

CAPÍTULO VII

ELEMENTOS DE UNIÓN

7.1. Juntas de tablero

Las juntas de tablero deben ser capaces de absorber el valor de cálculo del desplazamiento total en situación sísmica para el caso del sismo frecuente de cálculo, $d_{Ed,f}$. Este valor podrá determinarse de la forma siguiente:

$$d_{Ed,f} = d_{E,f} + d_{G^*} + \alpha d_T \quad (7.1)$$

donde:

$d_{E,f}$ desplazamiento debido al sismo frecuente de cálculo que, a falta de una estimación más precisa, podrá tomarse igual a:

$$d_{E,f} = 0,4 d_E \quad (7.2)$$

donde d_E es el desplazamiento sísmico debido al sismo último de cálculo obtenido según la expresión (4.15) del apartado 4.2.4.4.

d_{G^*} desplazamiento debido a las acciones reológicas.

d_T desplazamiento debido a la acción térmica.

α factor reductor (ver comentario).

Cuando los efectos de segundo orden sean significativos, deben añadirse a la expresión anterior.

El desplazamiento sísmico $d_{E,f}$ relativo entre dos partes independientes del puente puede estimarse mediante la regla de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los desplazamientos de cada parte.

7.2. Entregas mínimas

Es necesario prever una longitud de entrega mínima del tablero sobre los elementos de sustentación, siempre que puedan producirse desplazamientos relativos entre ellos en situación sísmica.

Esta longitud de entrega debe ser tal que, bajo la acción del sismo último de cálculo, el elemento de soporte mantenga su función de sustentación.

En los estribos, la entrega mínima podrá determinarse como sigue:

$$L_{e,estribo} = L_m + d_s + d_{ef} \quad (7.3)$$

donde:

L_m Longitud mínima capaz de garantizar la transmisión de la reacción vertical, nunca menor de 0,40 m.

d_s Desplazamiento relativo entre el estribo y el tablero debido a la variación espacial del desplazamiento sísmico del suelo:

$$d_s = 2 d_c \frac{L}{L_{ref}} \leq 2 d_c \quad (7.4)$$

con:

d_c Desplazamiento horizontal máximo de la superficie del terreno, según la expresión (3.9b) del apartado 3.6..

L Longitud de tablero entre el estribo y un apoyo fijo (ver comentario)

L_{ref} Distancia a partir de la cual se puede considerar que los movimientos del suelo no tienen correlación. A estos efectos, se podrá tomar $L_{ref} = 400$ m.

d_{ef} Desplazamiento sísmico efectivo del tablero debido a la deformación de la estructura, estimado como sigue:

— Para tableros unidos a las pilas mediante empotramiento o mediante aparatos de apoyo fijos en la dirección longitudinal:

$$d_{ef} = d_{Ed} \quad (7.5)$$

donde d_{Ed} es el desplazamiento en situación sísmica para el caso del sismo último de cálculo, cuyo valor, a su vez, se determinará como sigue:

$$d_{Ed} = d_E + d_{G^*} + \Psi_2 d_T \quad (7.6)$$

siendo Ψ_2 el factor de combinación casi-permanente para la acción térmica y las demás variables con el mismo significado que en la expresión (7.1).

— Para tableros unidos a las pilas o a un estribo mediante conectores sísmicos con una holgura s :

$$d_{ef} = d_{Ed} + s \quad (7.7)$$

con el mismo valor de d_{Ed} que en la expresión (7.6).

En caso de una junta intermedia entre dos elementos del tablero, la longitud de entrega de cada uno de ellos sobre la pila deberá ser:

$$L_{e,pila} = L_{e,estribo} + d_{E,pila} \quad (7.8)$$

con $L_{e,estribo}$ según la expresión (7.3) y siendo $d_{E,pila}$ el desplazamiento sísmico de la coronación de la pila debido al sismo último de cálculo obtenido según la expresión (4.15) del apartado 4.2.4.4.

7.3. Aparatos de apoyo

Los aparatos de apoyo deben estar dimensionados de forma que quede asegurada la integridad estructural del puente para los desplazamientos debidos a la acción del sismo último de cálculo. Esta condición se considerará cumplida si se tienen en cuenta los criterios indicados en este apartado para cada tipo de apoyo.

Los aparatos de apoyo deberán ser accesibles para su inspección, conservación y posible sustitución.

7.3.1. Aparatos de apoyo fijos

Los aparatos de apoyo fijos deben dimensionarse con criterios de proyecto por capacidad, aunque estos criterios no se considerarán si resultan más desfavorables que la hipótesis de comportamiento del puente esencialmente elástico ($q = 1$).

Alternativamente, los aparatos de apoyo fijos podrán dimensionarse únicamente para la combinación sísmica, definida en el apartado 2.4, siempre que se dispongan además conectores sísmicos como mecanismo adicional de transmisión.

7.3.2. Aparatos de apoyo móviles

Los aparatos de apoyo móviles deben admitir sin daño el desplazamiento en la situación sísmica correspondiente al sismo último de cálculo, d_{Ed} , obtenido de acuerdo con la expresión (7.6).

En las uniones con aparatos de apoyo móviles, el tablero deberá contar con la longitud de entrega mínima según las indicaciones del apartado 7.2.

7.3.3. Aparatos de apoyo elastoméricos

Los apoyos elastoméricos pueden ser utilizados con alguna de las disposiciones siguientes:

- En algún elemento de sustentación aislado, pila o estribo, sin participación en la resistencia frente a la acción sísmica, que es resistida mediante la conexión del tablero a otros elementos de sustentación (apoyos fijos o empotramientos).
- En todos o en algunos de los elementos de sustentación, sin participación en la resistencia frente a la acción sísmica, en combinación con conectores sísmicos proyectados para resistir la acción sísmica.
- En todos los elementos de sustentación, para resistir las acciones sísmicas y no sísmicas.

En el último caso, cuando toda la acción sísmica de cálculo sea resistida por apoyos elastoméricos normales, se considerará que el puente está aislado y, por tanto, será de aplicación lo indicado en el apartado 7.6.

Como valor nominal del módulo de elasticidad transversal del elastómero G_b podrá adoptarse el siguiente: $G_b = 1,1 G$, siendo G el módulo de elasticidad transversal convencional aparente del elastómero.

7.4. Dispositivos de anclaje vertical

Será necesario prever dispositivos de anclaje vertical en aquellos apoyos en que la reacción vertical producida por el sismo de cálculo supere a los siguientes porcentajes de la reacción de compresión debida a la carga permanente:

- 80% en estructuras proyectadas con comportamiento dúctil, con la reacción vertical producida por el sismo determinada con criterios de proyecto por capacidad correspondiente a la situación en que todas las rótulas plásticas han desarrollado su momento de sobre-resistencia.
- 50% en estructuras proyectadas con comportamiento elástico o con ductilidad limitada, con la reacción vertical producida por el sismo, sin considerar otras acciones, determinada incluyendo la componente sísmica vertical.

Estas condiciones se refieren a la reacción vertical por línea de apoyos y no son aplicables a apoyos individuales.

En cada apoyo individual, será necesario comprobar que no se produce levantamiento para la combinación de acciones correspondiente a la situación sísmica de cálculo, definida en el apartado 2.4, con $\gamma_{Q,1} = 0$.

7.5. Conectores sísmicos

En general, la acción sísmica se transmitirá a través de los apoyos dispuestos entre el tablero y la subestructura, aunque también pueden utilizarse conectores sísmicos para este cometido. Los conectores sísmicos deberán, en general, permitir los desplazamientos debidos al resto de las acciones sin transmitir cargas significativas.

Los conectores sísmicos pueden ser llaves de corte, topes, cables o bulones de unión.

Al igual que los aparatos de apoyo, los conectores sísmicos deberán ser accesibles para su inspección, conservación y posible sustitución.

Cuando se utilicen conectores sísmicos, deben ser adecuadamente tenidos en cuenta en el modelo de la estructura. Como primera aproximación, se podrá considerar para los mismos una relación lineal fuerza-desplazamiento.

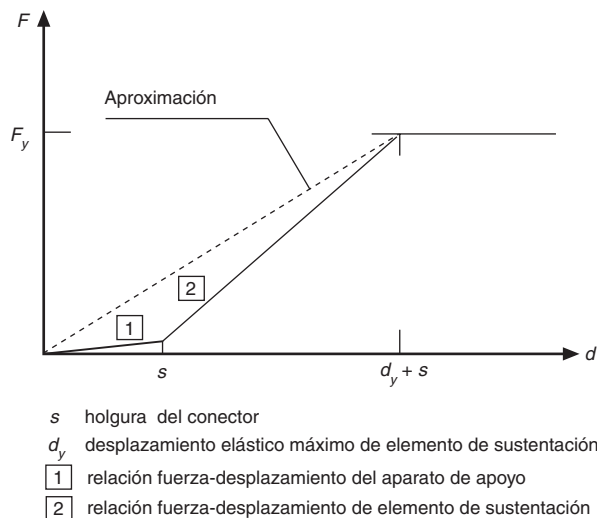


Figura 7.1 Relación fuerza-desplazamiento para una estructura con conectores sísmicos

Los conectores sísmicos suelen proyectarse con alguna de las disposiciones siguientes:

- Combinados con los aparatos de apoyo elastoméricos si se precisan para transmitir la acción sísmica
- Combinados con apoyos fijos que no estén calculados con criterios de proyecto por capacidad
- Entre tablero y estribo o entre tablero y pila, en dirección longitudinal, cuando existan apoyos móviles y no se cumplan los requisitos de entrega mínima según lo establecido en el apartado 7.2.

Los conectores sísmicos mencionados en los párrafos anteriores deben dimensionarse con criterios de proyecto por capacidad, suponiendo que la resistencia horizontal de los aparatos de apoyo es nula.

7.6. Sistemas de aislamiento sísmico

Los sistemas de aislamiento sísmico tienen como objetivo reducir la respuesta de la estructura frente a la acción sísmica horizontal. En general, esta reducción se consigue aumentando el período fundamental de la estructura (lo que da lugar a una reducción de los esfuerzos y a un aumento de los desplazamientos), aumentando el amortiguamiento (lo que reduce los desplazamientos y puede también reducir los esfuerzos) o mediante una combinación de ambas soluciones.

A efectos de la aplicación de esta norma, se considera que un puente está aislado sísmicamente cuando toda la acción sísmica horizontal de cálculo sea resistida por apoyos elastoméricos normales, cuando el puente esté equipado con dispositivos especiales para reducir la respuesta frente a esa acción o cuando se tenga una combinación de ambas disposiciones.

En un puente con aislamiento sísmico, todos los elementos, a excepción de los propios dispositivos especiales, deben permanecer en el rango elástico bajo la acción del sismo último de cálculo.

En general, será necesario tener en cuenta la variación de las propiedades del sistema de aislamiento por el envejecimiento debido a los procesos de carga, las variaciones de temperatura, contaminación, etc.

Para ello, se considerarán dos conjuntos de valores para las propiedades tanto de los apoyos elastoméricos normales como de los dispositivos especiales y, salvo que se justifique adecuadamente, se efectuarán dos cálculos: uno, correspondiente a los valores máximos, que en general dará lugar a los máximos esfuerzos en tablero y subestructura, y otro, correspondiente a los valores mínimos, que en general dará lugar a los máximos desplazamientos del tablero y del sistema de aislamiento.

En el caso de los apoyos elastoméricos normales, podrán considerarse como valor máximo y mínimo del módulo de elasticidad transversal los siguientes:

$$G_{b,\min} = 0,9 G \quad (7.9)$$

$$G_{b,\max} = 1,65 G \quad (7.10)$$

siendo G el módulo de elasticidad transversal convencional aparente del elastómero.

Los criterios de comprobación establecidos en esta norma deberán cumplirse para los resultados obtenidos con ambos conjuntos de valores.

Debido a la importancia que la capacidad de desplazamiento del sistema de aislamiento tiene en la seguridad de la estructura, los elementos del sistema deberán dimensionarse para permitir unos desplazamientos incrementados en un 50% respecto a los desplazamientos totales en situación sísmica y para resistir las fuerzas correspondientes.

Los dispositivos especiales deben ser sometidos a pruebas adecuadas para comprobar su funcionamiento bajo los desplazamientos de cálculo y las fuerzas correspondientes. Dichas pruebas se basarán en normas vigentes de ámbito nacional o internacional.

Comentarios

C.7.1. Juntas de tablero

La comprobación de la funcionalidad de las juntas es necesario efectuarla para la situación de sismo frecuente de cálculo, con el objeto de poder mantener el tráfico después de un evento de estas características. Sin embargo, como se indica en la Tabla 5.1, el cálculo de la estructura bajo la acción del sismo frecuente sólo se exige en determinados casos (cuando para el sismo último se haya previsto un comportamiento dúctil). Por ello, en el articulado, se da una forma simplificada de obtener el desplazamiento debido al sismo frecuente de cálculo $d_{E,f}$ como una fracción del correspondiente al sismo último de cálculo ($d_{E,f} = 0,4 d_E$).

Por otro lado, para obtener el desplazamiento total hay que considerar también una fracción del desplazamiento debido a la acción térmica que se considere que puede actuar simultáneamente con el sismo frecuente. A falta de una justificación adecuada, podrá adoptarse un valor $\alpha = 0,5$.

C.7.2. Entregas mínimas

La longitud L en la expresión (7.4) representa la distancia entre el extremo del tablero, en el cual se está determinando la longitud de entrega necesaria, y el

punto del tablero en el cual exista una conexión fija a la subestructura. Esta conexión pila-tablero puede ser un empotramiento, un apoyo fijo en la dirección longitudinal, etc. Si el tablero tiene este tipo de conexión fija en más de una pila, la longitud L se podrá tomar igual a la distancia entre el estribo y el punto medio del grupo de pilas.

El factor Ψ_2 en la expresión (7.6) podrá tomarse con valor el $\Psi_2 = 0,2$ salvo que se indique otra cosa en la normativa pertinente.

Se denomina holgura s de un conector sísmico al desplazamiento necesario para que dicho conector entre en funcionamiento.

C.7.3. Aparatos de apoyo

C.7.3.1. Aparatos de apoyo fijos

C.7.3.2. Aparatos de apoyo móviles

C.7.3.3. Aparatos de apoyo elastoméricos

A los efectos de la aplicación de esta Norma, se denominan apoyos elastoméricos normales a los que cumplen las siguientes condiciones:

— Amortiguamiento viscoso equivalente:

$$\zeta = 0,05 (\pm 20\%)$$

— Factor de forma:

$$10 \leq S \leq 15$$

S es el factor de forma de la capa elastomérica relevante, definido como el cociente entre el área comprimida efectiva y el área lateral con libertad de deformación, es decir:

para apoyos rectangulares:

$$S = \frac{b_x b_y}{2(b_x + b_y) t_i}$$

para apoyos circulares:

$$S = \frac{D}{4 t_i}$$

donde t_i es el espesor de las capas elastoméricas.

— Módulo de rigidez correspondiente a una deformación de 2,0 no alterado por ensayos previos de amplitud comparable con el desplazamiento de cálculo: $G = 1,0 \text{ MPa } (\pm 15\%)$:

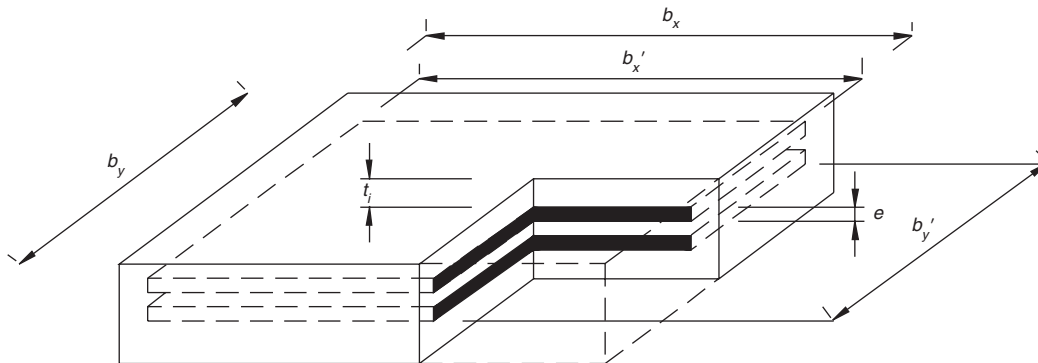


Figura C.7.1. Apoyo elastomérico armado

Los apoyos elastoméricos que no cumplan alguna de estas condiciones se consideran especiales.

C.7.4. Dispositivos de anclaje vertical

C.7.5. Conectores sísmicos

Algunos tipos de conectores sísmicos pueden no ser válidos en el caso de puentes con acciones horizontales importantes de origen no sísmico o que tengan limitaciones especiales frente a desplazamientos horizontales, como puede ocurrir en puentes de ferrocarril.

C.7.6. Sistemas de aislamiento sísmico

Algunos dispositivos especiales tendrán comportamientos muy distintos bajo la acción del sismo último y del sismo frecuente. El sismo frecuente puede tener mucha influencia en la elección del dispositivo

especial, particularmente en puentes de ferrocarril donde la operatividad del puente después del sismo de servicio tiene que estar garantizada. En general, es imprescindible estudiar el comportamiento del puente equipado con dispositivos especiales bajo cargas no sísmicas como son las de frenado o de viento con modelos de cálculos adecuados.

El objetivo principal de dimensionar el sistema de aislamiento para el desplazamiento total en situación sísmica incrementado en un 50% es cubrir la incertidumbre inherente al espectro de respuesta en cuanto al contenido en frecuencias. Los puentes equipados con dispositivos de aislamiento suelen mostrar gran dependencia de dicho contenido y para aumentar el nivel de seguridad se exige el funcionamiento de dichos dispositivos bajo los desplazamientos incrementados y con las fuerzas correspondientes. Mientras que la determinación de dichas fuerzas en el caso de apoyos elastoméricos normales no presenta ningún problema, en el caso de dispositivos especiales, la complejidad de la ley de comportamiento complicará en general dicha tarea.