



GUÍA PARA LA DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA ANTISÍSMICA EN EL PROYECTO DE EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA



CONSEJERÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



AYUNTAMIENTO DE LORCA

F H E C O R ■
Ingenieros Consultores

ISBN: 978-84-87138-67-6

Depósito legal: MU 954-2012

Contenido

1	ANTECEDENTES Y OBJETO	3
2	REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA	4
3	METODOLOGÍA DE PROYECTO ESTRUCTURAL	5
4	EXIGENCIAS ESTRUCTURALES ESPECÍFICAS	6
5	CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN	7
5.1	CLASIFICACIÓN DEL TERRENO SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE	7
5.2	DEFINICIÓN DE CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO	9
6	DEFINICIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA	14
6.1	ACCIÓN SÍSMICA NORMATIVA, NCSE-02	14
6.1.1	PELIGROSIDAD SÍSMICA Y ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO	14
6.1.2	ESPECTRO NORMALIZADO DE RESPUESTA ELÁSTICA	16
7	CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS	20
7.1	IMPORTANCIA DEL DISEÑO CONCEPTUAL	20
7.2	ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL	20
7.2.1	CONFIGURACIONES SIMÉTRICAS DE ELEMENTOS RESISTENTES	20
7.2.2	RIGIDEZ Y CONTINUIDAD DE LA ESTRUCTURA VERTICAL	22
7.2.3	OTRAS CONSIDERACIONES NORMATIVAS	23
8	SELECCIÓN DE TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES	24
8.1	PÓRTICOS	24
8.2	PANTALLAS DE HORMIGÓN	24
8.3	COMBINACIÓN DE SISTEMAS RESISTENTES	25
9	CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS EN ZONA SÍSMICA	26
9.1	MASAS A CONSIDERAR Y BASES DE CÁLCULO	26
9.2	MÉTODOS DE CÁLCULO	26
9.2.1	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL	26
9.2.2	MÉTODO SIMPLIFICADO	27
9.2.3	CONSIDERACIONES SOBRE LA DUCTILIDAD Y EL COEFICIENTE DE RESPUESTA β	29
9.2.4	EFFECTOS DE SEGUNDO ORDEN	31
10	ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	32
11	DEFINICIÓN DE DETALLES ESTRUCTURALES	33
11.1.1	LA ESTRUCTURA RESISTENTE Y LA FÁBRICA	33
11.1.2	JUNTAS ENTRE EDIFICIOS	34
11.1.3	DETALLES ESTRUCTURALES	34
12	BIBLIOGRAFÍA	36

GUÍA DE DEFINICIÓN DE UNA ESTRATEGIA ANTISÍSMICA EN PROYECTOS DE EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA

1 ANTECEDENTES Y OBJETO

El pasado día 11 de mayo de 2011, la región de Lorca (Murcia) sufrió una serie de movimientos sísmicos que conllevaron importantes daños, con afección a parte del patrimonio construido en la ciudad, así como la pérdida de algunas vidas humanas.

En algunos casos, los daños producidos sobre las edificaciones existentes han obligado a su demolición, por lo que es necesario abordar las tareas de construcción de los nuevos edificios que sustituyan a aquéllos.

Dicha circunstancia ha aconsejado al Gobierno de la Región de Murcia analizar el comportamiento que han presentado las construcciones existentes frente al sismo acaecido, identificando los factores que se han manifestado como más influyentes y clasificando la naturaleza y relevancia de los daños provocados. Todo ello con la finalidad de poner a disposición de los técnicos unas recomendaciones relativas al proyecto estructural de nuevos edificios en el ámbito de la Región de Murcia.

El objeto de esta guía es, por lo tanto, identificar las directrices más relevantes para la consideración de una estrategia antisísmica en el proyecto de estructuras que formen parte de edificaciones de obra nueva en la Región de Murcia.

La referida estrategia debe articularse necesariamente alrededor de la vigente normativa de construcción sismorresistente. Por lo tanto, no es el objetivo la propuesta de criterios necesariamente novedosos respecto a la normativa vigente, sino proporcionar unas directrices que, a modo de recordatorio y de forma sistemática, faciliten su aplicación adecuada en la definición y ejecución de los elementos estructurales, así como en la conexión de los no estructurales a los elementos resistentes.

La utilización de este documento es complementaria a la de la norma de construcción sismorresistente vigente, NCSE-02, aprobada por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, no pudiendo considerarse que en ningún caso sustituye a la misma ni justifica cualquier incumplimiento que conlleve una disminución de las garantías de seguridad y de servicio derivadas de su aplicación.

2 REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA

A continuación se enumera una serie de reglamentaciones y normativas de aplicación en el ámbito estructural, que deberán tenerse en cuenta durante el proyecto. Dicha relación no es exhaustiva y podría ser necesario considerar otros reglamentos y normativas no recogidos explícitamente en la siguiente relación:

a) Legislación:

- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación,
- Ley 8/2005, de 14 de diciembre, para la calidad en la Edificación de la Región de Murcia.

b) Reglamentación técnica:

- Código Técnico de la Edificación, CTE, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo,
- Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02), aprobada por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre,
- Instrucción de hormigón estructural, EHE-08, aprobada por Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio,
- Instrucción de acero estructural, EAE, aprobada por Real Decreto 751/2011, de 27 de mayo,

c) Recomendaciones técnicas:

- Guía de Planificación de Estudios Geotécnicos para Edificación en la Región de Murcia, publicada por Orden de 27 de marzo de 2007, de la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes,
- UNE-EN 1998-1-1. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación

3 METODOLOGÍA DE PROYECTO ESTRUCTURAL

El proyecto de estructuras destinadas a edificios de nueva planta deberá ser conforme con la reglamentación estructural vigente que les sea de aplicación, que se ha definido de forma resumida en el capítulo 2 de esta Guía.

En general, para garantizar un comportamiento antisísmico adecuado, el proyecto deberá incluir una estrategia enfocada al cumplimiento de los requisitos específicos establecidos en el capítulo 4 de esta Guía, de acuerdo con el esquema definido por los siguientes puntos, referidos a los correspondientes capítulos de esta Guía:

- a) Caracterización del terreno, según lo indicado en el capítulo 5,
- b) Definición de la acción sísmica, según lo indicado en el capítulo 6,
- c) Concepción estructural adecuada frente al sismo, según lo indicado en el capítulo 7,
- d) Selección de tipologías estructurales, según lo indicado en el capítulo 8,
- e) Cálculo de la estructura, según lo indicado en el capítulo 9, y
- f) Aspectos relativos a elementos no estructurales, según lo indicado en el capítulo 10,
- g) Definición de detalles estructurales, según lo indicado en el capítulo 11.

4 EXIGENCIAS ESTRUCTURALES ESPECÍFICAS

Sin perjuicio de otros criterios generales establecidos en la reglamentación vigente que les sean de aplicación, el proyecto estructural de los edificios nuevos que se realicen en la Región de Murcia debe cumplir las siguientes exigencias específicas en relación con su comportamiento frente al sismo:

- a) Configuración estructural adecuada frente a la acción sísmica, concebida para asegurar su estabilidad y resistencia frente a las acciones asociadas a un sismo,
- b) Disposición adecuada de detalles de armado, específicamente diseñados para su correcto comportamiento frente al sismo,
- c) Suficiencia resistente de la propia estructura, evitando la transferencia parcial de la capacidad resistente frente al sismo a otros elementos no estructurales, tales como tabiquerías o cerramientos, y
- d) Capacidad para evitar impactos con los edificios adyacentes como consecuencia de sus movimientos relativos durante el sismo.

La definición de la estrategia antisísmica de los edificios deberá contemplarse explícitamente en el proyecto básico de los mismos, definiendo ya en esta fase una concepción arquitectónica y estructural del edificio que atienda al carácter específico del sismo como acción, asegurando la estabilidad de la estructura y de los elementos no resistentes ante una acción de estas características.

En la fase de proyecto de construcción deberán definirse completamente los detalles que aseguren el comportamiento supuesto en la fase de concepción.

En el caso particular de la reconstrucción de edificios demolidos tras un sismo, existen frecuentemente condicionantes específicos que se derivan de las características del edificio preexistente y que pueden, en ocasiones, suponer una importante restricción para el proyectista. Este deberá tenerlos en cuenta para obtener soluciones eficaces. Entre dichos condicionantes, cabe citar los siguientes:

- la imposibilidad de modificar la geometría en planta de los solares edificables, con las consiguientes restricciones para definir la distribución en planta de los nuevos elementos estructurales;
- la dificultad de materializar las juntas que eviten el golpeteo entre edificios en caso de sismo y, en su caso, de estimar las posibles deformaciones de los edificios colindantes;
- la dificultad para que todos los forjados se encuentren a la altura de los forjados de los edificios colindantes en calles con pendiente;

Aspectos a los que se hace referencia a lo largo de la presente guía dando algunas recomendaciones específicas para aquellos casos en los que no se puedan resolver de forma óptima.

5 CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO DE CIMENTACIÓN

La caracterización del terreno de cimentación es un factor clave en la definición de la acción sísmica de cálculo, dado que la sollicitación en cada sección de la estructura dependerá, entre otros parámetros, de efectos locales asociados al terreno que alteran en mayor o menor medida las características de las ondas sísmicas. En general, la intensidad sísmica aumenta en los lugares de suelo menos compacto, donde suelen concentrarse los mayores daños.

Las consideraciones recogidas en el presente apartado se apoyan en el análisis del Mapa de Zonificación Geotécnica a escala 1:25000 de la Región de Murcia, en las prescripciones del CTE y la Guía de Planificación de Estudios Geotécnicos, así como en la Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02), y en el estudio de los informes geotécnicos disponibles de la ciudad de Lorca. Asimismo, se han tenido en cuenta algunas de las recomendaciones de la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, recogidas como comentarios en la Norma de Construcción Sismorresistente: puentes (NCSP-07).

5.1 CLASIFICACIÓN DEL TERRENO SEGÚN LA NORMA SISMORRESISTENTE

La Norma de Construcción Sismorresistente clasifica en su Artículo 2.4 los terrenos en cuatro tipos a los que asigna un coeficiente C de terreno, que depende de sus características en los 30 m más superficiales, como sigue:

- TERRENO TIPO I
Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso.
Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla tal que $v_s > 750$ m/s.
- TERRENO TIPO II
Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.
Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla tal que $750 \text{ m/s} \geq v_s > 400$ m/s.
- TERRENO TIPO III
Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme.
Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla tal que $400 \text{ m/s} \geq v_s > 200$ m/s.
- TERRENO TIPO IV
Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando.
Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla tal que $v_s \leq 200$ m/s.

A cada uno de estos tipos de terreno se le asigna el valor del coeficiente C siguiente:

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,00
II	1,30
III	1,60
IV	2,00

Para obtener el valor del coeficiente C de cálculo se determinarán, en los 30 primeros metros bajo la superficie, los espesores e_1 , e_2 , e_3 y e_4 correspondientes a los terrenos de tipo I, II, III y IV respectivamente, y se obtendrá el valor del coeficiente como media ponderada de dichos coeficientes de cada estrato de acuerdo con la siguiente expresión:

$$C = \frac{\sum C_i \cdot e_i}{30}$$

En los edificios con sótanos bajo el nivel general de la superficie del terreno, los espesores de las distintas capas para clasificar las condiciones de cimentación deben, normalmente, medirse a partir de la rasante.

En cualquier caso, el proyecto deberá analizar la susceptibilidad potencial del suelo frente a la licuefacción. Se considera que un suelo tiene una seguridad suficiente en este aspecto cuando se verifica, a cualquier profundidad, que:

$$\tau_E = \frac{R_L}{1,50}$$

siendo τ_E la tensión tangencial equivalente al sismo, que podrá estimarse como:

$$\tau_E = 0,65 r_d \cdot \sigma_v \cdot \left(\frac{a_c}{g} \right)$$

siendo:

- z la profundidad a la que se comprueba la licuefacción, en metros,
- σ_v la tensión total vertical sobre el plano horizontal, variable con la profundidad z
- a_c la aceleración sísmica de cálculo, según el apartado 2.2 de la norma NCSE-02,
- g la aceleración de la gravedad,

y siendo R_L , la resistencia del terreno a la licuefacción, que viene definida por:

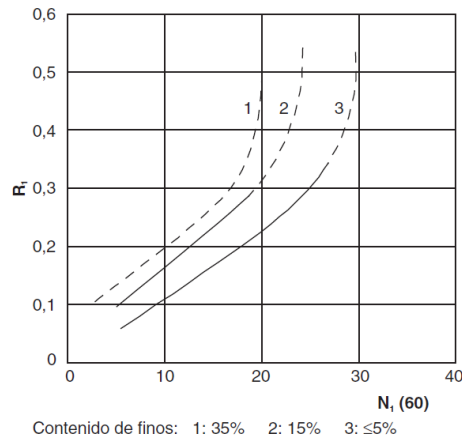
$$R_L = K_M \cdot R_1 \cdot \sigma'_v$$

donde:

$$K_M = 1,5 - 1,8(K - 1)^{1/2}$$

K es el coeficiente de contribución, definido en el apartado 2.1 de la norma NCSE-02

R_i es el valor que se obtiene de la siguiente figura, a partir del golpeo en el ensayo SPT normalizado, para una energía útil del 60% de la nominal y una presión efectiva vertical de 100 kPa:



σ'_v es la tensión efectiva vertical, en kp/cm^2 , sobre un plano horizontal, a la profundidad “z”.

5.2 DEFINICIÓN DE CAMPAÑA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

El alcance del reconocimiento geotécnico debe permitir, no sólo dar unas recomendaciones de cimentación o valores de tensiones admisibles a considerar en el proyecto de cimentación, sino también la información necesaria para clasificar el terreno de cimentación para la definición de la acción sísmica.

Se recomienda considerar el Mapa de Zonificación Geotécnica a escala 1:25000 editado por la Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia como primera aproximación o para la definición preliminar de una campaña de reconocimiento. Este mapa clasifica la Región de Murcia por zonas en función de los siguientes tipos de terreno:

- Zona I. Sustrato rocoso: rocas duras
- Zona II. Sustrato rocoso: rocas blandas
- Zona III. Depósitos aluvio - coluviales
- Zona IV. Arcillas y margas con yesos
- Zona V. Arcillas blandas y fangos.
- Zona VI. Arenas litorales
- Zona VII. Zonas especiales

Hay que llamar la atención sobre que estos tipos de terreno no se corresponden, obviamente, con los tipos de terrenos I a IV definidos por la norma de construcción sismorresistente.

Por otro lado el documento básico SE-C “Cimientos” del CTE considera, a los efectos del reconocimiento del terreno, una clasificación de los edificios en función de su altura en cinco tipos denominados C-0 a C-4, y una clasificación del terreno en tres grupos denominados T-1, T-2 y T-3.

Así, de forma simplificada y a estos efectos, se puede identificar la correspondencia definida en la siguiente tabla, entre la clasificación del Código Técnico de la Edificación (CTE) y la del Mapa de Zonificación Geotécnica de la CARM

Clasificación de terrenos según el Mapa de Zonificación Geotécnica de la CARM	Tipo de terreno, según CTE
Zona I	Terrenos favorables (T1)
Zona II	Terrenos favorables (T1)
Zona III	Terrenos intermedios (T2)
Zona IV	Terrenos desfavorables (T3)
Zona V	Terrenos desfavorables (T3)
Zona VI	Terrenos desfavorables (T3)
Zona VII	Terrenos desfavorables (T3)

Esta correspondencia permite establecer un alcance preliminar de la campaña de reconocimientos geotécnicos en función de la altura del edificio, de su ocupación en planta, y su futura ubicación. Así, el número mínimo de sondeos mecánicos será:

Tipo de edificio, según CTE	Clasificación de terrenos según el Mapa de Zonificación Geotécnica de la CARM						
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V	Zona VI	Zona VII
C-0	-	-	1	No se define un valor. Se intercalarán puntos de reconocimiento hasta definir las zonas adecuadamente.			
C-1	1	1	2				
C-2	2	2	3				
C-3	3	3	3				
C-4	3	3	3				

Donde:

- C-0 Edificios de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m²
- C-1 Otros edificios de menos de 4 plantas
- C-2 Edificios entre 4 y 10 plantas
- C-3 Edificios entre 11 y 20 plantas
- C-4 Edificios monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

El Código Técnico permite sustituir un cierto porcentaje de sondeos por pruebas continuas de penetración. El porcentaje máximo admitido será el definido por la siguiente tabla:

Tipo de edificio, según CTE	Clasificación de terrenos según el Mapa de Zonificación Geotécnica de la CARM						
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V	Zona VI	Zona VII
C-0	-	-	66	No se define un valor.			
C-1	70	70	50				
C-2	70	70	50				
C-3	50	50	40				
C-4	40	40	30				

Se recomienda que esta sustitución se realice únicamente en aquellos casos en que los resultados obtenidos de los ensayos en los sondeos permitan estimar de forma inequívoca el coeficiente del terreno C, teniendo en cuenta además la necesidad de realizar sondeos en zonas en las que sea obligatorio realizar ensayos en los mismos para medir la velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla.

Además, las distancias máximas entre puntos de reconocimiento y las profundidades orientativas, se recogen en la siguiente tabla:

Tipo de edificio, según CTE	Clasificación de terrenos según el Mapa de Zonificación Geotécnica de la CARM						
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V	Zona VI	Zona VII
C-0	35 (6)	35 (6)	30 (18)	No se define un valor.			
C-1	35 (6)	35 (6)	30 (18)				
C-2	30 (12)	30 (12)	25 (25)				
C-3	25 (14)	25 (14)	20 (30)				
C-4	20 (16)	20 (16)	17 (35)				

NOTA: En cada caso se indican dos valores: el primero se corresponde con la distancia mínima entre puntos de reconocimiento. El segundo valor, indicado entre paréntesis, se refiere a la profundidad orientativa del reconocimiento.

Por otro lado, la tabla 3.7 del documento básico SE-C “Cimientos” del CTE da un número orientativo de determinaciones *in situ* o ensayos de laboratorio para superficies de estudio de hasta 2000 m² para los citados tipos de terreno T-1 y T-2 y para diferentes tipos de edificios.

De acuerdo con lo especificado en el punto 4 del Artículo 3.3 del Documento Básico DB SE-C “Cimientos” del CTE, los informes geotécnicos deberán incluir una identificación de cada unidad geotécnica o estrato a efectos de su comportamiento sísmico, según la NSCE-02. En aquellos casos en que la exploración no alcance los 30 m de profundidad, se justificará el valor asignado a los estratos por debajo de la profundidad explorada. A este respecto, pueden emplearse las consideraciones de la NCSP-07 en los comentarios de su apartado 3.2. Según ellas, en general, se podrá suponer que el terreno no alcanzado en el reconocimiento no será peor que el más profundo del que se tenga información. Usualmente, una vez alcanzado el terreno tipo

l, no es esperable la aparición a mayor profundidad de capas de terreno de los otros tipo. El conocimiento de la geología de la zona o los resultados de otros reconocimientos próximos serán particularmente aclaratorios en este sentido. En caso de duda y sobre todo con datos insuficientes, deben adoptarse los valores que correspondan del lado de la seguridad.

El informe deberá incluir el valor del coeficiente C correspondiente a cada sondeo y, en caso de diferencias en los valores obtenidos en distintos sondeos, se justificará el valor recomendado para el desarrollo del proyecto. Esta exigencia es de aplicación para la práctica totalidad de los municipios de la Región de Murcia, a la vista de que sus aceleraciones sísmicas básicas. Tal y como se ha señalado en el apartado 5.1, la NCSE-02 establece una clasificación del terreno por tipos asignando unos valores del coeficiente C en función de la velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla v_s . En este sentido, el Anejo C del documento básico SE-C "Cimientos" del CTE establece en su apartado 4 que la medida de velocidad de propagación de estas ondas ha de realizarse obligatoriamente mediante la realización de ensayos *cross-hole down-hole* en zonas en las que la aceleración básica sea superior a $0,08 \cdot g$ en edificios de cuatro o más plantas, y recomienda su empleo en edificios de menos de cuatro plantas con superficie construida de más de 300 m^2 .

El ensayo *cross-hole* tiene como objeto detectar los tiempos de transmisión de las ondas tangenciales SV (vibración de las partículas del terreno en la dirección vertical) a través de trayectorias horizontales directas entre un punto emisor situado en el interior del terreno y uno o más receptores situados a su misma cota a una cierta distancia. Para ello se sitúa sucesivamente una fuente de ondas, que cizalle verticalmente el subsuelo, a distintas profundidades dentro de un sondeo emisor y se registra el instante de llegada de las ondas tangenciales así generadas a uno o más sondeos receptores, que, dependiendo de la rigidez del material a ensayar y de la precisión de los equipos de medida, se suelen situar alineados con el sondeo emisor a distancias comprendidas entre 3 y 10 m. Es fundamental cuidar al máximo la perforación y recuperación de testigos en los sondeos para poder así determinar con la mayor precisión posible el espesor y buzamiento de los distintos estratos y capas encontradas. La testificación geofísica de los sondeos así como la realización sistemática de ensayos SPT a lo largo de sus columnas, constituyen una ayuda valiosísima a la hora de interpretar los registros sísmicos. Otro aspecto de vital importancia que hay que tener en cuenta en el ensayo es el de asegurar el contacto íntimo entre la entubación definitiva de los sondeos, que alojará el equipo de medida, y el terreno mediante mortero o lechada de cemento. En la norma D4428 ASTM se proporcionan indicaciones de gran utilidad que contemplan estos aspectos.

El ensayo "down-hole" está enfocado fundamentalmente a detectar la velocidad de propagación de las ondas tangenciales SH (vibración de las partículas en la dirección horizontal) en su trayectoria vertical a través de una masa de suelo. El ensayo consiste en generar ondas tangenciales mediante una fuente de energía reversible que produzca un efecto de cizalla horizontal en la superficie del terreno, y en registrar la llegada del impacto a lo largo de un sondeo situado a una distancia comprendida entre 2 y 5 m del foco emisor. Al estar la fuente de energía cerca del sondeo receptor, las ondas que interesa detectar se propagarán en una dirección muy próxima a la vertical por lo que es lícito suponer una trayectoria directa desde el foco emisor a los

receptores para calcular la velocidad de propagación de las ondas. Frente al ensayo *cross-hole* presenta la ventaja de que tan sólo exige la perforación de un sondeo para llevar a cabo los ensayos, y el inconveniente de que la energía sísmica que se puede generar mediante el golpe de una maza o martillo se amortigua rápidamente en el terreno alcanzando una profundidad máxima de 15 a 20 m.

En aquellos casos en que la realización de ensayos *down-hole* y *cross-hole* no sea de aplicación, y dado que la NCSE establece una clasificación exclusivamente dependiente de los de velocidad de propagación de las ondas transversales v_s , puede ser conveniente considerar el procedimiento indicado en los comentarios de la parte de puentes de la norma de construcción sismorresistente (NCSP-07) que, aunque no tiene carácter reglamentario, ni está directamente enfocado a los edificios, sí se considera como una referencia que puede ser útil a la hora de clasificar el terreno.

Así, la NCSP da los siguientes criterios basados en los resultados obtenidos en ensayos de penetración y la resistencia a compresión de los suelos para la clasificación del terreno en tipos a efectos de su comportamiento sísmico.

Tipo de Terreno	DESCRIPCIÓN	Terrenos Granulares		Terrenos Cohesivos
		$N_{1,60}$	q_c (MPa)	q_u (MPa)
I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso	>50	>20	
II	Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros.	>40	>15	>500
III	Suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme.	>15	>6	>200
IV	Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando.	Inferiores a del tipo III		

Donde:

$N_{1,60}$ es el número de golpes en el ensayo STP normalizado al 60% de la energía de caída libre ya a una tensión efectiva vertical de 100 kPa,

q_c es la resistencia en punta del penetrómetro estático, y

q_u es la resistencia a compresión simple.

En cualquier caso, y complementariamente a las mediciones geofísicas en sondeos que sean de aplicación, se recomienda la realización de ensayos de penetración estándar S.P.T. en sondeos que atraviesen suelos granulares o cohesivos conforme se indica en el apartado 3.1.3 de la Guía de Planificación de Estudios Geotécnicos para la edificación en la Región de Murcia.

Estas recomendaciones han de complementarse con las de la GUÍA DE PLANIFICACIÓN DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA LA EDIFICACIÓN EN LA REGIÓN DE MURCIA, adaptada al CTE.

6 DEFINICIÓN DE LA ACCIÓN SÍSMICA

La definición de la acción sísmica debe realizarse de conformidad con lo indicado en el capítulo 2 de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02.

6.1 ACCIÓN SÍSMICA NORMATIVA, NCSE-02

6.1.1 PELIGROSIDAD SÍSMICA Y ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO

PELIGROSIDAD SÍSMICA – ACELERACIÓN BÁSICA Y COEFICIENTE DE CONTRIBUCIÓN K

La NCSE-02 se refiere en su apartado 2.1 a la peligrosidad sísmica, expresada por medio de un parámetro denominado aceleración básica a_b , que se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad y que es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno.

A título indicativo, el valor de la aceleración básica a considerar en Lorca es de $0,12 \cdot g$. En el ámbito de la Región de Murcia, el valor máximo es de $0,16 \cdot g$, en las localidades de Beniel y Santomera. Como referencia, cabe recordar que el máximo valor de la aceleración básica en España se tiene en la provincia de Granada y toma un valor de $0,24 \cdot g$.

La peligrosidad sísmica se define en cada punto, además de por la aceleración básica, por un parámetro que tiene en cuenta la influencia del tipo de terremoto esperable en un punto dado. Esta influencia se refiere a la eventual ocurrencia de un sismo asociado a la falla Azores – Gibraltar, y afecta a las provincias de Cádiz, Huelva, Sevilla, Córdoba, Cáceres, Badajoz y Ceuta, pero no a la definición de la acción en la Región de Murcia.

Todos los municipios de la región de Murcia superan el valor umbral de aceleración básica, a partir del cual debe realizarse un cálculo sísmico en edificios de importancia normal, de acuerdo con la norma NCSE-02.

En la región de Lorca se supera holgadamente el valor mínimo citado, así como la aceleración básica de $0,08 \cdot g$ que la NCSE-02 señala en su artículo 1.2.3 como valor mínimo para considerar la acción sísmica en construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones y con un máximo de siete plantas.

ACELERACIÓN SÍSMICA DE CÁLCULO

La aceleración sísmica de cálculo a_c es el resultado de afectar a la aceleración básica por un factor ρ que tiene en cuenta la importancia de la construcción, y por un factor S que tiene en cuenta la amplificación de las ondas sísmicas, que como se ha indicado depende del tipo de terreno.

Se define mediante la expresión $a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$.

El coeficiente adimensional de riesgo ρ está relacionado con la probabilidad admisible de que se exceda el valor de la aceleración de cálculo durante el período de vida para el que se proyecta la construcción.

Este coeficiente toma un valor de:

$\rho = 1,30$ en edificios de importancia especial y

$\rho = 1,00$ en edificios de importancia normal.

La clasificación de las construcciones en función de su importancia está recogida en el artículo 1.2.2 de la NCSE-02. Los edificios de viviendas se pueden clasificar como de importancia normal dado que son “aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastrófico”.

Por su parte el coeficiente de amplificación del terreno S depende de la aceleración básica, de la importancia del edificio y, obviamente, del tipo de terreno, mediante el coeficiente del terreno C del que ya se ha tratado en el apartado 5 CARACTERIZACIÓN DEL TERRENO.

A partir de los valores anteriores (a_b , ρ , C) el artículo 2.2 de la NCSE-02 define el coeficiente S mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{Para } \rho \cdot a_b \leq 0,1 \text{ g} & \quad S = \frac{C}{1,25} \\ \text{Para } 0,1 \text{ g} < \rho \cdot a_b < 0,4 \text{ g} & \quad S = \frac{C}{1,25} + 3,33 \left(\rho \cdot \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) \left(1 - \frac{C}{1,25} \right) \\ \text{Para } 0,4 \text{ g} \leq \rho \cdot a_b & \quad S = 1,0 \end{aligned}$$

Obtenido el valor de S es posible calcular la aceleración sísmica de cálculo a_c como el producto $S \cdot \rho \cdot a_b$.

La siguiente tabla recoge las aceleraciones básicas para todos los municipios de la Región de Murcia, que coinciden con las aceleraciones de cálculo para el caso de edificios normales. En el caso de edificios especiales, la aceleración de cálculo se obtendrá multiplicando los valores de la tabla por un factor de 1,30.

Municipio	a_b
ABANILLA	0,15
ABARÁN	0,10
ÁGUILAS	0,11
ALBUDEITE	0,11
ALCANTARILLA	0,15
ALCÁZARES, LOS	0,08
ALEDO	0,10
ALGUAZAS	0,14
ALHAMA DE MURCIA	0,11
ARCHENA	0,13
BENIEL	0,16
BLANCA	0,11
BULLAS	0,08
CALASPARRA	0,07
CAMPOS DEL RÍO	0,12
CARAVACA DE LA CRUZ	0,07
CARTAGENA	0,07
CEHEGÍN	0,08

Municipio	a_b
CEUTÍ	0,14
CIEZA	0,09
FORTUNA	0,15
FUENTE ÁLAMO DE MURCIA	0,11
JUMILLA	0,07
LIBRILLA	0,12
LORCA	0,12
LORQUÍ	0,14
MAZARRÓN	0,09
MOLINA DE SEGURA	0,15
MORATALLA	0,07
MULA	0,09
MURCIA	0,15
OJÓS	0,12
PLIEGO	0,09
PUERTO LUMBRERAS	0,14
RICOTE	0,12
SAN JAVIER	0,10
SAN PEDRO DEL PINATAR	0,11
SANTOMERA	0,16
TORRE PACHECO	0,09
TORRES DE COTILLAS, LAS	0,14
TOTANA	0,10
ULEA	0,12
UNIÓN, LA	0,07
VILLANUEVA DEL RÍO SEGURA	0,13
YECLA	0,07

6.1.2 ESPECTRO NORMALIZADO DE RESPUESTA ELÁSTICA

La NCSE-02 establece como método de referencia para el análisis estructural el análisis mediante espectros de respuesta. También admite el empleo de métodos de análisis dinámico empleando acelerogramas, métodos éstos últimos que quedan fuera del alcance de esta Guía.

Por otro lado, la NCSE permite emplear un método de cálculo simplificado para los casos más usuales de edificación, pero la caracterización de la acción sísmica es en este caso prácticamente igual a la empleada en el análisis por el método de referencia.

La acción sísmica se define en la normativa mediante un espectro de diseño, o espectro normalizado de respuesta elástica, independiente de la aceleración de cálculo, ya que sólo es función del coeficiente K de contribución de la falla Azores – Gibraltar y del coeficiente C del terreno.

La forma del espectro de las normativas sismorresistentes es el resultado del análisis de los espectros de respuesta asociados a un gran número de acelerogramas, que se homogeneizan mediante su división entre la aceleración máxima del suelo.

El espectro que establece la norma se refiere a la respuesta elástica en la superficie del terreno. Este espectro tiene el aspecto que se muestra en la figura siguiente, que como se ha indicado depende sólo del tipo de terreno a partir del que se definen los valores de T_A y T_B y las leyes fuera del tramo de la meseta de acuerdo con estas expresiones:

$$\text{Si } T < T_A \quad \alpha(T) = 1 + 1,5 \cdot T/T_A$$

$$\text{Si } T_A \leq T \leq T_B \quad \alpha(T) = 2,5$$

$$\text{Si } T > T_B \quad \alpha(T) = K \cdot C/T$$

Siendo $T_A = K \cdot C/10$ y $T_B = K \cdot C/2,50$.

En el método simplificado se toma $\alpha(T) = 2,5$ para cualquier T menor que T_B .

Por otro lado, cuando $C > 1,80$ el espectro de respuesta puede no ser aplicable a construcciones de período fundamental mayor que T_B , y se toma $\alpha(T) = 2,5$ para $T > T_B$.

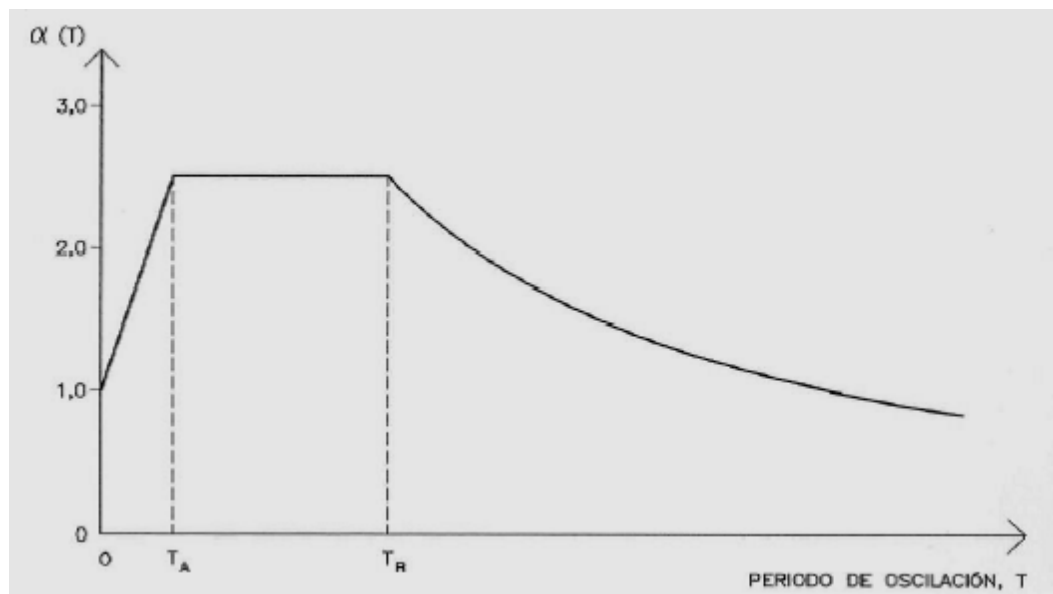


Figura 1.- Espectro de respuesta elástica NCSE-02 ACCIÓN SÍSMICA RECOMENDADA, EUROCÓDIGO 8

De forma alternativa al método general definido en el apartado 6.1, pueden utilizarse los criterios definidos en UNE-EN 1998-1-1. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación, junto con el correspondiente Anejo Nacional publicado por la Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes en su página web.

http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/DEo8DF7o-CACE-4C6o-9333-D4C96C75C878/106730/eurocodigo_8.pdf

En este caso, se recomienda que el proyecto contemple la siguiente metodología:

1. Mantener como Mapa de zonas sísmicas del Anejo Nacional el Mapa de Peligrosidad Sísmica de la Norma NCSE-02.

Es decir que no se modifican los valores vigentes de la aceleración sísmica básica en ningún punto, ni los valores del coeficiente de contribución de la falla Azores - Gibraltar.

2. Definir el coeficiente de amplificación del terreno mediante las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \rho a_b \leq 0,1 g & & S = C \\ 0,1 g \geq \rho a_b \leq 0,4 g & & S = C + 3,33 \left(\rho \frac{a_b}{g} - 0,1 \right) (1 - C) \\ 0,4 g \leq \rho a_b & & S = 1,0 \end{aligned}$$

Estas expresiones implican establecer como suelo de referencia el suelo Tipo I de la normativa española en el artículo 2.4 de la NCSE-02, identificado como Tipo A en el Anejo Nacional del EC-8.

Este establecimiento del suelo de referencia anterior exige modificar el artículo 2.2 de la NCSE-02 como se ha descrito, para hacer corresponder a este tipo de suelo (I de la normativa española y A del Anejo Nacional) el valor $S=1$ del coeficiente de amplificación del terreno (factor de suelo en la terminología del Eurocódigo 8).

Este planteamiento persigue que para la aplicación en España del Eurocódigo 8 con los espectros normalizados de las actuales Normas NCSE y NCSP, los parámetros de éstos sean congruentes con los recomendados por el Eurocódigo 8 y se correspondan aproximadamente con el valor medio del rango de valores que vienen adoptando los diferentes países en sus Anejos Nacionales y también con los de los espectros de otras normas de construcción sismorresistente, a excepción del período T_c (T_B en la terminología de las Normas españolas), que inicia la rama descendente del espectro de aceleraciones, que se aleja un poco por exceso del valor medio.

Por esto se recomienda además:

3. Modificar el artículo 2.3 de la NCSE-02 estableciendo que sea:

$$T_B = 0,9 \cdot K \cdot C / 2,50 \text{ en vez de } T_B = K \cdot C / 2,50$$

Con ello se reducen un 10% las ordenadas espectrales del espectro de aceleración de las normas españolas para periodos superiores a T_B , compensando algo en este rango de periodos el incremento de la acción sísmica derivado de la adopción del suelo tipo I de estas normas como suelo de referencia para las mismas y el Eurocódigo.

El impacto estimado de la adopción de este modelo de aplicación del Eurocódigo 8, puede estimarse en un 25% de incremento en la aceleración de cálculo para periodos entre 0 y T_B y del orden del 15% para periodos mayores. En cualquier caso este incremento parece lógico si se considera que el nivel de seguridad para el cálculo sismorresistente en España es actualmente inferior al recomendado por el Eurocódigo 8, por lo que la convergencia hacia éste volverá a elevar las acciones de cálculo cuando

se modifique el mapa, y estas modificaciones propuestas escalonarían en el tiempo el salto que a medio plazo parece inevitable.

En la Figura 2, puede observarse las diferencias existentes entre el espectro recogido en la NCSE-02 y el contemplado en este método alternativo.

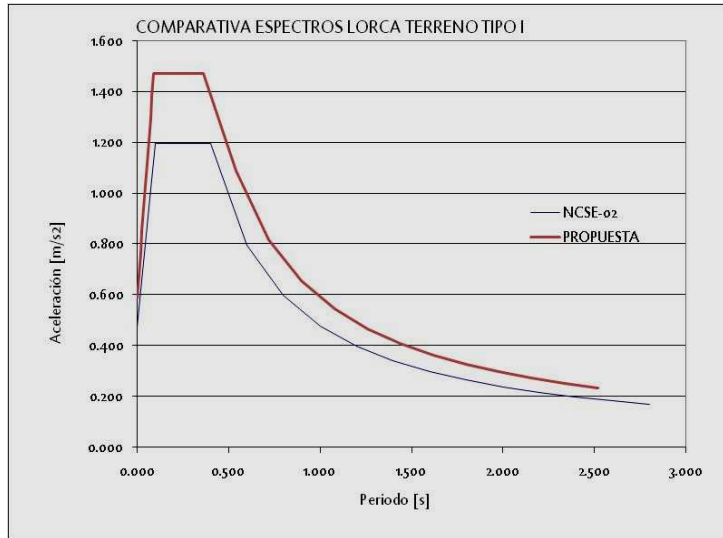


Figura 2.-Comparativa espectro NCSE-02 y propuesta de modificación.

7 CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS

7.1 IMPORTANCIA DEL DISEÑO CONCEPTUAL

La concepción estructural adecuada para un comportamiento correcto del edificio frente a las acciones sísmicas es un requisito fundamental que debe ser planteado desde el comienzo del proyecto, de forma simultánea a la concepción arquitectónica. Ello requiere una interacción eficiente entre el equipo de arquitectura y, en su caso, los responsables del proyecto estructural.

Hay que tener presente que cálculos precisos o sofisticados no compensan errores de diseño conceptual de la estructura.

7.2 ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL

Los aspectos particulares a tener en cuenta en la concepción estructural en el proyecto de una estructura de edificación en zona sísmica se pueden agrupar a partir de los requerimientos de la normativa. Los aspectos que se tratan seguidamente están recogidos de forma más o menos expresa en el capítulo 4 de la NCSE-02, de *REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS EN EDIFICACIONES*.

7.2.1 CONFIGURACIONES SIMÉTRICAS DE ELEMENTOS RESISTENTES

La NCSE-02 especifica en su artículo 4.2.1 que la disposición geométrica en planta del edificio debe ser tan regular y simétrica como sea posible, tratando de conseguir que los elementos resistentes frente a las acciones horizontales formen una composición con dos ejes de simetría ortogonales.

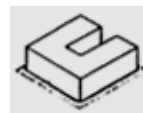
En las siguientes figuras se muestran algunas configuraciones irregulares a evitar, preferentemente, en edificios en zona sísmica.



Planta en T



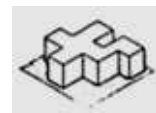
Planta en L



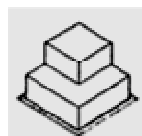
Planta en U



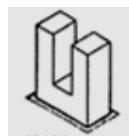
Planta cruciforme



Otras



Plantas retranqueadas



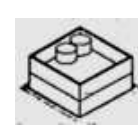
Varios volúmenes en alzado



Plantas a distinto nivel



Plantas de diferentes alturas



Distribución no uniforme de masas

La NCSE-02 establece además la necesidad de que, en edificios asimétricos, se eviten estos efectos disponiendo las correspondientes juntas de modo que los cuerpos independizados formen estructuras simétricas. Por otro lado la presencia de juntas implica la existencia de movimientos relativos entre las partes a un lado y otro de la junta, y esto requiere de espacio físico entre las partes del edificio para absorber dichos movimientos, lo que refuerza el argumento de evitar las asimetrías en planta o, alternativamente, sugiere la conveniencia de que la estructura sea lo suficientemente rígida como para que los movimientos se minimicen en la medida de lo posible.

En el caso de que la resistencia frente a las acciones horizontales se confíe a elementos de gran rigidez tales como pantallas, muros, triangulaciones, etc. el artículo 4.2.3 de la

NCSE-02 recomienda que estos elementos estén situados en el perímetro exterior de las plantas, en al menos dos direcciones preferiblemente ortogonales y con una configuración simétrica. En caso de que estos elementos formen núcleos interiores, el mismo artículo 4.2.3 establece que es imprescindible que estén centrados en el edificio o exista un número tal que se asegure la simetría del conjunto.

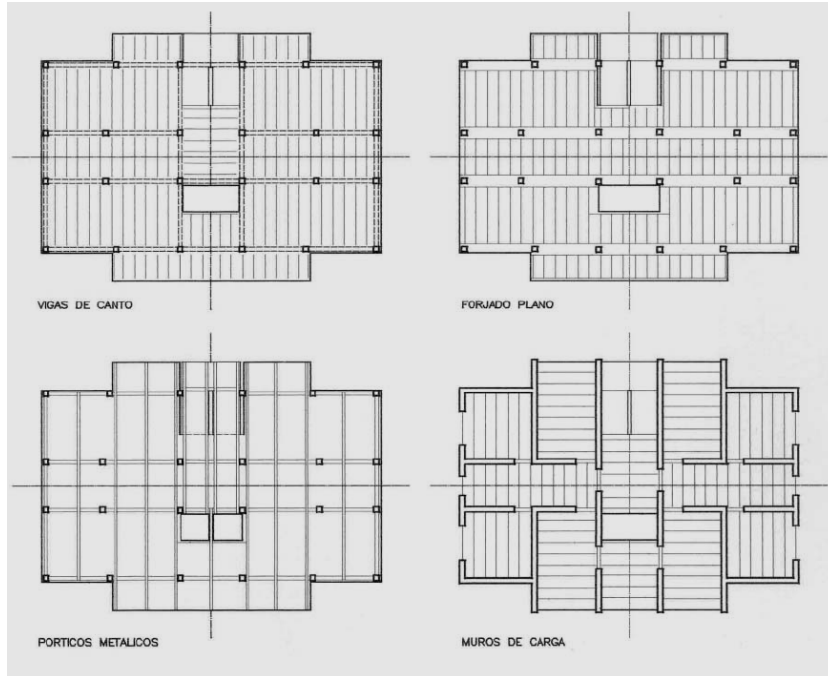


Figura 3.-Ejemplo de configuraciones con simetría geométrica y mecánica de NCSE-02 correspondientes a vigas de canto, forjados planos, pórticos metálicos y muros de carga (de izquierda a derecha y de arriba abajo).

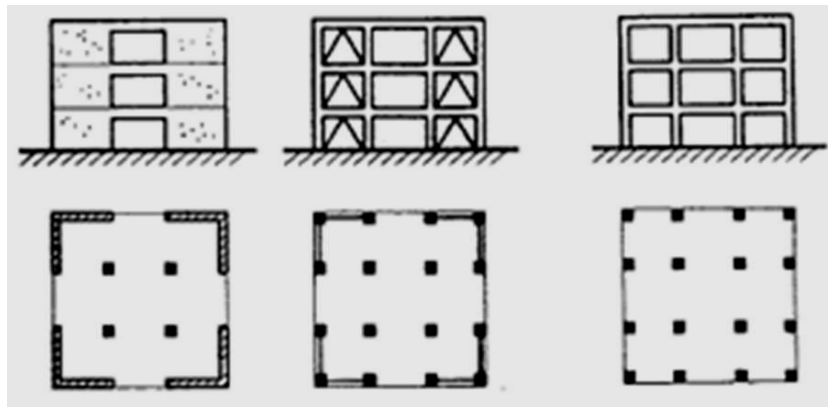


Figura 4.-Configuraciones regulares en el caso de pantallas, pórticos arriostrados y pórticos

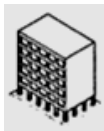
7.2.2 RIGIDEZ Y CONTINUIDAD DE LA ESTRUCTURA VERTICAL

Se deben evitar también la falta de continuidad en la estructura vertical, así como los cambios abruptos de rigidez, tal y como muestran los ejemplos gráficos de las siguientes figuras.

CAMBIOS ABRUPTOS DE CAPACIDAD RESISTENTE FRENTE A ACCIONES HORIZONTALES



Planta inferior flexible



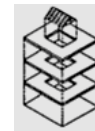
Grandes aberturas en muros de carga



Pilares discontinuos



Vigas discontinuas

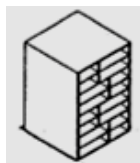


Grandes huecos en diafragmas

CAMBIOS ABRUPTOS DE RIGIDEZ LATERAL



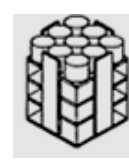
Variedad de sistemas resistentes



Discontinuidad de estructura vertical



Cambios bruscos de dimensiones



Cambio brusco del ratio masa/rigidez

En relación a los elementos verticales de la estructura, la NCSE-02 establece en su artículo 4.2.3 que “debe procurarse (...) una variación gradual de rigideces a lo largo de la altura. Ningún elemento estructural debe variar bruscamente de rigidez.”

Un caso típico de cambio de rigidez son las plantas bajas diáfanas en edificios de plantas superiores muy compartimentadas, aspecto que es preferible evitar pero que, en caso de existir, implica una diferencia de rigideces entre plantas que deberá tenerse en cuenta en el proyecto.

Evitar esta circunstancia no siempre es fácil. El Plan General Municipal de Ordenación Urbana (PGMO) de Lorca establece como alturas mínimas:

- 3,00 m en locales comerciales,
- 3,20 m en locales de hostelería y
- 2,50 m en viviendas.

Esta es la razón por la cual la aprobación inicial de las normas complementarias del PGMO de Lorca ha establecido que en locales diáfanos “se debería utilizar fábrica armada o similar con un sistema de cerramiento ligero con perfilera metálica y placa de yeso, hasta una altura equivalente a la de la planta baja del edificio del que forma parte, hasta tanto no se obtenga la necesaria licencia de apertura o actividad”.

Obviamente estas recomendaciones y precauciones no se refieren únicamente al hecho de que la planta inferior sea más flexible, como ocurre en las plantas diáfanas. En otros casos, puede darse la situación contraria con elementos de gran rigidez. Este es el caso de edificios con presencia de soportes cortos, muy rígidos, sobre los muros de sótano.

El mismo efecto puede darse en los casos de pilares de dimensiones convencionales coaccionados por cerramientos que no alcanzan toda la altura de los pilares, convirtiendo a éstos en pilares cortos no proyectados con esa geometría.

De nuevo la aprobación inicial de las normas complementarias del PGM de Lorca ha establecido que “se deberían evitar los pilares cortos (enanos) en planta baja-semisótano” recomendando “prolongar los muros de sótano hasta su unión con el forjado suelo de planta baja, y en caso de la necesidad de abrir huecos en los alzados del muro para ventilación, hacerlo con un máximo de 1/3 de su longitud”.

Se debe evitar, además, la variación de posición de los elementos a los que se confía la resistencia de las acciones horizontales de una planta a otra, aunque este hecho es infrecuente en estructuras de edificación convencionales.

Con carácter general, se debe asegurar la continuidad de los elementos resistentes a los que se confía la transferencia de las cargas horizontales al terreno, evitando que la misma tenga que producirse exclusivamente a través de los pilares.

Por otra parte se debe comprobar siempre que es posible transferir las fuerzas horizontales de los forjados a los elementos resistentes frente a cargas horizontales para asegurar la integridad de la estructura.

7.2.3 OTRAS CONSIDERACIONES NORMATIVAS

En el caso de edificios en los que, como en el caso de Lorca, la aceleración de cálculo supere el valor $0,12 \cdot g$, el artículo 4.2.2 de la NCSE establece que:

- La masa de una planta no debe superar a la de las adyacentes en más de un 15%
- La masa de una planta no debe superar al valor medio del conjunto en más del 50%.
- Si existen zonas que han de soportar cargas superiores en un 25% a la carga general media, estas zonas deben situarse en torno al centro de la planta.

Por otro lado, artículo 4.2.3 de la NCSE señala que para puntos en los que la aceleración de cálculo sea mayor o igual que $0,16 \cdot g$, se deben disponer elementos redundantes frente a la acción sísmica, de manera que el fallo de uno de ellos no suponga cambios significativos en la posición del centro de rigidez, es decir, que no genere una excentricidad de masas.

En fase de proyecto básico, se determinará aproximadamente el centro de rigidez a partir de la situación proyectada de soportes y pantallas. Posteriormente, durante el proyecto de ejecución, se determinará en cada planta su posición definitiva.

Además, en el caso de edificios en los municipios de Abanilla, Alcantarilla, Alguazas, Archena, Beniel, Campos del Río, Ceutí, Fortuna, Librilla, Lorca, Lorquí, Molina de Segura, Ojós, Puerto Lumbreras, Ricote, Santomera, Las Torres de Cotillas, Ulea y Villanueva del Río Segura, se observarán las siguientes consideraciones adicionales:

- La masa total de cada planta no debe exceder en más del 15% la masa de las plantas contiguas.
- La masa total de cada planta no debe exceder en más del 50% el valor medio de las masas del conjunto de las plantas, y
- Si en una planta existen zonas que deban soportar cargas que excedan en un 25% a la carga media, dichas zonas deben situarse en torno al centro de gravedad de la planta.

8 SELECCIÓN DE TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Los sistemas resistentes básicos en una estructura de edificación son los pórticos, las pantallas y los contravientos. A continuación se definen los criterios generales a considerar para cada uno de ellos en la estrategia antisísmica de la estructura.

8.1 PÓRTICOS

Los pórticos deben estar constituidos por vigas y pilares conectados entre sí en nudos de manera que se asegure la transmisión de esfuerzos y se cuente con una adecuada rigidez lateral.

Las vigas de los pórticos deben de ser siempre descolgadas para empotrar al giro las cabezas de los pilares, con el fin de disminuir los momentos en estos. En la siguiente figura, se presentan dos casos de comportamiento ante la carga sísmica en función la rigidez relativa viga – pilar. En la alternativa de la izquierda, la rigidez de las vigas descolgadas coacciona el giro de los pilares, mientras que en la de la derecha la mayor rigidez de los pilares en relación a los forjados hace que la ley de esfuerzos de flexión en los pilares sea muy similar a la de una ménsula.

Este sistema resistente mediante pórticos se emplea en edificios de pocas alturas y carga sísmica moderada.

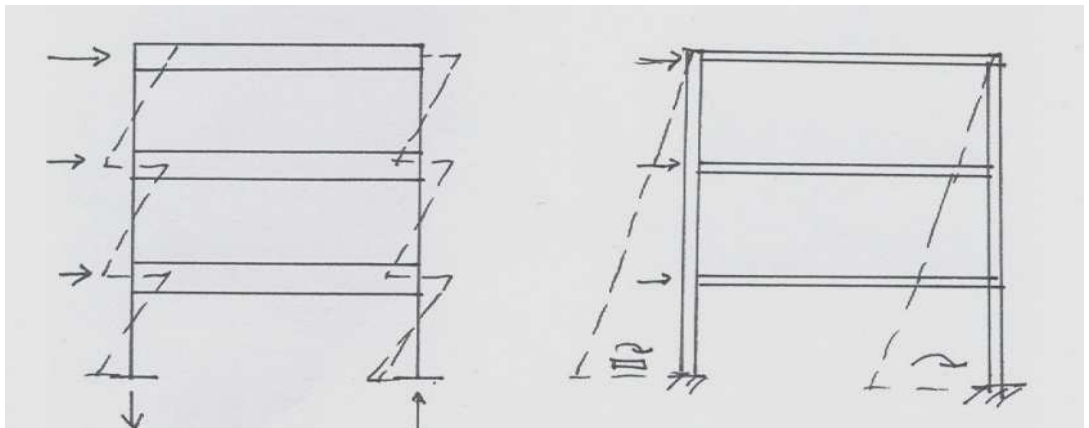


Figura 5.- Comportamiento en función de la rigidez relativa viga-pilar.

8.2 PANTALLAS DE HORMIGÓN

En edificios de más de tres plantas en zona de sismicidad alta debe considerarse la necesidad de emplear pantallas o núcleos de hormigón. Estos sistemas presentan una gran rigidez relativa respecto a los pilares, por lo que capturan la mayor parte de la acción sísmica.

Como ya se ha señalado resulta imprescindible que su configuración en planta sea simétrica y que en zonas de sismicidad elevada se disponga de elementos redundantes de modo que el fallo de uno de ellos no suponga cambios significativos en la posición del centro de rigidez y no se produzcan excentricidades en planta.

8.3 COMBINACIÓN DE SISTEMAS RESISTENTES

Se valorará la conveniencia de combinar diversos sistemas resistentes frente a acciones horizontales, especialmente en el caso de edificios altos. La combinación de pórticos y pantallas resulta conveniente debido a la compatibilidad de deformaciones de los dos sistemas.

La deformada de un entramado de pórticos se asemejará más a la de una viga biempotrada con desplazamiento horizontal permitido y la de una pantalla se asemejará más a la de una ménsula con una fuerza puntual en cabeza, originándose una transferencia de esfuerzos, tal como se aprecia en la figura. De esta forma mientras que la efectividad de las pantallas, es superior en caso de las plantas bajas, la rigidez de los pórticos es superior en las zonas altas “apoyándose” las pantallas en éstos.

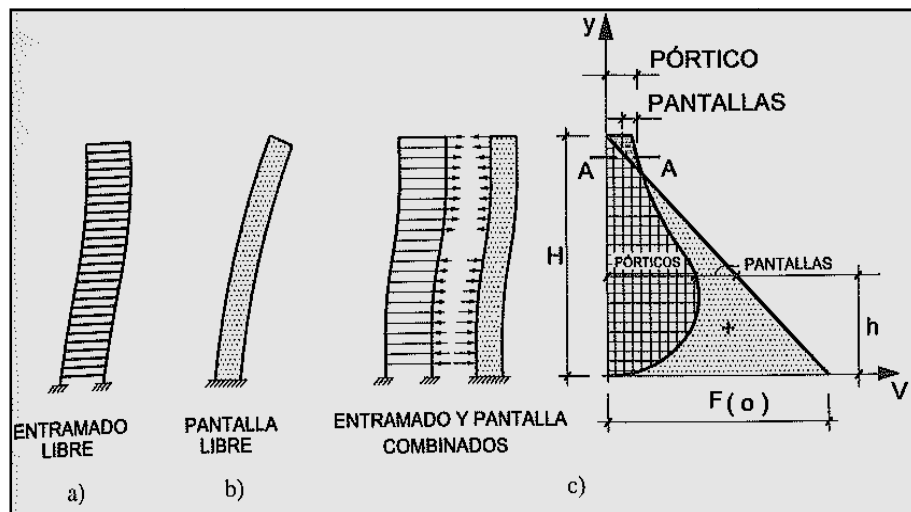


Figura 6.-Comportamiento conjunto pórtico-pantalla

9 CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS EN ZONA SÍSMICA

El capítulo 3 de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02 define unos procedimientos de cálculo mediante los que obtener unos esfuerzos de cálculo con los que dimensionar los diferentes elementos estructurales del edificio.

El capítulo da unos criterios para determinar las masas a considerar en el cálculo, estimar los periodos propios correspondientes a los modos de vibración fundamentales de la estructura, cuantificar la respuesta de la estructura ante las acciones sísmicas, y verificar el nivel de seguridad en los diferentes elementos.

9.1 MASAS A CONSIDERAR Y BASES DE CÁLCULO

El artículo 3.2 de la NCSE-02 especifica la fracción de la sobrecarga de uso, nieve o tabiquería a considerar actuando junto con las masas de carácter permanente para diferentes tipos de edificios.

Respecto a la cuantificación de estas acciones, la NCSE remite en su artículo 3.3 a la normativa de acciones vigente, en este caso el Documento Básico AE “Acciones en la Edificación” del CTE.

En relación a los criterios de comprobación de la seguridad, la NCSE remite en su artículo 3.4 a la instrucción correspondiente al material de que se trate, y da unos criterios de combinación de la acción sísmica en las dos direcciones ortogonales a analizar en planta.

La NCSE exige también la obtención de los desplazamientos horizontales debidos a la acción sísmica de cálculo en edificios no exentos, y en las direcciones en que pudieran producirse choques con los edificios colindantes.

9.2 MÉTODOS DE CÁLCULO

La NCSE-02 establece como método de referencia para el análisis estructural el análisis mediante espectros de respuesta, aunque admite el empleo de métodos de análisis dinámico empleando acelerogramas, métodos éstos últimos que quedan fuera del alcance de esta Guía.

9.2.1 ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

Este método es uno de los más utilizados en el cálculo sísmico de estructuras. Las hipótesis fundamentales que se realizan son las siguientes:

- El movimiento del suelo, que se aplica a todos los soportes simultáneamente, se define en forma de Espectro de Respuesta.
- El comportamiento de la estructura es lineal, y por tanto se puede utilizar la superposición de modos.

El método consiste en la obtención de las frecuencias propias y modos de vibración mediante la resolución de un problema de autovalores, y en el cálculo de la respuesta máxima de cada modo de acuerdo con el espectro de respuesta de la normativa.

La respuesta en frecuencias de la estructura, es decir los modos fundamentales de vibración, se pueden relacionar con el contenido en frecuencias de la excitación en

función del tiempo, a través del espectro de respuesta generado con osciladores individuales. Las formas modales amplificadas representan la respuesta en desplazamientos de la estructura ante un espectro y la respuesta total de la estructura se puede obtener combinando dichas formas modales amplificadas.

En relación a los periodos propios a considerar, el artículo 3.6.2.3.1 de la NCSE da unos criterios sobre el número mínimo de modos a considerar para diferentes tipos de estructuras.

Respecto a la combinación de modos, la NCSE establece como criterio la obtención del valor de una variable S determinada a partir de las S_i correspondientes a varios modos de vibración, mediante la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de los valores correspondientes a cada modo si estos difieren entre sí más de un 10%, y agrupando en caso contrario en un solo sumando los valores absolutos correspondientes a los modos que difieran menos del 10%.

El análisis modal requiere de una modelización de la estructura objeto de análisis. El artículo 3.6.2.1 de la NCSE recomienda que el modelo sea tridimensional y considere los grados de libertad adecuados para la representación del comportamiento de la estructura real.

Por otro lado, establece el número mínimo de grados de libertad a considerar en casos de edificios con soportes continuos hasta cimentación y forjados rígidos en su plano.

Finalmente, fija las condiciones mínimas a satisfacer para que el análisis pueda desarrollarse mediante dos modelos planos ortogonales independientes.

9.2.2 MÉTODO SIMPLIFICADO

Además del análisis modal espectral, la NCSE permite emplear un método de cálculo simplificado para los casos más usuales de edificación, cuya aplicación se autoriza para los edificios en que se den las siguientes condiciones, recogidas en su Art. 3.5.1:

- [1] El número de plantas sobre rasante es inferior a veinte.
- [2] La altura del edificio sobre rasante es inferior a sesenta metros.
- [3] Existe regularidad geométrica en planta y en alzado, sin entrantes ni salientes importantes.
- [4] Dispone de soportes continuos hasta cimentación, uniformemente distribuidos en planta y sin cambios bruscos en su rigidez.
- [5] Dispone de regularidad mecánica en la distribución de rigideces, resistencias y masas, de modo que los centros de gravedad y de torsión de todas las plantas estén situados, aproximadamente, en la misma vertical.
- [6] La excentricidad del centro de las masas que intervienen en el cálculo sísmico respecto al de torsión es inferior al 10% de la dimensión en planta del edificio en cada una de las direcciones principales.

Estas condiciones suponen, en la práctica, que cualquier edificio dotado de una configuración que respete los requerimientos de los puntos 3 a 6 es susceptible de ser analizado mediante el método simplificado.

Además el método es de aplicación a edificios de pisos de importancia normal de hasta cuatro plantas en total por lo que según la NCSE los edificios de viviendas de hasta cuatro plantas podrían analizarse siguiendo el método simplificado, incluso

incumpliendo alguna de las prescripciones de los puntos 3 a 6 anteriores. En este sentido, conviene recordar aquí las recomendaciones recogidas en el capítulo 4 de la NCSE y en el punto 7 de esta Guía respecto a la simetría de la configuración estructural y la continuidad y uniformidad en su rigidez de los elementos estructurales.

El método simplificado consiste en asimilar la construcción objeto de análisis a un modelo unidimensional constituido por un oscilador simple con un solo grado de libertad de desplazamiento por planta, realizándose el análisis definiendo un sistema de fuerzas equivalentes a la acción sísmica a aplicar en cada planta.

La NCSE da, en su artículo 3.7.2.1, unas recomendaciones sobre el número de modos a considerar, en función del valor del modo fundamental. Además, el artículo 3.7.2.1 da las siguientes expresiones para la estimación del periodo fundamental para diferentes tipologías de edificios:

Edificios con muros de fábrica de ladrillo o bloques

$$T_F = \frac{0,06H \sqrt{\frac{H}{2L+H}}}{\sqrt{L}}$$

Edificios con pórticos de hormigón sin colaboración de pantallas rigidizadoras

$$T_F = 0,09n$$

Edificios con pórticos de hormigón con colaboración de pantallas rigidizadoras.

$$T_F = 0,07n \sqrt{\frac{H}{B+H}}$$

Edificios de pórticos rígidos de acero laminado.

$$T_F = 0,11n$$

Edificios de pórticos de acero laminado con planos triangulados resistentes.

$$T_F = 0,085n \sqrt{\frac{H}{B+H}}$$

Donde:

- H Altura de la edificación, sobre rasante, en metros.
- n Número de plantas sobre rasante.
- B Dimensión de las pantallas rigidizadoras, o de los planos triangulados, en el sentido de la oscilación, en metros.
- L Dimensión en planta de la edificación, en el sentido de la oscilación, en metros.

Para el resto de los edificios de hasta cuatro plantas puede tomarse $T_F = 0,30$ s.

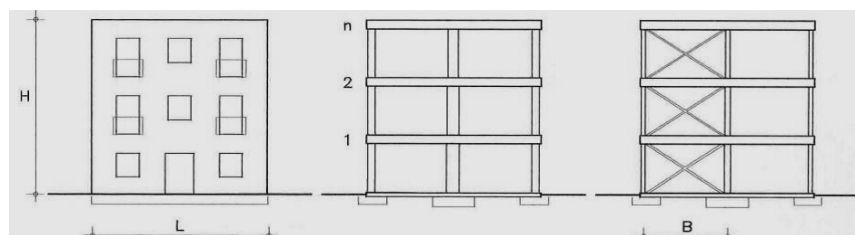


Figura 7.- Criterios para definir H, B y L en la estimación de T_F .

La obtención de las fuerzas sísmicas equivalentes correspondientes a cada planta y a cada modo de vibración se recoge en el artículo 3.7.3 de la NCSE.

A partir de las fuerzas sísmicas correspondientes a cada modo, el artículo 3.7.4 de la NCSE define los criterios para definir un sistema de fuerzas estáticas equivalentes necesarias para el análisis de la estructura en una dirección dada. En primer lugar se han de obtener los esfuerzos cortantes correspondientes a cada planta para cada modo, como la suma de las fuerzas de las plantas situadas desde la planta superior hasta la planta objeto de estudio. Con este valor, y al igual que en el caso del análisis modal espectral, se obtiene un cortante combinado en cada planta como la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de los cortantes correspondientes a los diferentes modos en una planta determinada.

Las fuerzas equivalentes a considerara en cada planta son iguales a la diferencia ente el cortante estimado y el de la planta superior.

Estas fuerzas, que son el sistema equivalente de acciones sísmicas a considerar en el análisis, se han de repartir entre los diferentes elementos asegurando el equilibrio en planta y de forma proporcional a la rigidez de los elementos de cada planta.

Por otro lado, el artículo 3.7.5 indica que en edificios con una distribución homogénea de muros, soportes y masas, estas fuerzas se deben corregir para tener en cuenta los efectos de la excentricidad adicional debida a la rotación.

9.2.3 CONSIDERACIONES SOBRE LA DUCTILIDAD Y EL COEFICIENTE DE RESPUESTA β

Los criterios de obtención de las respuestas modales máximas definidas en el artículo 3.6.2.2 de la NCSE para el análisis modal espectral, y los incluidos en el artículo 3.7.3 para la obtención de las fuerzas sísmicas equivalentes al aplicar el método aproximado, tienen en consideración el comportamiento más o menos dúctil supuesto para la estructura mediante el denominado coeficiente de respuesta β .

El coeficiente de respuesta β se expresa como:

$$\beta = v / \mu,$$

donde

v es el factor de modificación del espectro en función del amortiguamiento, definido en el artículo 2.5 de la NCSE

μ es el coeficiente de comportamiento por ductilidad

Se entiende por ductilidad la capacidad de los materiales y las estructuras para deformarse en el rango no lineal sin sufrir una degradación sustancial de su capacidad resistente. Desde el punto de vista estructural se define como la relación entre la deformación última de rotura y la deformación plástica y puede ser referida a cualquier entidad cinemática, como las propias deformaciones, la ductilidad de una sección, las rotaciones o el desplazamiento de una estructura.

El coeficiente de comportamiento por ductilidad permite, por tanto, tener en cuenta que durante la actuación de un sismo se puede esperar que la estructura se comporte de forma no lineal, pudiendo disipar parte de la energía generada por el sismo, sin merma de su capacidad resistente. Los espectros se pueden modificar así considerando la capacidad de la estructura para comportarse de forma dúctil.

La NCSE establece los siguientes niveles de ductilidad:

- Ductilidad muy alta $\mu = 4,00$
- Ductilidad alta $\mu = 3,00$
- Ductilidad baja $\mu = 2,00$
- Sin ductilidad $\mu = 1,00$

Los requisitos a exigir a una estructura de edificación para considerar un nivel de ductilidad determinado se recogen en el artículo 3.7.3.1 de la NCSE.

Estos requisitos muestran cómo el nivel de ductilidad de una estructura depende del tipo estructural, de los materiales, de las características geométricas, la regularidad en planta y alzado de las masas, y de la distribución de los elementos resistentes.

El artículo 3.7.3.1 de la NCSE establece que el proyectista debe elegir el coeficiente de comportamiento por ductilidad para cada modelo de cálculo, considerando las limitaciones que la propia normativa establece en función de la organización estructural y de los materiales empleados. Además, señala que un nivel de ductilidad determinado requiere de detalles estructurales y constructivos coherentes con el comportamiento esperado en cada caso.

A este respecto, hay que señalar lo siguiente:

- El empleo de la ductilidad como herramienta de proyecto supone la existencia de daños, por lo que se recomienda que sea un parámetro pactado con el cliente final.
- Sin perjuicio de lo anterior, la ductilidad debe considerarse un objetivo irrenunciable en el proyecto, aun cuando la capacidad resistente del edificio necesaria por otras razones o sin considerarla fuera suficiente para soportar la acción sísmica de cálculo. La conveniencia de disponer de ductilidad es que los eventos sísmicos reales son en ocasiones superiores a los definidos como sismos de cálculo en la normativa de acciones por diversas razones.
- Por otro lado, la ductilidad realmente existente se puede calcular mediante el método del empuje incremental, conociendo la armadura y geometría de las secciones en estructuras de hormigón y la geometría final y las secciones en estructuras de acero. Los valores que generalmente se obtienen son muy inferiores a los preconizados por la normativa, que están generalmente del lado de la inseguridad.

A partir de lo anterior se recomienda que en estructuras de hormigón la elección del coeficiente de comportamiento por ductilidad se realice conforme a la NCSE, con criterios conservadores, y siempre con la aprobación del cliente final.

En cuanto a la metodología de cálculo, el Anejo 10 de la Instrucción EHE recomienda el uso de la filosofía “Proyecto basado en capacidad” mediante el cual se controla el modo de rotura de la estructura potenciando que las zonas críticas se localicen allí donde la rotura dúctil esté asegurada y evitando las mismas en zonas con modos de rotura frágiles (como fallos por cortante, torsión, esfuerzos axiales de compresión, etc.) Esta metodología de proyecto es poco convencional, y resulta difícil pensar en su aplicación en proyectos de edificación convencionales, por lo que en la presente Guía se recomienda, como se ha expuesto, seguir la metodología de la NCSE adoptando un

nivel de ductilidad razonable, y al mismo tiempo definiendo unos detalles que aseguren un comportamiento dúctil de la estructura.

En relación a los niveles de ductilidad a adoptar en estructuras de acero, el artículo 49 de la Instrucción EAE establece que si el proyecto no considera reducción de los valores del espectro elástico basta con considerar las prescripciones de carácter general de la citada Instrucción, y las consideraciones relativas a las bases de cálculo de su artículo 50, por lo que al igual que en las estructura de hormigón se recomienda una adopción del coeficiente de comportamiento por ductilidad conforme a la NCSE, con criterios conservadores, y con la aprobación del cliente final. Sin perjuicio de lo anterior, hay que señalar que la Instrucción EAE permite incrementar el valor adoptado del coeficiente de comportamiento por ductilidad entre un 10% y un 30% en función de la tipología del edificio.

En aquellos casos en que el proyecto considere un nivel de ductilidad superior a 1,00, será preciso verificar algunas prescripciones más restrictivas que las generales. Estas prescripciones se refieren a las consideraciones de los efectos de segundo orden, a las propiedades a exigir a los materiales a emplear en zona sísmica, a la ubicación de zonas disipativas de energía dentro de los diferentes elementos estructurales, y a la capacidad de vigas y soportes, a la configuración de pórticos y a la concepción y detalle de las uniones.

9.2.4 EFECTOS DE SEGUNDO ORDEN

El artículo 3.8 de la NCSE establece que para desplazamientos horizontales del edificio inferiores al 2‰ de la altura, no será necesario considerar los efectos de segundo orden.

También se podrán despreciar los efectos de segundo orden, cuando en cada planta k se verifique:

$$P_k \cdot d_k < 0,10V_k \cdot h_k \text{ donde:}$$

- P_k carga gravitatoria total por encima de la planta.
- d_k desplazamiento relativo entre la cabeza y pie de los soportes de la planta considerada.
- V_k Cortante combinado correspondiente a la planta.
- h_k Altura entre plantas.

10 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

La NCSE-02 establece en su artículo 4.7.1 que “uno de los objetivos de la Norma (...) es una reducción sustancial de las (...) pérdidas físicas y económicas, y sobre todo de víctimas, especialmente las que genera el daño a elementos no estructurales.”

En relación a este punto, hay que recordar que es muy frecuente que, en el caso de sismos, las víctimas se produzcan precisamente como consecuencia de la caída de elementos no estructurales. Resulta oportuno, por lo tanto, recordar los requerimientos de la normativa en relación a estos elementos.

En este sentido, la NCSE-02 establece en su artículo 4.7.2 la necesidad de que los elementos de particiones, interiores, falsos techos, paneles de fachada, etc. se enlacen correctamente con los elementos estructurales para evitar su desprendimiento. El mismo artículo da algunas reglas para la subdivisión de elementos de dimensiones importantes en función de la aceleración de cálculo esperada.

La NCSE-02 da también, en su artículo 4.7.3, unas reglas de proyecto a considerar para elementos con su borde superior libre tales como parapetos, antepechos, chimeneas, etc. De nuevo hay que recordar que prescripciones de este tipo se han venido dando en toda la reglamentación sismorresistente aprobada desde 1968. La aprobación inicial de las normas complementarias del PGMO de Lorca ha establecido algunos requerimientos en este sentido para los antepechos y chimeneas.

La instrucción NCSE-02 trata también otros elementos como carpinterías exteriores, revestimientos y aplacados, e instalaciones en sus apartados 4.7.5 a 4.7.7. La aprobación inicial de las normas complementarias del PGMO de Lorca ha establecido requerimientos similares a los de la Norma vigente sobre los cerramientos de fachadas, y ha recomendado que en paramentos al descubierto de ladrillo cara vista en fachada, la fábrica apoye en al menos $2/3$ de su espesor en los forjados.

11 DEFINICIÓN DE DETALLES ESTRUCTURALES

11.1.1 LA ESTRUCTURA RESISTENTE Y LA FÁBRICA

El empleo de sistemas mixtos formados por soportes de hormigón o metálicos y muros de carga de fábrica de ladrillo o bloques puede presentar un comportamiento desfavorable frente al sismo. En estas soluciones la capacidad resistente frente a las acciones horizontales se confía a estos muros, que han de soportar además acciones gravitatorias, de modo que el eventual colapso de los mismos debido a unas acciones horizontales extraordinarias afecta directamente a la capacidad para soportar las acciones gravitatorias en las zonas anexas a estos muros. Por otro lado estas configuraciones impiden eventuales modificaciones de usos dentro del edificio.

Las consideraciones anteriores explican que la NCSE-02 indique en su artículo 1.2.3 que en zonas de aceleración básica comprendida entre $0,08 \cdot g$ y $0,12 \cdot g$ las edificaciones de fábrica de ladrillo, bloques de mortero, o similares, deban limitarse a edificios de cuatro alturas, y en zonas de aceleración básica $0,12 \cdot g$ o superior, a dos alturas.

Ha de evitarse igualmente la disposición entre pilares de elementos de fábrica de altura menor a la de los soportes, que provocan el funcionamiento de los tramos superiores de estos pilares como elementos muy rígidos entre la coronación de dicho muro y la planta superior.

Como criterio general, no deben disponerse elementos de fábrica de ladrillo dentro de los recuadros formados por los pilares y vigas, puesto que generalmente se trata de elementos mucho más rígidos que los pilares adyacentes, a los que pueden inducir esfuerzos importantes.

En caso de que no fuera posible evitar la disposición de elementos no estructurales que pueden desarrollar rigidez y resistencia suficientes para alterar las condiciones de la estructura, la NCSE-02 establece en su Artículo 4.2.4 que “se deben tener en cuenta en la confección del modelo para el análisis estructural y comprobarse para las acciones que se deriven del cálculo”.

En el caso opuesto al anterior, de pilares muy rígidos coaccionando un elemento de fábrica más esbelto, las fuerzas inducidas por los pilares sobre el paramento de fábrica pueden generar un fallo de la fábrica que haga que esta se salga de su plano con el consiguiente riesgo sobre las personas.

La solución en estos casos, como apunta la NCSE-02 en su artículo 4.2.4, pasa por adoptar “soluciones constructivas que garanticen la no participación resistente de estos elementos”. Esta solución implica realizar una estimación adecuada de las deformaciones esperables entre dos plantas contiguas y permitir el desplazamiento relativo de los elementos estructurales y los de fábrica, interponiendo juntas flexibles en los bordes de las particiones adyacentes a los elementos estructurales. Salvo que se deduzca otro valor en el proyecto, pueden considerarse valores de entre 20 y 40 mm para los espesores de juntas.

11.1.2 JUNTAS ENTRE EDIFICIOS

En edificios colindantes es frecuente que los eventos sísmicos generen el choque de ambos, hecho que ocasionalmente genera daños importantes, sobre todo cuando los edificios tienen sus plantas situadas a diferentes niveles y el golpeo del forjado se produce contra los pilares del edificio adyacente. Es preciso evaluar adecuadamente las deformaciones esperadas y prever una junta de dimensiones adecuadas, sin puntos de contacto entre los edificios.

Toda las normativas sismorresistentes desde 1968 han incluido recomendaciones relativas a las dimensiones de la juntas a dejar entre edificios. El artículo 4.2.5 de la NCSE-02 establece un mínimo de 15 mm en toda la altura, salvo que el desplazamiento lateral máximo estimado supere dicho valor. El mismo artículo 4.2.5 da unas recomendaciones para estimar las deformaciones máximas en edificios de hasta 10 plantas.

11.1.3 DETALLES ESTRUCTURALES

En este punto se hace referencia a prescripciones de la Norma NCSE-02 que sin estar directamente relacionados con el diseño conceptual puesto que se refieren a detalles de proyecto, conviene citar como recordatorio a partir de los aspectos observados en las inspecciones realizadas en Lorca.

Estas prescripciones se recogen en los apartados 4.4, 4.5 y 4.6 de la Norma, y se refieren respectivamente a estructuras de muros de fábrica, hormigón armado y acero estructural respectivamente.

En el caso del hormigón armado, material empleado en la mayoría de los edificios dañados, la Norma NCSE da unos criterios de armado de detalles que tienen por objeto asegurar que las secciones de las vigas se agotan antes que las de los soportes en los que se apoyan, que las secciones extremas de las vigas y soportes se agotan antes que el nudo al que acometen, y que en cualquier elemento se produce un fallo a flexión antes que un fallo por cortante.

Estos criterios persiguen no solo garantizar un comportamiento dúctil, sino también asegurar un correcto engarce o conexión de los elementos de la estructura horizontal a los elementos a los que se confía la capacidad resistente frente a las acciones horizontales.

En relación a la ductilidad, debe considerarse un objetivo irrenunciable en el proyecto, aun cuando la capacidad resistente del edificio necesaria por otras razones fuera suficiente para soportar la acción sísmica de cálculo, dado que los eventos reales pueden en muchas ocasiones superar a los definidos como sismos de cálculo en la normativa de acciones por diversas razones.

Por su parte el Anejo 10 de la EHE establece que con carácter general, y de acuerdo al artículo 68 de la Instrucción, el anclaje de las armaduras debe incrementarse en 10ϕ respecto de los valores dados para acciones estáticas.

En relación a las pantallas, el Anejo 10 de la EHE da unos criterios a tener en cuenta en relación a:

- espesores mínimos y máximos;
- unos criterios de disposición de armadura en las pantallas;

- limitación del axil reducido ;
- cuantía geométrica de armadura longitudinal;
- condiciones de rigidez de las pantallas a lo largo de la altura y presencia de huecos alineados verticalmente;
- ancho efectivo de alas en grupos de pantallas formando elementos en forma de L, T, U o doble T;
- requerimientos de armadura de confinamiento en casos en que el axil reducido supere 0,15

Adicionalmente, el Anejo 10 de la EHE incluye algunas recomendaciones para el dimensionamiento de elementos que unan en su plano pantallas y para el dimensionamiento de los forjados funcionando como diafragmas horizontales.

12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02. Arte General y Edificación. Ministerio de Fomento. RD 997/2002.
- [2] Norma de Construcción Sismorresistente NCSE. Parte de Puentes. Ministerio de Fomento. RD 637/2007.
- [3] Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. 4ª Edición. Diciembre 2010. Ministerio de Fomento. RD 1247/2008.
- [4] Instrucción de Acero Estructural EAE. Ministerio de Fomento. RD 751/2011.
- [5] Código Técnico de la Edificación CTE. Ministerio de Fomento. RD 314/2006.
- [6] UNE-EN 1998-1-1. Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes. Parte 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificación.
- [7] Guía de Planificación de Estudios Geotécnicos para la edificación en la Región de Murcia. Adaptada al Código Técnico de la Edificación. Región de Murcia. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transportes. 2007.
- [8] Moción del Teniente de Alcalde sobre Aprobación Inicial de las Normas Complementarias del PGMO de Lorca para facilitar el realojo, la reconstrucción y reparación de inmuebles afectados por acciones sísmicas y catastróficas. Ayuntamiento de Lorca. Área de Urbanismo. 16 de septiembre de 2011.
- [9] Serie Terremoto NE Lorca. 11 de mayo de 2011. Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento.
- [10] INFORME FINAL que sobre el avance de las tareas correspondientes al CONVENIO ESPECÍFICO ENTRE LA DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL Y LA FUNDACIÓN PARA EL FOMENTO DE LA INNOVACIÓN INDUSTRIAL PARA LA PROPUESTA DEL ANEXO NACIONAL ESPAÑOL A LA NORMA EUROPEA EN 1998 (EUROCÓDIGO 8) ESTRUCTURAS RESISTENTES AL SISMO presenta a la consideración de la DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL el CENTRO DE MODELADO DE INGENIERÍA MECÁNICA. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes. Ministerio de Fomento. http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/DE08DF70-CACE-4C60-9333-D4C96C75C878/106730/eurocodigo_8.pdf