

Estructuras de Acceso al Puerto de Santander

Access structures to the Port of Santander

Guillermo Capellán Miguel ^a, Alejandro Godoy Ansótegui ^b, Emilio Merino Rasillo ^c

Julio González Zalduondo ^d

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director Técnico. gcapellan@arenasing.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Coordinador Proyectos. agodoy@arenasing.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Director de Oficina. emerino@arenasing.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Arenas & Asociados. Jefe de Proyecto. jgonzalez@arenasing.com

RESUMEN

La mejora de los Accesos al Puerto de Santander desde la A-67 es una nueva infraestructura inaugurada en 2022 promovida por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana que además de descongestionar el enlace de Raos y la confluencia de las autovías S-10 y A-67, ha supuesto una mejora significativa de la seguridad vial en el punto de mayor intensidad de tráfico de la red de carreteras del Estado en Cantabria. Entre las estructuras que forman la obra destaca la glorieta elevada de 103 m de diámetro que sobrevuela la A-67 y las vías del ferrocarril de acceso al Puerto, a la que llegan 5 viaductos de acceso mixtos bijácena.

ABSTRACT

The improvement of the access to the Port of Santander from the road A-67 is a new infrastructure, promoted by the “Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana” and opened in 2022, which had not only reduced the traffic congestion in the confluence of the highways S-10 and A-67, but also had achieved a significant improvement on the road safety at the spot with the highest AADT of the road network in Cantabria. Between the structures of this project, the most significant one is a flying 103 m diameter roundabout over the A-67 and the rail access to the port, connected to the surroundings by 5 composite twin-girder section viaducts.

PALABRAS CLAVE: bijáceno mixto, estructura mixta, diseño paramétrico.

KEYWORDS: composite twin-girder section, composite structure, parametric design

1. Introducción al proyecto

La mejora de los accesos al Puerto de Santander, ha resultado una obra de gran calado debido a la presencia de importantes condicionantes, con importantes centros generadores de demanda en la zona y un enlace en T entre dos grandes autovías (A-67 y S-10). En 2017 un proyecto de

Ineco plantea canalizar todo el tráfico de entrada y de salida al Puerto y a la Ciudad del Transporte de Santander (Citrassa) a través de un enlace independiente que también descarga el cercano enlace de Nueva Montaña y evita itinerarios complejos a los usuarios.

Dentro de este gran proyecto de interconexión, Arenas & Asociados ha sido el consultor de estructuras del contratista (UTE Acceso Raos: Dragados-Ascan-Geocisa), llevando a cabo el diseño de las estructuras del proyecto, así como la asistencia técnica durante construcción que concluyó en 2022.



Figura 1. Planta general de zona de actuación

Tal como puede apreciarse en la planta, la rotonda no tiene un hueco interior constante, sino que tiene un sobreancho, esto es debido a los requerimientos de ocupación en planta deducidos de un estudio de trayectorias.

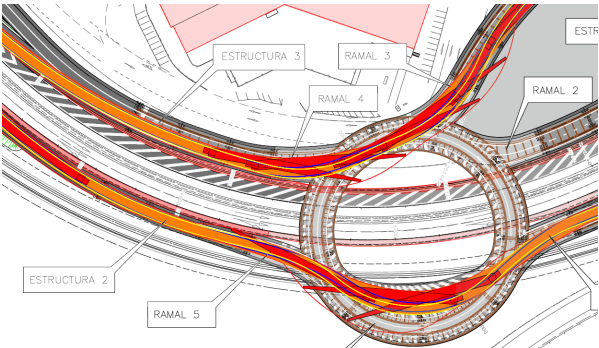


Figura 2. Planta de estudio de trayectorias

Como toda la obra se encuentra en una zona de terreno ganado al mar y marisma el suelo resulta muy poco competente. El perfil

Dentro de las numerosas estructuras planteadas, las más representativas y diferenciales son una rotonda elevada de 103 m de diámetro (Estructura 1) y los 5 viaductos que acceden a ella por medio de unos ramales de conexión (Estructuras 2, 3, 4, 5 y 6).

geológico es bastante uniforme en toda la zona, y la distribución de estratos y su potencia estimada puede verse en la siguiente tabla:

Tabla 1. Distribución aproximada de estratos

Suelo	Espesor (m)
Rellenos antrópicos	1.00-3.00 m
Depósitos cuaternarios	15.00-20.00 m
Keuper alterado	0.50-3.00 m
Keuper sano	>15.00 m

También ha resultado necesario considerar un rozamiento negativo para el cálculo de las cimentaciones profundas diseñadas, y agresividad del terreno en ciertos estratos: nula sobre el nivel freático, media en el estrato cuaternario bajo él, y alta en el Keuper.

2. Condicionantes

El enlace planteado sobrevuela una zona plagada de condicionantes de todo tipo: funcionales, estéticos, constructivos y geométricos.

Tal vez la A-67 y el ferrocarril de entrada al puerto han sido los condicionantes geométricos más limitantes, reduciendo el espacio disponible para encajar los accesos al enlace y las estructuras que dan lugar a la propia

glorieta. En la A-67 se ha considerado un gálibo horizontal de 3.10 m y uno vertical siempre superior a 5.30 m. Para el ferrocarril, para una velocidad de circulaciones inferior a 160 km/h, se han considerado unos gálibos horizontales de 5.40 m para la vía de ancho ibérico, de 4.60 m para la vía de ancho métrico, y un gálibo vertical de 6.50 m para ambos casos.

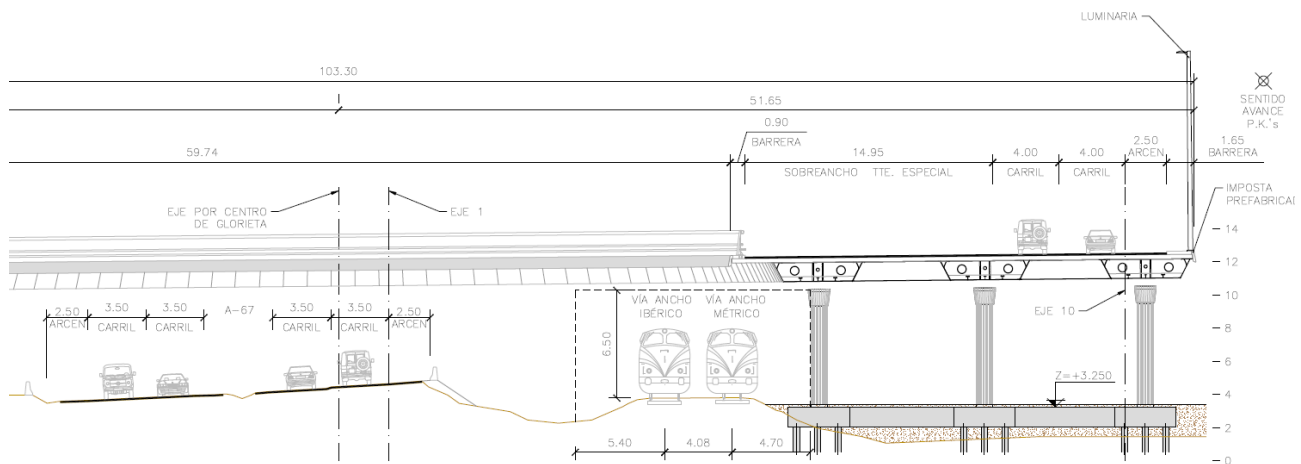


Figura 3. Sección a través de la glorieta

3. Cimentaciones

Se han planteado cimentaciones profundas en las principales estructuras de todo el enlace materializadas mediante pilotes prefabricados hincados, cuya ejecución se adapta bien a las características del terreno y proporciona rendimientos elevados

Los pilotes elegidos tienen una sección rectangular de 40x40 cm, bastante grande para pilotes prefabricados, pero con escasa capacidad a flexión, por lo que ha sido necesario inclinar los mismos hasta 8°, lo máximo que permitían los medios disponibles, para poder transmitir las cargas horizontales de las solicitaciones de la estructura al terreno atravesando 15-20 m de estratos poco competentes de depósitos de marisma cuaternarios de consistencia blanda-muy blanda hasta llegar al Keuper.



Figura 4. Pilotes hincados en encepado

4. Pilas

La estructura carece de un punto de vista principal o lineal al expandirse de un modo sinuoso a través de varios brazos sobre un entorno periurbano y la autovía A-67 (uno de los puntos con mayor IMD de Cantabria). Por tanto, existen multitud de perspectivas posibles desde varios ángulos y el diseño de las pilas cumple un papel fundamental en la percepción de una actuación ordenada por parte de los diferentes usuarios y observadores ajenos.



Figura 5. Pila aislada

Se ha optado por plantear una forma cilíndrica, cuya forma es vista igual desde cualquier ángulo, con un diámetro de 100 cm en todos los casos para mantener la uniformidad en la percepción del conjunto de la obra.

Si bien las formas de los capiteles han sido cuidadas con caras inclinadas y chaflanes de esquina, también han sido diseñados para ser fácilmente reutilizables posteriormente en la obra. Su tamaño permite alojar los diferentes aparatos de apoyo dispuestos en cada caso con suficiente holgura de posicionamiento.



Figura 6. Encofrado de pila reutilizable

La ubicación de las pilas en planta esquiva en todo momento interferencias con los gálibos horizontales del ferrocarril para evitar situaciones de impacto directo que habrían resultado excesivamente dimensionantes para unas cimentaciones que, al ser planteadas con pilotes hincados, tienen escasa capacidad estructural horizontal.



Figura 7. Pilas retranqueadas hacia el interior en el diafragma para salvar gálibo ferroviario

5. Viaductos de aproximación

El tráfico de la rotonda elevada procede de cinco viaductos de aproximación con anchos variables y luces moderadas que la conectan con el entorno. Todos ellos parten de un estribo en contacto con el terreno y culminan en una pila de apoyo doble que recibe tanto el apoyo del viaducto de acceso como el de los ramales de la pila. Por tanto, sobre estas pilas se disponen juntas de dilatación entre glorieta y accesos.



Figura 8. Capitel singular de fin de viaducto de acceso esperando apoyo de ramal de glorieta

Así la distribución de luces de cada uno de los viaductos es:

Tabla 2. Luces y anchos de viaductos de acceso.

ID	Luces (m)	Ancho (m)
E-2	22.60+26.20+22.60	9.60-10.80
E-3	21.00+23.50+20.70	13.55-13.00
E-4	23.00+26.30+26.30+22.00	12.70-16.22
E-5	22.45+26.00+26.00+23.00	13.65-14.75
E-6	23.90+27.75+24.00	12.87-12.50

La tipología empleada para resolver estas estructuras de un modo competitivo ha sido una estructura bijácena mixta, con dos nervios longitudinales metálicos doble T bajo una losa de hormigón (excepto en la E-4, en la que debido a su gran ancho en la zona final ha sido necesario recurrir a dos últimos vanos trijácenos).



Figura 9. Vista inferior de viaducto de aproximación

Las jácenas de todos los viaductos tienen un canto constante de 1160 mm, y un ala superior e inferior que, si bien pueden ampliarse sobre pila en función de los requerimientos estructurales, tienen un ancho básico de 450 y 600 mm respectivamente. En la zona exterior se dispone un goterón con chapa de 5 mm para evitar acumulaciones de agua, mejorando notablemente la durabilidad del elemento.

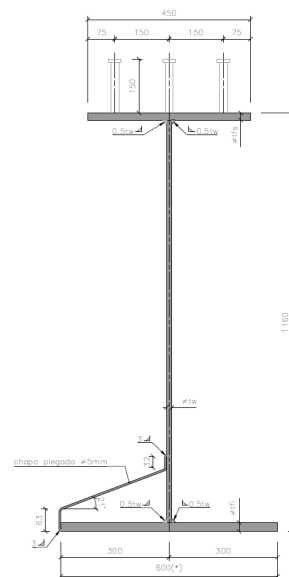


Figura 10. Sección tipo de jácena

La geometría en planta de los viaductos de acceso tiene un trazado curvo que ha supuesto un reto de cálculo, fabricación y ensamblaje, habiendo tenido que considerar efectos de torsión alabeada en la verificación de sus secciones y en las contraflechas.

Entre las jácenas se han dispuesto vigas transversales cada 4.00 m aproximadamente que se han atornillado a las mismas mediante una unión en testa pretensada. Para ello ha resultado necesario plantear un procedimiento de apriete ensayado y disponer un tratamiento superficial con una base de silicato de zinc para mejorar la adherencia y el contacto de las testas.

Los diafragmas de pila y los diafragmas de estribo también fueron atornillados contra las jácenas. Cobra relevancia en este último punto el diseño de un paso de hombre en los diafragmas de estribo para poder efectuar de un modo adecuado las tareas de inspección y mantenimiento requeridas en este tipo de uniones.

Los diferentes elementos de los tramos, como jácenas y las vigas transversales, fueron ensamblados en taller para validar su geometría mediante levantamientos topográficos. Posteriormente fueron desmantelados y se encajaron de nuevo sobre una bancada en obra.

Tras realizar las últimas comprobaciones geométricas y realizar adecuadamente el apriete de los tornillos, se estrobaron tramos completos de elementos bījácena y se posicionaron sobre las pilas ejecutadas.

Los apoyos planteados en estas estructuras fueron aparatos de neopreno armado rectangulares tipo C y sus chapones de cuña de nivelación fueron soldados en el taller al ala inferior de las vigas y quedaron instalados en la maniobra de colocación del tramo. Posteriormente fueron soldados contra unos chapones de espera dispuestos en la parte superior de los capiteles de pila.



Figura 11. Tramo tipo metálico de viaducto de acceso izado

Si bien se ha desarrollado un modelo de cálculo general que contiene todas las estructuras principales del enlace, también se ha desarrollado un modelo de cálculo de detalle más pormenorizado para cada uno de los viaductos de acceso, en los que se han introducido también las reacciones procedentes de la glorieta en la última pila.



Figura 12. Vista inferior de bijácena

Esta modelización de detalle se ha empleado para analizar el comportamiento del vano con una modelización de tipo emparrillado con secciones mixtas y con una modelización tipo bicapa, con la losa modelizada mediante elementos cuadrados tipo lámina.

6. Glorieta elevada

La Estructura 1 es el elemento más reconocible e icónico del enlace debido a su envergadura.

Esta glorieta de 103 m de diámetro se encuentra contenida en un único plano que desagua en la dirección ortogonal a la A-67 hacia Citrasa (noroeste) con una pendiente del 1%, y es materializada mediante una estructura mixta de una losa superior de 26 cm dispuesta sobre

La losa de estos viaductos tiene un espesor de 26 cm entre las jácenas y en los voladizos disminuye progresivamente hasta llegar a los 20 cm. Su ejecución se ha realizado mediante prelosas de ancho variable que han requerido un despiece pormenorizado y preciso para adaptarse a la geometría curva de la plataforma.

Los estribos de los viaductos de acceso son los puntos más rígidos en cuanto a cargas horizontales debido a su mayor densidad de pilotes hincados en una zona de terreno poco competente y a su escasa altura (a excepción del estribo de E-5, que tiene una altura de 5 m). Esta rigidez da lugar a que el punto fijo de la estructura se desplace hacia el estribo y a que en él se concentren mayores esfuerzos horizontales, también procedentes del empuje del terreno del propio estribo.

Para lidiar con estas cargas horizontales con una cimentación de escasa capacidad a flexión se han dispuesto unas losas de rozamiento que aprovechan el peso propio de su relleno superior y anclan el estribo en planta.

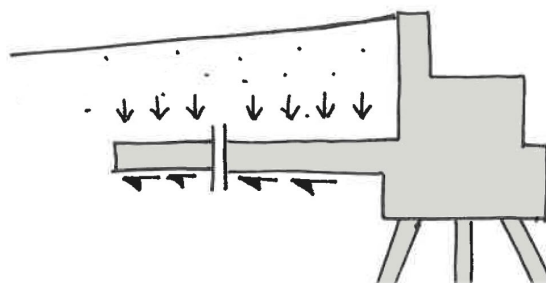


Figura 13. Esquema funcionamiento losa de rozamiento

dos cajones metálicos paralelos en artesa con un canto de 1160 mm y losa inferior para efectuar una doble acción mixta sobre las pilas de apoyo. Tal como se ha explicado con anterioridad, existe una zona de sobreancho que requiere la presencia de un tercer cajón que se macla con el interior. Esto puede apreciarse en la siguiente vista superior (ver Figura 14).



Figura 14. Vista aérea de enlace durante construcción

Todo el conjunto descansa sobre 9 alineaciones radiales de pila disponiendo un apoyo centrado debajo de cada uno de los cajones y salvando también los requerimientos de gálibo horizontal exigidos.

La conexión de esta glorieta con su entorno se realiza por medio de cinco ramales que se unen con los viaductos de acceso a través de una junta de dilatación sobre las últimas pilas de éstos en los capiteles de doble apoyo anteriormente descritos. La tipología estructural planteada para estos ramales es análoga a la de los viaductos de entrada y únicamente en ocasiones alguna jácena presenta un sobreancho adicional o incorpora un segundo alma para contener las dimensiones de los voladizos de la losa o mejorar la alineación de la conexión entre ramal y cajón circular exterior.

Las formas de estos ramales son fluidas y emplean acuerdos circulares generosos sin esquinas vivas para conseguir una transición orgánica que acompañe flujo tensional y visual entre las secciones doble T y el cajón de la glorieta.

Las variables geometrías de todas las estructuras fueron parametrizadas mediante “Grasshopper” para integrar la generación de los

modelos de cálculo con los 3d de geometría final y de geometría contraflechada. Esta geometría de fabricación fue proporcionados a los talleres metálicos para su ejecución, consiguiendo formas continuas y transiciones suaves en encuentros complejos.



Figura 15. Geometría fluida de ramales

El montaje de esta estructura se realizó por dovelas, dividiendo los cajones circunferenciales en 17 dovelas y los del sobreancho en 3. En todos ellos hubo que realizar un control geométrico en taller preciso y por tramos dada imposibilidad de encontrar una nave lo suficientemente grande como para alojar un montaje en blanco de la glorieta completa.



Figura 16. Pieza de control de giro en dovelas

Tras la fabricación las dovelas fueron trasladadas a obra en donde, tras verificar su

geometría, fueron instaladas sobre las pilas construidas y 10 apeos provisionales.

En las pilas se diseñó un elemento desmontable y reutilizable de apoyo para controlar la torsión y el giro durante el montaje de cada una de las dovelas (ver Figura 16).

La presencia del ferrocarril en mitad de la zona de obra obligó a mantener un diálogo permanente con la autoridad portuaria para realizar diferentes labores, entre ellas el izado de los tramos de las estructuras 2 y 4, y muchos tramos de la E-1. Adicionalmente, el cruce entre la A-67 y la glorieta volada en dos puntos requirió cuatro cortes nocturnos (uno por cada cajón).

Los cajones, interior y exterior, sólo se conectan entre sí a través de unas vigas transversales de sección cajón dispuestas en los ejes de pila.



Figura 17. Viga transversal siendo instalada

La losa de la zona de glorieta y la de los ramales se ejecutó también empleando prelasas variables con una dirección radial de armado.



Figura 18. Montaje de tramos de dovela sobre ferrocarril. Se aprecian esperas para ramales de aproximación

7. Trabajos finales y prueba de carga

Una vez finalizada la construcción de todos los elementos se llevó a cabo una prueba de carga realizando un análisis estático de flechas medidas, y un análisis dinámico obteniendo sus frecuencias propias, el grado de confort de aceleraciones y los coeficientes de amortiguamiento y de impacto. También se ha integrado un sistema de mantenimiento predictivo con redes neuronales con el fin de mejorar la explotación de dicha infraestructura.

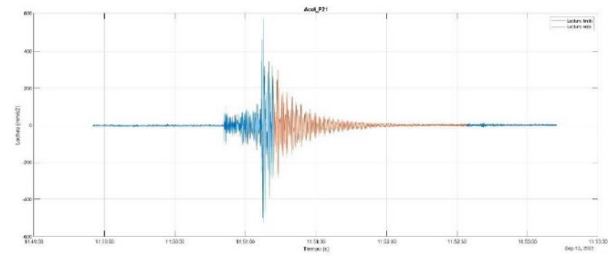


Figura 19. Acelerograma de prueba de carga



Figura 20. Enlace terminado y puesto en servicio

8. Conclusiones y agradecimientos

Se concluye que el trabajo de diseño desarrollado en este proyecto ha dado lugar a una pieza extensa pero amable y con un alto valor estético que resuelve de modo elegante y discreto el enlace sobre una de las carreteras más transitadas de la región en un entorno lleno de interferencias.

Desde Arenas & Asociados queremos agradecer a todos los agentes involucrados en la obra, especialmente a la UTE Acceso Raos: Dragados-Ascan-Geocisa y a la DO de la Demarcación de Carreteras del Estado en Cantabria y sus consultores SGS y K2.