

## VIADUCTOS MIXTOS PS-07 Y PS-08 EN LA HIPER-RONDA OESTE DE CIRCUNVALACIÓN DE MÁLAGA

### Francisco MILLANES MATO

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.  
IDEAM, S.A.  
Presidente  
[general@ideam.es](mailto:general@ideam.es)

### Daniel MARTÍNEZ AGROMAYOR

Ingeniero de Caminos, C. y P.  
IDEAM, S.A.  
Jefe de Proyectos  
[daniel.martinez@ideam.es](mailto:daniel.martinez@ideam.es)

### Luis MATUTE RUBIO

Ingeniero de Caminos, C. y P.  
IDEAM, S.A.  
Director General  
[luis.matute@ideam.es](mailto:luis.matute@ideam.es)

### Jorge NEBREDA SÁNCHEZ

Ingeniero de Caminos, C. y P.  
IDEAM, S.A.  
Ingeniero de Proyectos  
[jorge.nebreda@ideam.es](mailto:jorge.nebreda@ideam.es)

## RESUMEN

El artículo describe los aspectos específicos relativos al diseño y dimensionamiento del tablero y subestructura de los dos viaductos mixtos proyectados por IDEAM en la Hiper-Ronda Oeste de Málaga, que entró en servicio el pasado 28 de diciembre de 2010.

Desde el punto de vista del diseño, estos viaductos se caracterizan por dos aspectos principales: la curvatura en planta, que condicionó la geometría de la sección transversal del tablero y el proceso constructivo; y el sismo, determinante de cara a la subestructura y apoyos.

**PALABRAS CLAVE:** viaducto mixto, curvatura en planta, torsión, peralte, sismo.

## 1. Descripción general de las estructuras

Entre otras estructuras proyectadas por IDEAM como parte de la misma Ronda de Circunvalación, destacan los dos pasos superiores mixtos PS-07 y PS-08, que constituyen el segundo y tercer nivel de ramales sobre las vías principales de la actuación.

El paso superior PS-07 tiene una distribución de luces  $32,0+44,0+34,4+46,0+46,0+46,0+32,0=280,4$  m con un radio en planta de 198,75 m en el eje del tablero. El paso PS-08, que discurre por encima, consta de una configuración  $31,5+44,0+43,3+5+44,0+31,5=367,5$  m con un radio de 198,75 m entre el estribo E1 y la pila P4, una clotoide de parámetro  $A=90$  m entre las pilas P4 y P5 y un tramo final recto. Ambos tableros son de 8,5 m de ancho, repartidos en 0,5 (barrera)+1,0 (arcén)+4,0 (carril)+2,5 (arcén)+0,5 (barrera) con un peralte máximo del 7% (Fig. 1).



**Fig. 1 Vista aérea de los viaductos**

Los viaductos se han resuelto con sendos cajones metálicos de 1,4 m de canto sobre los que se conecta una losa de 0,25 m de espesor constante que materializa el tablero, lo que da lugar a una esbeltez (relación canto/luz) de 1/27,88, valor algo elevado aunque dada la interacción flexión-torsión, habitual en este tipo de estructuras. En 10,5 m a cada lado de las pilas se dispone una losa inferior de hormigón de 0,30 m conectada a la chapa de fondo (doble acción mixta). La cuantía resultante de acero estructural es de aproximadamente 150 kg/m<sup>2</sup>. Las estructuras se hallan empotradas a torsión (apoyo doble), además de en los estribos, en la pila P4 para el PS-07 y en las pilas P3 y P6 para el PS-08, lo que da lugar a unas luces de torsión del orden de 150 m. El resto de las pilas son fustes cilíndricos de 1,5 m de diámetro con apoyo único. Todos los aparatos de apoyo son de neopreno zunchado (Fig. 2). La altura de pilas varía entre los 6,2 y 11,5 m en el PS-07 y entre los 7,5 y 14,5 m en el PS-08, lo justo para respetar el gálibo sobre el PS-07. La cimentación es profunda en todos los casos con pilotes de 1,20 m de diámetro para el PS-07 y 1,5 m en el PS-08.



**Fig. 2 Vista bajo el PS-07 desde el E2**

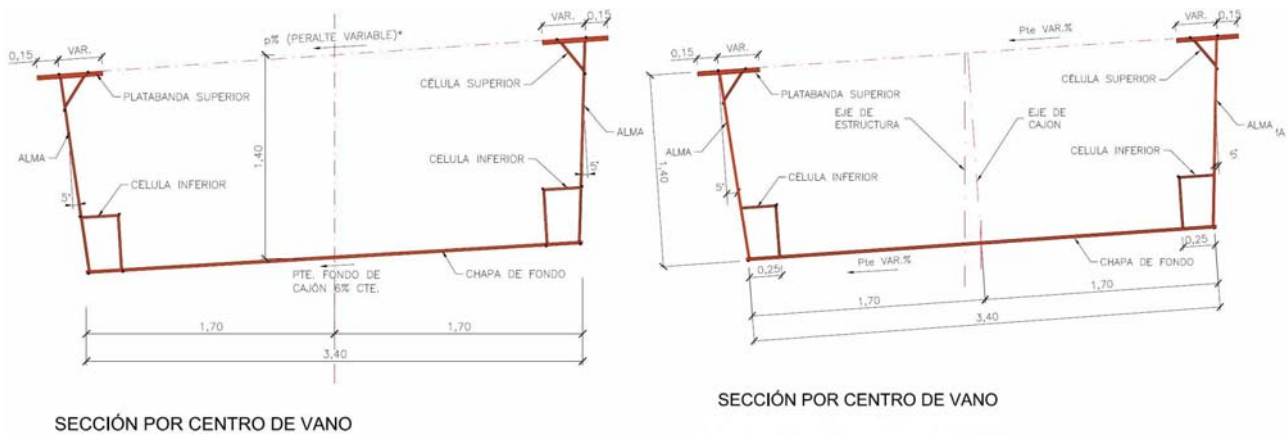
## **2. El efecto de la curvatura en planta**

Si bien ambas estructuras presentan igual radio en planta, la variación de peralte no es idéntica ya que el PS-08 presenta una transición y un tramo recto con contraperalte. Este hecho influye en la concepción de la geometría de la sección transversal, como veremos a continuación.

Para el PS-07, el peralte pasa del  $-0,147\%$  en E1 al  $-3,140\%$  en P1,  $-6,829\%$  en P2 y  $-7,00\%$  en el resto del tablero (el signo negativo indica descenso hacia el interior de la curva, como es habitual). Si se hubiera optado por definir el fondo del cajón paralelo a la losa superior, se habría generado una superficie alabeada, de efecto visual confuso. Por este motivo se decidió dar un  $6\%$  constante al fondo del cajón, con la premisa de que su punto medio estuviera alineado con el eje de la losa, regulando el peralte de la misma con la altura de cada alma y respetando el canto de  $1,40\text{ m}$  en vertical en el eje del tablero (Figs. 3 y 4).

En el caso del PS-08, el peralte es del  $-7,00\%$  desde E1 a P4, del  $-2,00\%$  en P5,  $0,84\%$  en P6,  $2,804\%$  en P7 y  $3,585\%$  en E2. Dado que si se repetía el criterio del PS-07 (peralte fijo en el fondo del cajón), al pasar a la zona recta se induciría una configuración anómala (fondo y losa con peraltes contrarios), se decidió que el fondo fuera paralelo a la losa, las almas de igual altura (con lo cual el canto de  $1,40\text{ m}$  se conserva no en vertical sino según el eje del cajón), y el punto medio de la cara superior del cajón coincidente con el eje del tablero (Figs. 3 y 5). Por tanto, el fondo es irremediabilmente alabeado y la distancia de los apoyos al eje del tablero no es igual.





**Fig. 3 Definición geométrica de las secciones transversales (izquierda, PS-07, derecha, PS-08)**

Aparte de las consideraciones geométricas, la curvatura en planta tiene importantes repercusiones en términos estructurales. Como bien es sabido, en todo puente curvo existe un acoplamiento de los fenómenos de flexión y torsión, tanto mayor cuanto menor sea el radio en planta.

En el caso que nos ocupa, la interrelación entre esfuerzos no es muy significativa, pero sí se hace notar en los giros de eje longitudinal debido a la flexibilidad del cajón metálico abierto. Si bien a nivel de proyecto la sección se arriostró superiormente con cruces de San Andrés constituidas por perfiles en L (Fig. 7) con el fin de impedir deformaciones excesivas por fenómenos torsores (hormigonado asimétrico, viento, curvatura en planta), la sección cerrada equivalente (en la que los arriostramientos se asimilan a una chapa corrida que confiere igual inercia al conjunto) seguía presentando una inercia a torsión baja, como es habitual en cajones metálicos estrictos arriostrados. Tal particularidad, unida a la baja rigidez a flexión, puede convertirse en una ventaja, como cuando se pretende corregir pequeños errores topográficos en planta o alzado así como imperfecciones de montaje. Por contra, la curvatura en planta, combinada con importantes luces de torsión, puede conducir a grandes giros torsores que perturben el esquema de peraltes previsto.



**Fig. 4 Vista del fondo del cajón del PS-07**

A la hora de definir el proceso constructivo, se analizó la influencia de dicho fenómeno en las fases de montaje de metal y hormigonado de la losa (ya que, una vez cerrada la sección, el cambio de rigidez tanto a torsión como a flexión es radical). Se detectó que, en particular para la estructura PS-07, de curvatura constante, podían llegar a acumularse giros de hasta casi un -3% (hacia el interior de la curva) en el centro de la luz torsora (entre P2 y P3). Ante tal resultado, inadmisibles por criterios de trazado, se presentaban cuatro opciones:

- Asumir el giro y corregirlo con el pavimentado. No es aceptable ya que supondría, en primer lugar, cargar más la zona con mayor deformación y, en segundo, restar resguardo al bordillo interior, incompatible con la seguridad ante el remonte.
- Definir un esquema de contragiros, análogo al de contraflechas, para cancelar las deformaciones acumuladas durante el proceso constructivo. Se trataba de una opción atractiva pero difícil de materializar ya que supondría definir un fondo de cajón alabeado, a lo que se suma, para el PS-07, la particularidad de que las almas son de distinta altura. Cualquier desviación en los parámetros resistentes, fundamentalmente la inercia a torsión, menos controlable para un cajón arriostrado, así como en el proceso de montaje, podría invalidar todo el trabajo al inducir imperfecciones geométricas a lo largo de toda la estructura.
- Realizar una operación de contragiro calzando, antes de hormigonar la losa, los apoyos de los estribos y de las pilas empotradas a torsión. Es una operación no deseable al tener que acudir a medios auxiliares como castilletes, vigas de reparto, gatos, chapas mecanizadas adicionales, etc. Es más bien una operación de recuperación que de prevención.
- Empotrar a torsión todos los apoyos simples hasta el hormigonado de la losa y liberarlos después, sobre sección cerrada. De esta forma, las luces se reducen a la distancia entre apoyos y la reaplicación de las reacciones se efectúa sobre la sección mixta, indeformable a torsión. Esta fue la solución propuesta.



**Fig. 5 Vista del fondo de cajón del PS-08 en la zona de clotoide**

### 3. Proceso constructivo

La construcción de ambas estructuras se abordó de forma convencional (Figs. 6-9):

- Montaje de metal de un lado a otro por tramos, con empotramiento provisional en pilas de apoyo único.



**Fig. 6** Vista general del montaje del PS-07

- Hormigonado de la losa de fondo.
- Colocación de prelasas y ferrallado de la losa.



**Fig. 7** Vista de la estructura metálica y de las pilas durante la construcción



- Hormigonado de la losa.
- Remates del tablero.

En la estructura PS-07, durante la colocación de los tramos metálicos y posterior hormigonado de la losa, se dieron una serie de complicaciones en obra que supusieron la alteración del proceso constructivo y, con ello, la desviación respecto al esquema de contraflechas y la acumulación de giros torsores no contemplados en el proceso ideal, en particular un peralte adicional del orden del -2% en P3, todo ello detectado tras hormigonar la losa. Se estimó que la configuración resultante podía no resultar compatible con las exigencias de trazado así como con las limitaciones de rotación de los aparatos de apoyo de fuste simple.



**Fig. 8** Vista de la estructura metálica del PS-07 durante su construcción



**Fig. 9** Vista de la estructura metálica del PS-07 durante su construcción

Con el objetivo de laminar estas desviaciones se decidió proceder al contragiro del tablero calzando los apoyos interiores de los estribos y de P4 (la única de apoyo doble). Para ello, fue necesario eliminar las soldaduras de los aparatos al tablero en P4, levantar el cajón con gatos (en los estribos, cargando sobre las almas; en P4, aprovechando los rigidizadores de alma inmediatamente anteriores y posteriores, más potentes que los demás al estar pensados para operaciones de sustitución de apoyos), colocar chapas mecanizadas de espesor variable bajo los apoyos, reparar las soldaduras y retirar los gatos y castilletes (Fig. 10).



Fig. 10 Castilletes (2 por lado) para contragiro en P4 del PS-07

#### 4. Diseño sismorresistente de la subestructura

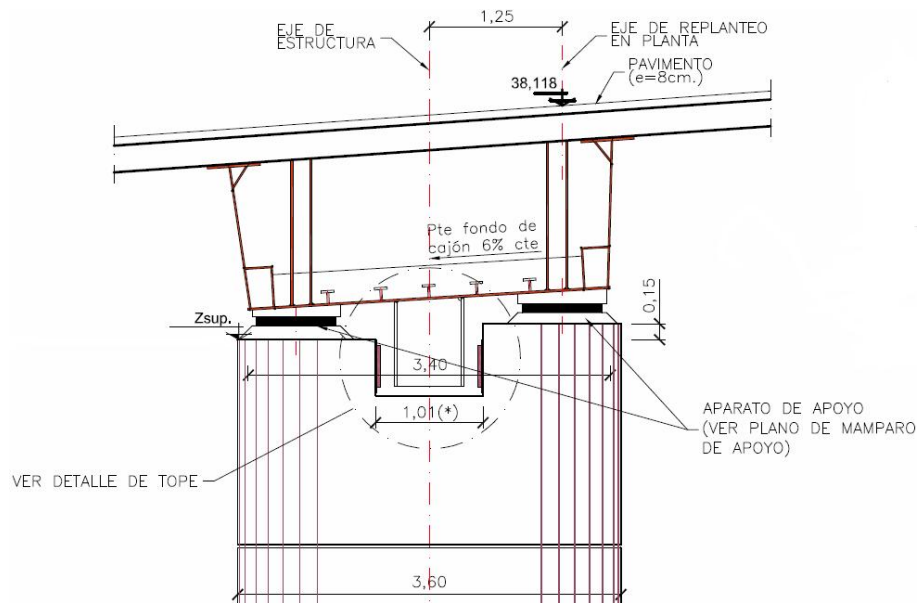
Otro aspecto relevante del proyecto es el diseño de la subestructura, condicionado por el sismo. Al ubicarse en una zona de alta sismicidad, con una aceleración de cálculo de 0,217 g, la subestructura está fuertemente condicionada por la respuesta sísmica global de los viaductos.

Como solución final se optó por emplear apoyos de neopreno zunchado anclados al hormigón y soldados al cajón. La idea subyacente de este diseño es flexibilizar al máximo el sistema, especialmente ante el sismo transversal, y concentrar los esfuerzos cortantes en las pilas más potentes. De este modo se alivian las pilas simples, y se optimiza su ductilidad.

Como mecanismo redundante ante el sismo, el tablero y las pilas de apoyo doble se vinculan en transversal mediante un tope con holgura mayor que máximo desplazamiento transversal que pueden experimentar los apoyos para evitar el contacto (Fig. 11). De este modo, en caso de fallo



de los neoprenos, se cuenta con un segundo esquema resistente, más rígido, que es el que dimensiona las pilas de doble apoyo y sus cimentaciones.



**Fig. 11 Detalle del tope transversal en pilas de apoyo doble**

## 5. Participantes en el proyecto

Propiedad: Ministerio de Fomento. Demarcación de Carreteras del Estado en Andalucía Oriental.

Proyecto y Apoyo Técnico a la Obra: IDEAM S.A. (Francisco Millanes, Luis Matute, Enrique Bordó, Daniel Martínez, Jorge Nebreda).

Constructor: OHL.

Equipo de Producción de OHL: Javier Cañada, Francisco Fernández, Miguel Moreno.