

### 6.3.1.3 En situación sísmica

La combinación de acciones en situación sísmica se hará de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} G_{k,m}^* + \psi_{2,1} Q_{k,1} + A_{Ed}$$

donde:

- $G_{k,j}$  valor representativo de cada acción permanente
- $G_{k,m}^*$  valor representativo de cada acción permanente de valor no constante
- $\psi_{2,1} Q_{k,1}$  valor casi-permanente de la sobrecarga de uso (según *tabla 6.1-a*)
- $A_{Ed}$  valor de cálculo de la acción sísmica

### 6.3.2 COMBINACIONES PARA COMPROBACIONES EN ELS

Según el estado límite de servicio que se vaya a verificar, se adoptará uno de los tres tipos de combinación de acciones indicados a continuación.

- Combinación característica (poco probable o rara):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación, que coincide formalmente con la combinación fundamental de ELU, se utiliza en general para la verificación de ELS irreversibles.

- Combinación frecuente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \gamma_{Q,1} \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación se utiliza en general para la verificación de ELS reversibles.

- Combinación casi-permanente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{m \geq 1} \gamma_{G,m} G_{k,m}^* + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Esta combinación se utiliza también para la verificación de algunos ELS reversibles y para la evaluación de los efectos diferidos.

Serán también de aplicación las prescripciones recogidas en el *apartado 6.3.1.1*.

## 7 CRITERIOS PARA LA COMPROBACIÓN DE LOS ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

### 7.1 CRITERIOS FUNCIONALES RELATIVOS A FLECHAS

#### 7.1.1 ESTADO LÍMITE DE DEFORMACIONES

Se deberá verificar que la flecha vertical máxima correspondiente al valor frecuente de la sobrecarga de uso no supera los valores siguientes:

$L / 1000$  en puentes de carretera

$L / 1200$  en pasarelas o en puentes con zonas peatonales

siendo  $L$  la luz del vano.

En tableros suspendidos o atirantados, arcos de tablero inferior o estructuras asimilables, deberá tomarse como  $L$  la distancia entre puntos de inflexión de la deformada para la hipótesis de carga considerada.

Podrán admitirse valores ligeramente superiores a los valores límite anteriores si, mediante un estudio del comportamiento dinámico de la estructura, se comprueba que la amplificación de las deformaciones estáticas y el nivel de vibraciones del tablero, bajo el paso de sobrecargas móviles, se mantienen dentro de los valores admisibles (ver *apartado 7.2*).

En tableros con voladizos laterales importantes, o con flexibilidad transversal en secciones coincidentes con juntas de dilatación, se deberá comprobar que la flecha vertical máxima en la sección transversal de junta, bajo la actuación de la sobrecarga de uso frecuente, es menor que 5 mm o que el valor límite especificado por el fabricante de la junta.

#### 7.1.2 CONTRAFLECHAS DE EJECUCIÓN

En puentes metálicos y mixtos, y en puentes de hormigón con luces importantes o montajes evolutivos, así como en aquellos casos en los que se produzcan deformaciones instantáneas o diferidas que puedan afectar a la apariencia o a la funcionalidad de la estructura, el proyecto deberá definir unas contraflechas

de ejecución tales que, para la totalidad de la carga permanente y la mitad de los efectos reológicos, la geometría de la estructura se ajuste al máximo a la rasante teórica de proyecto.

Las contraflechas de ejecución serán en general verticales aunque en ciertos casos puede ser necesario definir, además, contraflechas horizontales o contragiros transversales de la sección (en puentes curvos, por ejemplo).

En las secciones de apoyo y en las secciones de unión entre tramos de montajes evolutivos, el proyecto deberá definir los contragiros de ejecución que permitan garantizar, respectivamente, la adecuada nivelación de los aparatos de apoyo y sus cuñas y la correcta ejecución de las uniones, soldadas o atornilladas, entre tramos.

El proyecto definirá las distintas fases de montaje y puesta en carga de la estructura para las que se han obtenido las contraflechas y contragiros de ejecución. Cualquier variación del proceso o secuencias de montaje, respecto de lo establecido en proyecto, exigirá una nueva evaluación de las citadas contraflechas y contragiros.

Las deformaciones parásitas debidas al soldeo, en puentes metálicos y mixtos, o a las condiciones reales de ejecución del puente, deberán contrarrestarse mediante el seguimiento y adopción de medidas correctoras, durante las diferentes fases de ejecución, para minimizar las desviaciones de la geometría final (longitudinal y transversal) de la estructura respecto de la rasante teórica de proyecto.

Se comprobará que, bajo la actuación de la totalidad de las cargas permanentes y de las deformaciones diferidas, la geometría final del puente será tal que no se producen zonas de acumulación de agua, teniendo en cuenta el sistema de drenaje proyectado para la plataforma.

## 7.2 CRITERIOS FUNCIONALES RELATIVOS A VIBRACIONES

En este apartado se recogen los criterios de confort a tener en cuenta en el proyecto de pasarelas y puentes con zonas peatonales, en relación con las vibraciones producidas por el tráfico.

Queda fuera del ámbito de este apartado el estudio de los efectos dinámicos inducidos por el viento en tableros, cables, péndolas, etc. En el caso de elementos cuya seguridad resistente o a fatiga pueda ser sensible a estos efectos, su comprobación se efectuará en el marco de la verificación de los estados límite últimos.

En general, se considerará verificado el estado límite de servicio de vibraciones cuando las aceleraciones máximas que puedan producirse en cualquier zona transitada por peatones no superen ciertos valores límite.

En tableros con voladizos laterales esbeltos, además del comportamiento dinámico general de la estructura, será necesario tener también en cuenta el comportamiento local de los voladizos y la posible interacción entre ambos.

Para los análisis dinámicos de puentes y pasarelas en condiciones de servicio, se adoptarán, salvo justificación específica alternativa, los valores medios del índice de amortiguamiento que figuran en la *tabla 4.2-g*.

### 7.2.1 ESTADO LÍMITE DE VIBRACIONES EN PUENTES CON ZONAS PEATONALES

En general, con las salvedades indicadas en este apartado, se considerará verificado el estado límite de servicio de vibraciones si se cumple el criterio de limitación de las flechas verticales establecido en el *apartado 7.1.1*.

Será necesario comprobar mediante estudios dinámicos el nivel de vibraciones en puentes de carretera con zonas peatonales, en los siguientes casos:

- Cuando se proyecten tableros en los que no se satisface el estado límite de deformaciones según el *apartado 7.1.1*
- Aunque cumplan el estado límite de deformaciones según el *apartado 7.1.1*:
  - en puentes urbanos con condiciones de tráfico peatonal intenso
  - en puentes con voladizos laterales transitables esbeltos
  - en puentes de tipologías estructurales singulares o nuevos materiales

En estos casos se comprobará, mediante un análisis dinámico, que la aceleración vertical máxima bajo el paso de un camión de 400 kN de peso sobre la plataforma, a distintas velocidades: de 20 a 80 km/h con incrementos de 10 en 10 km/h, no supere los valores límite, función del nivel de confort exigido, que se establecen para el caso de pasarelas.

En el caso de tableros de puentes con voladizos laterales esbeltos sometidos a tráfico peatonal intenso, se deberán asimismo cumplir los límites de confort establecidos para las pasarelas bajo los efectos inducidos por el tráfico peatonal según el *apartado 7.2.2*.

**7.2.2 ESTADO LÍMITE DE VIBRACIONES EN PASARELAS PEATONALES**

En general, con las salvedades indicadas en este apartado, se considerará verificado el estado límite de servicio de vibraciones en pasarelas peatonales si sus frecuencias naturales se sitúan fuera de los dos rangos que figuran a continuación:

- Rango crítico para vibraciones verticales y longitudinales: de 1,25 a 4,60 Hz
- Rango crítico para vibraciones laterales: de 0,50 a 1,20 Hz

En aquellas pasarelas cuyas frecuencias naturales se encuentren dentro de estos rangos, será necesario efectuar estudios dinámicos específicos para asegurar los requisitos de confort de los peatones.

En cualquier caso, con independencia del valor de las frecuencias naturales, también será necesario comprobar mediante estudios dinámicos la adecuada respuesta vibratoria de las pasarelas cuando se produzca alguna de las circunstancias siguientes:

- Luz superior a 50 m
- Anchura útil superior a 3,0 m
- Tipología estructural singular o nuevos materiales
- Ubicación en zona urbana donde sea previsible un tráfico intenso de peatones o exista riesgo de concentración de personas sobre la propia pasarela

Los requisitos de confort se establecerán en el proyecto de forma razonada en función de la categoría de la pasarela (zona urbana con tráfico peatonal intenso, uso medio, baja utilización en zona rural, etc.) y de la situación de proyecto considerada (tipo de tráfico peatonal asociado a su probabilidad de ocurrencia). Como referencia, podrán adoptarse los valores límite de aceleraciones que figuran en la tabla siguiente.

*Tabla 7.2-a Valores de referencia de aceleraciones para el confort de los peatones*

| Grado de confort | Rangos de aceleraciones      |                              |
|------------------|------------------------------|------------------------------|
|                  | Verticales                   | Laterales                    |
| Máximo           | < 0,50 m/s <sup>2</sup>      | < 0,10 m/s <sup>2</sup>      |
| Medio            | 0,50 a 1,00 m/s <sup>2</sup> | 0,10 a 0,30 m/s <sup>2</sup> |
| Mínimo           | 1,00 a 2,50 m/s <sup>2</sup> | 0,30 a 0,80 m/s <sup>2</sup> |
| No aceptable     | >2,50 m/s <sup>2</sup>       | > 0,80 m/s <sup>2</sup>      |

Los modelos de carga dinámica considerados deberán ser representativos de las condiciones de tráfico previstas para las distintas situaciones de proyecto analizadas, contemplando la densidad de los flujos peatonales, el ritmo de sus movimientos, la sincronización entre peatones, etc.

**8 PRUEBAS DE CARGA**

Todo puente proyectado de acuerdo con esta Instrucción deberá ser sometido a pruebas de carga antes de su puesta en servicio, según lo indicado en el preceptivo anejo que sobre la materia incluirá todo proyecto aprobado por la Dirección General de Carreteras.

Tales pruebas de carga podrán ser estáticas o dinámicas. Las primeras serán obligatorias para aquellas obras en que alguno de sus vanos tenga una luz igual o superior a 12 m (medida entre ejes de apoyos del tablero o, para estructuras tipo marco, entre paramentos vistos de hastiales). Para luces inferiores, se podrá decidir la realización de la prueba en función de las circunstancias específicas de la estructura.

En caso de ser necesario, el proyecto de la prueba de carga será revisado y adaptado una vez finalizada la construcción del puente, para tener en cuenta los medios de carga realmente disponibles, así como para recoger en la modelización de la estructura, si fuera oportuno, las variaciones que se hayan podido producir con respecto a lo inicialmente considerado en el proyecto.

Las pruebas de carga dinámicas serán preceptivas, y así quedará recogido en el proyecto, en puentes de luces superiores a 60 m o en aquéllos cuyo diseño sea inusual, se utilicen nuevos materiales o contengan zonas de tránsito peatonal en las que se prevea que las vibraciones pueden causar molestias a los usuarios. En estos casos, en el proyecto se determinarán los parámetros dinámicos estructurales (modos principales de vibración y sus frecuencias correspondientes).

En pasarelas, las pruebas de carga dinámicas serán preceptivas cuando, de acuerdo con lo indicado en el apartado 7.2.2 de esta Instrucción, sea necesario efectuar en el proyecto un estudio específico que contemple las sollicitaciones dinámicas ejercidas por los peatones. En estos casos, además de dicho estudio, el proyecto de la pasarela incluirá el proyecto de prueba de carga dinámica (parámetros dinámicos estructurales, casos de carga, puntos de medida y valores esperados).