

# PECULIARIDADES EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS TRANSVERSALES A LA TRAZA

Florencio J. del Pozo Vindel - José M<sup>º</sup> Arrieta Torrealba  
PROES, S.A. y UPM

## Introducción

**E**n el presente artículo se consideran los pasos superiores de carretera sobre otra carretera. Las características fundamentales de estos pasos son las siguientes:

- Las luces suelen ser relativamente pequeñas, no superando en general los 35 m y siendo bastante inferiores en la mayoría de los casos.
- Existe un tráfico inferior de automóviles que permite la observación de la estructura por parte de los usuarios desde un punto de vista inferior a la misma y a una distancia reducida.
- El paso superior produce una discontinuidad en la traza inferior que se percibe como un obstáculo de la misma.

Además de lo anterior, en el proceso de diseño de este tipo de estructuras hay que considerar los siguientes condicionantes:

- **De trazado.** Hay que tener en cuenta tanto el trazado de la vía superior, como el de la inferior. El de la vía superior condiciona fundamentalmente el ancho de la estructura, mientras el de la vía inferior define los gálibos horizontales y verticales exigidos, las luces y las necesidades de desagüe. Independientemente de lo anterior, existen otras características de trazado que deben ser consideradas en el diseño de este tipo de estructuras, como la geometría en planta y en alzado, el esviaje, la anchura de las medianas, los peraltes, la situación en desmante o terraplén, los posibles carriles de incorporación, etcétera. Por lo que respecta al desagüe, se debe diseñar evitando el vertido directo de las aguas sobre la vía inferior y el posible chorreo en los paramentos, que afecta en gran medida a la durabilidad y a la estética de la estructura.
- **Geotécnicos.** Pueden limitar las luces máximas de los vanos a fin de disminuir las cargas sobre los apoyos y, en cualquier caso, condicionan el tipo de cimentación y las posibles acciones debidas a asentamientos diferenciales.

- **Constructivos.** El diseño de cualquier estructura se encuentra fuertemente ligado al proceso constructivo previsto. Entre las circunstancias que pueden condicionar dicho proceso se encuentra la posible necesidad de mantener el tráfico inferior durante la construcción y la viabilidad de ejecución de desvíos provisionales del mismo.
- **Económicos.** Este condicionante resulta fundamental en cualquier obra de ingeniería y, salvo circunstancias especiales, debe ser tenido en cuenta a la hora del diseño. Entre los costes a considerar deben incluirse no sólo los de implantación de la nueva obra, sino también los de conservación y mantenimiento.
- **Estéticos.** Las características específicas de este tipo de puentes hacen que los aspectos estéticos deban ser tenidos en consideración de forma fundamental. Aunque la estética es subjetiva, deberían tenerse en cuenta aspectos como la integración en el entorno, el obstáculo visual, los acabados (calidad de terminación, color, texturas...) o la esbeltez. Un aspecto específico de este tipo de estructura es su repetición a lo largo de la traza, por lo que puede ser interesante dotarlas de algún elemento individualizador que las distinga para evitar la monotonía.
- **Medioambientales.** En este aspecto habrá que considerar las posibles medidas correctoras en el entorno de la estructura, para minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Los materiales típicos empleados en el proyecto de pasos superiores son el hormigón armado o pretensado y los propios de estructuras mixtas. Aunque se han construido realizaciones experimentales con nuevos materiales (compuestos, hormigón ultrarresistente, etcétera), en la actualidad no parece que dichos materiales deban ser considerados, salvo casos excepcionales.

## Tipologías

Lo que define la tipología de este tipo de estructuras es fundamentalmente el tablero y su vinculación a la subestructura. Conviene distinguir, dentro de este apartado, la tipología o esquema resistente longitudinal y la transversal.

### Tipología longitudinal

Aunque existen realizaciones concretas de tipologías no convencionales, como arcos, puentes atirantados, colgantes, etcétera, lo habitual es el empleo de tableros de tramo recto que, dependiendo de su vinculación con la subestructura, se pueden considerar vigas continuas o pórticos, con pilas rectas o inclinadas. En general, la rigidez de la subestructura suele ser mucho menor que la del tablero, por lo que, en la mayoría de los casos, a efectos de diseño del mismo, se puede considerar que su funcionamiento estructural corresponde básicamente al de vigas continuas.

El número de vanos suele estar comprendido entre uno y cuatro. El caso más habitual corresponde a tres o cuatro vanos, siendo en general preferible desde un punto de vista estético el de tres vanos, aunque resulta en general más costoso que el de cuatro, por lo que si es posible el apoyo en la mediana de la vía inferior, se suele recurrir al mismo.

Se pueden diseñar tableros de canto constante o de canto variable y, en este segundo caso, con variación continua o acartelada. En general, se emplean los puentes de canto variable para las luces mayores, con el objeto de mejorar su funcionamiento estructural y el aspecto estético, disminuyendo el impacto visual en el centro de la luz, que es la zona que más influencia tiene en el mismo.

Los vanos extremos de los tableros continuos deben tener una luz entre 0,50 y 0,85 de la luz de los vanos centrales, para evitar que se produzca levantamiento en los apoyos en estribos. En caso de querer diseñar vanos laterales más reducidos, resulta necesario el anclaje del tablero a los estribos, que se suele materializar mediante cables de pretensado vertical, aunque existen soluciones como las de apoyo inverso (figura 1), que mejoran la conservación y mantenimiento de la estructura, facilitando la sustitución de los apoyos.



## DISEÑO Y CONCEPCIÓN DE PUENTES DE CARRETERA

ESTÉTICA, EFICIENCIA E INNOVACIÓN

Para evitar la disposición de aparatos de apoyo, cuya vida útil suele resultar muy inferior a la de la estructura y que, por lo tanto, requiere la previsión de su sustitución, se pueden emplear soluciones integrales o semiintegrales.

Como ya se ha comentado, en un paso superior, el punto de vista fundamental es el del conductor de un vehículo que, circulando por la vía inferior, va a pasar por debajo de la estructura. La altura a la que normalmente se sitúa ésta suele ser, por necesidades económicas, la mínima posible, por lo que en la mayoría de los casos el gálibo vertical suele ser estricto, entre 5 y 6 m. El punto de vista hace que un aspecto fundamental en la percepción de la estructura sea la relación entre el canto aparente de la misma y el hueco libre. El canto aparente incluye no sólo el de la propia estructura, sino también el de las posibles piezas opacas de borde que se disponen sobre ella. Cuando las luces son relativamente importantes, resulta imprescindible recurrir al canto variable para disminuir en lo posible la relación canto-gálibo.

Un aspecto importante en la percepción de este tipo de estructuras es la cercanía de los obstáculos (pilas o estribos) a la calzada. En este sentido, los estribos verticales a los lados de la calzada producen un efecto pared muy importante. También suele resultar conveniente no disponer pilas en la mediana y alejar las laterales de los arcones exteriores (figura 2). La forma de las pilas también afecta a su percepción por parte del conductor, siendo en general mejores las pilas circulares, o poligonales regulares, que las que tienen forma de tabique.



## Tipología transversal

En los tableros realizados mediante elementos prefabricados de hormigón, la sección transversal de las vigas habitualmente empleadas es la doble T o la artesa. En el caso de vanos isostáticos, las esbelteces (canto/luz) se sitúan normalmente entre  $1/15$  y  $1/18$ , incluyendo la losa en el canto. En el caso de vanos continuos, el tipo de elemento más habitual es la viga artesa, pudiéndose en esta tipología emplear elementos de canto variable (figura 3). La relación canto/luz en centro de vano suele situarse entre  $1/30$  y  $1/40$ , mientras en apoyos se utilizan relaciones comprendidas entre  $1/18$  y  $1/22$ . En los puentes continuos, a efectos del cálculo de la esbeltez de los vanos intermedios, se considera la luz del vano mayor; en los vanos extremos, se considera una luz ficticia un 20 por ciento superior.

Para los tableros de hormigón in situ, la sección transversal habitual corresponde a losa, que puede ser maciza o aligerada. En general, se utilizan aligeramientos cuando el canto es superior a 1,00 m y losas macizas cuando dicha magnitud es inferior a 0,80 m; en los casos intermedios, debe realizarse un estudio económico para el diseño de la sección. Lo más habitual son las secciones con núcleo central y voladizos y, en caso de existir, aligeramientos circulares, aunque se han empleado también secciones con fondo curvo que, aunque resultan menos eficaces y, por tanto, más costosas, mejoran la estética de la estructura.

En el caso de puentes con luces hasta 18,00 ó 20,00 m, se suele recurrir al hormigón armado, con esbelteces comprendidas entre  $1/15$  y  $1/20$ . Para luces superiores se suele emplear el hormi-



gón pretensado con esbelteces comprendidas entre  $1/22$  y  $1/30$  en el caso de canto constante. Si se trata de tableros de canto variable se utilizan esbelteces entre  $1/35$  y  $1/45$  en centro de vano, y entre  $1/18$  y  $1/22$  sobre apoyos.

Por lo que respecta a las estructuras mixtas, en estos casos se utilizan fundamentalmente secciones con vigas metálicas en doble T o en cajón. Las soluciones con vigas metálicas en doble T están muy poco extendidas en España, debido a los problemas de durabilidad, aunque su utilización es habitual en otros países, como Francia. Habitualmente, se emplea en este tipo de estructuras el canto constante y las esbelteces utilizadas son similares a las soluciones de hormigón pretensado.

## Procedimientos constructivos

El aspecto que determina, de forma fundamental, los procedimientos constructivos utilizados en este tipo de estructuras es la necesidad de mantener en servicio la vía inferior. Si no es necesario dar servicio a la vía inferior durante la construcción de la estructura y, dada la escasa altura a la que se sitúan los tableros habitualmente, se suele recurrir a apoyarse directamente en el terreno, bien sea mediante torres o puntales, bien mediante cimbras cuajadas. En caso contrario, se suelen emplear elementos prefabricados que se colocan mediante grúas o por empuje.

## Acabados

Como ya se ha comentado, dada la cercanía del punto de vista que presentan estas estructuras, resulta fundamental su aspecto estético y, por lo tanto, deben cuidarse especialmente las formas y acabados de las mismas.

Como regla general, se debe cuidar especialmente la terminación de la estructura y todos sus detalles. Resulta importante la utilización de encofrados de buena calidad y bien dispuestos, evitando la aparición de defectos superficiales en el hormigón como rebabas, coqueras, etcétera. También debe cuidarse la uniformidad de la coloración de los paramentos vistos, eliminando manchas de desencofrado u otras. No debe olvidarse la posibilidad de utilización de texturas en las superficies vistas de hormigón. Esto puede conseguirse mediante diseños rehundidos en la superficie, mediante la utilización de berenjenos en los encofrados para marcar juntas u otras líneas del paramento, o mediante el tratamiento de las superficies con posterioridad a su hormigonado.

Una herramienta que permite mejorar el aspecto estético de las estructuras es el empleo del color. Habitualmente, sólo se suelen pintar los elementos metálicos, bien sean estructurales en el caso de las estructuras mixtas, o funcionales como las barandillas y barreras. Hay, sin embargo, ejemplos de utilización de pinturas en elementos de hormigón. Por lo que respecta a barandillas y barreras, su diseño es fundamental para el aspecto general de la estructura, debiéndose utilizar elementos lo más diáfanos posible para disminuir el canto aparente de la estructura. No hay que olvidar que el color de estos elementos influye en la percepción que el observador tendrá de su opacidad.