

PUENTE ATIRANTADO DE ACCESO AL PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO DE CANTABRIA, SANTANDER.

Juan José ARENAS DE PABLO

Dr. Ingeniero de Caminos

ARENAS & ASOCIADOS

Presidente

jjarenas@arenasing.com

Guillermo CAPELLÁN MIGUEL

Ingeniero de Caminos

ARENAS & ASOCIADOS

Director Técnico

gcapellan@arenasing.com

Miguel SACRISTÁN MONTESINOS

Ingeniero de Caminos

ARENAS & ASOCIADOS

Coordinador de Proyectos

msacristan@arenasing.com

Resumen

Finalizada su construcción en 2007, el nuevo puente atirantado de acceso al Parque Científico y Tecnológico de Cantabria (PCTCAN), configura un paso superior sobre la autovía S-20 en el acceso a Santander. Se trata de un puente atirantado asimétrico de 72 m de luz, suspendido por 9 tirantes frontales de un mástil central inclinado, con dos grupos de 6 tirantes de retenida abiertos hacia el contrarresto del estribo-contrapeso enterrado. El puente constituye la imagen corporativa del nuevo Parque y se convierte en puerta de entrada a la ciudad de Santander. La especial configuración en cuña del estribo contrapeso con voladizos de hormigón, que recoge en su proa el apoyo del mástil central, además de servir de empotramiento al tablero mixto del vano principal, junto con el diseño apuntado del mástil inclinado metálico, hacen de la estructura el símbolo de la innovación y el progreso que buscaba la gerencia del PCTCAN.

Palabras Clave: Puente atirantado asimétrico, Parque Científico, mástil inclinado, atirantamiento central, estribo en cuña, sección mixta.

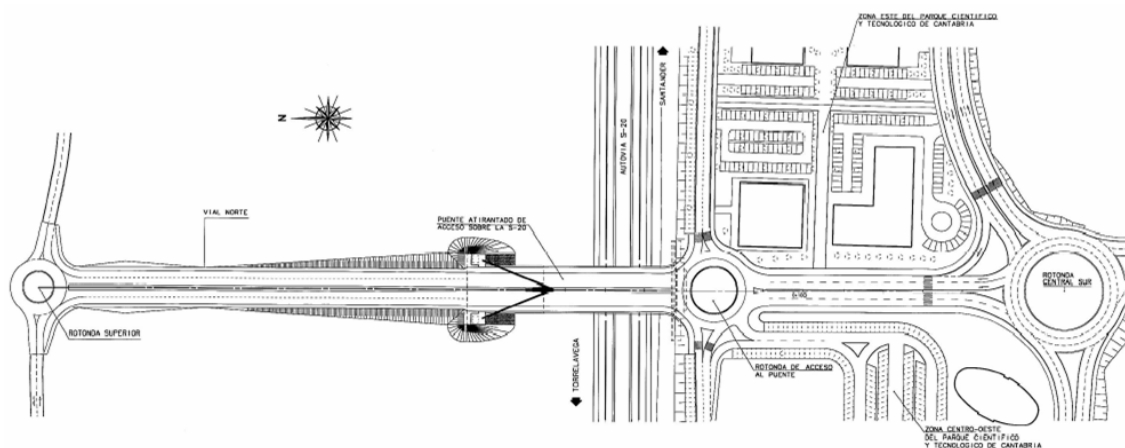


Fig. 1 Planta del emplazamiento en el acceso al Parque Tecnológico

1. Introducción y emplazamiento

El puente de acceso al Parque Científico y Tecnológico de Cantabria en Santander conforma un nuevo paso superior sobre la autovía S-20 de acceso a Santander. El puente forma parte de las obras de urbanización del PCTCAN, que incluyen los viales internos del Parque y un nuevo eje Norte-Sur en el que se integra el puente, mejorando la comunicación entre ambos márgenes de la autovía en una nueva zona de desarrollo urbanístico. Se prevé así el desarrollo del otro margen de la autovía como un nuevo polígono residencial, además de un posible acceso al Parque desde la autovía una vez éste entre en funcionamiento.

El puente se integra también dentro del conjunto de actuaciones y construcciones en el PCTCAN, entre las que se cuenta un Aparcamiento subterráneo proyecto de Arenas & Asociados, y que buscan dar un impulso a la actividad económica y al desarrollo en la actividad industrial y en I+D+i en la región.

El puente salva la autovía y su potencial ampliación con viales de servicio con una luz de 72 m, y configura una referencia simbólica para el Parque Tecnológico. El esquema atirantado asimétrico responde a las condiciones del emplazamiento, permitiendo limitar el canto, mejorando las condiciones de gálibo, y aportar por medio del mástil inclinado el elemento direccional que indica el acceso al PCTCAN.

La configuración del alzado se adapta correctamente al trazado con cierto desnivel de bajada, además de quedar el estribo-contrapeso enterrado, y terraplén de acceso desde el norte, integrados en el la colina natural que existe en este lado de la autovía.



Fig. 2 Vista nocturna del puente construido

2. Descripción de la Estructura

2.1 Geometría y elementos principales

La **configuración general** del puente incluye una sección tipo del tablero con un ancho de 22 m, calzadas de 7 m y aceras laterales de 2.8 m, así como una mediana de 2.4 m en la que se dispone el atirantamiento. El tablero posee una sección mixta con un cajón metálico de 9 m de ancho y 1.5 m de canto, voladizos metálicos cada 3 m y una losa de hormigón de 22 cm ejecutada sobre prelosas. El tablero se suspende del mástil por medio de 9 tirantes centrales que están formados por unidades de cordones de acero de pretensado de 7 alambres y 0,6", con una potencia máxima de 37 cordones por tirante. El mástil inclinado se ve retenido por dos planos abiertos de 6 tirantes de contrarresto anclados en el contrapeso enterrado. El tablero se empotra en el estribo, cambiando de sección mixta a una sección de hormigón a la que se une mediante barras pretensadas situadas en el interior del cajón.

La sección tipo consiste en un **tablero** de sección mixta formado por una losa de hormigón de 22 cm sobre estructura metálica formada por un cajón central con voladizos, de 150 cm de canto máximo. El cajón central de 9 m de ancho máximo posee un fondo curvo, almas laterales inclinadas y un alma central vertical coincidente con el plano de suspensión de tirantes. Los diafragmas se disponen cada 3 m, distinguiéndose los diafragmas ultra rígidos cada 6 m coincidentes con los planos de suspensión, de los diafragmas marco tipo formados por rigidizadores transversales coincidentes con los planos de voladizos. Estos voladizos tienen un ala inferior curva de ancho variable en prolongación de la curvatura del fondo de tablero, y dan soporte a la losa de hormigón de 22 cm. Dicha losa de tablero se hormigona utilizando prelosas colaborantes de 7 cm de canto y 2,4 m de luz fácilmente transportables, en dos anchos diferenciados para colocar en tramos de voladizos o sobre el cajón central.

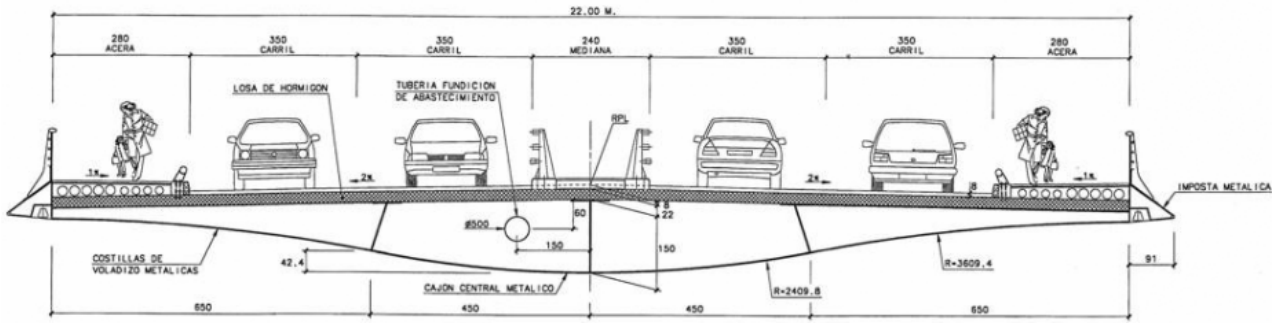


Fig. 3 Sección tipo mixta de tablero

El tablero se suspende por medio de 9 tirantes situados cada 6 m en el plano central. El primer tirante se sitúa a 12 m del empotramiento en la sección de hormigón del estribo, o lo que es lo mismo, a 18 m aproximadamente del apoyo teórico del mástil.

Los **tirantes** están formados por unidades de cordones de acero de pretensado de 7 alambres y 0,6", con una potencia máxima de 37 cordones por tirante. La carga máxima de trabajo en servicio de un tirantes se limita al 42% de su carga de rotura. Estos disponen de tripe protección frente a corrosión formada por la vaina individual de polietileno de alta densidad, la inyección de cera interior, y la vaina helicoidal P.E.A.D general. Esta vaina se crea con un reborde helicoidal disminuyendo así la influencia de los vórtices de excitación aerodinámica sobre la vibración de los tirantes. Los terminales se definen con rótula en su extremo pasivo, mientras que el anclaje activo siempre es oculto, con el sistema de cuñas en una placa de anclaje. Los tirantes frontales principales tienen el anclaje activo en cabeza del mástil, oculto en el cuerpo central, y anclaje pasivo en el tablero; mientras que los cables de retenida tienen anclaje activo en su extremo inferior oculto en los pozos de tesado del contrapeso, con sus anclajes en el mástil articulados pasivos.



Fig. 4 Mástil metálico inclinado

El **mástil** inclinado central con una altura de 30 m sobre el tablero, posee una sección variable con un cuerpo central y alas laterales formando una flecha, en su plano coincidente con el plano de los cables de retenida. La retenida está formada por dos planos de 6 tirantes que se abren a los laterales del vial, donde existen dos fosos accesibles para el tesado de la retenida, integrados dentro del conjunto del estribo-contrapeso enterrado. Mientras que el tesado de los cables frontales se realiza desde el cuerpo central del mástil accesible durante la construcción. Los planos inclinados laterales de chapa del mástil coinciden con los planos que forman los tirantes de retenida, mientras que el cuerpo central rehundido hacia el frente crece en el dorso hacia la base para aumentar su sección frente a esfuerzos de empotramiento.

El **estribo** adopta una forma en cuña hacia el frente para recibir en la proa la reacción del mástil, mientras que sus voladizos de hormigón nervados dan continuidad a los voladizos de la sección mixta en el vano principal, prolongando la línea del tablero. Al llegar al final el tablero se ensancha para contener el terraplén del vial de acceso y aprovechar este peso para configurar el contrapeso. Dos pozos de tesado laterales reciben el anclaje de los cables de retenida y permiten el acceso durante la construcción y a lo largo de la vida útil del puente para revisiones y en previsión de posibles retesados o sustitución de cables. En la cara superior del estribo sobresale un zócalo central para recibir el apoyo del mástil, y dos zócalos laterales que reciben la llegada de los tirantes de contrarresto. Barras verticales de pretensado permiten llevar el tiro vertical de los tirantes a la cimentación, mientras que las componentes horizontales se compensan en el tablero comprimido.

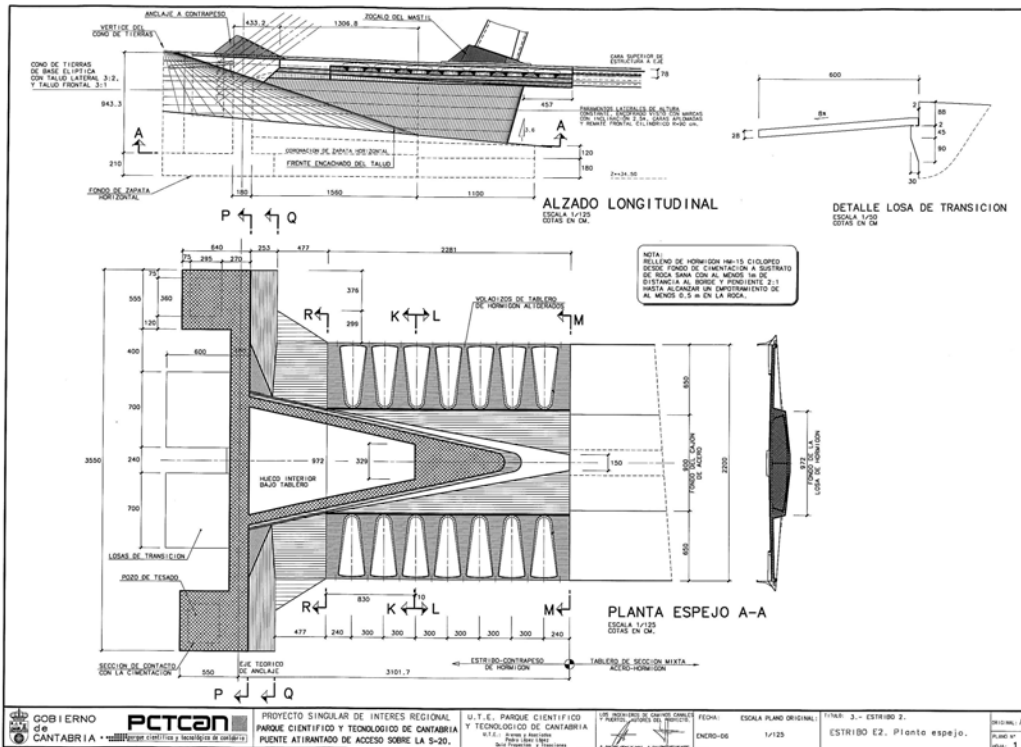


Fig. 5 Plano de definición general del Estribo contrapeso con su configuración en cuña

El conjunto formado por mástil inclinado y proa de estribo en cuña, junto con el tablero mixto empotrado en el voladizo del hormigón del estribo forman una pieza única y solidaria unida por medio de barras pretensadas. El terraplén se rematada mediante conos de tierra encachados con piedra de pizarra en el frente de estribo.



Fig. 6 Vista general de la estructura y del estribo apuntado en E2.

2.2 Procedimiento de construcción

La ejecución de la estructura propiamente dicha tuvo una duración de 9 meses, siendo superior el plazo total de las obras debido a la construcción de los viales de acceso. Cabe resaltar dentro del procedimiento de construcción las fases de ejecución del estribo contrapeso, incluyendo los anclajes activos de la retenida en los fosos de atirantamiento, el montaje con grúa de la estructura metálica del tablero mixto sobre apeos provisionales sobre la autovía en servicio, el izado con grúa del mástil central en dos piezas, y el posterior proceso de tesado en fases de los tirantes frontales y de retenida según la sucesión estudiada en el cálculo, y monitorizada mediante la instrumentación de la estructura metálica con galgas extensométricas. La contrata encargada de la construcción fue la UTE ASCAN-URSSA.

Para la construcción del puente se siguieron las siguientes fases:

FASE 1: MOVIMIENTO DE TIERRAS. EXCAVACION DE CIMENTACIONES

Tras las operaciones previas, establecimiento de instalaciones, desbroce y adecuación de accesos, se procede a la ejecución de la estructura.

En primer lugar, se realiza la excavación de la cimentación para las zapatas del estribo E1 y E2, así como la colocación del hormigón ciclópeo bajo zapatas hasta el sustrato de roca sana a una profundidad media de 2.5 m con un empotramiento de 0.5 m. La superficie de apoyo de zapatas queda preparada, enrasada y uniforme.

FASE 2: CIMENTACIONES Y ESTRIBOS.

La segunda fase corresponde con el armado y hormigonado de las zapatas del estribo E1 y E2, la construcción del alzado y relleno posterior del estribo E1 y la construcción de los alzados del estribo E2: cuerpo de estribo, muro y torres de contrapeso, tablero sobre estribo E2, así como el relleno del trasdós del estribo E2.

El estribo E2 incluye el frente de apoyo en forma de proa que da apoyo el mástil, y el cuerpo final del contrapeso con pozos de tesado. Para el anclaje de los tirantes de retenida se disponen tubos metálicos para el paso de los tirantes hasta sus placas de anclaje traseras, y barras pretensadas verticales dentro de vainas para la transmisión del tiro al fondo de la cimentación. El tablero del estribo con voladizos se ejecuta sobre cimbra con encofrado perdido en la célula central. Quedan sin hormigonar los 2.4 m frontales en los que se materializa el empotramiento del tablero mixto por medio de barras pretensadas que quedan embebidas en el cuerpo del estribo.



Fig. 7 Imágenes de la construcción del frente apuntado del estribo E2

FASE 3: ESTRUCTURA METÁLICA DE TABLERO

En la fase 3, se procede a la instalación de los apeos metálicos provisionales para el apoyo del tablero mixto. El montaje de la estructura metálica del tablero mixto se realiza en cuatro tramos sobre apeos provisionales con una luz máxima de 18 m. En el tramo fuera de la autovía el ensamblaje de las dos mitades en las que se transporta el cajón central, la soldadura de voladizos, y la colocación de la imposta se realiza directamente sobre los apeos provisionales. Sin embargo en el resto de los tramos el montaje se realiza sobre bancadas anexas a los estribos para luego proceder al izado los tramos completos con grúa en tiempo nocturno para minimizar la afección al tráfico de la autovía.

El cajón central incluye una tubería de abastecimiento de fundición de 500 mm que se coloca dentro de una camisa de chapa que se iza junto con el resto de la estructura metálica.



Fig. 8 Imágenes del montaje de la estructura metálica de tablero sobre apeos provisionales

FASE 4: HORMIGONADO DE LOSA DE TABLERO MIXTO

En la fase 4, se colocan las prelasas de hormigón prefabricadas que sirven como encofrado colaborante de la losa in situ de tablero. Sobre prelasas se procede al armado y hormigonado de la losa del tablero mixto y del diafragma de empotramiento del tablero en el estribo E2, materializándose el empotramiento-transición entre tablero mixto y tablero de hormigón una vez endurecido con el tesado de las barras internas de anclaje, ocultas dentro del cajón central al que se accede por medio de un paso de hombre dispuesto en cada extremo del tablero.



Fig. 9 Izado y montaje del mástil metálico con apeo único

FASE 5: MONTAJE DEL MÁSTIL CENTRAL METÁLICO

En la fase 5, se realiza el montaje del mástil metálica. El izado se realiza en dos partes, fuste y cabeza del mástil. Para el izado se utiliza un apeo único frontal para mejorar la estabilidad de la pieza durante las operaciones de montaje en las que no está materializado el empotramiento en la base, asegurar la precisión en el montaje de la geometría, y reducir la flexión del mástil hasta el montaje de los cables de retenida. El fuste se enhebra en las barras roscadas de la base y se atornilla, rellenándose con mortero antiretracción el espacio entre la placa de base y el zócalo de hormigón. La cabeza del mástil se iza y se atornilla al fuste con casquillos de fijación provisional para poder realizar la soldadura entre ambas partes.

FASE 6: TESADO Y DESAPEO DE LA ESTRUCTURA

En la fase 6, se procede a la instalación de los tirantes y se lleva a cabo el tesado por fases de los cables hasta el descimbrado total de acuerdo al Procedimiento de Tesado. Los tirantes suministrados por Freyssinet se enfilan en el tablero y se izan totalmente premontados anclado al terminal articulado con bulón del extremo pasivo. Tras el izado de cada tirante se da una carga de enfilado al tirante para evitar daños en el anclaje pasivo. El tesado se realiza de forma progresiva, de acuerdo a fases previstas, alternando entre los cables de retenida y frontales para reducir al mínimo la flexión en el mástil. El tesado se controla a través de las medidas obtenidas en la instrumentación del proceso. La instrumentación incluye el control de parámetros geométricos y tensionales de la estructura, a través del uso del control topográfico de desplazamientos, y la medición de tensiones en tirantes y estructura metálica con el uso de galgas extensométricas. Mediante el tesado se consigue el desapeo de la estructura de tablero. Antes del tesado del último de los cables se realiza el afirmado y acerado para evitar con esta carga que despeguen los apoyos en el estribo, y para poder ajustar la carga del último tirante en base al peso muerto real de la carga permanente. El tesado se realiza en una única pasada según la sucesión prevista, sin que las desviaciones en carga medidas de acuerdo a la instrumentación y al pesaje final superen el 3% respecto a la carga prevista.



Fig. 10 Enfilado, izado y tesado de los tirantes



FASE 7: ACABADOS.

En la fase 7, última fase del proceso constructivo se disponen los accesorios de los tirantes y se realizan su sellado y protección, incluyendo los antivandalismos inferiores protectores, capots en los anclajes, inyecciones de cera en terminales, etc. Sobre la estructura resistente terminada del puente se realiza la colocación de juntas, aceras, barreras y barandillas, alumbrado, y todos los elementos de acabado hasta completar el conjunto de las obras.

La ejecución en paralelo del Vial Norte exige la ejecución del desbroce, movimiento de tierras, formación de plataforma, instalaciones, pavimentado, acerado, iluminación, señalización y actividades de acabado, incluyendo el encachado de los conos de tierras que rematan el estribo con lajas de pizarra.

Se realiza la prueba de carga preceptiva con un conjunto de 14 camiones de 26 toneladas incluyendo casos de carga simétrica, asimétrica y de torsión, con resultado satisfactorio y flechas en el entorno de 85% de las previstas, comprobándose que la rigidez torsional del tablero es superior a la supuesta en el cálculo.



Fig. 11 Imagen de la prueba de carga estática de la estructura terminada

2.3 Cálculo estructural

Dentro del trabajo de cálculo y análisis estructural llevado a cabo durante el Proyecto y la Dirección de Obra del Puente de acceso al PCTCAN resaltamos el modelo global del puente en servicio, el cálculo evolutivo del tablero durante el proceso constructivo, los modelos globales y de detalle del mástil, así como el cálculo en fases realizado para determinar el procedimiento y fases de tesado.

En el modelo global de cálculo se incluye el conjunto del estribo-contrapeso E2 al estar empotrado al tablero y al mástil, funcionando así el conjunto como una pieza única. De esta forma el empotramiento del tablero depende de la flexibilidad del propio estribo así como del apoyo en la cimentación directa. El resultado de los cálculos es que este elemento es de gran rigidez y aporta un empotramiento casi totalmente rígido al tablero lo que mejora su comportamiento respecto a un tablero simplemente apoyado en cuanto a flechas y vibraciones. En contrapartida esta unión es más complicada de definir y ejecutar en obra, por medio de un conjunto de barras pretensadas con sus anclajes ocultos en el interior del cajón.

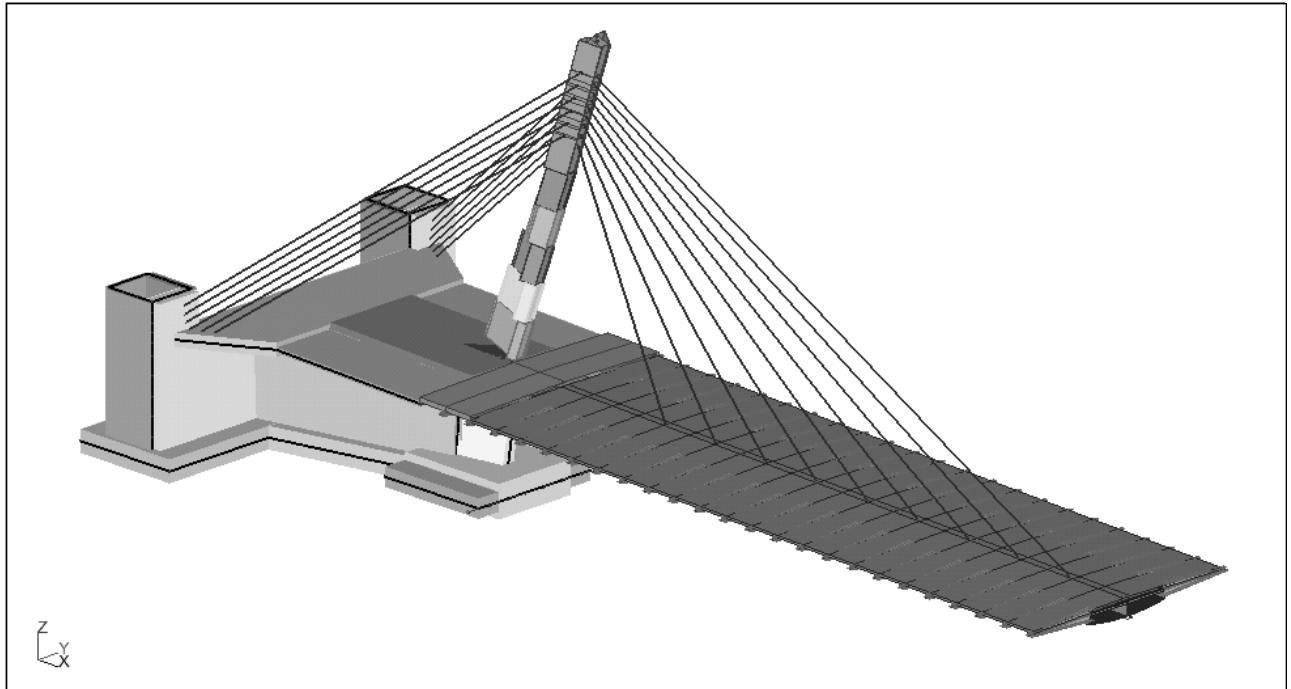


Fig. 12 Vista del modelo global de cálculo de la estructura

Si bien resultan necesarios modelos de detalle para la comprobación de la base y la cabeza del mástil, de estos resulta que en concreto el comportamiento de la cabeza es muy sencillo y eficaz al haber dispuesto los anclajes de los cables de retenida en el mismo plano de las planos principales de las alas laterales del mástil. De esta forma no se producen practicamente flexiones y la tracción se transmite directamente a estas chapas, adaptándose la configuración variable de la sección a los distintos esfuerzos locales y globales.

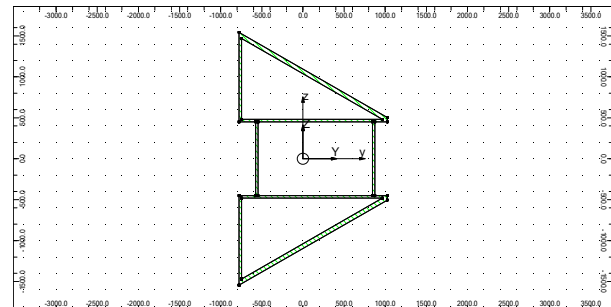
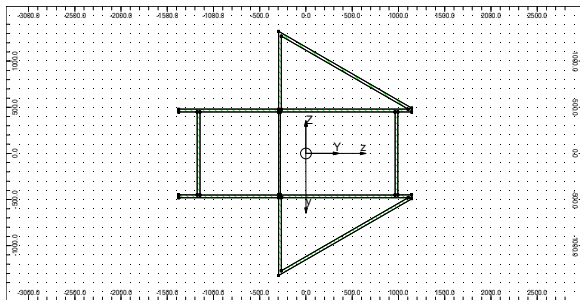


Fig. 13 Secciones variables del mástil en fuste y cabeza

El cálculo del procedimiento de tesado se realiza de acuerdo a un modelo por fases reproduciendo la sucesión del tesado en orden inverso, en una primera aproximación, ajustándose con el modelo de avance en el que se ajustan las cargas finales.

El tesado principal se realiza en un único ciclo de tesado de los tirantes con gato unifilar, con lo que estos se tesan con una fuerza tal que finalizado el proceso se obtengan las fuerzas finales y la geometría deseada. Se prevé la utilización del gato de pesaje para la realización de ajustes sólo en el caso de que resulte necesario, utilizándose la rosca prevista a ese fin en el anclaje activo, para evitar así dañar los cordones con doble mordedura de las cuñas. Previo al ciclo de tesado se prevé un ciclo de enfilado de tirantes, y tras el ciclo de tesado principal se realizará un ciclo de comprobación de cargas finales, realizándose el ajuste de cargas en el caso de que se detecte una divergencia del 5% respecto a las cargas previstas.

El ciclo de tesado se divide en 25 fases, 21 fases de tesado principal, una fase de aplicación de carga permanente y 3 fases de retesado. Las fases de tesado principal se corresponden con el tesado de los 9 tirantes frontales y los 12 tirantes de retenida de forma independiente, y a estas les siguen la fase de aplicación de la carga permanente, y el retesado de los tirantes largos. El tesado de los dos tirantes de retenida de una pareja es sucesivo, siempre primero el del flanco **derecho**, debiendo comprobarse al final del tesado de la pareja que la carga es igual a la prevista en ambos, y que no existen deformaciones transversales remanentes en el mástil.

El resultado del tesado principal da lugar a la geometría del puente con una contraflecha de unos 10 cm. de cara a recibir la carga permanente, estando sólo bajo las cargas de peso propio de la estructura.

2.4 Conclusiones

Después de lo expuesto en el presente artículo y a la vista del coste de la estructura en proyecto (3,5 millones de euros PEM, incluyendo los viales de acceso), que equivale a un coste aproximado del m² de estructura de 1.530 euros, cabe llegar a la conclusión de que es posible proyectar puentes singulares, con un fuerte contenido simbólico, sin que la repercusión sobre la inversión sea significativa, aunque sí su repercusión social y mediática. Por ejemplo dentro de este caso en el que la inversión en el resto de la urbanización e infraestructuras del Parque Tecnológico supera los 40 millones de euros.

Finalizada la construcción no se ha producido ningún sobrecoste respecto a la presupuestado en proyecto, con lo que se puede concluir que igualmente es posible proyectar y construir estructuras singulares sin que el presupuesto aumente durante la ejecución, si el proyecto incluye el suficiente grado de detalle y estudio.

El puente resultado de este esfuerzo ha respondido a las expectativas de la propiedad convirtiéndose en símbolo del Parque Tecnológico e impulso para el resto de los proyectos a desarrollar en este espacio. A las pocas semanas de la finalización de la construcción se terminó la demolición del estrecho puente existente al que el nuevo puente sustituye cuya configuración en planta y en cota chocaba con el desarrollo previsto en el planamiento del Parque Tecnológico. El nuevo puente estará plenamente operativo una vez acabadas las obras de urbanización del citado Parque Tecnológico.

Sin embargo desde su construcción cumple ya su función simbólica de puerta de entrada al Parque y a la ciudad de Santander, e imagen que pretende transmitir los valores de progreso e innovación asociados a este complejo tecnológico.



Fig. 14 Vista nocturna del puente acabado