



# CAPÍTULO XIII

## PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE AL SISMO

### Artículo 49 Generalidades

En este Capítulo se relacionan algunos aspectos particulares del proyecto y la ejecución de estructuras de acero frente a acciones sísmicas que complementan las disposiciones de tipo general contenidas en la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02, aprobada por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, y las específicas aplicables a tipos particulares de construcciones como la Norma de Construcción Sismorresistente: Puentes (NCSP-07), aprobada por Real Decreto 637/2007, de 18 de mayo (depósitos, tuberías,...).

El Capítulo se dirige especialmente al proyecto y ejecución de aquellas partes de las estructuras que forman el sistema resistente ante las acciones sísmicas.

Las normas vigentes de Construcción Sismorresistente establecen espectros elásticos de respuesta que pueden ser modificados teniendo en cuenta la capacidad de la estructura de comportarse de forma dúctil, es decir, de forma estable en régimen plástico. Cuando en el proyecto de la estructura se define la sollicitación a partir del espectro elástico, sin reducción alguna por ductilidad, no es necesario el empleo de otras disposiciones que las de carácter general (aplicables a construcciones situadas en zonas de baja o nula sismicidad) contenidas esta Instrucción y las contenidas en el Artículo 50 siguiente. La utilización de espectros de cálculo reducidos obliga, en cambio, a la estricta observancia de las condiciones detalladas en este Capítulo, condiciones más restrictivas que las generales.

### Artículo 50 Bases de proyecto

Las bases de proyecto para las estructuras sometidas a acciones sísmicas son las que se establecen en el Título 1ª, Bases de proyecto, de esta Instrucción. En el Artículo 13, combinación de acciones, se define la expresión de la combinación en la que participa la acción sísmica.

En el caso de construcciones particulares (puentes, depósitos, tuberías,...) pudiera ocurrir que la correspondiente norma específica requiera la comprobación de la estructura frente a combinaciones diferentes a la definida en esta Instrucción o, incluso, ante más de una combinación.

Como valores representativos cuasipermanentes de las acciones variables se tomarán los indicados en el Capítulo III de esta Instrucción o los definidos en las normas específicas aplicables a tipos particulares de construcciones.



## 50.1. Estados límite

Se tomarán explícitamente en consideración como estados límite últimos los correspondientes a los efectos de los movimientos que pueden causar daños graves, como los producidos en el choque entre construcciones aledañas (o entre partes separadas de una misma construcción) o la pérdida de apoyo. Las comprobaciones correspondientes se basarán en la estimación del ancho de junta o la entrega necesarias para evitar estos efectos sin entrar en la evaluación de sus consecuencias.

En general, para la estimación del ancho de junta o la entrega necesarias, se seguirán las prescripciones de la Norma de Construcción Sismorresistente y de las Instrucciones de carácter específico aplicables.

En edificación, y en el caso particular de juntas entre distintos cuerpos de un mismo edificio (caso de las juntas de dilatación) que separen construcciones de características similares (con períodos fundamentales semejantes en la dirección del sismo considerado), el ancho de junta se puede estimar como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los movimientos de cada bloque.

En el caso de los puentes, se considerarán explícitamente los estados límite últimos correspondientes al choque entre el tablero y el estribo y el correspondiente a la pérdida de apoyo de aquél en pilas y estribos.

## 50.2. Acciones

Cuando la acción sísmica se especifique mediante un espectro de respuesta, éste deberá corresponder al de la vigente norma de Construcción Sismorresistente o, en el caso particular de construcciones a las que por sus características especiales (período fundamental fuera del rango habitual) no les sea adecuada la aplicación del citado espectro (puentes, depósitos,...), a las Instrucciones específicas aplicables. En algunos de estos casos será necesario el empleo de espectros diferentes en las comprobaciones de seguridad y de servicio.

Cuando la acción sísmica se especifique mediante registros temporales, generados numéricamente o correspondientes a terremotos reales, se demostrará su compatibilidad con los espectros correspondientes, y se seguirán las especificaciones de la Instrucción aplicable en lo relativo al número de registros y a la duración de los mismos.

En esta Instrucción no se contemplan otras definiciones de la acción sísmica.

Como factores reductores del espectro elástico se utilizarán los prescritos por la normativa sismorresistente.

Cualquier valor conservador que se pueda demostrar (mediante, por ejemplo, cálculos plásticos elementales) de la relación entre los multiplicadores de carga " $\alpha$ " correspondientes a las situaciones de colapso y de primera plastificación (Figura 50.2), puede utilizarse para reducir el espectro elástico en el caso de pórticos de nudos rígidos o arriostrados de forma incompleta (los ejes de las barras no concurren en los nudos). Es decir, se admite el incrementar el valor del coeficiente de comportamiento por ductilidad " $\mu$ " prescrito por la Norma reconstrucción Sismorresistente en la relación  $\alpha_u/\alpha_y$ .

Como limitación, no se aplicarán valores del citado cociente superiores a:

Tipo estructural	Valor máximo del cociente $\alpha_u/\alpha_y$
Pórticos de nudos rígidos y una altura.	1,1
Pórticos de nudos rígidos y varias alturas.	1,2
Pórticos de nudos rígidos, varias alturas y varias alineaciones de pilares.	1,3
Estructuras arriostradas mediante triangulaciones incompletas.	1,1

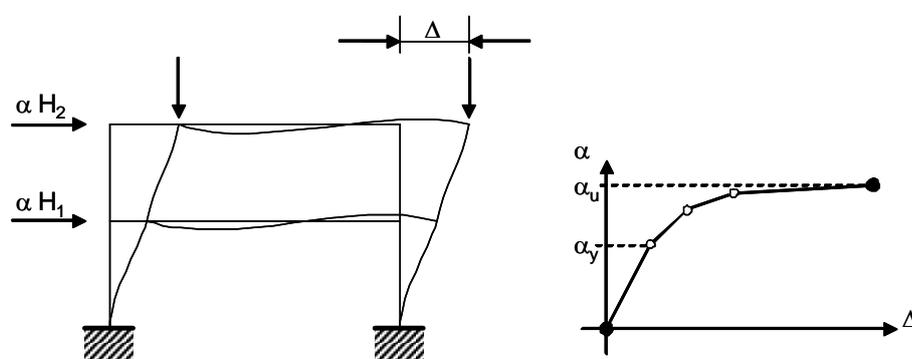


Figura 50.2

## Artículo 51 Análisis estructural

La evaluación de esfuerzos y desplazamientos se basará en la modelización realista del comportamiento de la construcción en su conjunto. Si existiesen, se considerará la colaboración a la rigidez de los elementos no estructurales (en el caso de los edificios, cerramientos, particiones, escaleras, etc).

Cuando no sea posible una evaluación precisa del efecto de dichos elementos en la rigidez de la construcción, bien porque su comportamiento no se conozca con suficiente precisión o bien porque puedan sufrir alteraciones a lo largo de la vida de la construcción, se adoptarán valores conservadores.

Lo anterior conducirá en general a la realización de más de un análisis. Los esfuerzos se evaluarán mediante modelos en los que la rigidez no sea inferior a la real. En la evaluación de los desplazamientos, en cambio, se utilizarán valores de rigidez no superiores a los reales.

Las masas a considerar en cada modelo serán coherentes con las cargas consideradas en las hipótesis correspondientes y, en el caso de depósitos, pilas sumergidas, etc. responderán a un modelo aceptable de interacción fluido-estructura (por



ejemplo, masas impulsiva y convectiva en depósitos). En el caso de edificios, las masas correspondientes a las sobrecargas de uso podrán reducirse en un 10%.

En el caso de construcciones en las que los elementos no estructurales se distribuyan de forma asimétrica en planta (edificio con cierre de medianería en uno de sus lados y fachada ligera en el opuesto) o irregular en alzado (planta baja comercial), el modelo estructural habrá de considerar explícitamente el efecto adverso de tales circunstancias (modos de torsión y concentración de la exigencia de ductilidad respectivamente).

La estimación de la importancia de los efectos de segundo orden se efectuará conforme al criterio especificado en la norma NCSE-02:

$$\theta = \frac{P_k}{V_k} \frac{d_k}{h_k} < 0,10$$

con los significados allí relacionados.

Cuando no se verifique la condición anterior pero se cumpla que  $\theta \leq 0,20$ , entonces los efectos de la amplificación pueden estimarse multiplicando la respuesta estructural (en las variables consideradas, esfuerzos movimientos) por el cociente  $1/(1-\theta)$ .

En ningún caso el coeficiente  $\theta$  será mayor que 0,3.

## **Artículo 52 Materiales**

Cuando en el proyecto no se considere reducción alguna del espectro no serán precisas otras condiciones sobre los materiales que las expuestas en el Título 3º de esta Instrucción.

Si se considera alguna reducción por ductilidad, se requerirán en general condiciones más restrictivas sobre los materiales. En este caso:

- Para los aceros estructurales serán de aplicación las condiciones relacionadas en la Norma de Construcción Sismorresistente. En concreto, los aceros cumplirán las prescripciones del Artículo 26 de esta Instrucción, en especial los relativos a la ductilidad y a la prevención del fallo por desgarro laminar (26.3 y 26.4).
- Para las secciones serán de aplicación las condiciones relacionadas en la Norma de Construcción Sismorresistente. En concreto, las relativas a la simetría y a la clase de la sección.
- Los tornillos serán, preferentemente, de calidades 8.8 ó 10.9.



## Artículo 53 Elementos estructurales

### 53.1. Generalidades

En un esquema estructural convencional de barras unidas por sus extremos, las zonas disipativas se proyectarán situadas en las barras, toda vez que, en general, las uniones no admiten una deformación estable de valor suficiente como para disipar energía de forma significativa. Las uniones se situarán, en lo posible, alejadas de las zonas disipativas. Si ello no fuera posible, se proyectarán siguiendo planteamientos en capacidad, y con un factor adecuado de sobre-resistencia.

Se admite que los empalmes entre secciones idénticas, realizados mediante soldadura a tope de penetración total, presentan la suficiente sobre-resistencia sin necesidad de comprobación numérica.

### 53.2. Vigas

Las secciones de los elementos flectados cumplirán las prescripciones de la Norma de Construcción Sismorresistente respecto a simetría y clase.

Se comprobará el arriostramiento lateral de las vigas en condiciones de agotamiento.

Se comprobará que la capacidad a flexión en las zonas disipativas no sufre merma significativa por efecto del axil o cortante concomitantes. Para ello se utilizarán las expresiones:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad \text{donde: } V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$

siendo:

$M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  y  $V_{Ed}$  los esfuerzos de cálculo.

$M_{pl,Rd}$ ,  $N_{pl,Rd}$ ,  $V_{pl,Rd}$  las resistencias de las secciones.

$V_{Ed,G}$  el esfuerzo cortante debido a las acciones no sísmicas.

En general será: 
$$V_{Ed,M} = \frac{M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B}}{L}$$

donde el subíndice A, B se refiere a cada extremo de la viga y L es su luz (entre rótulas).



### **53.3. Soportes**

Los soportes se comprobarán a compresión ante la combinación más desfavorable de esfuerzos axiles y flectores.

En la estimación de los momentos actuantes se considerarán los coeficientes de sobre-resistencia pertinentes.

### **53.4. Pórticos**

Cuando la estructura se organice en pórticos éstos cumplirán las prescripciones establecidas en el Capítulo V, Análisis estructural, de esta Instrucción y en el apartado correspondiente de la Norma de Construcción Sismorresistente.

Los únicos tipos de pórticos admisibles en estructuras situadas en zonas sísmicas son rígidos y arriostrados. No se admite el proyecto de pórticos semirrígidos, duales o mixtos, que combinen las rigideces de sistemas resistentes diferentes.

En el caso de los pórticos arriostrados se adoptarán las medidas constructivas necesarias para que los elementos de la triangulación no soporten las cargas permanentes.

## **Artículo 54 Uniones**

En el proyecto de las uniones, y especialmente en el caso de aquéllas que se sitúen o limiten una zona de disipación, se evitarán aquellos detalles que:

- Produzcan efectos de concentración de tensiones (entallas geométricas o metalúrgicas) cuidando especialmente el acuerdo adecuado entre ángulos entrantes, el tamaño suficiente de las groeras, limitando al mínimo el cruce de cordones, etc.
- Requieran la existencia de deformaciones plásticas de valor elevado (por ejemplo, por conformado de elementos de espesor importante).
- Introduzcan tensiones residuales de valor elevado (cordones de soldadura de tamaño innecesariamente grande, coacciones durante el soldeo,...).
- Favorezcan la aparición de fallos por desgarró laminar.
- Dificulten en exceso la ejecución y el control.

El empleo de uniones de elementos de pequeño espesor mediante tornillos autorroscantes y similares se limitará al proyecto de estructuras no dúctiles o bien a las situadas en zonas no disipativas.

En general, no se admitirá el proyecto de uniones semirrígidas entre elementos que formen parte del esquema resistente a sismo.

En las zonas disipativas no se permitirá la existencia de elementos que transmitan esfuerzos en dirección del espesor.