



ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN PUENTES

**Autor: Fernando Hue. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Miembro del Comité Técnico Estructural de ANDECE
Construcciones Especiales y Dragados, S.A. (DRACE - FPS)**

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de elementos prefabricados de hormigón en la construcción de puentes tiene indudables ventajas:

- Los elementos se fabrican en un lugar distinto del puente, permitiendo simultanear su fabricación con la construcción de otros elementos del puente como cimentaciones, pilas y estribos, con la consiguiente reducción de plazos de construcción
- Se puede disponer de mayor espacio de fabricación pues incluso se pueden utilizar varias fábricas, ventaja especial si en la obra existe disponible sólo un espacio reducido (fig. 1)
- Se utilizan hormigones de mayor resistencia y de mejores prestaciones
- Las tolerancias de fabricación, la calidad del acabado y el Control de Calidad son mejores
- Se ahorran apuntalamientos, cimbras y encofrados en la obra

Pero también tiene algunas desventajas:

- Se necesitan grandes medios de transporte y montaje y sus correspondientes accesos y plataformas de trabajo en la obra. El agua de mares, lagos y grandes ríos puede facilitar las operaciones de transporte y montaje.
- Las uniones entre elementos o entre elementos y partes “in situ” pueden ser bastante o muy complicadas, en especial en estructuras hiperestáticas

Los elementos prefabricados para puentes se fabrican, en general, con un hormigón de mayor resistencia que el utilizado en partes de puentes “in situ” con la misma función resistente, por varias razones:

- Una mayor resistencia permite disminuir la sección necesaria y con ello el peso de la pieza y la magnitud de los medios de transporte y montaje necesarios para la construcción
- El desmoldeo en edades tempranas, para la reutilización del molde y reducir el ciclo temporal de fabricación, requiere suficiente resistencia a esas edades tempranas, en especial en piezas pretensadas, lo que exige hormigones de alta resistencia final

En general, una mayor resistencia requiere una proporción mayor de cemento y una relación agua-cemento más reducida, lo que proporciona un hormigón con una mayor compacidad y durabilidad, con la consiguiente ventaja



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 2 de 10

Hoy día existen soluciones prefabricadas para casi todas las tipologías de puentes de hormigón, aunque habitualmente sólo se prefabrica el tablero. Las partes de los puentes se pueden clasificar en función del empleo de elementos prefabricados en su construcción:

- Tableros de vigas:
 - Tableros de vigas I
 - Tableros de vigas U o artesa
 - Tableros de monovigas (vigas artesa únicas)
 - Tableros de vigas artesa con junta longitudinal para formar cajón multicelular
 - Tableros losa de vigas en T invertida
- Losas de tableros de vigas:
 - Losas de encofrado perdido entre vigas
 - Prelosas o semilosas entre vigas o con vuelos exteriores
 - Losas de espesor completo
 - Losas para tableros de vigas metálicas
- Tableros de dovelas:
 - Dovelas de sección completa o incompleta
 - Dovelas de sección completa unidas por la losa de tablero
 - Dovelas unidas por las losas superior e inferior para formar cajón multicelular
- Tableros completos
- Estribos:
 - Estribos de tierra armada
 - Estribos de elementos verticales en cantilever
 - Estribos de gravedad
 - Estribos de viga flotante sobre terraplén
- Pilas:
 - Fustes independientes con o sin capitel de apoyo
 - Pilas pórtico formadas por fustes verticales y cabecero superior de unión
 - Pilas construidas por dovelas horizontales
- Cimentaciones:
 - Pilotes bajo encepados “in situ”
 - Pilotes formando fustes de pilas pórtico
 - Zapatas
- Elementos auxiliares:
 - Impostas y bordillos
 - Aceras
 - Barreras de seguridad

Todos estos elementos se describirán más adelante.



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 3 de 10

2. UN POCO DE HISTORIA DE LA PREFABRICACIÓN DE PUENTES EN ESPAÑA

La prefabricación en elementos de puentes comenzó en España a principios de los años 50, es decir, hace algo más de cincuenta años, con los primeros tableros de vigas prefabricadas pretensadas.

En 1963 se construyó sobre el río Guadalquivir, en Almodóvar del Río cerca de Córdoba, el primer puente realizado en España mediante dovelas prefabricadas conjugadas fabricadas en las proximidades del puente y que después se montaron mediante blondín colocado en los estribos. Su luz es de 70 m. En 1969 se construyó otro de forma similar sobre el río Ebro en Castejón de Navarra, entre Logroño y Zaragoza, pero de 100 m de luz.

A principios de los años 60 DRAGADOS obtuvo la licencia de fabricación en España de los pilotes patentados norteamericanos Raymond, pretensados, de sección anular y de diámetros exteriores 0,91 m, 1,37 m y 1,98 m. Se fabricaban en segmentos de 5 m o 2,5 m de longitud por centrifugación y vibración energética combinadas, por lo que se obtenía una compacidad muy alta y por lo tanto una resistencia elevada, de unos 50 a 60 MPa (probeta cilíndrica), ya en aquella época. Los segmentos se unían con cables de pretensado, alojados en orificios longitudinales, que se pretensaban contra anclajes provisionales apoyados en las superficies extremas. Después de la inyección de los orificios, se retiraban los anclajes provisionales y los cables de pretensado quedaban anclados por adherencia. Entre segmentos contiguos se aplicaba mortero de resina epoxi. Así se formaba la longitud requerida de pilote.

Se instaló para ello una fábrica en Huelva ya que se emplearon gran cantidad de ellos para la construcción de muelles en el puerto de esta ciudad, instalado en la desembocadura de los ríos Tinto y Odiel, una zona de marismas que requería cimentaciones muy profundas. Pero también sirvieron para servir de fustes de las pilas pórtico, con cabecero realizado “in situ”, de dos puentes de acceso a ese puerto, uno sobre cada río. Los tableros se hicieron con vigas prefabricadas. A finales de los años 60 se utilizó una solución similar para el puente de peaje sobre la bahía de Cádiz, excepto evidentemente el tramo de puente móvil de dos hojas. Durante los años 70 se utilizó una solución similar en varios pantalanés para barcos petroleros en Algeciras, La Coruña y Bilbao, pero ya con cabeceros también prefabricados.

La prefabricación de puentes en gran cantidad llegó con la construcción por DRAGADOS a finales de los años 60 de la autopista de peaje entre Sevilla y Cádiz, concesión en prolongación de la del puente sobre la bahía de Cádiz. Esta autopista, de unos 100 km de longitud, requería gran número de puentes, tanto pasos superiores sobre la misma para el cruce de carreteras y caminos cortados por ella, como pasos inferiores de cauces bajo la autopista. Para poder empezar a rentabilizar la autopista en el plazo más breve posible, se requería una construcción muy rápida, y además, poder circular las máquinas de construcción sobre ella cuanto antes, pues debido a la gran cantidad de marisma el acceso a las obras era difícil en muchas zonas.

Como la capacidad portante del terreno de cimentación era muy baja, los puentes se diseñaron con tableros isostáticos de vigas, con pilas pórtico de cimentación profunda sobre pilotes Raymond, unidos en cabeza mediante cabeceros prefabricados de sección rectangular, y vanos de acompañamiento apoyados en estribos de zapata flotante sobre terraplén. Las vigas eran en forma de Π (pi), con dos nervios de sección trapecial invertida unidos por una losa superior. Esta losa formaba la losa de tablero mediante la unión entre vigas contiguas por una junta longitudinal “in situ” de 18 cm de anchura. Sobre esta losa se colocaba el pavimento formado por una capa de hormigón de regularización y sobre ella la capa asfáltica de rodadura. Los puentes eran pues casi totalmente prefabricados, con sólo “in situ” los estribos embebidos en los terraplenes con aletas muy pequeñas y las uniones entre pilotes y cabeceros y entre vigas contiguas. Las vigas eran pretensadas con cables de trazado poligonal mediante desviadores. El hormigón de estas vigas era de 45 MPa (probeta cilíndrica).



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 4 de 10

Las vigas de sección en T o Π (dos T unidas) tiene un mal funcionamiento resistente, al tener la fibra neutra muy alta, y requiere mayor cantidad de hormigón y por lo tanto peso, pero en cambio el molde es fijo (no requiere ser abierto para el desmoldeo) y además permite el trazado poligonal de cables y utilizar el mismo molde para varios cantos de viga (entre 0,50 m y 1,00 m en esa autopista), simplemente colocando dentro, en el fondo del molde, un suplemento realizado con hormigón, de la altura no utilizada. La proximidad de la fábrica de Huelva disminuía las desventajas del mayor peso en el transporte.

Una solución similar utilizó DRAGADOS a principios de los años 70 para la construcción de unos 200 pasos sobre el ferrocarril en supresión de los correspondientes cruces a nivel. La disposición tipo era de tres vanos, el central sobre el ferrocarril y los laterales de acompañamiento para poder colocar estribos de viga flotante sobre los terraplenes de acceso de ambos lados. La longitud de los vanos era de 11 m en sentido perpendicular al ferrocarril, que aumentaba al disminuir el ángulo de cruce sobre él, tipificado en 90°, 75°, 60° y 45°. El canto de las vigas variaba en función de su longitud entre 0,50 m y 0,70 m. En estos puentes se aumentó el nivel de prefabricación, llegando a la prefabricación casi total del puente, dejando “in situ” únicamente el hormigonado de las juntas longitudinales entre vigas y, en el caso de cimentación profunda que no era lo habitual, la unión entre cabeceros y pilotes Raymond.

Las vigas flotantes de los estribos eran armadas y tenían una sección en T invertida, similar a media viga Π , que se volteaba después del desmoldeo. La pila pórtico tenían en general dos fustes de pilote Raymond, pero aumentaba su número en puentes más anchos. En la mayoría de los casos la cimentación no era profunda sino superficial. Los fustes de unos 7 m de longitud se fabricaban con dos segmentos Raymond, uno de 5 m y el otro de la longitud restante, que se unían provisionalmente con tres barras de armadura colocadas en tres orificios a 120° de los doce que tenía el pilote. Se utilizaba mortero de resina epoxi para adherir estas barras en los orificios y los dos segmentos entre sí. La zapata, de sección transversal trapecial que se fabricaba invertida, era armada y también prefabricada. Llevaba embebidas tres vainas a 60° debajo de cada apoyo de pilote, de forma que se introducía un cable (en algunos casos dos) por cada vaina, sobresaliendo de ella seis ramas a 60°.

En el montaje de la pila se colocaba la zapata sobre un lecho de grava de unos 30 cm de espesor, se introducían las seis ramas de cable por los correspondientes orificios de los fustes de pilote Raymond y por otros seis orificios dejados en el cabecero en cada zona de unión con fuste, y se anclaban mediante placas y cuñas definitivas en la cara superior del cabecero. Posteriormente se inyectaban las vainas y orificios para proteger los cables contra la corrosión. La grava de debajo de la zapata se inyectaba después con mortero de cemento para un mejor asiento de ella y mejor reparto de cargas sobre el terreno. El apoyo del estribo se hacía de forma similar con lecho de grava de 20 cm de espesor inyectado posteriormente. Todos los elementos del puente, incluidas las barandillas de acero, se transportaban por ferrocarril desde la fábrica de Huelva hasta dejarlos acopiados en sus proximidades. En un día de trabajo se montaban las dos pilas y las vigas del tramo central. Después se construían los dos terraplenes, que cubrían las zapatas de las pilas. Posteriormente, en otro día de trabajo, se colocaban los dos estribos y las vigas de los dos vanos de acompañamiento. Por último, se hormigonaban las juntas longitudinales entre vigas, se colocaban las juntas de dilatación entre tableros, las barandillas y la capa de rodadura.

Durante los años 70 DRAGADOS construyó con una solución parecida otras tres autopistas de peaje, entre Tarragona y Valencia, entre Valencia y Alicante y la de Navarra. Debido a la publicación en 1972 de una nueva normativa española de cargas de carretera IAP-72 donde se consideraba el paso de un vehículo pesado de 60 t, se tuvo que aumentar el canto de las vigas



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 5 de 10

de los tramos principales de 1 m a 1,65 m. El aumento de peso correspondiente obligó a utilizar vigas con sección en T en lugar de la II. Además se adoptó pavimento rígido de hormigón en la autopista en lugar del flexible asfáltico. Para la construcción de los elementos prefabricados de estas autopistas se construyó una nueva fábrica en Sagunto (Valencia). Los elementos se transportaban por carretera para las dos primeras autopistas y por ferrocarril para la de Navarra hasta una estación de acopio cerca de Pamplona y después por carretera.

Las vigas de los pasos superiores se unían de forma similar a las descritas anteriormente, aunque se aumentó la anchura de la junta a 50 cm. Las alas de las vigas con las juntas de unión formaban la losa de tablero. En los pasos inferiores las vigas se fabricaban prácticamente sin cabeza superior, que se hormigonaba “in situ” formando al mismo tiempo la losa de tablero y la capa de rodadura, con un espesor adicional para tener en cuenta desgastes y reparaciones. Las zapatas de las pilas con cimentación directa, que en estas autopistas eran mayoría por disponer de mejores terrenos de apoyo, eran de sección rectangular, pero poseían cálices o huecos circulares con reborde superior para la colocación y unión con los fustes de pilote Raymond. Estas zapatas y también los estribos se construyeron “in situ”.

En Castejón de Navarra, en el cruce de la autopista de Navarra con el río Ebro se construyó un puente singular, con un vano atirantado de 140 m de luz, una pila inclinada hacia el lado contrario y dos macizos de contrapeso para anclaje de los cables traseros. El tablero tenía una anchura total de 29 m, formada por un cajón central tricelular y dos vuelos laterales rigidizados por nervios cada 3,20 m. En la célula central, mucho más estrecha que las laterales, se anclaban las 35 parejas de cables cerrados que soportaban el tablero. Se construyó por dovelas prefabricadas de 3,20 m de la longitud del tablero y en dos mitades, cada una de una calzada, que se unían en el centro del tablero con una junta “in situ” en las losas superior e inferior. En la junta entre dovelas se aplicaba resina epoxi. Se construyeron conjugadas, una contra la anterior ya construida, en la fábrica de Sagunto, como el resto de elementos prefabricados de la autopista.

La ralentización de la construcción de carreteras a mediados de los años 70, después de la crisis del petróleo, obligó a adoptar las secciones de vigas en I, de mejor funcionamiento estructural y de menor peso y consumo de materiales, aunque con moldes más complicados, que requerían el abatimiento de los laterales para el desmoldeo y necesitando un molde distinto para cada altura de viga o bien la utilización de suplementos en el molde para aumentar la altura. El pretensado utilizado era recto, dentro de la cabeza inferior. Para reducir la fuerza de pretensado en las zonas de las vigas cercanas a los apoyos y evitar las elevadas tensiones de tracción en las cabezas superiores en esas zonas de momentos flectores reducidos, se empezó a utilizar el envainado de cables con fundas de caucho.

A mediados de los años 80 se incrementó la construcción de autovías que requerían gran número de puentes y donde la prefabricación fue utilizada masivamente. Los diseñadores y constructores de puentes “in situ”, que veían reducir su participación en la construcción, convencieron a los responsables de la construcción de carreteras para que considerasen los puentes de vigas I como estéticamente feos, para su visión por los usuarios de las carreteras, y que las formas en U de los puentes “in situ”, utilizados en otras autopistas de peaje construidas con plazos de ejecución más largos, eran mucho más agradables a la vista y menos perturbadoras para los conductores. Esto obligó a los prefabricadores a adoptar soluciones con vigas en U o artesa, que aunque más caras y pesadas, eran aceptables y no se podían rechazar al reproducir la misma forma que los puentes “in situ”. También se llegó a la solución de viga única o monoviga, viga en U o artesa muy ancha que puede resolver con una sola viga los puentes de anchuras habituales de unos 10 m. En los pasos inferiores se siguieron utilizando vigas I, más económicas, al no ser visibles por los usuarios de las autovías y no tener esos condicionantes estéticos. También se empezaron a fabricar con mayor frecuencia pilas de fustes independientes, con o sin capitel o con doble capitel (palmera) dependiendo del tipo de apoyo de los tableros.



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 6 de 10

Todas estas soluciones se aplicaron también al ferrocarril, en variantes de trazados antiguos y en el tren de alta velocidad (AVE) Madrid-Sevilla construido a finales de los años 80 y principios de los 90. Para las líneas del AVE Madrid-Barcelona y el resto de la red actualmente en construcción, la autoridad ferroviaria consideró que en puentes de varios vanos eran más adecuadas, para reducir giros relativos entre tramos contiguos y vibraciones que perturbasen el confort de los pasajeros, soluciones con continuidad hiperestática entre tramos que con discontinuidad isostática. Como reacción, los prefabricadores pusieron a punto soluciones de unión entre tramos que garantizan esa continuidad, bien mediante pretensado secundario, bien mediante soluciones armadas o mediante soluciones mixtas entre ambos sistemas.

Para responder a las exigencias, tanto funcionales como estructurales y estéticas, de las administraciones de carreteras, ferrocarriles, ayuntamientos, regionales y de clientes particulares, los prefabricadores han diseñado soluciones prefabricadas de puentes que cubren hoy día una gama amplísima de tipologías, vigas de altura variable, de planta curva, de caras laterales o inferiores planas y curvas, con vuelos apoyados en nervios o jabalcones de formas variadas y complejas, tramos divididos en su longitud en dos piezas, una en cantilever sobre la pila, de canto generalmente variable, y otra cubriendo el vano central entre las anteriores, de canto generalmente constante aunque también puede ser variable, tramos soportados por jabalcones para reducir la luz efectiva de cálculo del vano, tableros completamente prefabricados para puentes atirantados, tableros de puente con formas especiales, tableros de arco y otras muchas tipologías.

3. TIPOLOGÍAS DE ELEMENTOS DE PUENTES

3.1. Tableros de vigas

3.1.1. Tableros de vigas I

Son los más extendidos aunque están cuestionados estéticamente si son visibles por debajo desde la carretera o en puentes urbanos. Es difícil que un usuario no experto en puentes, son todos los usuarios salvo muy pocos, sepa apreciar la diferente tipología del tablero circulando por debajo a más de 100 km/h. En un entorno urbano el puente es mucho más visible aunque la estética es una cuestión subjetiva difícil de medir. Se fabrican estas vigas con cantos entre 0,60 m y 2,50 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m en carreteras y hasta 40 m en ferrocarril.

3.1.2. Tableros de vigas U o artesa

Están muy extendidos por razones estéticas si son visibles por debajo desde la carretera o en puentes urbanos. Se fabrican estas vigas con cantos entre 0,70 m y 2,50 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m en carreteras y hasta 40 m en ferrocarril. También se fabrican con canto variable y para soluciones con tramos divididos en su longitud en dos piezas, una en cantilever sobre la pila, de canto generalmente variable, y otra cubriendo el vano central entre las anteriores, de canto generalmente constante. Las caras laterales e inferiores son generalmente planas pero también pueden ser curvas por motivos estéticos.

3.1.3. Tableros de monovigas (vigas artesa únicas)

Es una solución extendida de las vigas artesa, pues es una artesa de más anchura. Sirve para tableros de carretera de hasta 10 m de anchura. También se pueden fabricar con trazado curvo.



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 7 de 10

3.1.4. Tableros de vigas artesa con junta longitudinal para formar cajón multicelular

En el caso de tableros de mayor anchura o por motivos de resistencia se pueden fabricar vigas artesa de cajón multicelular, divididas longitudinalmente en dos mitades, que se unen con junta “in situ” en las losas superior e inferior.

3.1.5. Tableros losa de vigas en T invertida

Se utilizan en tableros de luz muy pequeña, colocando unidas a tope las alas inferiores y rellenando con hormigón “in situ” el espacio entre vigas y un cierto espesor sobre ellas para formar un tablero losa de espesor constante.

3.2. Losas de tableros de vigas

3.2.1. Losas de encofrado perdido entre vigas

Es la forma más extendida de encofrar los vanos entre vigas I y vigas artesa y los vanos interiores en las vigas artesa. No permiten realizar vuelos por el exterior de las vigas exteriores. Tienen espesores de 4 a 6 cm y pueden ser armadas o pretensadas según la luz del vano a cubrir. Sobre estas losas se construye “in situ” la losa de tablero en todo su espesor, colocando las parrillas de armadura superior e inferior y hormigonando después la losa.

3.2.2. Prelosas o semilosas entre vigas o con vuelos exteriores

Tienen espesores inferiores o iguales a la mitad del espesor de la losa de tablero y son generalmente armadas, llevando incorporadas la parrilla inferior de armaduras y colocando “in situ” la superior, hormigonando después el espesor que falta de la losa. Si es necesario incorporan conectores de armadura entre ambos hormigones. También pueden llevar incorporada parte o toda la armadura transversal superior del tablero con disposiciones de armadura en forma de celosía de sección triangular, con una barra superior y dos inferiores. Esta disposición de armadura permite realizar vuelos por el exterior de las vigas exteriores. En tableros de grandes vuelos exteriores y gran separación entre vigas se ha utilizado este sistema para losas de tablero pretensadas transversalmente, aunque no es una solución habitual.

3.2.3. Losas de espesor completo

Solución menos habitual que las anteriores. Generalmente cubren toda la anchura del tablero y se emplean en tableros sobre dos vigas I o una monoviga. Se unen entre ellas mediante juntas transversales “in situ” y a las vigas mediante ventanas también hormigonadas “in situ”, por lo que los conectores de las vigas se disponen en zonas localizadas en lugar de distribuirse por toda la viga sin discontinuidades. Si no cubren toda la anchura del tablero necesitan juntas longitudinales, más difíciles de realizar por afectar a la armadura transversal del tablero, mucho más importante y densa que la longitudinal.

3.2.4. Losas de tableros de vigas metálicas

Las tres soluciones anteriores de losas se pueden aplicar también de forma similar a tableros metálicos de puentes, tanto de vigas I como de vigas cajón, sean unicelulares o multicelulares.



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 8 de 10

3.3. Tableros de dovelas

3.3.1. Dovelas de sección completa o incompleta

Dependiendo de la anchura del tablero y del peso adecuado para los medios de transporte y montaje a utilizar, se pueden construir las dovelas con la sección completa del tablero o sólo del cajón central, añadiendo posteriormente “in situ” las losas en voladizo de ambos lados, con o sin jalbalcones o ménsulas de rigidización, elementos que también pueden ser prefabricados.

3.3.2. Dovelas de sección completa unidas por la losa de tablero

En el caso de autopistas y autovías, es decir en carreteras de calzadas independientes, se puede optar por dos tableros independientes realizados con dovelas de sección completa o bien unidos por la losa de tablero mediante una junta longitudinal hormigonada “in situ”.

3.3.3. Dovelas unidas por las losas superior e inferior para formar cajón multicelular

Si el tablero es muy ancho se puede optar por un cajón multicelular con vuelos en ambos lados. Si las dovelas en sección completa son muy grandes y pesadas se pueden dividir en dos o más partes que posteriormente se unen mediante juntas longitudinales hormigonadas “in situ” en las losas superior e inferior. Una solución de este tipo se empleó en el puente atirantado de Castejón descrito anteriormente.

3.4. Tableros especiales

También hay soluciones prefabricadas para tableros especiales como los tableros de puentes atirantados.

3.5. Tableros completos

Es una solución muy especial, debido a su gran peso, que requiere medios de transporte y montaje excepcionales. En Portugal se utilizó en algunos tramos del puente de peaje “Vasco de Gama” que cruza el estuario del río Tajo en Lisboa. El transporte y montaje se realizó con medios marinos.

En España DRAGADOS construyó, a finales de los años 90, los tableros de los dos puentes de aproximación al puente atirantado que cruza el estrecho de Oresund entre Copenhague (Dinamarca) y Malmo (Suecia). Son 42 vanos de 140 m de longitud y 7 de 120 m, con una longitud total de 6754 m. Las juntas de dilatación se disponen en estribos, conexiones con el puente atirantado y cada 6 vanos. La sección estructural es mixta acero-hormigón. El tráfico discurre en dos niveles. En la parte superior, sobre una losa de hormigón de 24,8 m de anchura, pretensada transversalmente, se disponen cuatro carriles de circulación normal más dos de emergencia para el tráfico por carretera. En la parte inferior, formada por una estructura metálica en forma de U, de 12 m de gálibo horizontal libre, se colocan dos vías de ferrocarril con una pasarela de servicio en cada extremo.

Estos tableros completos, de hasta 5500 t de peso, fueron construidos en Cádiz (fig. 40), y se transportaron en barco de dos en dos hasta las instalaciones del puerto de Malmö (fig. 41). Allí les colocaron unas artesas prefabricadas de hormigón armado, apoyadas en las vigas



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 9 de 10

inferiores de la estructura metálica, para contener las vías sobre balasto. Después se transportaron y colocaron en sus posiciones definitivas sobre las pilas, por medio de una enorme grúa flotante, con una capacidad de carga de 9000 t. Para el izado se construyó un balancín de 1500 t de peso. Con él se izaron los tableros colgados por los 60 m centrales.

3.6. Estribos

3.6.1. Estribos de tierra armada

Están formados por elementos placa de hormigón armado de pequeño espesor y forma generalmente hexagonal, que forma el paramento exterior del estribo con sus muros de acompañamiento. Estas placas están sujetas por pletinas, generalmente de acero, que por rozamiento se anclan dentro del terraplén formando una armadura del mismo. Los tableros apoyan sobre vigas flotantes realizadas “in situ”, suficientemente dentro del terraplén.

3.6.2. Estribos de elementos verticales en cantilever

Son elementos de hormigón armado. Se componen de una placa vertical de pequeño espesor que forma el paramento exterior del estribo con sus muros de acompañamiento y que lleva uno o dos nervios de refuerzo en el lado del terraplén. Del extremo inferior del nervio salen las armaduras para anclaje de los elementos a la zapata de sección rectangular hormigonada “in situ”. Los tableros apoyan sobre vigas rectangulares realizadas “in situ” apoyadas en los nervios.

3.6.3. Estribos de gravedad

Están formados por pequeños elementos enlazados entre sí que se colocan en pendiente y mantienen el terraplén con un talud más vertical. Pueden servir de soporte de plantas para vegetalizar el talud. Se emplean sólo en muros de acompañamiento.

3.6.4. Estribos de viga flotante sobre terraplén

Se han descrito anteriormente con la descripción de la solución casi enteramente prefabricada de los pasos sobre ferrocarril para la supresión de pasos a nivel. Es una solución utilizada muy escasamente.

3.7. Pilas

3.7.1. Fustes independientes con o sin capitel de apoyo

Se utilizan generalmente en pasos superiores o puentes de altura reducida, en general no mayor de 10 m. Si sobre el fuste se coloca un apoyo único y la sección del fuste es suficiente, no es necesario disponer un capitel de ensanchamiento en la parte superior, en caso contrario se dispone este capitel. En caso de necesitar dos apoyos, bien en sentido longitudinal del puente, bien en sentido transversal, el capitel se puede abrir en forma de palmera. Estos fustes pueden ser de secciones muy variadas, circular, cuadrada, poligonal, etc. de acuerdo con la estética requerida. La unión a la zapata puede ser por introducción del fuste en un cáliz o hueco dejado en ella y posterior relleno de la holgura con mortero sin retracción, o, más usualmente, mediante anclaje de barras de armadura que sobresalen de la cara inferior del



Autor: Fernando Hue

Título: Elementos Prefabricados de Hormigón en Puentes

Pág. 10 de 10

fuste y se introducen en vainas dejadas en la zapata, que posteriormente se rellenan con mortero de alta adherencia y resistencia. También se han realizado soluciones de cabeceros prefabricados montados en la parte superior de pilas de fuste único de sección rectangular hueca.

3.7.2. Pilas pórtico formadas por fustes verticales y cabecero superior de unión

Anteriormente se han descrito diferentes soluciones realizadas con pilotes Raymond (fig. 49). También se pueden realizar soluciones similares con fustes de sección maciza variando los sistemas de unión entre fuste y cabecero. Se han llegado a realizar pilas de 65 m de altura con dos fustes divididos cada uno en tres piezas de 21 m de altura y con dos juntas y dos travesaños intermedios. Otros tipos de pilas pórtico de altura reducida y por ello de peso limitado pueden prefabricarse completas de una sola pieza, evitando juntas "in situ" entre columnas y cabeceros.

3.7.3. Pilas construidas por dovelas horizontales

Es una posible solución de la que el autor no conoce su utilización en España aunque sí en los E.E.U.U.

3.8. Cimentaciones

3.8.1. Pilotes bajo encepados "in situ"

En este caso se pueden utilizar cualesquiera de los pilotes prefabricados existentes en el mercado de acuerdo con la capacidad resistente necesaria y las condiciones del terreno que permitan la hincada de los mismos.

3.8.2. Pilotes formando fustes de pilas pórtico

Se han descrito anteriormente con la descripción de la utilización de soluciones de fustes de pilotes Raymond en varias autopistas.

3.8.3. Zapatas

Se han descrito anteriormente con la descripción de la solución casi enteramente prefabricada de los pasos sobre ferrocarril para la supresión de pasos a nivel. Es una solución utilizada muy escasamente.