

el diseño y la previsión de catástrofes

Tsunami es una palabra japonesa compuesta de dos raíces: tsu, que significa puerto, y nami, que significa ola. El vocablo parece perfectamente inocuo si se traduce literalmente su significado, pero para quienes viven en las costas del Pacífico puede tener el sentido de catástrofe. En particular, los encargados de diseñar instalaciones nucleares emplazadas en la costa, tienen que tener en cuenta en su trabajo la posibilidad de que se produzca un tsunami.

Los tsunamis son olas oceánicas que se desplazan a gran velocidad, propagándose en mar abierto como las ondas en un estanque. Los produce la deformación de la corteza terrestre en el lecho de las aguas profundas oceánicas, unas veces a causa de un terremoto, otras debido a un corrimiento de tierras submarino, y otras a causa de una erupción volcánica igualmente submarina. También pueden ser ocasionados por el paso de un huracán o de un tifón. En aguas abiertas del Pacífico, en las que se produce el 65 por ciento de los tsunamis, éstos pueden presentarse bajo la forma de una ola de sólo dos o tres metros de altura que va disminuyendo gradualmente a medida que se propaga, pero en aguas poco profundas, o cuando resulta encauzada por la conformación de la costa, la ola puede alcanzar dimensiones enormes. En la localidad costera de Shiranama, en la prefectura de Iwate (Japón), la altura de la ola al llegar a la costa cuando se produjo en 1933 el que ha pasado a ser descrito en los libros con el nombre de tsunami de Sanriku, era de 24 metros. Resultaron muertas casi 3 000 personas. Se ha calculado que la energía total representada por la serie de tsunamis ocasionados por el terremoto de Sanriku fue de 16×10^{22} ergios, o sea, 16×10^{15} julios. Un tsunami al que no se dio ningún nombre, ocasionado en 1946 por un terremoto producido mar adentro a la altura de Nankaido (Japón), arrastró 1 451 casas y ocasionó 1 330 muertos. Otro tsunami producido en 1960 por el terremoto de Chile causó la muerte de 62 personas en el Japón y graves daños materiales.

Los tsunamis constituyen, por tanto, un tipo de riesgo natural que ha de ser tenido en cuenta por los encargados de diseñar instalaciones nucleares para emplazamientos costeros en el Japón y en otros países bañados por el Pacífico. Un segundo riesgo, causa de muchos tsunamis pero que por sí mismo resulta un motivo más extendido de preocupación, es el que constituyen los terremotos.

Finalidades del diseño sísmico

Hace dos años se publicaron en el volumen N° 88 de la Colección de Informes Técnicos las recomendaciones de un Grupo de expertos en diseño y ensayo de instalaciones nucleares sísmicas que, convocado por el Organismo, se reunió en Tokio en junio de 1967. En la introducción de dicho informe se señala que la industria nuclear ofrece una brillante hoja de servicios en materia de seguridad, conseguida mediante la fijación y observancia de normas muy elevadas en el diseño y la explotación de los reactores nucleares, y se añade lo siguiente:

«El actual desarrollo de la energía nucleoelectrónica ha enfrentado a muchos países con el problema de la construcción de plantas nucleares en zonas sísmicas. En estas zonas, es conveniente evitar todo emplazamiento en el que se dé la posibilidad razonable de existencia de una falla sobre la que pueda producirse una importante dislocación del terreno, si bien con esto solo no se garantizan las condiciones de seguridad de la planta ya que las fuerzas sísmicas pueden ocasionar desplazamientos del terreno en el emplazamiento de un reactor situado lejos de una falla. Además, las actuales plantas nucleares tienden a ser grandes y pesadas y suelen estar construidas sobre un lecho de roca, lo que significa que es preciso estudiar las características y la intensidad de vibración de este hecho durante un terremoto.

«Actualmente se formulan a los diseñadores de instalaciones nucleares diversas preguntas sobre estas y otras cuestiones conexas. En muchos casos resulta difícil dar una contestación, ya que la mayor parte de las investigaciones sobre ingeniería sísmica se han realizado con miras a la construcción de edificios de tipo corriente, para los cuales no es preciso conseguir elevados niveles de seguridad...»

Formulado de una manera tan tajante, este párrafo podría dar una impresión errónea. En efecto, es absolutamente cierto que los edificios destinados a oficinas, bloques de viviendas y construcciones análogas tienen que edificarse de forma que puedan resistir las sacudidas sísmicas si han de alzarse en una zona que se halle sujeta a este tipo de fenómeno. Ahora bien, los reactores nucleares tienen una característica poco común y de importancia superior a todas las demás: la de contener materiales sumamente radiactivos cuya liberación al medio ambiente, que tendría consecuencias catastróficas, es preciso evitar. Esta es precisamente la finalidad principal del diseño sísmico; otra finalidad secundaria es la de reducir las probabilidades de que una planta sufra daños que, a pesar de no dar lugar a una liberación de radiactividad, resulten de costosa reparación.

La gran cantidad de labor que se ha realizado en materia de diseño sísmico se refleja en los rigurosos criterios de construcción que se han establecido en países como el Japón, la Unión Soviética y los Estados Unidos de América, en los que en ocasiones puede ser necesario tener que construir instalaciones nucleares en zonas en que los terremotos son frecuentes, aunque no siempre ocasionen daños.

La labor del diseñador puede verse facilitada mediante una elección cuidadosa del emplazamiento. Reconociéndolo así, el OIEA reunió en junio de 1970 a un Grupo de expertos de siete países —Chile, Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, Reino Unido y Yugoslavia— a cuya labor coadyuvieron representantes de la UNESCO, de la Organización Mundial de la Salud y de la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica. El Grupo examinó e intercambió información sobre «directrices para la selección de emplazamientos de reactores sísmicos»; los resultados de su labor serán publicados por el Organismo dentro

de pocos meses. Tal vez sea oportuno exponer en este lugar algunas características generales de las directrices que ya se están siguiendo.

Principios rectores

En el presente artículo se ha hecho ya referencia a los tsunamis, los cuales pueden abatirse sobre las zonas costeras del Japón, Alaska, el Canadá, la región occidental de los Estados Unidos, Chile, el Perú, etc. La medida en que estas regiones pueden verse afectadas depende en gran parte de la pendiente de la plataforma continental y de determinadas características de la línea de la costa, por ejemplo, la presencia o la ausencia de bahías profundas que pueden canalizar y amplificar la ola. En este caso, el diseñador puede encontrar ayuda en un estudio detenido de esas características, en los datos históricos relativos a los tsunamis ocurridos y la observación de sus efectos, y posiblemente en la realización de experimentos empleando modelos en un tanque de agua. Hay que advertir que en el Observatorio de Honolulu se ha creado un Centro de Aviso de Tsunamis para la región del Pacífico. Este Centro mantiene particularmente contacto con el Servicio Meteorológico japonés, el cual ha establecido su propio sistema de análisis de datos sismológicos y de otros datos pertinentes, y cursa aviso de que se aproxima un tsunami con antelación suficiente para que puedan adoptarse medidas precautorias.

No obstante, estas olas de efectos devastadores sólo ofrecen interés a los diseñadores de un número relativamente reducido de países. Mayor interés es el que encierra el problema de seleccionar y evaluar los emplazamientos propuestos en zonas que pueden verse afectadas por terremotos. En el diseño de instalaciones nucleares es un principio fundamental que todas las estructuras y el equipo necesarios para parar el reactor y mantener las condiciones de seguridad para los trabajadores y la población en general, deben poder resistir lo que se conoce con el término «terremoto previsto en el diseño», es decir, el terremoto de mayor intensidad probable que quepa esperar en las inmediaciones del emplazamiento. En el Japón se ha llegado a la conclusión de que una vez cada tres años aproximadamente se produce un terremoto de intensidad suficiente para ocasionar graves daños a edificios no contruidos especialmente para resistirlo. En otros países puede muy bien no haberse registrado nunca un terremoto de tal intensidad. Así, los criterios de diseño difieren de un lugar a otro aun cuando se mantengan las mismas normas de seguridad.

En varios países se han preparado mapas en los que se indican las zonas sísmicas de su territorio, es decir, las regiones en que es mayor o menor la probabilidad de que se produzcan sacudidas sísmicas. En la Unión Soviética, el Reglamento general de la Construcción y las reglamentaciones que rigen las obras de construcción en determinadas regiones sujetas a sacudidas sísmicas, incluyen un Mapa de Zonas Sísmicas o mapa sismológico, de la totalidad del territorio de la Unión. Este mapa ha sido preparado partiendo de un estudio en el que se tuvo en cuenta la interacción de los suelos de distintos tipos con los cimientos de los edificios, así como los resultados de la inspección técnica de las consecuencias de terremotos catastróficos y de observaciones realizadas con ayuda de instrumentos. Ultimada esta labor, se han preparado instrucciones para el acopio de datos sobre las llamadas «microzonas sísmicas», es decir, zonas situadas dentro de regiones propensas a sufrir terremotos en las que es preciso realizar una investigación especial que ponga de manifiesto las condiciones de seguridad del emplazamiento.

Por su parte, la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos ha preparado criterios provisionales de reglamentación para las centrales nucleares, los cuales describen el carácter de las investigaciones que hay que realizar a fin de obtener los datos geológicos y sísmicos necesarios para determinar la idoneidad de los emplazamientos y para tener una seguridad, dentro de límites razonables, de que puede construirse y explotarse una central en un emplazamiento propuesto sin incurrir en riesgos excesivos. De nuevo merece mencionarse la labor realizada en el Japón. En este país se han hecho diversos estudios sobre los terremotos ocurridos durante un período de 1000 años aproximadamente, y sobre su intensidad y frecuencia. En el caso de una determinada ciudad se dispone de registros que se remontan hasta el año 818 de nuestra Era. En este país los mapas sismológicos son relativamente fáciles de preparar y resulta posible la previsión estadística del esquema general de producción de terremotos que ocasionen daños, si bien todavía no es posible predecir, con una aproximación que se acerque a la exactitud, los terremotos que pueden producirse en emplazamientos determinados.

Condiciones generales y particulares

Si bien el estudio generalizado de las zonas sísmicas es valioso de por sí, puede resultar casi inútil con respecto a un determinado emplazamiento propuesto. La posibilidad de que se produzcan movimientos del suelo que ocasionen daños puede depender de formaciones de roca o del subsuelo de carácter estrictamente local que no sean típicas de la región considerada en su conjunto. En el informe del primer Grupo de expertos anteriormente mencionado se señala que «parece existir una influencia relativamente permanente del grado de «ductilidad» o de «dureza» de la formación del suelo sobre los períodos predominantes de movimiento de éste, y la amplitud de las aceleraciones del suelo puede variar con las condiciones de éste.» El movimiento de la masa rocosa subyacente puede verse atenuado o amplificado por factores tales como la magnitud del seísmo, la proximidad del emplazamiento a la falla que lo ocasione y las características reales del suelo; en realidad, se ha comprobado que un mismo emplazamiento puede amplificar el movimiento del suelo en el caso de un terremoto y atenuarlo en otro.

Es, desde luego, conveniente identificar las zonas de falla inmediatas y determinar la probabilidad de que puedan crearse fallas accesorias. Esta última circunstancia puede constituir un verdadero peligro en algunas regiones, si bien tal peligro no se da en todas las zonas de falla y ni siquiera en todas las regiones en que la frecuencia de los seísmos es alta. Citando de nuevo el mencionado informe, «es tan poco lo que actualmente se sabe acerca de este fenómeno» [del fallamiento accesorio] «que ello mismo viene a subrayar la necesidad imperiosa de realizar nuevas investigaciones, que consistan en particular en estudios intensivos y acopio de información sobre los fallamientos accesorios durante los terremotos de importancia que en lo sucesivo se produzcan en cualquier lugar del mundo».

En los Estados Unidos, la mayoría de los terremotos tienen lugar en el litoral marítimo occidental, en una región que se ve fuertemente influida por la zona de falla de San Andreas, que se extiende a lo largo de 650 millas y pasa a menos de ocho millas de San Francisco y a menos de 30 de Los Angeles. Las características de esta zona son bien conocidas, y la falla es objeto de continuo y cuidadoso estudio. Durante el grave terremoto de San Francisco de 1906, la falla de San Andreas

registró un deslizamiento de 20 pies al producirse un levantamiento catastrófico. En la actualidad, el lado oriental de la zona de falla se desplaza lentamente hacia el sudeste y el lado occidental, es decir, el correspondiente al Pacífico, se va moviendo en dirección noroeste. La velocidad media de este movimiento es de unas dos pulgadas al año. Lo que da motivo a cierta preocupación —de la que se han hecho eco recientemente los periódicos— es el hecho de que sólo se mueve el tercio medio de la falla; el tercio septentrional, próximo a San Francisco, no se ha movido desde el catastrófico desplazamiento de 1906, y el tercio meridional, próximo a Los Angeles, no lo ha hecho desde un grave terremoto que se produjo en 1875.

Precaviéndose contra el riesgo

Como es natural, el movimiento de una falla no siempre es espectacular; no obstante, los responsables de la selección de emplazamientos de reactores tienen que tener en cuenta la probabilidad de que se produzca. En todos los trabajos de este tipo, el establecimiento de la relación existente entre el movimiento de la falla y la distribución de los daños ocasionados por el terremoto dista mucho de ser sencilla. En un documento presentado al Grupo de expertos reunido en junio, la Japan Electric Association señaló que «en algunos casos particulares se dispone de informes en los que se afirma que un edificio que se alzaba justamente sobre la falla apenas registró daños».

El encargado del diseño de una instalación nuclear tiene también que estudiar detenidamente la geología y topografía locales a fin de determinar la probabilidad de que se produzcan daños como consecuencia de un corrimiento de tierras o de hundimientos, etc. del terreno. Puede ocurrir que la compacidad del terreno en parte del emplazamiento de un reactor aumente si el suelo se ve sometido a fuertes tensiones sísmicas, en tanto que otras partes del emplazamiento no se vean afectadas. Análogamente, si bien la estructura principal de una central nuclear no debe construirse nunca sobre un suelo que pueda «disgregarse» durante un terremoto, por ejemplo, el formado por arenas sueltas saturadas, las estructuras auxiliares muy bien pudieran ser construidas sobre suelos de este tipo. En ambos casos, aun cuando el reactor propiamente dicho no sufriera daños, podrían resultar interrumpidos o cortados diversos servicios esenciales. Por regla general, las centrales nucleares se encuentran situadas en las proximidades de una gran masa de agua, bien sea un río o un lago, o bien cerca de la costa. Es conveniente, por tanto, que el encargado del diseño procure evitar que una instalación se construya en un lugar en el que un corrimiento de tierras pueda, o bien extenderse hasta el emplazamiento propiamente dicho, o bien privar a la instalación del agua que necesita para sus circuitos de refrigeración al crear una presa, o dar lugar a una inundación.

Es posible que las condiciones que se dan en un emplazamiento determinado no se den en ningún otro lugar del mundo. No obstante, los resultados del estudio de los diversos tipos de suelos y rocas, de las formas en que se produce la interacción de los cimientos y estructuras con esos suelos y rocas durante los movimientos sísmicos, de los mecanismos de la formación de fallas, etc., pueden ser de aplicación en muchos países. En particular, las directrices aceptables en el plano internacional para la selección de emplazamientos de reactores, como las preparadas por el Grupo de expertos del OIEA reunido en junio, son de utilidad para conseguir que el creciente empleo de la energía nuclear eléctrica no vaya acompañado de ningún riesgo indebido.