

Filosofía y principales características de la nueva norma de construcción sismorresistente NCSE-94

ANTONIO JESÚS MARTÍN MARTÍN (*)

RESUMEN En el presente artículo se analiza la filosofía y las principales características de la nueva norma española de construcción sismorresistente, NCSE-94, recientemente aprobada. Se hace especial hincapié en aquellos aspectos en que difiere de la norma anteriormente vigente, PDS-1 (1974). Asimismo, se comparan algunas de las principales similitudes y diferencias con las partes que le afectan del Eurocódigo 8: Construcciones en zonas sísmicas, prenorma actual de la Unión Europea.

PHILOSOPHY AND MAIN CHARACTERISTICS OF THE NEW SEISMIC SPANISH BUILDING CODE NCSE-94

ABSTRACT *This paper analyzes the philosophy and main characteristics of the NCSE-94, the new Seismic Spanish Building Code. The article emphasizes those items which differ from the former Code in force. It also studies some similarities and differences with the Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures, present Precode of the European Union.*

Palabras clave: Ingeniería sísmica; Normativa sismorresistente; Normativa española; Normativa Europea.

1. INTRODUCCIÓN

Los terremotos constituyen, una de las catástrofes naturales más destructivas en cuanto a víctimas y pérdidas económicas se refiere. Nuestro país, aunque situado a nivel mundial en una zona de sismicidad moderada, no ha sido ajeno en los últimos siglos a este tipo de catástrofes, de forma que si hoy día ocurriera un sismo de características similares al del último terremoto catastrófico —el de Andalucía de 1884— se originarían pérdidas económicas por valor de varios cientos de miles de millones de pesetas —e incluso superiores al billón— dependiendo sobre todo de la proximidad del epicentro a las instalaciones industriales y zonas urbanizadas. Ello es debido a que los daños producidos por los terremotos están íntimamente ligados a la ordenación territorial y medioambiental, en concreto, al tipo y calidad de las construcciones, a la planificación del uso del suelo y a la concepción urbanística de las ciudades.

Por otro lado, una de las características específicas de las catástrofes sísmicas es su impredecibilidad, por lo que las estrategias de protección a llevar a cabo para minimizar los daños ocasionados por los sismos estarán constituidas fundamentalmente por acciones de prevención, entre las que destacan por su eficacia todas aquellas medidas tendentes a planificar un desarrollo territorial, urbano y constructivo seguro, dirigidas fundamentalmente a la reducción de la vulnerabilidad sísmica de los elementos estructurales.

Estas medidas se plasman en la elaboración y aplicación de normas sismorresistentes de uso del suelo, de ordenación urbanística y arquitectónica de las ciudades, y de cálculo y diseño de los diferentes tipos de construcciones e instalaciones.

La experiencia del análisis de los efectos de los grandes sismos nos dice que las normas de uso del suelo son prácticamente las únicas eficaces cuando se trata de prevenir los daños ocasionados por las deformaciones permanentes del terreno originadas por el terremoto (licuefacción, deslizamientos, etc.) y nos muestra, además, el efecto positivo de una buena (desde el punto de vista sismorresistente) normativa de ordenación urbana y de algunas actuaciones de Protección civil inmediatas al terremoto (salvamento, ayuda, desescombro, etc.), a fin de lograr la mitigación de los daños, especialmente a las personas.

En España y como norma general, el fenómeno sísmico no es tenido en cuenta a la hora de planificar el uso del suelo o de elaborar el planeamiento urbanístico de nuestras ciudades, a pesar de haberse realizado o estarse realizando algunos estudios de microzonación sísmica. Sin embargo, nuestro país ha impulsado en el pasado la consideración —usualmente con bastante acierto— de criterios de sismorresistencia en este tipo de normas aunque en todos los casos con carácter local y tras la ocurrencia de alguna catástrofe sísmica, bien en la metrópoli o bien en los territorios de ultramar (véase por ejemplo la Memoria del Comisario Regio nombrado para la reconstrucción tras el Terremoto de Andalucía). Caso diferente es el de las normas de construcción sismorresistente, la última de las cuales, la NCSE 94, es objeto de este artículo.

(*) Vocal de la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes. Instituto Geográfico Nacional Sevilla.

2. LA NCSE-94: RAZONES PARA SU ELABORACIÓN Y NOVEDADES MÁS SIGNIFICATIVAS.

Dejando a salvo las Instrucciones elaboradas para la reconstrucción de las zonas afectadas por alguna catástrofe sísmica, no es hasta 1962 cuando se dictan las primeras normas españolas que obligan a considerar las acciones sísmicas en las construcciones (MV 101-Acciones en la Edificación e Instrucción de presas). En 1968 se aprueba con carácter provisional la aplicación de la primera norma española de construcción sismorresistente, la PGS-1, la cual contenía dos capítulos específicamente dedicados a las obras civiles. Esta norma fue elevada a definitiva en 1974, sin modificaciones importantes en lo relacionado con la edificación pero sin los capítulos de aplicación a las obras civiles.

A esta norma es a la que sustituye la recientemente aprobada Norma de construcción sismorresistente NCSE-94, con las salvedades en cuanto a plazos de aplicación expuestas en las disposiciones transitorias del Real Decreto de aprobación. Hay que hacer constar por otra parte, que a partir de diciembre de 1993 se vienen aprobando como "Pre-norma" las diferentes partes del Eurocódigo 8: Construcciones en zonas sísmicas, destinado a convertirse, a corto plazo y en congruencia con los demás Eurocódigos, en la norma de construcción sismorresistente de la Unión Europea.

Capítulo aparte merece el proyecto y cálculo sísmico de las instalaciones nucleares y radioactivas. A estos efectos, y aunque en España no disponemos de una norma específica para estas instalaciones, el Consejo de Seguridad Nuclear, y anteriormente la Junta de Energía Nuclear, obliga al proyecto sismorresistente de dichas instalaciones de acuerdo con las normas de la Nuclear Regulatory Commission (USA), de la Agencia Europea de la Energía o de las regulaciones —si las tuviere— del país de origen de la tecnología de la instalación. También las grandes presas ubicadas en zonas sísmicas se proyectan en los últimos años siguiendo en cuanto a las acciones sísmicas de cálculo criterios similares a los de las instalaciones radioactivas, mucho más estrictos que los estipulados en la Instrucción de Grandes Presas de 1967.

Así pues, en lo que a edificación se refiere, la norma PDS-1 ha estado vigente en España desde 1974 hasta 1994. No obstante, prácticamente desde su aprobación, y especialmente desde 1984, se venía trabajando en la redacción de un nuevo texto, debido sobre todo a:

- Lo dispuesto, en cuanto a su actualización, en el Decreto de aprobación de la norma PDS-1 (1974).
- La necesidad de adecuar la normativa sismorresistente a los conceptos, hipótesis y contenidos determinados por el estado del conocimiento en cuanto a seguridad, sismo de proyecto, acciones, cálculo y diseño.
- La conveniencia de aproximar los conceptos, hipótesis y contenidos de la norma española a los del Eurocódigo 8, que al mismo tiempo se elaboraba.
- La necesidad de subsanar y/o aclarar las carencias y problemas de aplicación de la norma PDS-1 (1974).
- La conveniencia de establecer prescripciones de índole general y la conexión (desde el punto de vista de la seguridad sismorresistente) entre la norma de edificación y las normas futuras, aplicables a otros tipos de construcciones u obras civiles.

La redacción de esta nueva norma no ha estado exenta de problemas, derivados fundamentalmente de los distintos

criterios técnicos mantenidos por los diferentes expertos encargados de su elaboración. De ahí, el dilatado periodo que ha llevado a la aprobación de la NCSE-94.

La norma —básicamente de edificación— se estructura en cinco capítulos:

- Generalidades
- Información sísmica
- Acciones y cálculo
- Reglas de diseño y prescripciones constructivas
- Cumplimiento y control de su aplicación

Comparada con la PDS-1 (1974) presenta como novedades más significativas:

- El establecimiento y concreción de prescripciones generales, de aplicación a los proyectos sismorresistentes de todo tipo de construcción y a la demás normativa sismorresistente (futura).
- Un nuevo mapa de peligrosidad sísmica basado en criterios probabilistas.
- Una nueva concepción del coeficiente de riesgo, ligado al nivel de seguridad pretendido.
- Diferentes espectros elásticos de repuesta, dependientes del tipo de sismo esperado y de las características del terreno del emplazamiento.
- La adopción del análisis modal espectral como método general de cálculo y el establecimiento de condiciones para la aplicación del análisis dinámico directo.
- La consideración y diferenciación de la ductilidad de la estructura.
- Un incremento muy significativo de los detalles y exigencias constructivas y de diseño, obligatorias para aceleraciones de cálculo superiores a un determinado valor y recomendables en los demás casos.
- La exigencia de un mayor control en la aplicación de la norma a nivel de proyecto (se exige un apartado específico en la Memoria, complementado en los planos), construcción y explotación.

3. NIVEL DE SEGURIDAD O DE PROTECCIÓN

El primer aspecto a considerar en la elaboración de una norma sismorresistente es la definición del nivel de seguridad o de protección que se pretende, el cual constituye básicamente la finalidad de la norma.

Con carácter general, el objetivo del diseño sismorresistente es, en caso de terremoto, proteger las vidas humanas, reducir las pérdidas económicas y mantener en las construcciones e infraestructuras un determinado nivel de servicio, compatible con el uso de las mismas y con el nivel de riesgo aceptado. La filosofía seguida para fijar este último depende de la importancia asignada al bien cuya pérdida o daño se protege, de las consecuencias de su ruina y del coste de la sismorresistencia. Se trata de un problema socioeconómico en el que inciden una serie de parámetros sociales, políticos, económicos y técnicos —no sólo sísmicos— que la "sociedad" habrá de ponderar. En efecto, la elaboración y aplicación de las normas de sismorresistencia es un proceso a medio y largo plazo en el que, además de las Administraciones Públicas, están involucrados los planificadores regionales y urbanos, los sismólogos, los arquitectos e ingenieros estructurales y sísmicos, los promotores, constructores y propietarios, así como los demás agentes sociales y ciudadanos en general. En relación con ello, corresponde fundamental-

mente a las Administraciones Públicas ordenar, aprobar e impulsar la aplicación de las normas sísmicas, estableciendo el calendario de implantación y las medidas de control. Se trata de integrar la protección sísmica en el desarrollo con el apoyo de los demás colectivos involucrados, modelando para ello los deseos y fuerzas del mercado y haciendo frente a las prevenciones y conflictos de intereses que pudieran plantearse, derivados muchas veces de la complejidad de las normas y del sobrecosto y falta de concienciación de su aplicación, consecuencia a su vez de la diferente valoración cultural por parte de los distintos estamentos sociales y medioambientales.

A diferencia de la PDS-1, la nueva norma de construcción sismorresistente NCSE-94 define claramente el objetivo de la misma y por ende el nivel de protección deseado. Así, se pretende que las edificaciones destinadas a viviendas resistan sin grandes daños los terremotos medianos que pudieran afectarle durante su periodo de vida (unos cincuenta años) y que no colapsen ante un sismo de proyecto de 500 años de periodo de retorno, es decir, con una probabilidad de presentación de aproximadamente un 10% —concretamente el 9,5%— durante el citado periodo de vida.

Esto quiere decir que es posible —como se dice en la propia norma— la ocurrencia de terremotos aún mayores, que ocasionen daños muy importantes. Ahora bien, dado que el fin primordial en cuanto a seguridad es la protección de la vida humana, se pretende evitar en todo caso el colapso de la estructura, para lo que se adoptan medidas complementarias de concepción estructural y de diseño —en especial en cuanto a nivel de ductilidad— a fin de asegurar, conjuntamente con el nivel de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia del terremoto de proyecto, el nivel de seguridad o de protección establecido como objetivo de la norma. La incentiación del diseño dúctil con esta finalidad constituye otra de las novedades más importantes de la norma NCSE en relación con la PDS anterior.

Esta filosofía es congruente con la de la práctica totalidad de las normas actuales de los países desarrollados y con la del Eurocódigo 8, las cuales fijan además como objetivo para las edificaciones de uso singular (hospitales, parques de bomberos, etc.) o para las instalaciones industriales o infraestructuras vitales, el que se mantengan operativas tras el terremoto. La norma NCSE persigue también un objetivo similar para este tipo de obras, obligando a adoptar un terremoto de proyecto más severo en el cálculo de las construcciones clasificadas como de "importancia especial", entre las cuales se consideran las que así se clasifiquen en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos, y las catalogadas como monumentos históricos o artísticos, o bienes de interés cultural o similar, supuestos no contemplados en la PDS anterior.

Como resumen, el nivel de seguridad o de protección viene determinado, en función de la finalidad de la norma, por el nivel de peligrosidad del terremoto de proyecto y por ciertas medidas de concepción estructural y de diseño. La peligrosidad sísmica del terremoto de proyecto va a servir también de base para definir el ámbito territorial y los criterios de aplicación de la norma.

4. TERREMOTO DE PROYECTO

Tal como se ha indicado, la norma NCSE establece en cada emplazamiento un terremoto de proyecto —definido por el correspondiente espectro de respuesta— cuyo nivel de peligrosidad o probabilidad de ocurrencia depende de la importancia de la construcción, cualidad que clasifica las conse-

cuencias del fallo. A cada clase de importancia le corresponde un terremoto de proyecto de un determinado nivel de peligrosidad que se evalúa probabilísticamente.

La clasificación de las construcciones en diferentes categorías de acuerdo con su importancia, a las que se asocian diferentes terremotos de proyecto, es una filosofía seguida por la práctica totalidad de las normas sísmicas y que ya venía recogida en la PDS. La novedad introducida por la NCSE con respecto a esta última norma consiste en la evaluación probabilística de estos terremotos de proyecto, lo que permite cuantificar numéricamente el nivel de peligrosidad aceptado para cada categoría de importancia y unificarlo para todo el territorio nacional. Para una determinada construcción, la probabilidad de ocurrencia del terremoto de proyecto que corresponda al emplazamiento es por tanto la misma para todo el país, dependiendo tan solo del nivel de importancia en que se clasifique aquella.

A efectos de cálculo, la norma NCSE define la peligrosidad sísmica del terremoto de proyecto correspondiente a cada emplazamiento y clase de importancia por un único parámetro denominado aceleración sísmica de cálculo, a_c , un valor "característico" de la aceleración horizontal de la superficie del suelo para el nivel de peligrosidad correspondiente. Para el conjunto del territorio nacional, el terremoto de proyecto se escala consecuentemente mediante el mapa de peligrosidad sísmica del nivel de probabilidad que corresponde a la clase de importancia de la construcción considerada, expresado en función de la aceleración sísmica de cálculo.

La norma NCSE sustituye todos los mapas de peligrosidad para los diferentes niveles de probabilidad por un único mapa —el de quinientos años de periodo de retorno— y un parámetro multiplicador, p , denominado coeficiente de riesgo. La aceleración sísmica de cálculo viene dada por el producto del coeficiente de riesgo por la aceleración que se deduce de este mapa, denominada aceleración sísmica básica, a_b . El coeficiente de riesgo p (factor adimensional igual o mayor de la unidad), tiene por objeto pues obtener, a partir de la aceleración sísmica básica, la aceleración de cálculo correspondiente a periodos de retorno iguales o mayores que el del mapa de la norma. Su valor es el mismo en todo el territorio nacional para cada nivel de importancia de la construcción, lo que equivale a formular la hipótesis de que en todos los emplazamientos se mantiene la razón entre las aceleraciones correspondientes a dos periodos de retorno dados; esta razón viene dada con bastante aproximación por la fórmula del articulado para periodos de retorno de 250 a 2000 años, valores usados en el cálculo. En cierto modo, el factor p equivale al coeficiente de importancia de otras normas.

En la norma NCSE se determina el coeficiente de riesgo p en función del "periodo de vida de cálculo" de la estructura, dada la relación matemática que liga el periodo de retorno con la probabilidad anual de ocurrencia del sismo, por un lado, y con la probabilidad de superación de la acción en un determinado periodo de tiempo (vida), por otro. Los valores que se obtienen para p equivalen a duplicar el periodo de retorno a 1000 años para el cálculo de estructuras de especial importancia ($p = 1,3$). La norma PDS-1 duplicaba para estas estructuras la aceleración de cálculo, al adoptar la "isosieta superior" del mapa de riesgo, lo que —prescindiendo del valor de partida— representa un criterio mucho más conservador. El valor de la NCSE ($p = 1,3$) es, no obstante, del mismo orden de magnitud del considerado en las normas modernas; en concreto, el Eurocódigo 8 recomienda valores entre 1,2 y 1,4.

Existen además diferencias notables, conceptuales y numéricas, entre los mapas de peligrosidad sísmica de las normas PDS y NCSE, consecuencia sobre todo del tipo de mapa (isoprobable de peligrosidad a partir de zonas sismogénicas, el de la NCSE, y no isoprobable de sismicidad, el de la PDS), de las diferencias existentes en el catálogo sísmico en las fechas en que se confeccionaron los mapas, de las diferentes metodologías de cálculo empleadas y de la densidad de puntos o emplazamientos calculados en cada caso. La diferencia en cuanto a parámetro de expresión (intensidad en la PDS y aceleración en la NCSE) no tiene influencia relativa en el cálculo estructural, al haberse evaluado también en intensidades el mapa de esta última norma y haber obtenido la aceleración mediante la misma correlación que se aplica en la PDS para el cálculo del coeficiente sísmico básico. En la práctica, esto se traduce en valores de la aceleración de cálculo algo más bajos, por lo general, en la nueva norma para las viviendas ordinarias (para las que dichos valores coinciden con los que se obtienen directamente de los respectivos mapas). Como norma general, la NCSE incrementa sensiblemente los valores de la PDS en el suroeste de la Península y en el nordeste de Cataluña, los suaviza y uniforma algo en el sureste de la Península y los disminuye en el resto.

5. ÁMBITO Y CRITERIOS DE APLICACIÓN

En el Real Decreto de aprobación de la norma NCSE-94 se determina que el ámbito de aplicación de la misma "se extiende a los proyectos y obras de construcción que se realicen en el territorio nacional, concretamente en el campo de la edificación y, subsidiariamente, en el de la ingeniería civil y otros tipos de construcciones, en tanto no se aprueben normas específicas para las mismas". Además, se establecen las condiciones para la aplicación opcional de la norma PDS-1 anterior a los proyectos ya aprobados o que se aprueben en los próximos dos años.

El articulado de la norma aclara el párrafo anterior. De acuerdo con el mismo, la norma se aplica en su totalidad al proyecto, construcción y explotación de obras de edificación de nueva planta, teniéndose en cuenta en los casos de reforma y rehabilitación para que los niveles de seguridad de los elementos afectados sean superiores a los originales. Esto último constituye una novedad con respecto a la norma anterior. Por otro lado, se establece que las denominadas "prescripciones de índole general" son de aplicación a todo tipo de construcción, es decir, se aplican también a aquellas obras que no son de edificación. Finalmente, la norma admite que el proyectista o el director de la obra adopten, bajo su responsabilidad, criterios diferentes a los que se establecen en la misma, siempre que no se disminuyan los niveles de seguridad. Se trata de una alternativa controvertida —ya recogida en la PDS anterior— de difícil y excepcional aplicación por cuanto supone para el Organismo encargado de autorizar la construcción. No obstante, puede ser una vía para aplicar el Eurocódigo 8, antes de su entrada en vigor.

Las prescripciones de índole general a las que hace referencia la norma son el mapa de peligrosidad sísmica y el coeficiente de riesgo (con la clasificación de las estructuras necesaria para determinarlo), es decir, la aceleración sísmica de cálculo; además se recomienda el espectro elástico de respuesta. La aceleración sísmica de cálculo, las ordenadas espectrales a cualquier prescripción extraída de la NCSE tienen carácter de mínimos, por lo que se adoptarán solamente cuando sean más "seguras" que las que establezcan las normas específicas, si las hubiera. Esto es congruente con la filosofía de establecer para todas las normas sísmicas españolas

un único mapa de peligrosidad, o un conjunto de mapas para diferentes niveles de probabilidad obtenidos todos con la misma metodología y a partir de los mismos datos e hipótesis.

Comparado con el Eurocódigo nº 8, el ámbito de aplicación de la nueva norma NCSE es mucho menor, dado que aquel abarca también el cálculo sismorresistente de otros tipos de estructuras (puentes, torres, mástiles, chimeneas, tanques, silos, tuberías y estructuras de contención), así como el refuerzo y reparación de los edificios existentes.

La aceleración sísmica de cálculo es también el parámetro que delimita en cada caso concreto el ámbito territorial y los criterios de aplicación de la nueva norma NCSE. Con carácter general, ésta no se aplica cuando la aceleración sísmica de cálculo es inferior a 0,06 g. Consecuentemente, no es en ningún caso obligatoria, independientemente de la importancia de la construcción, cuando la aceleración sísmica básica (la proporcionada por el mapa de peligrosidad sísmica) es igual o inferior a 0,04 g, justamente el valor a partir del cual hay que calcular de acuerdo con la PDS-1 y que se recomienda como umbral para la aplicación del Eurocódigo 8. Por tanto, y a diferencia con la PDS, no hay que calcular con la nueva norma si la aceleración sísmica básica es 0,04 g o si valiendo 0,05 g la construcción es de normal importancia. Comparando el ámbito territorial de aplicación de la PDS con el de la NCSE, esta nueva norma no ha de aplicarse en un área donde se ubican, como referencia, trece capitales de provincia (entre ellas Barcelona y Zaragoza), siendo de aplicación, en cambio, en las ciudades de Valencia y Gerona, en las que la PDS no obligaba.

En cuanto a criterios de aplicación, la norma NCSE establece para las edificaciones diferentes limitaciones constructivas en función de la peligrosidad sísmica y de la importancia, tipo y material de la construcción. Así, para aceleraciones sísmicas de cálculo superiores a 0,06 g —para las que la norma es obligatoria salvo que se trate de construcciones de moderada importancia (edificios agrícolas por ejemplo)— se prohíben totalmente las construcciones de mampostería en seco. Además, a partir de este valor de la aceleración sísmica de cálculo se establecen restricciones adicionales que afectan al número de plantas de las edificaciones de fábrica de ladrillos, bloques de hormigón, etc. y a las características constructivas, de diseño y de los materiales de todos los tipos de construcción. Comparada con la PDS, la principal diferencia estriba quizás en que la nueva norma admite siempre —con limitaciones en altura— las construcciones de fábrica de ladrillo, mientras que la PDS las prohibía totalmente si estaban situadas en zonas de intensidad superior a VIII (aceleración superior a 0,15 g) o si eran de gran (= especial) importancia y se ubicaban en zonas de grado VI o VII (aceleración entre 0,04 g y 0,15 g).

6. CONTROL DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA

Un grave problema detectado durante los más de veinticinco años de vigencia de las normas sismorresistentes en España es la carencia o insuficiencia de control sobre su aplicación, lo que ha dado lugar a que la norma no fuese considerada donde debiera o a que se aplicara inadecuada o ineficazmente en muchos casos. Por ello, la nueva norma NCSE hace hincapié en determinados requisitos para el control de su cumplimiento, tanto en la fase de proyecto como durante la construcción; asimismo obliga a un seguimiento del comportamiento de la construcción durante su periodo de vida útil, mediante el estudio, y solución en su caso, de los daños que le pudieran causar los terremotos de intensidad igual o superior a VII en el emplazamiento. Así, el cálculo y diseño

sismorresistente han de estar recogidos en los documentos del proyecto, el cual ha de respetarse estrictamente durante la fase de construcción, insistiéndose en el cumplimiento de los niveles de ductilidad de los elementos.

7. CÁLCULO Y DISEÑO

7.1. MÉTODOS DE CÁLCULO

La norma NCSE establece como método general de cálculo el análisis modal espectral, aunque permite el estudio dinámico directo. También desarrolla un método simplificado de cálculo, aplicable a los casos más usuales de edificación, análogo al establecido en la norma PDS anterior. La diferencia principal estriba en que la nueva norma indica expresamente las condiciones que han de reunir los edificios en cuanto a uso y dimensiones y en cuanto a regularidad y excentricidad de masas y rigideces para que se pueda aplicar dicho método simplificado. No obstante, dado que el proyectista bajo su responsabilidad —y siempre que sea admitido por el Organismo encargado de otorgar la licencia— puede, entre otras opciones, modificar el método de cálculo, dicho proyectista podrá aplicar cualquiera de los métodos sancionados por la práctica.

Tal como se verá al analizar las acciones sísmicas, el cálculo se realiza en régimen elástico para una aceleración equivalente a la aceleración sísmica de cálculo dividida por el coeficiente de comportamiento por ductilidad, de forma congruente con el significado de este último coeficiente.

El establecimiento del análisis modal espectral como método general de cálculo confiere a la nueva norma una mayor complejidad, aunque solo aparente, por cuanto deriva de la carencia o ambigüedad de la norma PDS anterior para delimitar claramente las "construcciones asimilables a un oscilador múltiple", a las que era de aplicación el método pseudostático de cálculo en ella desarrollado.

Otra novedad de la nueva norma en relación con la anterior es la exigencia de que el análisis estructural contemple la compatibilidad de las deformaciones de traslación y torsión combinadas de una planta respecto a la siguiente:

7.2. ACCIONES SÍSMICAS

Para cada modo de vibración y grado de libertad, la norma NCSE define la acción sísmica de cálculo como el producto de cuatro factores representativos de la peligrosidad sísmica, de la ordenada espectral de cálculo correspondiente al modo considerado, de la respuesta de la estructura y de la distribución de la acción total entre los diferentes grados de libertad —o plantas, en su caso— de la estructura. Si como hacen otras muchas normas calculamos el esfuerzo cortante total, V , en la base de la estructura, éste vendrá dado por:

$$V = s \cdot P$$

siendo P el peso total de la estructura y s un coeficiente sísmico referido a la base, equivalente al producto de los tres primeros factores antes citados, es decir:

$$s = (a_e/g) \cdot \alpha(T_i) \cdot \beta$$

donde:

a_e/g es el factor representativo de la peligrosidad sísmica en el emplazamiento, coincidente con la aceleración sísmica de cálculo expresada en unidades de g (aceleración de la gravedad).

$\alpha(T_i)$ es la ordenada espectral de cálculo, correspondiente al período (T_i) del modo i , y

β es el factor de respuesta de la estructura.

7.2.1. Ordenada espectral de cálculo

Es la ordenada del espectro tipo en el emplazamiento, correspondiente al período de oscilación de la estructura para el modo considerado. A estos efectos, la nueva norma define un espectro elástico de respuesta para movimientos horizontales, correspondiente a un oscilador simple con un amortiguamiento del 5% respecto al crítico y compuesto por tres tramos rectos que se determinan en función de dos parámetros: el coeficiente de suelo, C , y el coeficiente de contribución, K .

El coeficiente de suelo, C , depende de las características del terreno en los primeros treinta metros bajo la estructura y se calcula ponderando los valores correspondientes a las tres clases de suelo —simplificadamente, duro, medio y blanda— establecidas en la norma.

El coeficiente de contribución K depende del emplazamiento. Es un factor que pondera la participación en el cómputo de la peligrosidad sísmica de los grandes terremotos de alta magnitud y lenta atenuación, generados en la parte central de la falla de Azores-Gibraltar, sita en el Océano Atlántico, al SO de la Península y a una distancia entre cien y doscientos kilómetros de nuestras costas. Se trata de adecuar el espectro de respuesta al del terremoto más probable en el emplazamiento, que en el caso de provenir de la citada fuente sismogénica de la falla Azores-Gibraltar se supone que tendrá un elevado contenido en bajas frecuencias, afectando por consiguiente de forma notable a las construcciones de largo período, en general las más esbeltas. De forma similar al coeficiente de riesgo, p , el coeficiente K evita el tener que usar diferentes mapas de peligrosidad en función del emplazamiento y período de oscilación de la construcción.

Como resultado del efecto conjunto de los coeficientes C y K , para los emplazamientos más cercanos a la citada fuente sismogénica de la falla Azores-Gibraltar (para los que el peso relativo de estos terremotos es mayor), las ordenadas de los espectros correspondientes a suelos "blandos" son mayores que las que corresponden a suelos "medios" y "duros", en todo el rango de frecuencias de interés. Por el contrario, para emplazamientos muy alejados de la misma zona sismogénica, en los que la influencia de estos terremotos es prácticamente despreciable, las ordenadas espectrales correspondientes a suelos "duros" son mayores que las de los suelos "medios" y "blandos" para períodos inferiores a 0,35 segundos. A emplazamientos intermedios y para los distintos tipos de suelo le corresponden valores intermedios de la ordenada espectral para cada período de oscilación de la construcción. La norma tabula y dibuja estos espectros para valores significativos de C y K .

Para bajos períodos de oscilación y cálculo por el método simplificado la norma modifica el primer tramo del espectro prolongando la meseta del mismo hasta el período $T=0$ s. Para movimientos verticales la norma establece un espectro elástico de respuesta cuyas ordenadas equivalen al 70% de las correspondientes al espectro para movimientos horizontales.

7.2.2. Coeficiente de respuesta β

El coeficiente β modifica la acción sísmica para adecuarla a la respuesta de la estructura caracterizada por su tipo, grado de compartimentación, amortiguamiento y ductilidad. Se define por el cociente:

$$\beta = v/v_i$$

donde:

- γ es un factor corrector que se aplica cuando el amortiguamiento con respecto al crítico es distinto del de referencia (5%).
- μ es el factor de comportamiento por ductilidad que mide la capacidad de disipar energía mediante deformaciones en el dominio postelástico.

La nueva norma NCSE no establece expresamente ninguna limitación del valor del amortiguamiento con respecto al crítico —y consecuentemente del valor de γ — como hacen otras normas, por ejemplo el Eurocódigo 8 que lo limita al 12%. Por otro lado y la misma que esta última norma, define cuatro niveles de ductilidad: alto, medio, bajo y sin ductilidad, a los que asigna respectivamente valores del coeficiente de comportamiento iguales a 4, 3, 2 y 1 respectivamente, inferiores a los fijados para las estructuras reticulares porticadas en el Eurocódigo 8 y otras muchas normas, si bien, la prenorma europea establece reducciones adicionales del factor de comportamiento en función de la irregularidad en altura y del modo de fallo de la estructura.

Como define el Eurocódigo 8, el factor de comportamiento por ductilidad, μ , equivale a una aproximación al cociente entre las fuerzas sísmicas que la estructura experimentaría si su respuesta fuese completamente elástica con el 5% de amortiguamiento viscoso y las mínimas fuerzas sísmicas que pueden utilizarse en el proyecto —con un modelo lineal convencional— asegurando una respuesta satisfactoria de la estructura. En la nueva norma española, el valor máximo del coeficiente de comportamiento por ductilidad ($\mu=4$) se ha escogido además de forma que las construcciones resistan en régimen elástico los sismos de probabilidad apreciable de ocurrencia durante el período de vida de la estructura (estado límite de servicio). Identificando estos sismos como los de período de retorno de cincuenta años, el supuesto anterior se cumple en la práctica generalidad de los casos; tan sólo para estructuras de normal importancia y de ductilidad muy alta, la aceleración de cincuenta años de período de retorno (aproximadamente $a_{\text{R}}/3,2$) resulta superior a la de cálculo, aunque las diferencias son muy pequeñas o irrelevantes, no sobrepasando nunca de 0,015 g en ningún punto del territorio nacional.

Para los cálculos por el método simplificado, la norma tabula los valores del coeficiente de respuesta R correspondiente a los ensos más usuales.

7.2.3. La acción sísmica en la PDS-1. Diferencia con la NCSE.

La norma PDS-1 (1974) determina también la acción sísmica de cálculo por el producto de cuatro factores que, aunque se corresponden aproximadamente con los de la NCSE, difieren notablemente —conceptual y numéricamente— de los de esta norma. Así, en la PDS:

- No se tiene en cuenta la ductilidad de la estructura, o lo que es equivalente, se supone que todas las estructuras tienen la misma ductilidad.
- Aunque no se cita expresamente, el denominado factor de intensidad lleva implícito un espectro de respuesta de dos tramos y meseta unitaria (ductilidad $\approx 2,5$) que se escala para el valor de la peligrosidad.
- El coeficiente de respuesta depende de dos factores: del grado de compartimentación y del período de vibración de la estructura. El primero de ellos puede considerarse efectivamente ligado al amortiguamiento y por ende como una representación muy simplificada (su valor numérico

es 0,6 ó 0,8) de la respuesta de la estructura. El segundo en cambio, (de la forma $1/T_k$), lo que hace de hecho es alterar el espectro de respuesta implícito en el factor de intensidad, distorsionando sensiblemente dicho espectro pues afecta incluso a la meseta (desde el período $T=0$ s).

- La peligrosidad sísmica deducida del mapa interviene en los cálculos afectada de un coeficiente de riesgo de imposible catalogación conceptual, que se reduce en la práctica a un factor reductor de la acción, de notable incidencia para valores elevados de peligrosidad.
- El tratamiento del suelo es completamente diferente al de la NCSE. Las características de dicho suelo bajo la estructura junto con el tipo de cimentación determinan el denominado en la PDS factor de cimentación, uno de los cuatro que definen la acción sísmica y que, debido al valor unitario de referencia y a la amplia gama de valores que adopta, actúa casi siempre como un coeficiente fuertemente reductor de la citada acción.

7.2.4. Combinación de la acción sísmica con las restantes acciones.

La acción sísmica se combina con las restantes acciones que actúan simultáneamente ponderando cada una de ellas con los coeficientes de seguridad establecidos en las diferentes Instrucciones, Normas y Reglamentos que les sean de aplicación. Comparado con el Eurocódigo 8 y prescindiendo de los valores numéricos, la principal diferencia estriba en que en la norma europea la acción sísmica ha de multiplicarse también por el coeficiente de importancia de la construcción, cuestión considerada previamente en la nueva norma española al calcular la aceleración sísmica de cálculo.

En cuanto a las masas a considerar en el cálculo de la acción sísmica, la norma española, y también el Eurocódigo 8, establecen la consideración de una excentricidad accidental —no tenida en cuenta en la norma PDS-1 anterior— cuando no coinciden los centros de masas y de torsión, por ejemplo, cuando la distribución de las masas no es uniforme.

7.3. MEDIDAS CONSTRUCTIVAS Y DE DISEÑO

La nueva norma NCSE dedica todo un capítulo a reglas de diseño y prescripciones constructivas, aumentando considerablemente el espacio dedicado a estos mismos temas en la norma PDS anterior y estableciendo la obligatoriedad de estas medidas para aceleraciones sísmicas de cálculo superiores a 0,12 g (salvo estudios que justifiquen lo contrario). Sin embargo, comparado con el Eurocódigo 8, la norma española detalla y exige menos que la europea.

Esto es congruente con la filosofía que preconiza que las construcciones en zonas sísmicas han de responder a un diseño arquitectónico óptimo desde el punto de vista sismorresistente, independientemente de las exigencias derivadas del cálculo. Está demostrado que un buen diseño sismorresistente abarata los costes y reduce considerablemente los daños, incluso estructurales, en caso de terremoto. Consecuentemente, la norma NCSE pretende que a medio plazo las construcciones españolas reúnan los citados requisitos, y para ello recomienda la aplicación en todos los casos de las citadas medidas constructivas y de diseño, que en gran parte no son sino la aplicación, puesta al día, de los siete principios básicos para el cálculo sismorresistente establecidos en la antigüedad, a saber:

- (1) Principio de simetría: distribución simétrica de masas y rigideces.
- (2) Principio de armonía: proporcionalidad de las dimensiones.

- (3) Principio de antigravedad: peso ligero y bajo centro de gravedad.
- (4) Principio de elasticidad: materiales resistentes, ligeros y elásticos que proporcionen propiedades uniformes.
- (5) Principio de perímetro cerrado: acoplamiento de los elementos resistentes formando contornos, verticales y horizontales, cerrados.
- (6) Principio de solidez de la cimentación: cimentaciones firmes y suficientemente rígidas sobre bases firmes y a la vez dúctiles.
- (7) Principio de aislamiento del movimiento: uso de estratagemas (bases) y dispositivos aislantes de la oscilación.

La nueva norma hace especial hincapié en las medidas encaminadas a conseguir el comportamiento por ductilidad deseado y aplicado en los cálculos mediante la adopción de determinados materiales y disposiciones constructivas. En relación con ello, es de destacar la penalización a los edificios de hormigón armado con pórticos de losas planas debido a su comportamiento no disipativo y a la más que probable rotura de los pilares antes que las vigas, lo que llevaría al colapso. Se trata de evitar las roturas "frágiles" que provoquen el colapso del edificio y grandes pérdidas de vidas humanas, aún a costa de admitir deformaciones irreversibles de la estructura en el dominio plástico. Comparada la NCSE con el Eurocódigo 8, la norma europea es más tajante al no ser de aplicación a este tipo de edificios para los que se exige un estudio específico y singular, lo que equivale en la práctica a su total proscripción.

En comparación con la PDS anterior la nueva norma modifica —entre otras muchas prescripciones y recomendaciones— la obligación del atado de las zapatas, que se limita a aquellos casos en que la aceleración sísmica de cálculo es $a_s \geq 0,16$ g, o a las del perímetro sólo, si

$a_s \geq 0,08$ g. También obliga a nudos rígidos entre vigas y soportes de acero si $a_s \geq 0,16$ g, no recomendando tampoco en este caso y para los edificios de uso público, las escaleras construidas sobre bóvedas tabicadas, ni las formadas por peldaños en voladizo empotrados en muros de fábrica. Por otro lado, los cerramientos, particiones y antepechos requieren subdivisiones y enlaces con elementos intermedios a partir de determinadas dimensiones de los paños de pared.

8. CONCLUSIONES

Hay zonas en España de elevada peligrosidad sísmica que, previsiblemente, se verán afectadas por terremotos de notable tamaño que ocasionarán daños importantes a aquellas construcciones (edificaciones, instalaciones industriales y obras públicas) mal diseñadas o no calculadas sismorresistentemente. Si a esto se une la carencia o insuficiencia de otras acciones de prevención —especialmente arquitectónicas, urbanísticas y de uso del suelo— se multiplicarán las pérdidas. No obstante, la adopción de ciertas medidas de ordenación territorial, en especial el cálculo y diseño sismorresistente de los edificios, reducirá los daños. A título de ejemplo y en base a los datos de la Comunidad Autónoma de Andalucía, la aplicación de la nueva norma con aceleraciones sísmicas de cálculo de 0,08 g, 0,12 g, 0,16 g y 0,20 g reduciría localmente por término medio las pérdidas económicas en un diez, veinte, cuarenta y cincuenta por ciento, respectivamente.

Como norma general, puede establecerse que la relación beneficio/coste derivada de la aplicación de la norma sísmica crece —a igualdad de los demás factores— con la peligrosidad sísmica del emplazamiento, con el periodo temporal de análisis (hasta un límite) y con la inflación y decrece localmente al aumentar la aceleración sísmica de cálculo.

XIV CURSO INTERNACIONAL DE MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERÍA DE CIMENTACIONES

Director: D. José A. Jiménez Salas.

Director Adjunto: D. Carlos Olea Mazo.

Fecha: Del 11 de enero al 26 de abril de 1996.

Contenido básico:

Propiedades de los suelos. Ensayos de laboratorio. Mecánica de rocas. Distribución de tensiones y deformaciones en el terreno. Muros y estructuras de contención. Muros y estructuras de contención. Taludes. Cimentaciones superficiales. Cimentaciones sobre terrenos expansivos y colapsables. Cimentaciones profundas. Filtraciones y rebajamiento. Tablestacadas y pantallas continuas de hormigón. Patología de cimentaciones y recalces. Geotecnia vial. Presas de materiales sueltos. Refuerzo y mejora del terreno. Cartografía geotécnica. Cimentaciones bajo acciones dinámicas. Instrumentación y auscultación. Técnicas modernas de reconocimiento. Geotecnología ambiental.

Cursos de especialidad:

- Curso sobre Cimentaciones de Puentes.
- Curso sobre ejemplos de Obras de Carreteras con especial incidencia geotécnica.

MÁSTER EN HIDROLOGÍA GENERAL Y APLICADA

Director: D. José Ramón Tamez Peláez.

Subdirectores: D. Teodoro Estrella Monreal.
D. Manuel Menéndez Prieto.

Fecha: Del 15 de enero al 14 de junio de 1996.

Contenido básico:

- Hidrología Superficial: Estudio del medio físico. Meteorología y Climatología. Precipitación. Evapotranspiración. Procesos de generación de escurrimiento. Hidrometría. Análisis y tratamiento de datos hidrológicos. Modelos precipitación-aporación. Crecidas. Sequías. Regulación.
- Estadística, Informática y Modelos Matemáticos: Informática básica. Bases de datos hidrológicos. Sistemas de información geográfica. Teoría de la modelación numérica en hidrología. Estadística básica. Series temporales y modelos estocásticos.
- Hidrología Subterránea: Introducción a las aguas subterráneas. Estudio hidrogeológico del terreno. Hidráulica de las aguas subterráneas. Las aguas subterráneas como recurso.
- Calidad de las Aguas y Medio Ambiente: Características físico-químicas y biológicas de las aguas. Calidad de las aguas superficiales. Calidad de las aguas subterráneas. La erosión hídrica y la sedimentología. Impacto ambiental.
- Hidráulica Fluvial. Conceptos básicos hidráulicos. Modelos hidráulicos e hidrológicos de flujo. Flujo bifásico. Modelos reducidos.
- Planificación y Explotación de Recursos Hidráulicos. Fundamento de la planificación. Demandas de regadío, abastecimiento e hidroeléctrica. Tipología de las infraestructuras hidráulicas básicas. Métodos de análisis de sistemas. Aspectos económicos.
- Prácticas de campo y laboratorio. Viajes de prácticas.

MÁSTER EN INGENIERÍA DE REGADÍOS

Director: D. Javier Luján García.

Director Adjunto: D. Santiago J. López Piñero.

Jefe de Estudios: D. Joaquín Rodríguez Chaparro.

Fecha: Del 15 de enero al 14 de junio de 1996.

Contenido básico:

- Información básica (cartografía, hidrología aplicada, edafología y agronomía).
- Sistemas de riego por gravedad (métodos y conducciones).
- Sistemas de riego por aspersión (tuberías, bombas, instalaciones eléctricas, riego por aspersión convencional, sistemas mecanizados y redes colectivas).
- Riego localizado (variantes, criterios de diseño, elementos).
- Formulación y evaluación de planes de regadío.
- Los regadíos en la planificación hidrológica.
- Explotación de regadíos (control y operación de sistemas, tarifas y programación de riegos).
- Modernización de regadíos.
- Regadíos y medio ambiente (evaluación de impactos, medidas correctoras, normativa).
- Prácticas de campo y laboratorio. Viajes de prácticas.

CURSO SOBRE MÉTODOS PARA EL CÁLCULO HIDROLÓGICO DE CRECIDAS

Directores: D. Manuel Menéndez Prieto (CEDEX).

D. Juan Marco (UPV).

D. J. B. Valdés (Texas A&M University).

Fecha: Del 22 al 26 de enero de 1996.

Contenido básico:

Este curso en colaboración con la Universidad Politécnica de Valencia y la Texas A&M University de los EE.UU., pretende dar una visión en profundidad de los métodos y modelos hoy en día existentes y de su probable evolución inmediata, para el cálculo y el análisis de crecidas.

El curso abordará tanto los modelos propios del diseño hidrológico para el proyecto de obras hidráulicas, como las técnicas para la predicción de crecidas en tiempo real.

Dirigido a:

Tanto a los profesionales que desarrollan proyectos de obras hidráulicas tales como grandes presas encauzamientos u obras de defensa, como a quienes desde la administración o la empresa privada han de explotarlos.

INFORMACION

CEDEX

Gabinete de Formación y Documentación

c/ Alfonso XII, 3 • Teléfono: 335 73 07
Fax: 335 73 14 • Télex: 45022 CEDEX E
28014 Madrid

Los cimientos del futuro.

Con el objetivo de potenciar el desarrollo del sector de la construcción y de todas las empresas que desarrollan en él su actividad, la X Edición de CONSTRUCCION abre sus puertas.

El atractivo de CONSTRUCCION'96 se basa en tres pilares: como escenario de excepción, el Palacio de Exposiciones y Congresos, con el más alto nivel de infraestructuras y servicios; la garantía de un fuerte apoyo en los medios de comunicación y, sobre todo, la participación de un importante número de expositores.

Las más importantes empresas del sector estarán presentes en CONSTRUCCION'96 porque saben que, para construir su futuro, necesitan cimientos sólidos y un afán constante por estar al día y darse a conocer.

Participe en CONSTRUCCION'96:
esta casa le abre sus puertas.



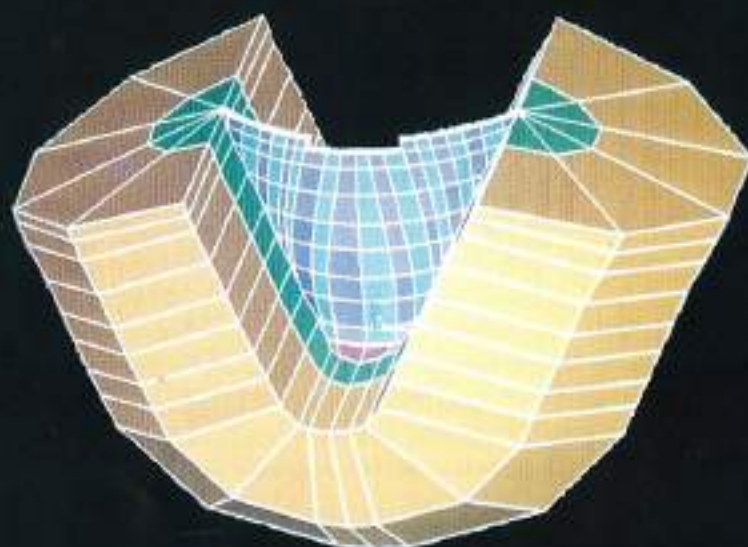
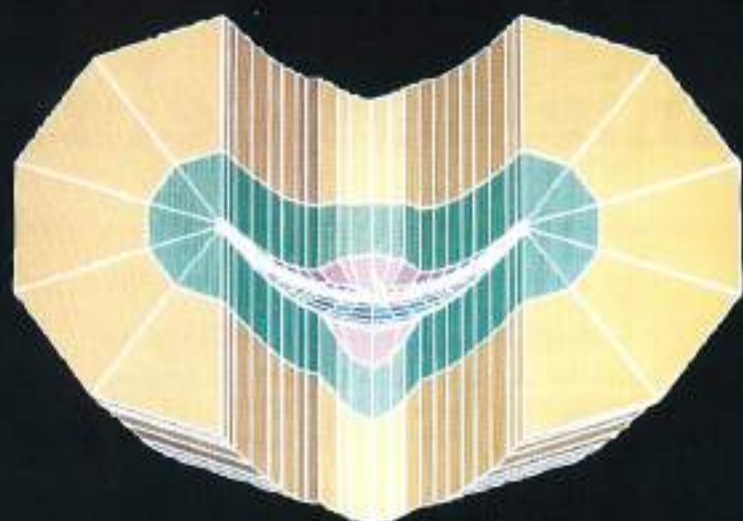
■ CONSTRUCCION '96 ■

X Certamen Internacional de Edificación, Obras públicas y Equipamiento Urbano
Sevilla del 24 al 27 de Octubre de 1996

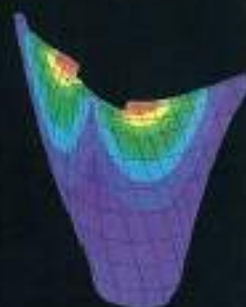
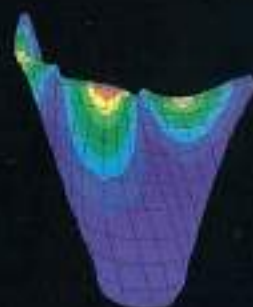
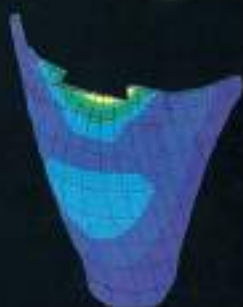
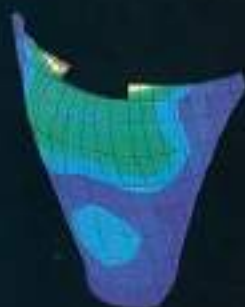
PALACIO DE EXPOSICIONES Y CONGRESOS

(Sevilla - Este). Apartado de Correos 4016
Fax: 4675350 - Teléfono: 4675140 - 41080 Sevilla.





CONSULTORÍA. ARBITRAJES. ASISTENCIA TÉCNICA. CONTROL Y ANÁLISIS DE ENSAYOS. RECOMENDACIONES TÉCNICAS. FIABILIDAD DE ESTRUCTURAS. INGENIERÍA SÍSMICA Y DINÁMICA DE ESTRUCTURAS. MODELOS NUMÉRICOS. VENTILACIÓN E ILUMINACIÓN DE TÚNELES.



SINEX, S.A.
SOCIEDAD DE INVESTIGACION,
ESTUDIOS Y EXPERIMENTACION.

Alberto Aguilera 32, 1º 2º p bis • 28015 MADRID