



Definición

Una pasarela es una estructura para el paso principalmente de peatones y bicicletas, y en la que está prohibida la circulación de vehículos.



Criterios a considerar en el diseño

Estéticos

Las pasarelas deben de integrarse en el entorno que las rodea y, en lo posible, poseerán características agradables al usuario.



Criterios a considerar en el diseño

Durabilidad

La vida útil de las pasarelas se establecerá como mínimo en 50 años, salvo justificación expresa. El proyecto debe considerar que ésta ha de alcanzarse minimizando los costos de conservación con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.



Criterios a considerar en el diseño

Funcionales

Será necesario especificar qué tipo de tránsito debe soportar. En general, las pasarelas están destinadas al uso de peatones y de ciclistas. Sin embargo, en algunas ocasiones, es necesario el paso de vehículos de emergencias o de mantenimiento.



Pasarela ciclista en Guayaquil, Ecuador.



Pasarela de los Jabegotes en Malaga, España.

Criterios a considerar en el diseño

Funcionales

La altura de las barandas será distinta en función de los usuarios de la pasarela. Será de 1.15 m para peatones, mientras que deberá elevarse hasta 1.25 m si el camino está previsto también para uso ciclista.

Es recomendable que el pavimento de la pasarela tenga una rugosidad adecuada, siendo esencial para los casos en que exista un tráfico ciclista o vehículo de mantenimiento.

Categoría	Empleo	Ancho libre mínimo (m)	Mín. altura libre sobre la pasarela (m)	Acceso vehículo de emergencia (m)
Ancha	Peatones y ciclistas (alta densidad de tráfico)	4.50	3.00	Si
Normal	Peatones y ciclistas (densidad media de tráfico)	3.50	3.00	Si
Estrecha	Peatones y ciclistas (baja densidad de tráfico)	2.50	2.20	No

Criterios a considerar en el diseño

Funcionales

En el caso de cruces sobre otras vías, ferrocarriles, cauces, etc., se deberá preservar un gálibo mínimo de acuerdo a los criterios establecidos por los organismos administrativos competentes.



Pasarela sobre vía férrea en Cerdanyola del Valle, España.



Pasarela Santa Ana en Ruta 5 de Argentina.

Criterios a considerar en el diseño

Económicos

No solo hay que considerar el costo de la estructura, sino también el del mantenimiento necesario y su frecuencia, así como la posibilidad real de su realización.



Medioambientales

Durante la fase de diseño de la infraestructura se preverá la minimización del impacto (final y de ejecución).



Cálculo

Normativa

Acciones:

- Norma IAP-11, Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera. En ella se contemplan las acciones para pasarelas peatonales, ciclistas, etc.
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- AASHTO FRP Pedestrian Bridge Specification.

Pasarelas metálicas:

- Instrucción de Acero Estructural EAE-11. Para las pasarelas metálicas de acero laminado.
- Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero.

Pasarelas de hormigón:

- Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Para las estructuras de hormigón armado en general.
- Eurocódigo 2. Proyecto de estructuras de hormigón.

Cálculo

Normativa

Pasarelas mixtas:

- Eurocódigo 4. Proyecto de estructuras mixtas.
- Recomendaciones para el proyecto de puentes mixtos para carreteras RPX-95. Para las pasarelas mixtas (acero y hormigón).

Pasarelas de madera:

- Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes.

Cálculo

Acciones de cálculo

Acciones permanentes

Las acciones permanentes son las acciones que forman parte de los distintos elementos de la pasarela.

Existen dos tipos:

- el peso propio del elemento resistente.
- las cargas muertas de los elementos anexos que no constituyen la estructura (como pavimentos, barandillas, desagües, etc.).



Cálculo

Acciones de cálculo

Sobrecarga de uso (SCU)

Según el IAP-11, los efectos estáticos de la SCU debida al tráfico de peatones, se considerará la acción simultánea de:

- A. Una **carga vertical uniformemente distribuida** de valor igual a **5 kN/m²** en toda la superficie o en parte de ella, **según la condición más desfavorable**.
- B. Una **carga horizontal de valor máximo** igual al **10% de la carga uniformemente distribuida**, actuando **en el eje del tablero y a nivel de la superficie del pavimento**.

Ambas cargas A) y B) se consideran como una carga única, de valor característico de SCU cuando se combina con otro tipo de cargas.

Cálculo

Acciones de cálculo

Sobrecarga de uso



Sobrecarga de 2.5 kPa.



Sobrecarga de 5.0 kPa.



Sobrecarga de 7.5 kPa.

El Eurocódigo EN 1991-2-2003 considera las mismas cargas mencionadas anteriormente, pero establece una reducción de la sobrecarga para tramos cargados de longitudes mayores de 10 metros, salvo en los casos en que se prevean aglomeraciones extraordinarias, donde se deberán mantener los 5 kN/m².

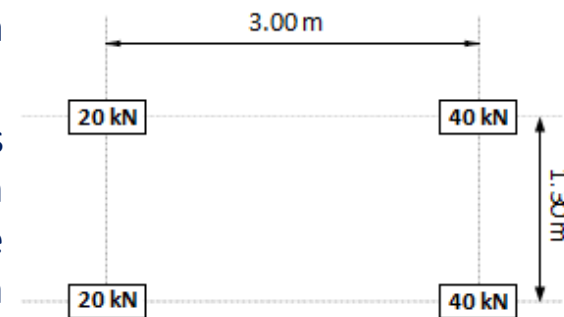
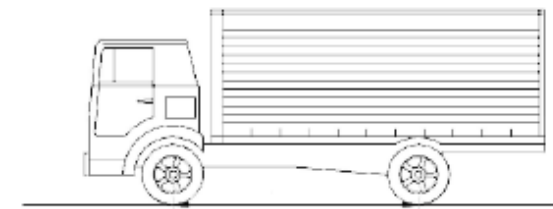
Cálculo

Acciones de cálculo

Sobrecarga de uso

El EN 1991-2-2003 contempla para el cálculo, si no está impedido el tránsito de vehículos, la existencia de un **vehículo como carga de tipo accidental** compuesto por dos ejes separados longitudinalmente 3.00 m. El primer eje lleva una carga de 40 kN y el segundo 80 kN verticales.

Las ruedas, dentro de cada eje, están separadas transversalmente 1.30 m. Éstas se consideran cuadradas de 0.20 m de lado. Con esta carga se asocia una fuerza de frenado igual al 60% de la carga vertical.



Camión de mantenimiento.

Cálculo

Acciones de cálculo

Acciones en las barandas

La definición de las fuerzas a transmitir de la baranda al tablero está sujeta a si es previsible la formación de aglomeraciones de personas o no. En puentes y pasarelas, se considerará una fuerza horizontal sobre el borde superior del elemento de 1.5 kN/m . Se considerará actuando en forma simultánea con la sobrecarga de uso.



Cálculo

Acciones de cálculo

Viento

El efecto del viento se asimila a una carga estática equivalente, salvo que sea necesario considerar efectos dinámicos.

Este método simplificado calcula los empujes en función de la altura a la que están los diferentes componentes de la estructura, el tipo de rugosidad del entorno y la velocidad básica del viento y las áreas involucradas.



Cálculo

Acciones de cálculo

Viento

No será necesario comprobar los efectos dinámicos en las pasarelas que cumplan simultáneamente las tres condiciones siguientes:

- Luz inferior a 100 m.
- Luz efectiva (máxima distancia entre puntos de momento flector nulo bajo la acción del peso propio) menor que 30 veces el canto.
- Ancho del tablero superior a $1/10$ de la distancia entre puntos de momento transversal nulo bajo la acción del viento transversal.

Aunque no se cumpla alguna de las tres condiciones, tampoco será necesario comprobar los efectos dinámicos en pasarelas en los que concurran las dos circunstancias siguientes:

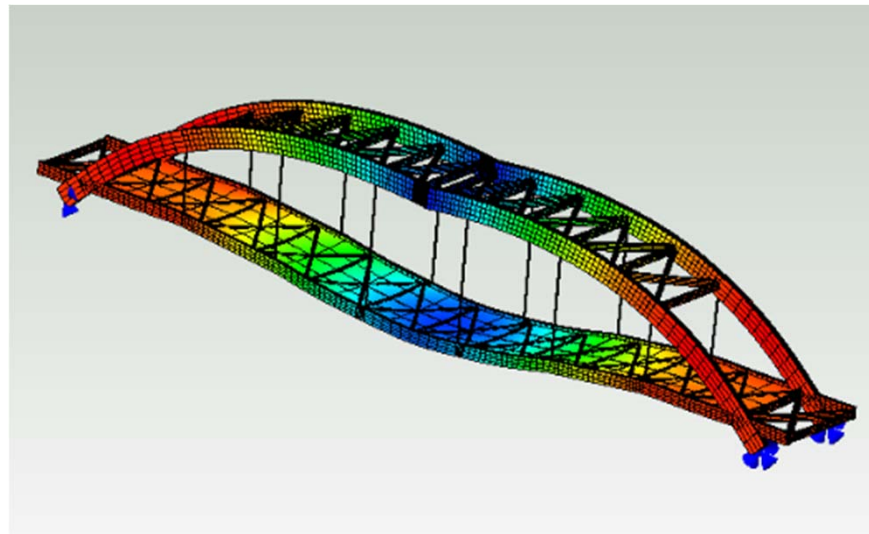
- Luz menor de 80 m.
- Frecuencia fundamental de flexión vertical mayor de 2 Hz.

Cálculo

Acciones de cálculo

Viento

Los análisis dinámicos y vibratorios incluyen la determinación de los modos de vibración, frecuencia natural, riesgo de resonancia, deformaciones y esfuerzos periódicos. Los valores obtenidos deben estar en consonancia con las normas aplicables.



Cálculo

Acciones de cálculo

Viento

El empuje producido por el viento se calculará por separado para cada elemento:

- El área expuesta al viento del elemento puede resultar modificada por la materialización de otras acciones actuando en la estructura (nieve, sobrecargas de uso, etc.). Para la SCU equivale a un área expuesta cuya altura se considerará igual a 1.25 m medida desde la superficie del pavimento.
- En situaciones transitorias, algunos elementos pueden presentar superficies de exposición al viento diferentes a las definitivas.

El empuje de viento se aplicará sobre el centro de gravedad del área de referencia del elemento, que es la proyección del área sólida expuesta sobre el plano perpendicular a la dirección del viento.

Cálculo

Acciones de cálculo

Acciones térmicas

En el proyecto se justificará la necesidad o no de considerar estas acciones. En las pasarelas de madera no se considerará el efecto de la temperatura sobre la estructura.

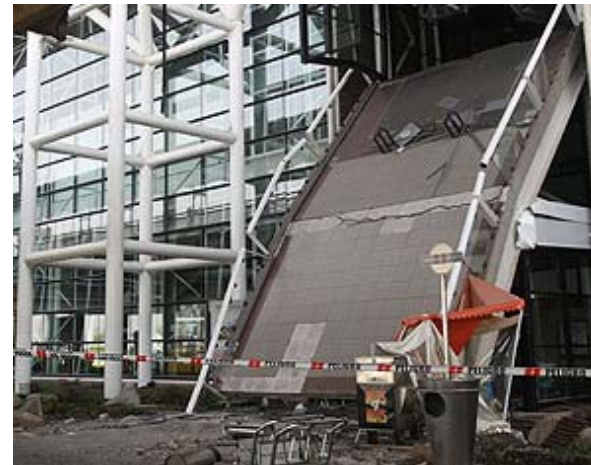


Acciones de nieve

En nuestro país no aplica.

Acciones sísmicas

En nuestro país no aplica.

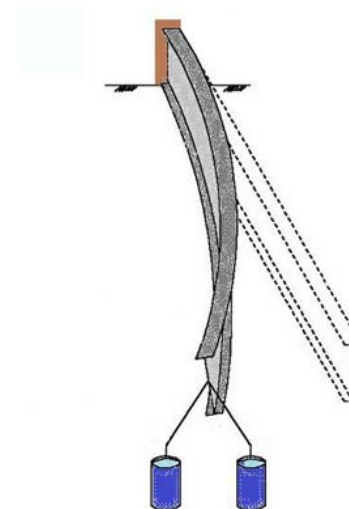
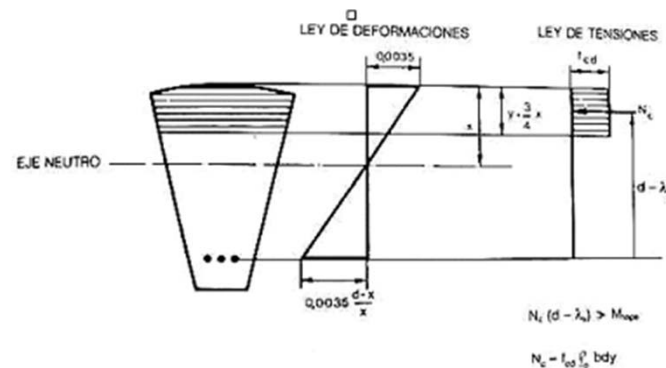


Cálculo

Estados Límites Últimos (ELU)

En la comprobación de los ELU, se deberá incluir:

- La comprobación del agotamiento de las secciones por tensiones.
- La estabilidad local o global de la estructura. Se incluirá el estudio no lineal en elementos como son las pilas frente al pandeo a compresión, o las vigas frente al pandeo lateral por flexión.
- Análisis de las uniones.



Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

En una pasarela peatonal las deformaciones deben estudiarse en detalle así como la posible aparición de vibraciones, ya que aunque no sean peligrosas pueden transmitir sensación de inseguridad en los usuarios.

ELS de Deformaciones

Pasarelas de madera

La norma EN 1995-2 específica que la flecha máxima se debe encontrar entre los valores $L/200$ y $L/400$, siendo L la luz del elemento.

Pasarelas metálicas

Según la EAE-11 y la RPX-95, se recomienda dotar de contraflecha para la carga permanente y la mitad de los esfuerzos reológicos. La flecha correspondiente a la parte de sobrecarga de combinación frecuente será igual o menor que $L/1200$ en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles.

Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

ELS de Vibraciones

Las pasarelas suelen ser estructuras esbeltas y flexibles que propician la aparición de problemas de vibraciones inducidas por maquinarias, movimientos sincronizados de gente (andando, corriendo, bailando o saltando) o vibraciones del terreno adyacente (inducidas por tráfico en las proximidades, por ejemplo).

En general, la frecuencia natural de las vibraciones de la estructura deberá ser mayor que los valores que dependen de la fuente de vibración, para evitar fenómenos de resonancia.



*Puente de la Constitución en el Gran Canal de Venecia, Italia.
Arquitecto: S. Calatrava.*

Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

ELS de Vibraciones

En la mayoría de los casos, la cadencia de paso en:

- Peatones andando o corriendo suavemente tiene una frecuencia de 2 Hz.
- Peatones corriendo a cierta velocidad puede alcanzar los 3.50 Hz.

En general, se considerará verificado el ELS de vibraciones en pasarelas peatonales si sus frecuencias naturales se sitúan fuera de los dos rangos siguientes:

- 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.

De lo contrario, se deben realizar **estudios dinámicos**.

Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

ELS de Vibraciones

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

- Luz superior a 50 m.
- Ancho 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.

Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

ELS de Vibraciones

Las pasarelas de hormigón armado y/o pretensado, al igual que las de madera, no suelen tener problemas por vibraciones.



¿POR QUÉ?



Cálculo

Estados Límites de Servicio (ELS)

ELS de Vibraciones

Las modernas pasarelas metálicas y mixtas pueden tardar mucho tiempo en amortiguar las vibraciones y eso puede suponer un inconveniente para los usuarios.

Si los controles vibratorios efectuados no resultan satisfactorios, puede ser necesario recurrir a ciertas regulaciones del uso de la pasarela, o a proyectar dispositivos específicos de amortiguación.



VER VIDEO

*Millenium Bridge en Londres.
Arquitectos: N. Foster, K. Shuttleworth.*



Protecciones

El diseño suele ser el factor determinante en la durabilidad de las pasarelas. De forma general, se intenta reducir la exposición de los elementos a la intemperie, especialmente a la radiación solar, la humedad y la corrosión, que son los factores más dañinos.

Una solución que se puede aplicar, es el cubrimiento de la pasarela. Como inconveniente de esa incorporación, hay que considerar las cargas adicionales de viento, uso y nieve en la cubierta añadida, que incrementan el peso y el costo.



Pasarela sobre autopista SE30 en Sevilla, España.

Protecciones

Pasarelas de madera

El cambio de humedad en la madera tiene como consecuencia la aparición de hinchazones o contracciones con abertura de grietas, lo que produce la correspondiente disminución de su resistencia.

Medidas de protección:

- Protección química.
- Utilizar madera más resistente para los elementos estructurales principales.
- Proyectar las uniones de forma que no exista retención de humedad (aireación).
- Proteger las testas de las piezas.
- Colocar los elementos metálicos de unión en el lado protegido siempre que sea posible.
- Dejar voladizos en la plataforma de forma que la estructura quede protegida.



Protecciones

Pasarelas metálicas

En las estructuras metálicas, la corrosión es el daño más frecuente. Para protegerlas de la corrosión, se utilizan ciertos tipos especiales de pintura o tratamientos especiales (galvanizado, aceros inoxidable, aceros corten, etc.).

La protección contra la corrosión empieza en el proyecto, donde se fija la correcta protección y evacuación del agua. El efecto conjunto de la falta de limpieza y la humedad ambiental acelera la corrosión en zonas angostas, como son las uniones y los apoyos. Por ejemplo, este factor hace que con el paso del tiempo los apoyos deslizantes dejen de funcionar.



Bibliografía

- IAP-11: Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de carreteras.
- Obras de paso de nueva construcción – Conceptos generales. Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de España.
- AASHTO FRP Pedestrian Bridge Specification.
- Eurocódigo 1. Acciones en estructuras.
- Instrucción de Acero Estructural EAE-11.
- Pasarelas Peatonales. Caminos Naturales.
- Pasarelas peatonales urbanas. José Antonio González Meijide, Jesús José Corbal Álvarez y Guillermo Capellán Miguel.