

Duplicación de la línea de ferrocarril Sevilla-Cádiz

Tramo Aeropuerto de Jerez de la Frontera-Cádiz. Subtramo El Portal

Duplication of the Seville-Cadiz railway line. Jerez de la Frontera Airport-Cadiz section

Julio César Valdivieso Roldán. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de Obra. jvr@isoluxcorsan.com

Jesús Molinero Gil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director de las Obras. jmolinero@fomento.es

Resumen: Con el fin de atender el creciente tráfico ferroviario sobre la actual línea ferroviaria Sevilla-Cádiz, por la que discurren viajeros de las Unidades de Cercanías, Regionales y Grandes Líneas de Renfe, se están realizando obras de modernización para aumentar su capacidad por duplicación de la vía única actual. Con ello también se eliminarán los tres actuales pasos a nivel existentes, se solucionará la inundabilidad que produce incluso en época de lluvias, interrupciones del servicio ferroviario, mediante la construcción de un viaducto, y se mejorará en general las prestaciones de la línea.

Palabras Clave: Línea de ferrocarril, Viaducto, Duplicación de vía

Abstract: In order to meet the increasing railway traffic on the current Seville-Cadiz railway line which has to carry suburban, regional and long-distance trains, modernization works are currently underway to double up the existing single track. These works will eliminate the three existing level crossings, solve problems of flooding and interruption to railway services through the construction of a viaduct and will general improve the performance of the line.

Keywords: Railway line, Viaduct, Double track

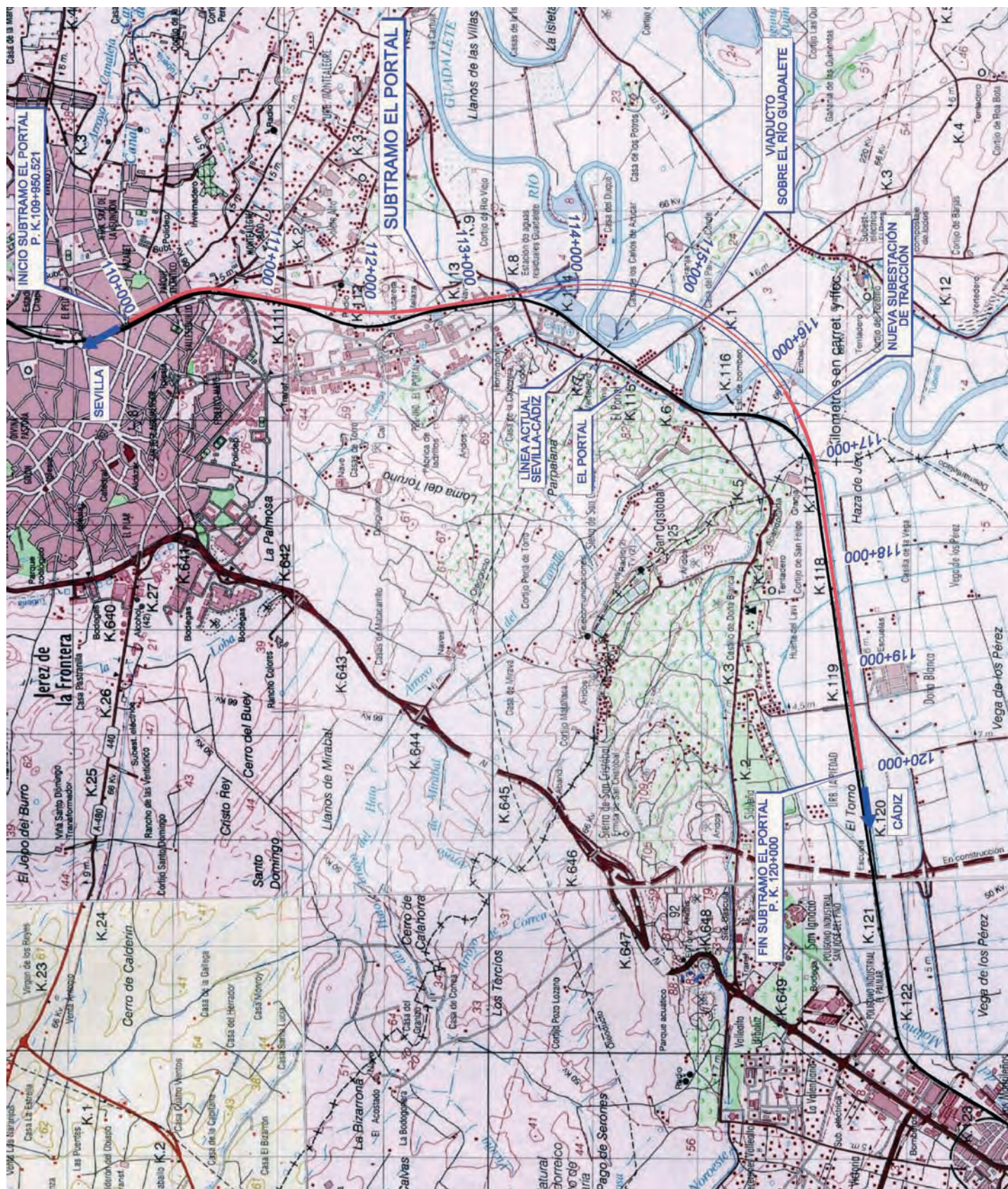
Breve referencia histórica

George Stephenson, padre del ferrocarril e ingeniero multifacético, que además de los trenes diseñó todos los viaductos, túneles y estaciones que necesitaba para establecer sus líneas, en una visita realizada a la Península Ibérica, manifestaba sus dudas sobre la posibilidad de construir ferrocarriles en la geografía española. Si bien no estaba equivocado, pues los principales motores del desarrollo ferroviario, alta densidad demográfica e industrialización, andaban maltrechos en los inicios del siglo XIX, es en la zona donde nos encontramos, Jerez de la Frontera y concretamente El Portal, donde surgen las primeras iniciativas de carácter privado, fomentadas por el auge de la industria vinatera, que desmontarían las argumentaciones de Stephenson.

En 1829, justo cuando estaba a punto de finalizar la construcción en Inglaterra, por George Stephenson, de la famosa línea entre Manchester y Liverpool, un empre-

sario gaditano, José Díez Imbrechts, conocedor de primera mano, por su ascendencia inglesa, de los adelantos conseguidos por el primero en el ferrocarril de Stockton a Darlington, propone construir la línea de Jerez a El Portal. Se trataba de la concesión para la construcción y explotación de una línea de ferrocarril, de 5,83 kilómetros de longitud entre Jerez y la localidad de El Portal donde, sobre el río Guadalete, se construiría un muelle, con el fin de transportar las botas de vino que hasta entonces se hacía mediante carros, para luego embarcarlas en pequeños barcos que las transportarían por dicho río hasta los navíos fondeados en la Bahía de Cádiz. Dicha concesión fue otorgada por Fernando VII mediante R.O. de 23 de septiembre de 1829 y por un período de cincuenta años y confirmada posteriormente por otra R.O. de 16 de julio de 1830.

Díez Imbrechts pensaba obtener del capital privado la financiación necesaria para la línea de ferrocarril. El empresario gaditano, que mantenía relaciones comer-



ciales con financieros ingleses y españoles, creó, a tal efecto, una sociedad de la que formó parte el editor y hombre de negocios sevillano Marcelino Calero y Portocarreño, afincado en Londres, conocedor también de la evolución de los ferrocarriles en Inglaterra. Precisamente, fue Calero Portocarreño, tras desistir del proyecto Díez Imbrechts al no llevarse a cabo las suscripciones que permitieran crear dicha sociedad, el solicitante de una nueva concesión para construir la línea entre Jerez, Sanlúcar de Barrameda, el Puerto de Santa María y Rota, que se concedió el 28 de marzo de 1830, por veinticinco años. Para ello, Calero Portocarreño constituyó una empresa denominada "Empresa del camino de hierro de la reina María Cristina".

Desgraciadamente y pese a los propósitos de Díez Imbrechts y de Calero Portocarreño, dichas iniciativas no prosperaron y no es hasta 1857 cuando se inicia la construcción de las líneas Sevilla-Jerez y Puerto Real-Cádiz. Los trabajos terminarían cuatro años después. En 1861 se constituye la nueva sociedad explotadora, Compañía de Sevilla-Jerez-Cádiz, que había asumido previamente la línea de Jerez a Trocadero (Puerto Real). De este modo se vislumbran los primeros pasos para articular ferroviariamente la zona de influencia de la bahía gaditana, tan necesitada de acompasar sus infraestructuras a la exportación de sus incomparables caldos.

Descripción de la obra

La actuación que se ejecuta supone el último paso hacia la modernización de la línea de ferrocarril Sevilla-Cádiz. Sobre la base de aquellas iniciativas casi heroicas de Díez Imbrechts y Calero Portocarreño, por la actual línea discurren viajeros de las Unidades de Cercanías, Regionales y Grandes Líneas de RENFE así como mercancías de la Unidad de Cargas y Transporte Combinado, siendo predominante el tráfico de viajeros.

Las obras planificadas, proyectadas y dirigidas por la DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES DEL MINISTERIO DE FOMENTO, contemplan la adecuación de la línea Sevilla-Cádiz, aumentando su capacidad por duplicación de la vía única actual y mejora de sus características, complementando así la reducción en los tiempos de viaje que se consigue en la línea de alta velocidad Madrid-Córdoba-Sevilla.

Concretamente, el subtramo de El Portal se inicia en la cabecera lado Cádiz de la estación de Jerez de la Frontera y finaliza unos 4 kilómetros antes de la estación de El Puerto de Santa María, entre los PP.KK. 109+950,521 y 120+000 de la línea Sevilla-Cádiz.

La traza se desarrolla en la vertiente atlántica de la provincia de Cádiz, en los municipios de Jerez de la



Frontera y El Puerto de Santa María. La línea actual tiene su origen, como ya hemos visto, en la agrupación de varios tramos construidos en la segunda mitad del siglo XIX mediante concesiones a diferentes sociedades. Posteriormente se han realizado modificaciones parciales, especialmente en la zona más conflictiva del río Guadalete.

El trazado actual discurre por terrenos del terciario y cuaternario. A lo largo de la traza, desde la salida de Jerez de la Frontera, se atraviesan terrenos del terciario del tipo margoso, pasando por antiguos cauces fluviales abandonados en las proximidades de la estación de El Portal. Hay que destacar los problemas de inundabilidad que existen actualmente en las zonas próximas a la citada estación, provocando incluso en época de lluvias la interrupción del tráfico ferroviario.

Actualmente, el tramo consta de vía única, electrificada con catenaria apta para 140 km/h, que se alimenta desde las subestaciones eléctricas de tracción de Jerez de la Frontera y Puerto Real, y armamento formado por carril de 54 kg/m y traviesas de hormigón RS. El subtramo incluye la estación de El Portal y tres pasos a nivel, el más importante de ellos en El Portal.

Panorámica aérea completa del Viaducto, 3.221,70 m. Tramos 1, 3, 5 y 7 ejecutados. Tramos 2, 4 y 6 en ejecución.



Hinca de pilotes prefabricados en Tramo 1, dentro de Balsas Azucarera El Portal.



Ejecución de encepados pilotados con pilotes prefabricados hincados, dentro de Balsas Azucarera El Portal.

Con el fin de atender el creciente tráfico ferroviario, eliminar los pasos a nivel existentes, solucionar la inundabilidad del tramo más próximo al río Guadalete y mejorar en general las prestaciones de la línea, se proyectan, entre otras, las actuaciones que se relacionan a continuación:

- Construcción de dos variantes, una en tierras de aproximadamente 1.100,00 m y otra en estructura que incluye un viaducto de 3.221,70 m de longitud sobre la vega del río Guadalete
- Duplicación de vía en todo el subtramo
- Adaptación de todo el subtramo para alta velocidad, incluyendo las actuaciones necesarias sobre la electrificación, las instalaciones de seguridad y comunicaciones, la plataforma y la propia vía
- Supresión de los tres pasos a nivel existentes
- Construcción de una nueva subestación eléctrica de tracción y de su línea de acometida
- Demolición y levante de vía e instalaciones ferroviarias en los tramos que queden sin servicio en el trazado actual a causa de las obras proyectadas.
- Cerramiento de todo el subtramo
- Supresión del Apeadero de El Portal

Viaducto sobre el río Guadalete

Es una obra singular en la que se ha conseguido armonizar la geometría de sus formas con el impacto visual que suponía, a priori, la construcción sobre los terrenos de la vega del Guadalete de una estructura continua de más de 3 Km que resolviera definitivamente los problemas de inundabilidad del tramo y la supresión de tres pasos a nivel.

Se desarrolla entre los PP.KK. 113+314,500 y 116+536,200 del tramo con una longitud total de 3.221,70 m. El trazado del viaducto comienza en una recta de aproximadamente 600 m y, a continuación, tras una transición, adopta una curva de radio 2.200 m, con giro a la derecha.

Tras cruzar en su arranque la carretera que comunica la AP-4 con El Puerto de Santa María, entre los PP.KK. 113+450 y 113+980 se cruzan tres balsas de decantación de aguas residuales de Azucarera Ebro Agrícolas, S.A. El río Guadalete se cruza en dos ocasiones: en el P.K.



114+240 y en el P.K. 116+010; y la carretera CA-2011 en el P.K. 115+260. Finaliza en el P.K. 116+536,200.

Proyectado por la Oficina de Proyectos de Carlos Fernández Casado, por los ingenieros Javier Manterola Armisen y Antonio Martínez Cutillas, la solución cumple todos los requisitos funcionales y estructurales correspondientes a un puente de ferrocarril y al mismo tiempo se adapta a las condiciones específicas del paisaje, caracterizado, fundamentalmente, por una vega inundable muy llana. La opción finalmente elegida es fruto del compromiso entre los distintos condicionantes geométricos, económicos, geotécnicos, constructivos y medio ambientales.

Los dos condicionantes principales de la estructura son, por un lado su gran longitud y por otro las condiciones de cimentación sobre un estrato blando de más de 25,0 m de espesor, especialmente inadecuado para resistir los esfuerzos horizontales provenientes de las fuerzas de arranque y frenado de las composiciones ferroviarias. La longitud del viaducto ha obligado a un estudio tipológico que contemplara los problemas de interacción vía-tablero ante las deformaciones impuestas y la disposición de juntas en el carril y el tablero así como la forma de resistir las fuerzas horizontales indicadas. En dicho estudio se han

Panorámica del Tramo 6, segundo cruce del río Guadalete. En ejecución los macizos de conexión arco-viga.

Ferrallado encepado Pila Tramo 1.



Cuadro 1			
Tramo	Longitud (m)	Nº Vanos	Luz (m)
1	823.50	27	30.50
2	207.00	2	30.00
		3	49.00
3	810.00	27	30.00
4	207.00	2	30.00
		3	49.00
5	547.20	18	30.40
6	207.00	2	30.00
		3	49.00
7	420.00	14	30.00
Total	3221.70	101	

analizado los distintos problemas resistentes, constructivos y ambientales.

Desde el punto de vista estructural ha sido necesario compatibilizar la resistencia a las acciones horizontales de frenado y sismo con la máxima liberación de las deformaciones impuestas debidas a la temperatura, fluencia y retracción. Para conseguir una adecuada explotación de la vía se ha estimado oportuno no disponer juntas de dilatación en la misma, por lo que las longitudes máximas de viaducto entre juntas queda limitada en torno a 200 m con el fin de evitar sobretensiones en el carril por problemas de interacción vía-tablero. Por otro lado y, con el fin de dar cumplimiento a la Declaración de Impacto Ambiental, se consideró adecuado disminuir en lo posible el número de apoyos en los cauces del río. La búsqueda de soluciones constructivas industrializadas llevó a la prefabricación como procedimiento óptimo en un viaducto de gran longitud como el objeto de proyecto.

La solución finalmente adoptada está formada por un tablero de vigas prefabricadas de 1,90 m de canto separadas 4,30 m con un ancho total de plataforma de 13,0 m. Estas vigas permiten salvar una luz tipo en torno a los 30 m en la mayor parte de la longitud del viaducto, y, mediante la adición de una estructura complementaria formada por dos semiarcos prefabricados, salvar de forma excepcional luces de 49 m. Esta disposición permite con una estructura muy repetitiva superar los cruces singulares que ya se han mencionado anteriormente. Con estos criterios, el viaducto queda dividido en 7 tramos con las longitudes y distribución de luces que se ven en el Cuadro 1.

La introducción de los citados vanos singulares se realiza en forma de arcos continuos que permiten equilibrar las fuerzas horizontales de carga permanente en los vanos intermedios, creando, al mismo tiempo, una estructu-



Izado de un tramo de 24 m de ferralla para un pilote de $D=2.000$ mm. A la derecha, distintas fases del pilotaje del Tramo 6. En primer plano trabajos de perforación y soldadura de tramos de camisa perdida. Al fondo colocación de la jaula de ferralla en un pilote de $D=2.000$ mm.

ra bien encajada y novedosa. Desde el punto de vista constructivo, la prefabricación de la misma ha permitido alterar mínimamente el terreno circundante y agilizar los plazos de ejecución.

Tramos 1, 3, 5 y 7

Los Tramos 1, 3, 5 y 7 son los de mayor longitud: 2.600,70 m en total, formados por vanos isostáticos simplemente apoyados con luces comprendidas entre 30,00 y 30,50 m. El tablero está formado por dos vigas artesas de 1,90 m de canto de hormigón pretensado separadas entre sí 4,30 m y una losa de hormigón armado que completa la anchura total del tablero de 13,0 m. La losa tiene un espesor variable desde los 0,20 m en



Armado de la cabeza de un pilote $D=2.000$ mm.



el extremo hasta los 0,30 m en el centro de la misma para conseguir un bombeo transversal para el desagüe del mismo. La losa del tablero está formada por prelosas prefabricadas de 0,06 m de espesor, 13 m de longitud ocupando todo el ancho del tablero y un ancho de 2,50 m, con dos nervios que resisten los esfuerzos durante el hormigonado de la losa de compresión in situ.

Las vigas se apoyan sobre pilas con dos fustes con una sección rectangular variable desde 2,00 por 1,70 m en la parte superior con incremento de la dimensión transversal de las mismas por la cara exterior. Ambos fustes se unen a nivel de cimientos con una viga riostra de 1,75 m de canto.

Las pilas se han proyectado cimentadas sobre un conjunto de 25 pilotes prefabricados previamente hincados en el terreno.

Los pilotes prefabricados, de sección cuadrada con 0,4 m de lado y fabricados con hormigón HA-45, se disponen en una cuadrícula de 5 ud*5 ud con separación entre pilotes en sentido transversal de 2,5 m y en sentido longitudinal de 1,5 m. Los 16 pilotes del contorno exterior se disponen con una inclinación hacia fuera del encepado de 10° respecto a la vertical para colaborar a resistir los esfuerzos horizontales transmitidos por las pilas. Los pilotes tienen un tope estructural de 205 t y dicho tope se ha alcanzado para una profundidad media de 36 m. Las dimensiones del encepado son de 11.00 m * 7.00 m * 2.50 m.

Los estribos están formados por muros frontales y aletas laterales con una altura máxima de 4,135 m en el estribo 1 y 7,34 m en el estribo 2. La solución proyectada para su cimentación ha consistido en un encepado de dimensiones en planta 13,5 m en sentido transversal al puente, 6,5 m en sentido longitudinal y canto 2,50 m, sobre un conjunto de 28 pilotes prefabricados análogos a los de las pilas. Los pilotes prefabricados, se disponen en este caso, en una cuadrícula de 7 ud*4 ud con separación entre ejes de pilotes en sentido transversal de 2,083 m y en sentido longitudinal de 1,833 m. Los pilotes se disponen con una inclinación en la dirección longitudinal del viaducto, y siempre hacia fuera del encepado, variable según el estribo y la posición del pilote dentro del encepado.

El elevado número de elementos pilotados con esta solución, 88 pilas y los dos estribos, ha supuesto un reto importante, por una parte de logística para la fabricación y transporte de las piezas prefabricadas por parte de Terratest, empresa a la que se le subcontrataron los trabajos, y por otra para la propia organización de la obra, pues había que ir abriendo camino, no exento de dificultades por las características de los terrenos e infraestructuras atravesados, a tres equipos de hinca que han llegado a conseguir producciones punta de hasta 1.000 m diarios.

Los pilotes hincados se han sometido a un riguroso control de calidad consistente en un análisis de la integridad estructural a los 2.256 ejecutados y dos ensayos de capacidad mecánica por encepado. Ambos ensayos se basan en el método de la impedancia mecánica, que consiste en la medición de los tiempos de recorrido de una onda de choque provocada por un golpeo en la cabeza del pilote.

Debido al elevado número de pilas a ejecutar, 88 unidades, y el plazo de que se disponía, el Departamento de Producción de la obra junto con la empresa Sec (Soportes y Encofrados), han desarrollado tres juegos de encofrado que permiten adaptarse a las distintas alturas y cuya particularidad radica en que el hormigonado completo de cada pila se realiza de una sola



Trabajos de excavación de un encepado, dentro del cauce del Guadalquivir, de 5 pilotes de D=2.000 mm.



Trabajos de ferrallado de un encepado de 5 pilotes de D=2.000 mm.



Detalle armado parrilla inferior de un encepado de tramo hiperestático. Hasta 8 capas de D=32 mm.

PROCESO CONSTRUCTIVO, TRAMOS 2-4-6

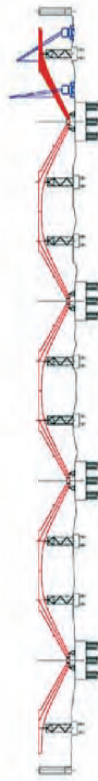
FASE 1: CONSTRUCCIÓN DE CIMENTOS, PUNTOS Y PILAS HIPERESTÁTICAS.



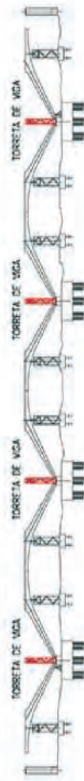
FASE 2: MONTAJE DE TORRETTAS DE SEMIARCOS Y CABALLETES.



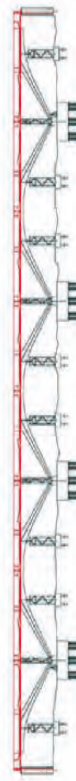
FASE 3: MONTAJE DE SEMIARCOS EXTERIORES E INTERIORES.



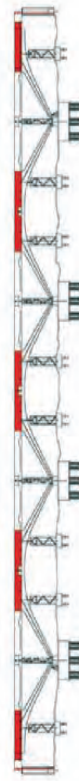
FASE 4: MONTAJE DE TORRETTAS DE VIGAS



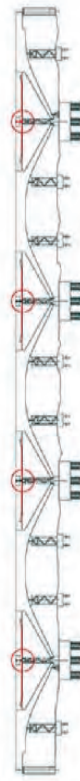
FASE 5: MONTAJE DE VIGAS INTERIORES Y EXTERIORES



FASE 6: HORMIGONADO DE LOS NERVIOS DE UNIÓN DE VIGAS Y SEMIARCOS



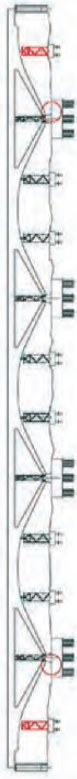
FASE 7: HORMIGONADO DE UNIONES ENTRE VIGAS Y TESADO



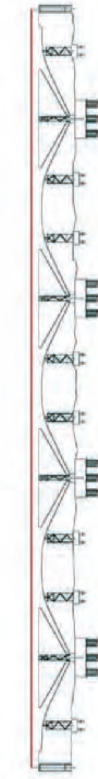
FASE 8: TESADO DE LA FASE 1ª DEL PRETENSADO DE CONTINUIDAD



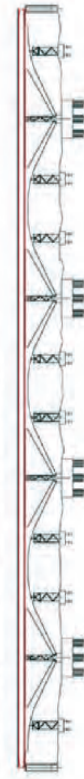
FASE 9: DESMONTAJE DE SEMIARCOS EXTERIORES



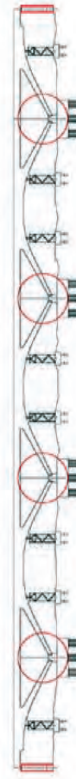
FASE 10: MONTAJE DE PRELOSAS, FERRALLADO Y HORMIGONADO DE LA LOSA DE TABLERO



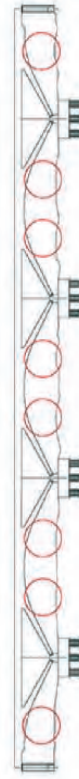
FASE 11: TESADO DE LA FASE 2ª DEL PRETENSADO DE CONTINUIDAD



FASE 12: DESMONTAJE DE TORRETTAS SOBRE PUNTOS Y TESADO DE PILAS HIPERESTÁTICAS



FASE 13: DESMONTAJE DE TORRETTAS DE SEMIARCOS



FASE 14: ACABADOS





Izquierda, colocación de fuste completo ferrallado, a la derecha, encofrado.

vez, lo que ha posibilitado producciones punta de hasta seis pilas semanales.

La construcción de estos tramos se ha llevado a cabo de forma muy industrializada; una vez construidas las cimentaciones y las pilas se ha realizado el montaje de las vigas y el de las prelasas prefabricadas para, posteriormente, hormigonar la losa de compresión in situ, finalizando la construcción del tramo con los acabados: juntas, impostas, barandillas, canaletas de conducciones e impermeabilización.

Tramos 2, 4 y 6

Estos tramos se han proyectado con un diseño excepcional con el fin de cruzar dos veces sobre el río Guadalete y la carretera CA-2011 con los gálibos precisos, cumpliendo además con el condicionado de la Declaración de Impacto Ambiental en cuanto a la disposición mínima de apoyos en el cauce del río.

Los tramos 2, 4 y 6 tienen todos una longitud constante de 207 m ($30 + 3 \cdot 49 + 30$) formados por tres arcos continuos con tablero superior de luces de 49,00 m y dos vanos apuntalados extremos de 30 m de luz. Conceptualmente se trata de una estructura complementaria que permite utilizar el mismo canto y tipología de tablero que para las luces de 30,00 m, proyectadas en los tramos isostáticos. Los arcos múltiples permiten equilibrar los esfuerzos horizontales de carga permanente transmitidos a la cimentación. Los puntales extremos transmiten dicha carga al tablero introduciendo una fuerza de tracción de extremo a extremo por lo que es necesario establecer la continuidad del mismo en todo el tramo. Sobre los arcos gravitan coincidentes con su eje, las dos vigas artesas prefabricadas de canto 1.90 m, que se funden con los mismos cuando estos ascienden, con lo que el tablero parece cabalgar sobre ellos cada cierto tiempo. Para mantener el concepto de construcción industrializada, cada uno de los arcos sobre los que se apoya cada viga está formado por dos semiarcos prefabricados iguales. La

adaptación al perfil del terreno se realiza con un plinto de altura variable sobre los encepados.

El ancho de los arcos es variable entre los 1,207 m en arranques y un valor también variable en clave entre los 1,186 y 1,213 m, articulándose mediante una rótula cilíndrica en los plintos y ascendiendo hasta el contacto con las vigas, con una geometría especialmente diseñada para su apoyo y conexión.

Las cimentaciones de los arcos se han diseñado para resistir las acciones horizontales desequilibradas de la sobrecarga de uso. Dada la importancia que en este tipo de estructuras tienen las condiciones de rigidez del conjunto suelo-cimiento, se ha tenido en cuenta la matriz de rigidez conjunta en la evaluación de los esfuerzos y desplazamientos. Dichas cimentaciones están formadas por 5 pilotes ejecutados in situ de 2,00 m de diámetro, con camisa perdida, diseñados para resistir dichas acciones horizontales. Los encepados tienen una dimensión de 12,90 m por 10,50 m y 3,0 m de canto. Las profundidades de los pilotes varían desde los 39,00 hasta los 54,00 m.

Desde el punto de vista geotécnico nos encontramos con una situación similar para los tres tramos proyectados con esta solución, la llanura aluvial del Guadalete, que a grandes rasgos se caracteriza por la presencia de un estrato con espesor de 30 m compuesto por depósitos aluviales, por debajo de los cuales se encuentra el sustrato terciario (margas grises y arcillas margosas) y, en algunas zonas el Keuper Triásico que desplaza en su ascenso diapírico a los materiales terciarios (intercalaciones de yesos).

Cuatro han sido las principales dificultades que se han presentado en la ejecución de estos pilotes:

- Longitud de la perforación: se han alcanzado los límites mecánicos de los equipos de pilotaje dispuestos por la empresa a la que se confiaron los trabajos, Terratest, puesto que además de los 54 m útiles de algunos pilotes se ha tenido que perforar el exceso correspondiente a la plataforma de trabajo, que en el caso de los cauces ha supuesto hasta 10 m más, por lo que la longitud total de perforación ha llegado a superar en algunos casos los 64 m.
- Presencia de una capa de gravas a unos 25 m de profundidad: dicha capa ha provocado el rechazo en la hinca de la camisa, sin embargo al perforar por debajo de la punta de la misma se producían derrumbes del terreno que la circundaba. En determinados momentos, nos hemos visto obligados a ejecutar perforaciones perimetrales a la camisa al objeto de descomprimir el terreno en punta y facilitar así la progresión de la misma hasta empotrarla en el terreno firme inferior.



Hormigonado en una fase, abajo, desencofrado.



Plinto de apoyo de semiarcos. En la parte superior se observan los huecos en los que se materializa la rótula.



Arriba, montaje de vigas en Tramo 1, dentro de Balsas de Azucarera El Portal. Abajo izquierda, detalle cogida semiarco prefabricado interior, en Tramo 4. Abajo derecha, colocación de semiarco prefabricado interior, en Tramo 6. Se pueden observar las torretas metálicas provisionales y al fondo los caballetes guía de apoyo en las rótulas.





Tramo 1
ejecutado y en
servicio las
Balsas de
Azucarera El
Portal.

- Extraordinaria dureza del material del empotramiento: como antes se ha señalado, la presencia de yesos de elevada resistencia, ha hecho ardua y compleja la perforación del material del empotramiento, con rendimientos, en algunos momentos, inferiores al metro por equipo y día.
- Armado de los pilotes: excepcional, de hecho Armacentro, empresa líder en el sector y subcontratada a tal efecto por la UTE, nunca ha realizado otros con tanto armado. En la cabeza, zona de mayor armado para su empotramiento en el encepado, cuentan con 158 barras $\varnothing 32$ como armadura longitudinal, dispuestas estratégicamente en tres capas, y como armadura transversal un $\varnothing 16$ cada 7 cm. Las jaulas que componen la cabeza de los pilotes, fabricadas en 12 m de longitud, pesan 1.200 kg por metro, es decir unas 15 toneladas sólo la cabeza, pe-

sando el pilote completo una vez montado hasta 37 toneladas.

Para la industrialización del proceso de fabricación, pues las tolerancias geométricas en el acabado eran muy estrictas, se diseñó una pilotera especial, que además de resistir tan descomunal peso conformara la ferralla de acuerdo con las exigencias de acabado.

Al objeto de mejorar la producción y cumplir los plazos impuestos, se han dispuesto en obra medios excepcionales. Las jaulas de 12 m, en unos casos, y largo especial de 16 m en otros, eran solapadas en horizontal junto a los tajos, conformando tramos de 24 m, con el fin de reducir al mínimo posible los tiempos de los solapes a ejecutar sobre la vertical del pilote. El equipo de obra diseñó una serie de útiles compuestos por bastidores y poleas con el fin de facilitar la colocación en vertical por las grú-



Vista aérea Tramo 4. Montados los arcos prefabricados y las vigas. Ejecutándose los macizos de conexión arcos-vigas. Abajo, vista aérea Tramo 6. Montados los arcos prefabricados. En fase de montaje las torretas provisionales sobre plintos.





Montaje de viga exterior de un tramo hiperestático. Obsérvense las ventanas en la parte inferior de la viga para enhebrar las esperas de arco. A la izquierda se pueden ver los torones de 12 Ø 0,6" correspondientes al postesado vertical listos para enhebrar en las vainas de la viga.

as, de las piezas premontadas y acopiadas horizontalmente.

Si son singulares los pilotes, no lo son menos los encepados, por un lado debido a su ubicación, en algunos casos (cuatro de los doce ejecutados) dentro del propio cauce del Guadalete, lo que ha exigido para su excava-



Detalle cabeza viga exterior. Se observan ya enfilados los torones correspondientes al postesado de continuidad que recorre las vigas por su parte inferior. 4 torones de 24 Ø 0,6" y 1 de 18 Ø 0,6".

ción de un recinto de tablestacas hincadas hasta 16 m y excepcionalmente arriostradas a base perfiles HEB-300 y por otro a la elevada cuantía de sus armaduras, con hasta 8 capas del Ø 32 en su parrilla inferior.

El montaje de los tres tramos hiperestáticos se está llevando a cabo en 14 fases:

- FASE 1: construcción de cimientos, encepados y plintos, tanto de los 4 apoyos definitivos de cada tramo como de los 16 apoyos provisionales en los que descansan las torretas metálicas sobre las que se apoyan los arcos hasta que se consigue materializar su unión en la clave. Dada la escasa capacidad portante del terreno, ha sido necesario pilotar incluso los apoyos provisionales, para los que se han dispuesto 4 pilotes prefabricados hincados de 400 mm por apoyo, análogos a los empleados en la cimentación de los tramos isostáticos.
- FASE 2: montaje de torretas metálicas provisionales y caballetes-guía en los apoyos de las rótulas.
- FASE 3: montaje de semiarcos exteriores e interiores. Una vez montadas las piezas prefabricadas, se procede a ferrallar y hormigonar la clave de los tres arcos interiores, materializando así su continuidad. Conseguida la resistencia exigida al hormigón, se procede al descimbrado de los arcos interiores.
- FASE 4: montaje de torretas metálicas provisionales sobre los plintos para permitir el montaje de las vigas.
- FASE 5: montaje de vigas, tanto interiores como exteriores.
- FASE 6: hormigonado de nervios de unión que materializan la unión de las vigas a los arcos.
- FASE 7: hormigonado de uniones entre vigas y tesaado. La unión entre las vigas exteriores e interiores se materializa con dos torones de 24 Ø 0,6". Entre vigas interiores se disponen dos torones de 18 Ø 0,6".
- FASE 8: tesaado de la fase 1ª del pretensado de continuidad. En este momento, se puede realizar el tesaado de los dos torones de 24 Ø 0,6" de la fase 1ª del pretensado de continuidad que recorre de extremo a extremo todo el tramo.
- FASE 9: descimbrado de semiarcos exteriores.
- FASE 10: montaje de prelasas, ferrallado, colocación de vainas y hormigonado de la losa de compresión.

- FASE 11: tesado de la fase 2ª del pretensado de continuidad, compuesto por 3 torones de 15 Ø 0.6", 2 de 24 Ø 0.6", 1 de 18 Ø 0.6" y 6 de 12 Ø 0.6".

- FASE 12: descimbrado de torretas sobre los plintos y tesado vertical de las dos pilas extremas del tramo mediante 2 torones de 12 Ø 0.6" por fuste anclados dentro del encepado.

- FASE 13: desmontaje de torretas de semiarcos.

- FASE 14: acabados. Ejecución de muro guardabala, colocación de impostas, canaleta de comunicaciones y barandilla y ejecución de impermeabilización.

En una estructura de tanta longitud y con tal cantidad de piezas a prefabricar ha resultado definitivo disponer prácticamente a pié de obra, de la planta de prefabricados que TYPESA (empresa del Grupo ISOLUX CORSÁN) construyó, a tal efecto, en tiempo record, tres meses, una vez le fueron subcontratados por la UTE los trabajos de prefabricación y montaje. Además, dicha empresa puso desde el principio a disposición del Proyecto, y en colaboración directa con los proyectistas, a su Oficina Técnica dirigida por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Javier María López García, con amplia experiencia en el sector de los prefabricados.

Con ello se han conseguido unos altos rendimientos, tanto en la fabricación, pues la planta se ha dedicado exclusivamente a la obra mientras ésta así lo ha demandado, como en el montaje debido a la escasa distancia entre ésta y el centro de gravedad de la obra (unos 4 Km) lo que ha simplificado extraordinariamente el transporte de las piezas, algunas de ellas muy singulares como es el caso de los arcos, con mínima afección al tráfico. Dichos arcos se han transportado a obra sobre unas plataformas continuas de 16 ejes, en una posición prácticamente equivalente a su definitiva en obra, exigiendo en algunos casos el transporte nocturno por la necesidad de cortes de tensión en la catenaria de la vía en servicio, ya que, se pasaba a escasos centímetros de la misma.

El pretensado, tanto de las vigas isostáticas como las hiperestáticas, está diseñado sólo con armadura activa postesa. Con esta solución se ha conseguido ir bastante por delante en la fabricación respecto a la obra ejecutada in situ, sin importar el tiempo de permanencia en acopio de las piezas prefabricadas, puesto que la contraflecha, a veces problemática cuando los ritmos de la obra y la prefabricación no van acompasados, se ha controlado perfectamente gracias a la solución proyectada, permitiendo que el postesado definitivo de cada pieza no se ejecutara hasta 15 días antes de su montaje en obra.



Detalle Tramo 1, cruzando Balsas de Azucarera El Portal.



Demolición con corte de catenaria y vía del antiguo Paso Superior de Doña Blanca.



Montaje de vía 1 en los tres últimos kilómetros del tramo. Vía actual en servicio.

Otra innovación de la prefabricación que se ha acometido ha sido el empleo, para la ejecución de las piezas prefabricadas, de moldes completamente cerrados, incluso en el interior de las vigas, y de hormigones autocompactables, lo que ha posibilitado acabados de extraordinaria calidad.

En la actualidad están completamente ejecutados los tramos isostáticos y se ultima el montaje de los tres tramos hiperestáticos.

Indicar, por último, que la DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES DEL MINISTERIO DE FOMENTO tiene prevista la puesta en servicio de este tramo de doble vía a finales de Abril del 2007. ♦

FICHA TÉCNICA

Nombre de la obra:

LÍNEA SEVILLA-CÁDIZ. TRAMO AEROPUERTO DE JEREZ DE LA FRONTERA-CÁDIZ. DUPLICACIÓN DE VÍA. SUBTRAMO EL PORTAL

Promotor:

MINISTERIO DE FOMENTO. DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES

Dirección del Proyecto:

1º JEFATURA DE PROYECTOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE FERROCARRILES. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Director del Proyecto: Leonardo Daimiel Pérez

Consultoría y Asistencia para redacción del Proyecto General:

SENER Ingeniería y Sistemas, S.A.

Autor del Proyecto General:

Álvaro Relaño Rojo. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Autor del Proyecto del Viaducto sobre el río Guadalete:

CARLOS FERNÁNDEZ CASADO, S.L. Oficina de Proyectos. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos: Javier Manterola Armisen y Antonio Martínez Cutillas

Asistencia Técnica:

SGS TECNOS, S.A. y ARDANUY EN UTE

Empresas Constructoras:

CORSÁN-CORVIAM CONSTRUCCIÓN, S.A. (Grupo ISOLUX CORSÁN) y GEA 21, S.A., EN UTE. EL PORTAL UTE

Director de las Obras:

Jesús Molinero Gil. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Ayudante Director de las Obras:

José Meneses Garde. Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Asistencia Técnica:

Gerente: José Espinós Espinós. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Jefe de Unidad: Javier Romero Nieto. Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Gerente de la Constructora: José Luís Marcos Sebastián. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefe de Obra: Julio César Valdivieso Roldán. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Jefes de Producción del Viaducto: Rubén Zamora Aguilera y Francisco Javier Ramos-Catalina Rivero. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Presupuesto Total:

96.061.651,70 €

Principales Características y Capítulos de Obra:

Longitud total de la obra: 10.049,479 m
Longitud en duplicación: 4.509,479 m
Longitud en variante: 5.540 m
Longitud del Viaducto: 3.221,70 m

Movimiento de tierras:

Excavaciones: 466.849 m³
Terraplenes de préstamo: 218.782 m³
Columnas de grava f 800 mm en tratamiento asiento terraplenes: 48.806 m
Capa de forma: 63.374 m³
Subbalasto: 27.918 m³

Drenaje:

Longitud de cunetas: 9.283 m
Caños drenaje transversal: 8 u

Estructuras:

Longitud de pilotes Ø 2.000 mm ejecutados in situ: 2.795 m
Longitud de pilotes prefabricados hincados 400*400 mm: 88.000 m
Hinca y extracción de tablestacas: 25.285 m²
Hormigón estructural in situ: 46.156 m³
Acero pasivo montado in situ: 6.829.872 kg
Acero especial para postesado in situ: 339.807 kg
Vigas prefabricadas artesas de canto 1.90 m y luz media 30 m: 220 u
Semiarcos prefabricados de luz 24.50 m: 48 u
Vigas prefabricadas doble T de canto 0.80 m: 229 m
Prelosas prefabricadas: 42.027 m²

Montaje de vía:

Balasto: 54.396 m³
Traviesas PR-90: 32.834 u
Carril UIC-60: 39.400 m

Electrificación:

Longitud de catenaria CR-220: 20,2 Km
Subestación de tracción: parque de alta tensión y edificio de continua con dos grupos rectificadores de 3.300 KW para alimentación de catenaria a 3.300 V cc
Alimentación subestación: 2.100 m de línea eléctrica 66 KV

Seguridad y comunicaciones: Instalación del sistema A.S.F.A. (Anuncio de señales y frenado automático para alta velocidad) y modificación del enclavamiento ENCE 90 de la Estación de Viajeros de Jerez

Longitud caminos de servicio: 15.000 m
Longitud de cerramientos: 13.000 m
Medidas medioambientales correctoras: extendido de tierra vegetal en taludes, hidrosiembras y plantaciones
Reposición líneas eléctricas: 10 u
Reposición líneas telefónicas: 2 u
Reposición oleoducto: 1 u
Reposición red abastecimiento Cádiz: tubería f 1.300 mm