

## EL DISEÑO SÍSMICO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA

La posibilidad de que ocurran terremotos con impacto en los emplazamientos de las centrales nucleares españolas es uno de los factores clave que se han considerado con particular atención a la hora de establecer las bases de diseño para cada una de ellas. Como se requiere en la normativa de seguridad nuclear aplicable (CSN, OIEA, US-NRC), todas las centrales nucleares españolas en funcionamiento han sido diseñadas para resistir los efectos de posibles terremotos y demás fenómenos naturales extremos que pudieran ocurrir en su emplazamiento, de modo que las estructuras, sistemas, equipos y componentes importantes para la seguridad puedan seguir realizando sus funciones incluso en caso de ocurrencia de dichos fenómenos.

De forma práctica y de acuerdo con los requisitos de dicha normativa, en el diseño de las centrales nucleares españolas se han tenido en cuenta los terremotos más severos que se han registrado a lo largo de la historia en cada emplazamiento y en su zona circundante. En los cálculos realizados respecto al impacto sísmico que cabe esperar en cada emplazamiento, se han incrementado los efectos asociados al máximo terremoto histórico ocurrido con un margen suficiente para considerar las limitaciones de los datos históricos conocidos en cuanto a precisión, cantidad y periodo de tiempo al que corresponde la información. Así se establecen las bases de diseño asociadas a la ocurrencia de terremotos para cada central nuclear, como fenómeno natural extremo.

Conforme a la normativa sísmica internacional y su práctica de aplicación, el terremoto se contempla en el diseño con dos niveles de severidad escalonados: un nivel máximo, que constituye realmente el '*terremoto base de diseño*' y suele denominarse SSE en su terminología inglesa (Safe Shutdown Earthquake), y otro nivel más reducido que corresponde al '*terremoto base de operación*' denominado generalmente OBE (Operating Basis Earthquake).

Para llegar a definir ambos terremotos se requiere realizar estudios de evaluación específicos de las características geológicas, sismotectónicas y de peligrosidad sísmica, tanto de la región geográfica en que se encuadra la instalación nuclear considerada, como del área local en que se localiza el emplazamiento concreto de cada central. También se requieren estudios detallados de ingeniería sísmica en cada emplazamiento, para determinar las características específicas de los materiales del subsuelo y su comportamiento dinámico ante la sacudida global que provoca un terremoto. En general, el impacto que produce un terremoto en un emplazamiento dado se caracteriza por el movimiento vibratorio del suelo que se origina, que puede medirse o registrarse y se define, en esencia, mediante un acelerograma (variación en el tiempo de la aceleración del suelo en su movimiento) y un espectro de respuesta (máxima aceleración que se produce en cada frecuencia de vibración). De forma muy simple, para identificar la severidad del movimiento vibratorio del suelo que provoca un terremoto, suele utilizarse como referencia la aceleración máxima que se produce en el suelo durante la ocurrencia del terremoto.

El '*terremoto base de diseño*' (SSE) es el máximo terremoto que se considera que podría ocurrir en un determinado emplazamiento y, en consecuencia, el que provocaría el máximo movimiento del suelo que se adopta en el diseño de la instalación. Tiene una muy baja probabilidad de ser excedido durante toda su vida de explotación (próxima a  $10^{-5}$  /año) y se asocia a los máximos requisitos de seguridad. En caso de ocurrencia de este terremoto permanecerían en funcionamiento las estructuras, sistemas, equipos y componentes de la planta que fueran necesarios para garantizar la seguridad nuclear. En resumen, los relacionados con la integridad de la barrera de presión del refrigerante del reactor; con la capacidad de parada del reactor y su mantenimiento seguro, y con la capacidad de prevenir o mitigar accidentes que pudieran generar la liberación incontrolada de efluentes radiactivos.

El '*terremoto base de operación*' (OBE) es menos severo que el SSE, suele ser la mitad del SSE, y de ocurrencia más probable. Es el mayor terremoto que se espera razonablemente que ocurra en el emplazamiento a lo largo de la vida operativa de la planta y se asocia a los requisitos de seguridad exigibles para mantener la instalación completa en funcionamiento. El movimiento del suelo que produce el OBE es resistido por todos los elementos que la planta necesita para continuar su operación normal sin riesgo indebido. Si ocurriera un terremoto que excediera el OBE, la instalación no podría seguir funcionando y tendría que llevarse a la condición de parada segura de forma ordenada, siguiendo los procedimientos de actuación establecidos en las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento de cada instalación nuclear.

Desde un punto de vista práctico, los máximos terremotos históricos ocurridos en España y en su entorno geográfico, que se han considerado en los estudios de peligrosidad sísmica para determinar las bases de diseño sísmico en cada emplazamiento de central nuclear, son los siguientes (la magnitud corresponde a la escala Richter):

- Terremoto de Lisboa (Portugal), ocurrido el 1 de noviembre de 1755, con magnitud estimada de 8'7 (máximo absoluto).
- Terremoto de Arenas del Rey (Granada), ocurrido el 25 de diciembre de 1884 y de magnitud 6'7.
- Durante los últimos cien años los máximos registrados en España han sido:
  - ✓ Terremoto de Jacarilla (Alicante), el 10/09/1919 y con M= 5'2
  - ✓ Terremoto de Montilla (Córdoba), el 05/07/1930 y con M= 5'6
  - ✓ Terremoto de Dúrcal (Granada), el 29/03/1954 y con M= 7
  - ✓ Terremoto en el Golfo de Cádiz (epicentro marino), el 15/04/1964 y con M= 6'2

De modo gráfico, para ilustrar la base de datos de partida considerada en los estudios de peligrosidad sísmica realizados, en la figura 1 se representa la ubicación de las centrales nucleares españolas, y otras instalaciones nucleares, sobre un mapa de sismicidad de la Península Ibérica. Además, en la figura 2 se indica la localización muda de las instalaciones nucleares sobre el Mapa de Sísmico de la vigente Norma Española de Construcción Sismorresistente (NCSE-2002), que es un mapa de peligrosidad sísmica correspondiente a un periodo de retorno aproximado de 500 años. Cabe destacar que la aceleración máxima del suelo en los emplazamientos de las centrales nucleares españolas, según indica la Norma NCSE-2002, se estima

entre 0,04g y 0,08 g.

En la tabla 1 se resume de forma simplificada la información más significativa del diseño sísmico de las centrales nucleares españolas. Se indican los valores de los terremotos SSE y OBE adoptados en cada emplazamiento en términos de aceleración máxima horizontal que el terremoto provocaría en el suelo, expresada en proporción al valor de la aceleración de la gravedad terrestre (*g*).

*Tabla 1.-Parámetros básicos del diseño sísmico de instalaciones nucleares en España*

Instalación	Base de Diseño (terremoto SSE)	Margen Sísmico	Base de operación (terremoto OBE)
C.N. Santa María de GAROÑA	0,10 g	0,17 g	0,05 g
C.N. ALMARAZ I y II	0,10 g	0,20 g	0,05 g
C.N. ASCÓ I y II	0,13 g	0,30 g	0,07 g
C.N. COFRENTES	0,17 g	0,28 g	0,085 g
C.N. VANDELLÓS II	0,20 g	> 0,30 g	0,10 g
C.N. TRILLO	0,12 g	0,24 g	0,06 g

## LA SEGURIDAD SÍSMICA DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN ESPAÑA.

Aunque el terremoto SSE es la base de diseño sísmico de una central nuclear, tanto el proyecto final aprobado de la instalación como la ejecución real de su construcción siempre incluyen márgenes adicionales respecto al diseño inicial. Por este motivo, la resistencia sísmica real de una instalación nuclear en funcionamiento es siempre superior a la requerida por el SSE. Esta mayor capacidad de resistencia sísmica de una instalación respecto a su base de diseño se denomina *margen sísmico*; el cual se asocia a un terremoto con probabilidad de ocurrencia todavía más baja que la del SSE. En España se ha determinado el margen sísmico para cada una de las centrales nucleares en operación y su valor se recoge en una de las columnas de la tabla 1 anterior. Las aceleraciones del suelo que se indican bajo el epígrafe “margen sísmico” son siempre mayores que la base de diseño (SSE); corresponden a las máximas verificadas mediante el cálculo que soportaría cada planta y conservando la capacidad de llevar el reactor a parada y mantenerla en condiciones de seguridad.

En los procesos de revisión periódica de la seguridad de las centrales nucleares, asociados a periodos de diez años, previos a la concesión de nuevas autorizaciones de explotación, se dedica atención especial a la evaluación del estado de la planta en relación con su respuesta y comportamiento frente a la ocurrencia de un posible terremoto. A este respecto se requiere a cada planta que verifique expresamente el mantenimiento de su margen sísmico, más allá de su base de diseño, con el fin de

*Seguridad sísmica de las CC.NN. españolas*

asegurar que las condiciones de seguridad sísmica de la planta no se han reducido por ninguna causa durante el periodo de explotación transcurrido. Resulta obligado comprobar en cada planta que su margen sísmico no se ha visto reducido por procesos de envejecimiento, posibles modificaciones de diseño introducidas o por ninguna otra causa.

Desde el punto de vista de la vigilancia y actuación preventiva ante la ocurrencia de terremotos, las centrales nucleares españolas disponen de programas operativos de vigilancia sísmica, con instrumentación de alta precisión instalada en áreas exteriores y en el interior de los edificios, cuyo fin principal es registrar cualquier movimiento sísmico significativo que se detecte en el emplazamiento y compararlo con los terremotos de diseño antes citados (OBE y SSE). Además, una vez constatada por los sistemas de vigilancia sísmica la ocurrencia de un terremoto superior al OBE en un emplazamiento, de acuerdo con los procedimientos de excedencia correspondientes, se activaría en alguna de sus categorías el Plan de Emergencia de la central nuclear afectada, dependiendo la categoría de la severidad del terremoto y de los daños ocasionados en relación con la seguridad.

En caso de ocurrir un terremoto superior al OBE, sería registrado por los sistemas de vigilancia sísmica existentes y se pondría en marcha de forma inmediata un proceso ya previsto de inspección exhaustiva de la instalación para identificar los posibles daños ocasionados, analizar sus consecuencias para la seguridad y proceder a su reparación. Antes de volver a iniciar el funcionamiento industrial de la planta, incluso aunque no se hubieran detectado daños.

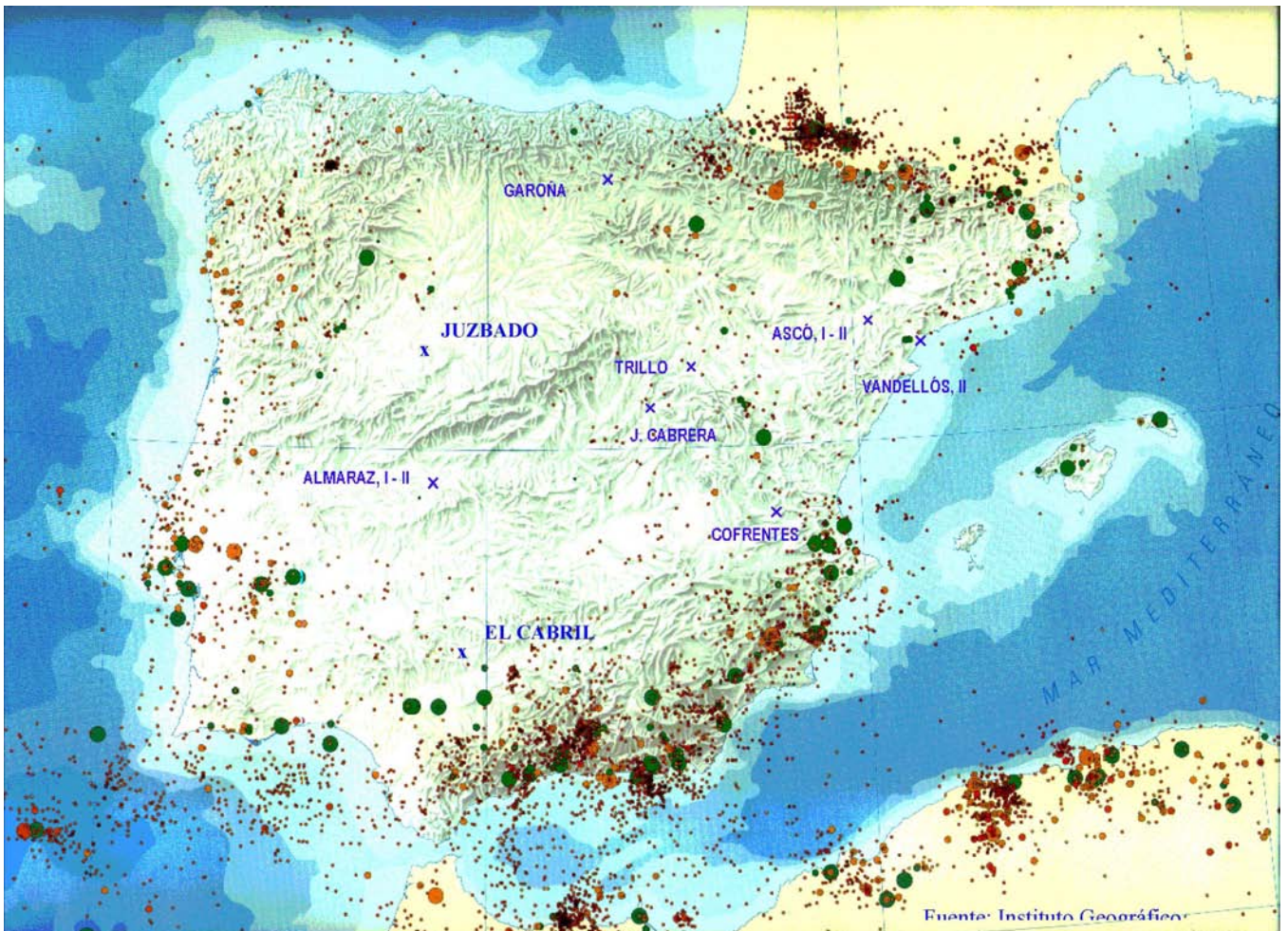
Los sistemas de vigilancia sísmica de las centrales nucleares españolas se inspeccionan periódicamente por el CSN (cada cuatro años) para verificar que su funcionamiento es el adecuado durante toda la vida operativa de cada instalación.

## **LA COMUNIDAD INTERNACIONAL ANALIZARÁ EL ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE FUKUSHIMA**

Tan pronto como se disponga de toda la información sobre el accidente de la central nuclear de Fukushima, la comunidad internacional, concretamente la Unión Europea, analizará y extraerá las lecciones aprendidas para aplicar al parque nuclear existente. En caso de que se considere necesario se incrementarán las exigencias de los estándares de seguridad actualmente establecidos.

## ANEXO I

*Ubicación de las instalaciones nucleares españolas sobre el Mapa de Sismicidad Ibero-Magrebí (años 1320 – 1999).*



*Los puntos verdes corresponden a terremotos anteriores al siglo XX; los puntos rojos son terremotos bien localizados instrumentalmente, y los marrones indican terremotos de localización aproximada. Los puntos de mayor tamaño representan terremotos de Intensidad  $MSK \geq VIII$*

## ANEXO II

Figura 2.-Localización de las instalaciones nucleares españolas sobre el Mapa Sísmico de la Norma NCSE-2002.

