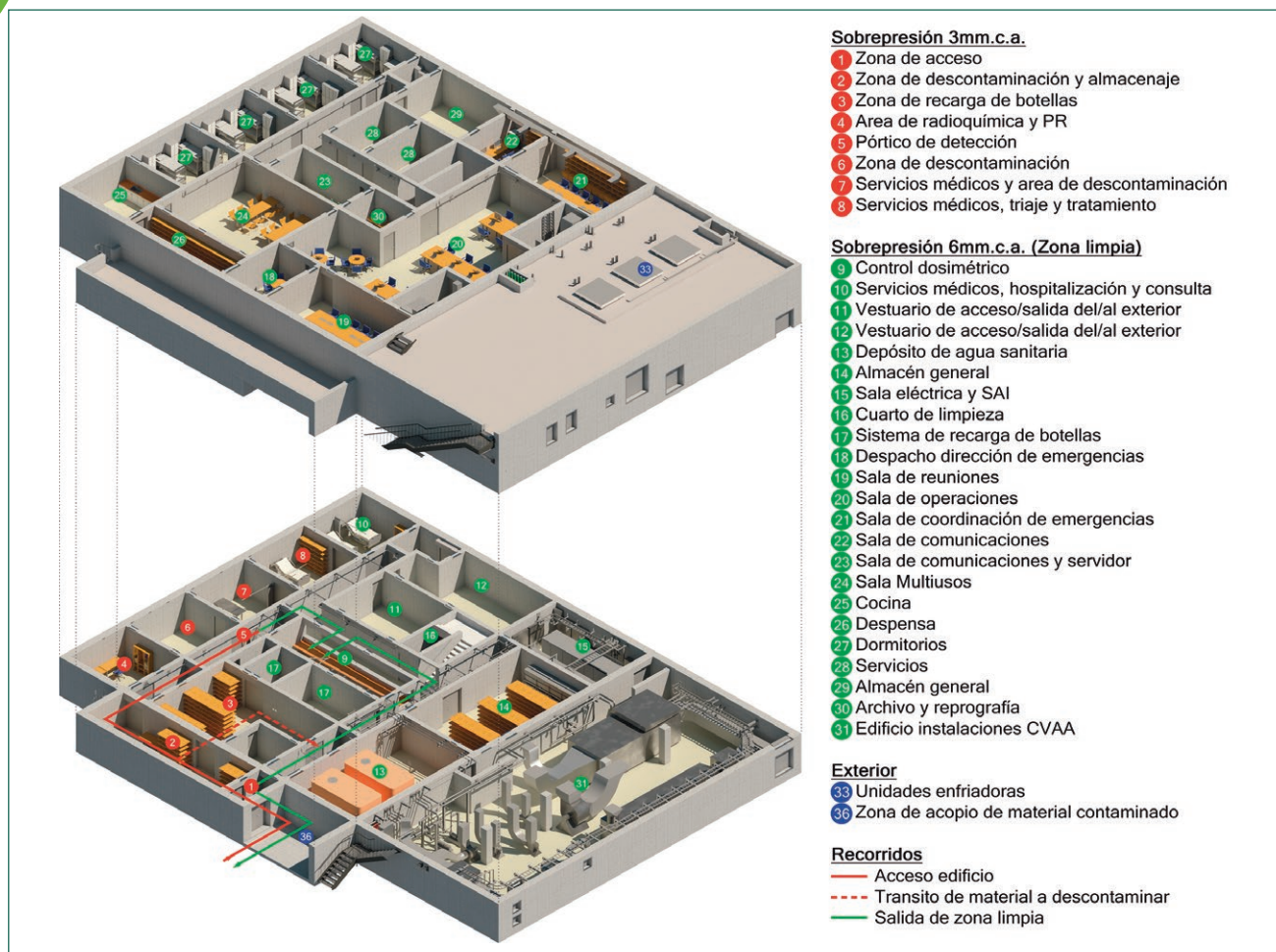


Figura 3. Edificio CAGE.

armarios, una mesa de trabajo, una pica y poyata, un detector y otros elementos auxiliares.

- [5 y 6] Pórtico de detección y zona de descontaminación. Para acceder a zona limpia debe superarse el pórtico de detección que se ubica en un pasillo entre las dos puertas que constituyen la esclusa que permite mantener el nivel de sobrepresión de 6 mm.c.a. En caso que este pórtico indique contaminación la persona contaminada accede al vestuario, aseos y duchas dispuestos en los recintos más próximos al pórtico, donde se somete a un proceso de descontaminación y se cambia el vestuario por otro limpio.
- [7] Servicios médicos y área de descontaminación. En el caso de que después de pasar por el proceso de ducha y cambio de vestuario la persona que pretende acceder a zona limpia dé señal de contaminación en el pórtico de nuevo, ésta es trasladada al área de descontaminación de servicios médicos.
- [8] Servicios médicos, triaje y tratamiento. Área destinada a este fin en

la que se dispone de camillas y otros elementos auxiliares. Esta área delimita el paso a zona limpia, por lo que en ella se dispone de un acceso controlado proveniente del Área de hospitalización y consulta. Este acceso será únicamente transitable por el personal médico y previa supervisión del personal de protección radiológica.

Zona con sobrepresión de 6 mm.c.a (zona limpia)

- [9] Control dosimétrico. Se trata de un espacio abierto a la zona de circulación con cinco puestos de trabajo para personal de PR y del laboratorio de radioquímica. En este punto se realizará la entrega y recogida de dosímetros así como la definición de los equipos de protección individual necesarios para cada tarea que se asigne al personal.
- [10] Servicios médicos hospitalización y consulta. En este recinto se prevé la espera del personal que requiera ser evacuado hasta el momento de su evacuación. Para ello

se disponen dos camillas y un despacho médico.

- [11, 12] Vestuario de acceso/salida del/al exterior. Área prevista para que todo el personal que tenga que realizar trabajos en planta proceda al cambio de vestimenta y se atavie con el equipo necesario según especifique el Servicio de protección radiológica. En él se disponen taquillas individuales y carritos para la disposición de vestuario usado.
- [13] Depósito suministro agua sanitaria. Esta es la zona destinada al almacenamiento de agua para consumo sanitario del personal que estará destinado en el CAGE y para el consumo correspondiente a la descontaminación. Se ha diseñado para un suministro de agua de 72 horas sin suministro exterior. También se incluye en esta sala el sistema de impulsión y el sistema de tratamiento para asegurar la salubridad (desde el punto de vista biológico) mínima requerida.



El agua potable para consumo se prevé embotellada.

- [14] Almacén general. En esta planta se dispone el almacén general del CAGE donde se encontrará vestuario limpio de protección radiológica, (buzos, cubre calzados, guantes, etc.), material de protección contra incendios (equipos ignífugos) y otros materiales varios que se requieran para gestionar la emergencia.
- [15] Sala eléctrica y SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida). Espacio destinado a instalación de los armarios eléctricos, las baterías y cuadros.
- [16] Cuarto de limpieza. Bajo la escalera se dispone un recinto para el almacenamiento del material de limpieza y mantenimiento general del CAGE.
- [17] Zona de compresores para recarga de botellas. Para asegurar que el aire de llenado de las botellas se encuentre libre de contaminantes, la sala de compresores para el llenado se ubica en esta zona, mientras que los racks de llenado estarán junto a la sala de llenado de botellas.
- [18] Despacho dirección de emergencias. Con una mesa de despacho y una pequeña mesa de reuniones.
- [19] Sala de reuniones.
- [20] Sala de operaciones. Esta área ha sido diseñada para albergar un total de 16 puestos de trabajo, incluyendo los puestos del inspector residente del CSN y de control de la dispersión exterior. En este espacio se prevé la disposición de pequeñas mesas de reuniones destinadas a coordinar los cambios de turno.
- [21] Sala de coordinación de emergencias. Se prevé esta sala como una zona donde se recibirá, gestionará, almacenará, controlará y se monitorizará la información principal para el desarrollo de la funciones del CAGE y de la gestión de la emergencia.
- [22] Sala de comunicaciones. Anexa a la sala de coordinación se dispone la sala de comunicaciones donde se centralizará toda comunicación tanto interna del equipo de gestión de la emergencia como con las autoridades u organismos que correspondan.
- [23] Sala de comunicaciones y servidor. Espacio destinado a la instalación de los racks de electrónica de red así como los servidores de almacenamiento y gestión de la información.
- [24] Sala multiusos. Para esparcimiento y descanso del personal durante los turnos en los que no están trabajando, ha sido instalada anexa al

área de cocina para que sirva de área de comedor.

- [25 y 26] Cocina y despensa. Área destinada a cocina con su correspondiente despensa y su almacén de alimentos no perecederos y agua potable embotellada. Diseñada para disponer de alimentos durante 72 h sin suministro exterior.
- [27] Área de dormitorios. Destinados al descanso del personal. Se ha dimensionado según los requerimientos para un total de 60 personas, considerando la disposición de literas y taquillas distribuidas en dormitorios con un máximo de 12 personas por dormitorio.
- [28] Servicios. Para señoras y caballeros.
- [29] Almacén general. También se ha dispuesto un almacén de residuos para el acopio temporal de residuos no contaminados generados en el propio CAGE.
- [30] Archivo y reprografía.
- [31] Edificio de instalaciones de CVAA. A través del almacén y de la sala de los depósitos de suministro de agua (zona limpia), se accede al recinto de CVAA (Climatización, Ventilación y Aire Acondicionado) en el cual se ubican las unidades de filtrado y tratamiento de aire. Debido a que una emergencia radiológica puede presentar niveles altos de radiación cerca de los filtros a medida que éstos se vayan colmatando, de manera conservadora, este recinto se encuentra separado de la zona principal del edificio CAGE mediante muros interiores de hormigón armado de 50 cm de espesor.
- [32] Generador diésel de emergencia y sistema de almacenamiento y trasiego de combustible. El edificio CAGE se conecta a la red de 25 kV de la central a través de una estación transformadora. Sin embargo, dado que se trata de una red NO sísmica, para garantizar el suministro eléctrico del CAGE se instala en el exterior del edificio un sistema de producción eléctrica autónomo constituido por (a) un generador diésel de emergencia, (b) un tanque de almacenamiento de combustible y (c) un sistema de trasiego de combustible desde este tanque -b- al generador.
- [33] Unidades enfriadoras. Junto al edificio de CVAA, se disponen las unidades enfriadoras, las cuales suministran el agua enfriada para las

baterías de frío de las unidades de climatización y de las salas consideradas esenciales (sala eléctrica, sala de compresores para el llenado de botellas de aire respirable y sala de comunicaciones).

- [34] Depósito aguas fecales y aguas grises. Cercano al emplazamiento del CAGE existe una red en servicio de recogida de aguas fecales y grises. El sistema de drenaje de aguas grises se conecta a esta red. Sin embargo, dado que se trata de una red NO sísmica también se ha dispuesto un depósito sísmico enterrado para la recogida de las aguas fecales y grises (no contaminadas).
- [35] Depósito agua contaminada: Para la descontaminación de equipos y personas se emplea agua. Esta agua se recoge en la red de agua contaminada del CAGE, la cual cuenta con dos depósitos sísmicos enterrados.
- [36] Zona de acopio material contaminado. El material contaminado se almacenará en el exterior del edificio del CAGE, en la zona cubierta previa al acceso principal. Se establece que el material que se deposite en los carritos de material contaminado sea sacado de forma periódica al exterior donde se almacenará en contenedores especiales.

CONCLUSIÓN

Los CAGE de la central nuclear de Vandellòs II y de la central nuclear de Ascó han sido diseñados conforme a los requisitos del CSN y garantizan el cumplimiento de los criterios de evaluación definidos en el anexo 4 del acta nº 1.298 del CSN [1]. Con su entrada en funcionamiento las centrales nucleares de Ascó y Vandellòs II cuentan ahora con elementos adicionales que contribuyen a la mejora de la capacidad para la gestión de una emergencia que vaya más allá de las Bases de Diseño de las centrales. ■

[1] Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Acta del Pleno del CSN 1.297. 13 Diciembre 2013.

[2] NUREG-1465 "Accident source term for light-water nuclear power plants". U.S. Nuclear Regulatory Commission. Febrero 1995.

[3] NUREG/CR-0098 "Development of Criteria for Seismic Review of Selected Nuclear Power Plants".