

Puente Atirantado Matlab Uttar – Gazaria en Bangladés

Matlab Uttar – Gazaria Cable-Stayed Bridge in Bangladesh

José Luis Sánchez Jiménez^a, Fernando Cea Soriano^b, Guillermo Palacios García^c,
Fernando Fernández Moreno^d

^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director del Departamento de Estructuras de TYPESA. Madrid. jlsanchez@typsa.es

^bIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de sección. Departamento de Estructuras de TYPESA. Madrid. fcea@typsa.es

^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de equipo. Departamento de Estructuras de TYPESA. Madrid. gpalacios@typsa.es

^dIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de equipo. Departamento de Estructuras de TYPESA. Madrid. fefernandez@typsa.es

RESUMEN

El puente Matlab Uttar – Gazaria representa el primer puente atirantado de Bangladés. Su vano principal, de 400 m, es además el de mayor luz del país, duplicando el récord anterior, correspondiente a un puente extradosado. Las particularidades de Bangladés influyen significativamente en el diseño del puente: el ochenta por ciento de la superficie del país es inundable, se dan tifones con relativa frecuencia, se trata de una zona de actividad sísmica, el espesor de materiales flojos proclives a la socavación ronda los 40 m y las grandes dimensiones de sus ríos permiten la navegación de buques de hasta 10 000 toneladas (DWT). Se diseña para la Bangladesh Bridge Authority (BBA), la agencia local para puentes de más de 1 500 m.

ABSTRACT

The Matlab Uttar – Gazaria Bridge is the first cable-stayed bridge in Bangladesh. Its main span, 400 m long, is also the longest in the country, doubling the previous record, which is for an extradosed bridge. The particularities of Bangladesh significantly influence the design of the bridge: eighty percent of the country's surface is subject to flooding, typhoons occur relatively frequently, it is an area of seismic activity, the thickness of loose materials prone to scour is around 40 m, and its large rivers allow navigation of vessels of up to 10 000 tonnes (DWT). It was designed for the Bangladesh Bridge Authority (BBA), the local agency for bridges over 1 500 m in length.

PALABRAS CLAVE: puente atirantado, sismo, tifón, socavación, cable, pilote hincado, pilono.

KEYWORDS: cable-stayed bridge, seism, typhoon, scour, cable, steel driven pile, pylon.

1. Introducción

TYPESA ha desarrollado para la Bangladesh Bridge Authority (BBA) su “Masterplan”: un plan de transportes donde se identifican los corredores principales dentro del país y se priorizan las inversiones. El actual crecimiento de Bangladés y su particular orografía, en la que

el diez por ciento de su superficie son ríos, hacen que estas inversiones se dirijan a infraestructuras en las que son necesarios puentes de gran longitud. Estos puentes cruzan cauces amplios en los que las cimentaciones son singularmente complicadas. Dentro de estos nuevos corredores

de transportes identificados, destaca la necesidad de uno en dirección norte-sur paralelo al río Meghna y que no está cubierto por las infraestructuras existentes. El puente Matlab Uttar – Gazaria supone el cruce de dicho trazado sobre uno de los brazos del río Meghna. En 2022, la BBA encargó a TYPESA el Proyecto de Construcción del puente, que se completó en 2024. En este artículo se destacan las singularidades tanto de la localización del puente como de la solución diseñada.

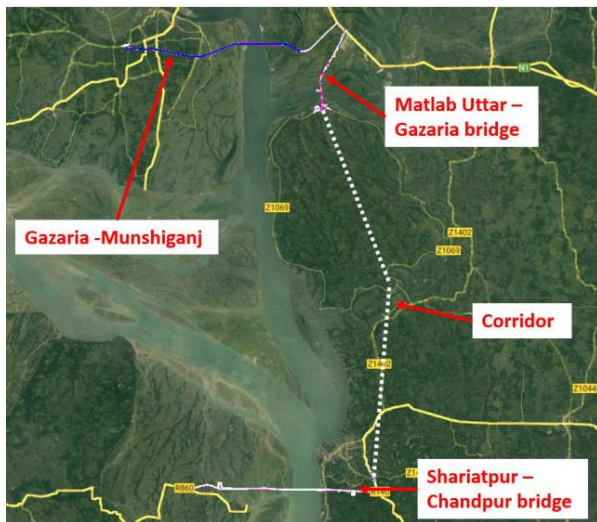


Figura 1. Corredor paralelo al río Meghna en el que se ubica el puente Matlab Uttar - Gazaria.

2. Descripción General

El puente tiene una longitud total de 1 845 m, con un tramo atirantado de 700 m y un vano

principal de 400 m. En el acceso norte hay 14 vanos de vigas prefabricadas doble T de 40 m de luz, mientras que en el sur hay siete vanos de 37.3 m y un cajón postesado ejecutado por voladizos sucesivos y de distribución 60-100-100-60.

El brazo del río Meghna sobre el que cruza el vano principal incluye una zona que se ha mantenido estable durante los últimos 50 años al ser un punto nodal: la confluencia de dos subafluentes.

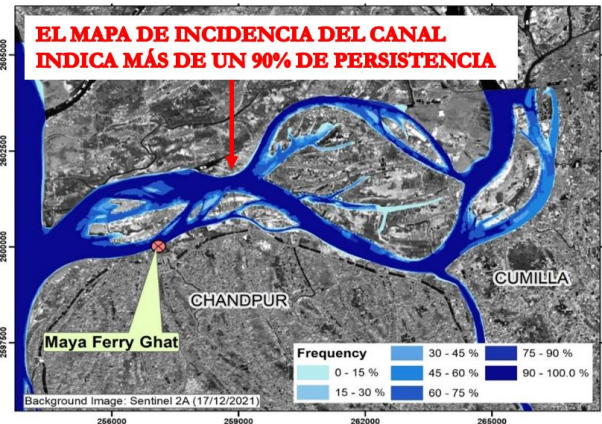


Figura 2. Estabilidad del canal elegido para el cruce.

Esta particularidad, que no se da en otros grandes ríos del país con una naturaleza más errática, hace particularmente interesante el planteamiento de un vano que evite la presencia de pilas en el cauce en época seca, de modo que se reduce el riesgo de socavación o de impacto de un buque, a la vez que se facilita la ejecución de las cimentaciones al poder construirse en seco con carácter general.

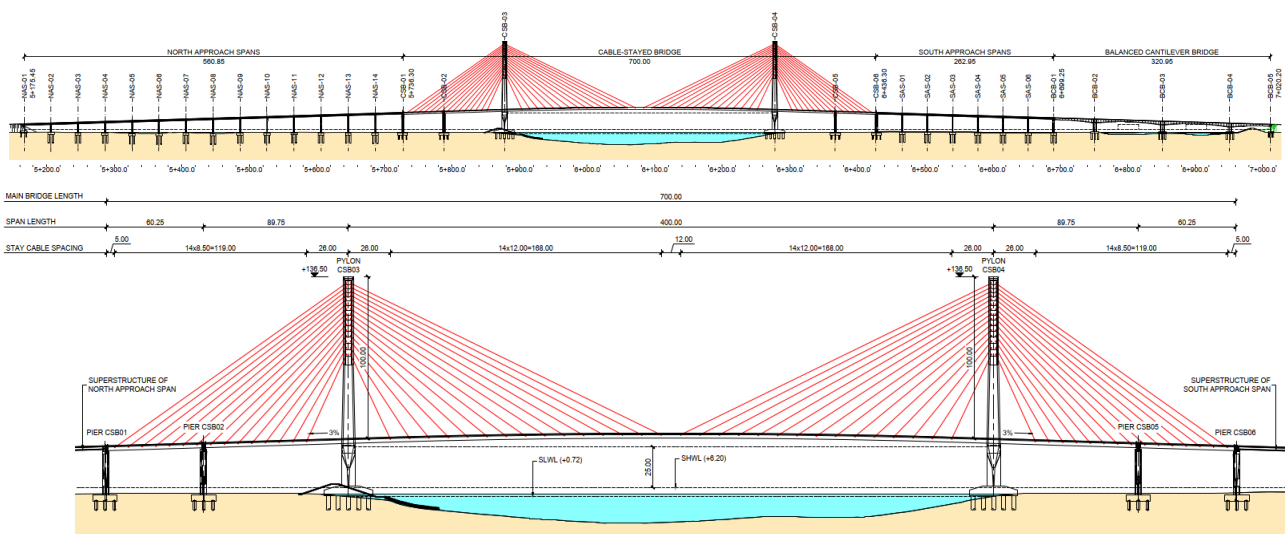


Figura 3. Alzado general del puente (arriba) y del tramo atirantado (abajo).

El trazado es recto en planta. En alzado supone un acuerdo convexo, con pendientes de entrada y salida del 3%. Se proporciona un canal de navegación con al menos 25 m de gálibo vertical sobre el nivel de máxima avenida en toda la luz del vano principal, mejorando los 18.3 m que requiere actualmente la normativa local.

El puente soporta dos calzadas de dos carriles por sentido, con arcén interior de 0.5 m, exterior de 1.50 m y barreras. Además, la zona atirantada tiene un sobreancho de 2.0 m a cada lado para el anclaje de los cables y un paseo de inspección, hasta un ancho total de 24.3 m.

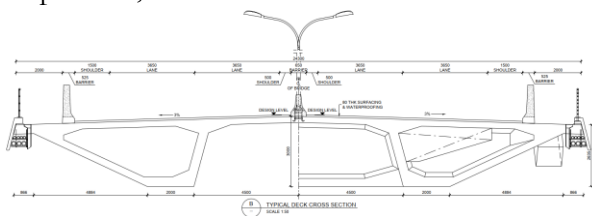


Figura 4. Sección tipo funcional.

El tramo atirantado en el que se centra este artículo tiene unos vanos de compensación de 150 m para la luz principal de 400 m. Esto es debido a que, una vez que se cruza el canal navegable, se opta por minimizar la longitud atirantada y con ella el coste del puente. Se dispone además de una pila adicional de retención a 90 m del pilono, que proporciona rigidez al sistema y ayuda a centrar la carga vertical en el pilono.

Desde cada pilono se extienden dos planos de atirantamiento, con 30 cables cada uno, 15 hacia la retención y 15 hacia el vano principal, haciendo un total de 120 cables. El espaciado de dichos cables es de 12 m en el vano principal (en línea con realizaciones recientes como el Cebú en Filipinas o el Puente de la Constitución en Cádiz) y de 8.5 m en la retención, estando en ambos vanos el primer anclaje en el tablero a 26 m del eje del pilono.

Los pilonos, con una altura de 129.5 m (100 m sobre el nivel del tablero) tienen forma de diamante con un mástil único que recoge los anclajes de los cables.

Cada pilono se sustenta en un encepado con 30 pilotes metálicos de 2.5 m de diámetro hincados a 90 m de profundidad, lo que hace de esta una cimentación singular. Por su parte, las pilas de retención se disponen sobre pilotes perforados de hormigón de 1.80 m de diámetro y longitudes entre los 76 y los 88 m.

3. Singularidades de su localización

Bangladés conforma el delta del Ganges y el Brahmaputra, denominados Padma y Jamuna en el país, así como del Meghna. Estos ríos suponen el 10% de la superficie del país. Además, durante el monzón se producen grandes inundaciones. Dado que el país es muy llano y las subidas del nivel del agua llegan a los 6 m, el 80% de la superficie del país es inundable.

3.1 Vientos asociados a tifones

Los tifones en Bangladés son recurrentes. En 1970, cuando aún era parte de Pakistán, el país sufrió el peor tifón registrado de la historia, con estimaciones que llegan al medio millón de fallecidos.

Así, la normativa local BNBC (Bangladesh National Building Code) emplea velocidades de viento de hasta 80 m/s en ráfaga de 3 segundos para periodo de retorno de 50 años, asociadas a estos vientos ciclónicos. Para el diseño del puente en base a Eurocódigos, se pasan estas velocidades a ráfagas de diez minutos mediante la curva de Dust.

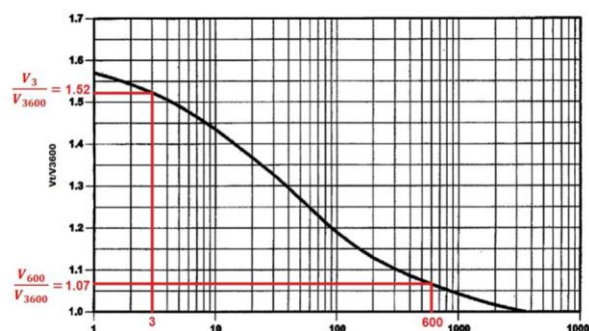


Figura 5. Curva de Dust para paso de ráfaga de 3 segundo a ráfaga de 10 min.

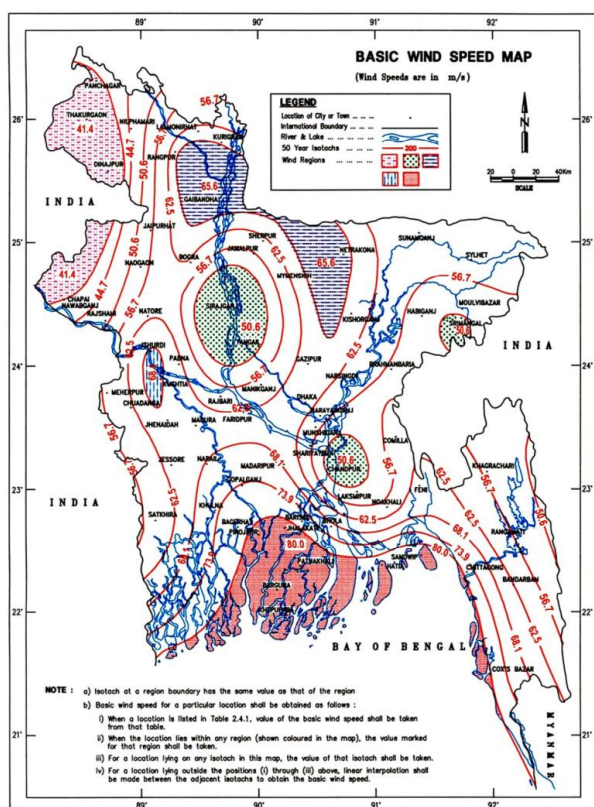


Figura 6. Velocidad básica del viento en ráfaga de 3 segundos para $T_R=50$ años. Fuente: BNBC.

Para la localización del puente, el viento de diseño según la BNBC corresponde una velocidad básica de 56.7 m/s, que se incrementa en un 4% en previsión del efecto del cambio climático hasta los 59.0 m/s (212 km/h).

Además, se ha definido otro nivel de viento, con un origen no asociado a un tifón y una velocidad básica del 50% del viento de diseño, con vistas a analizar la probabilidad de coincidencia de distintos eventos extremos descrita en la referencia [1].

3.2 Actividad Sísmica

Bangladés es una zona sísmica. La localización del puente está caracterizada por una sismicidad moderada (PGA - Peak Ground Acceleration = 0.2 g). Se considera que el puente constituye una estructura crítica y que el terreno es del tipo SC, de modo que la meseta para un sismo de 2475 años de periodo de retorno se sitúa en 0.83 g.

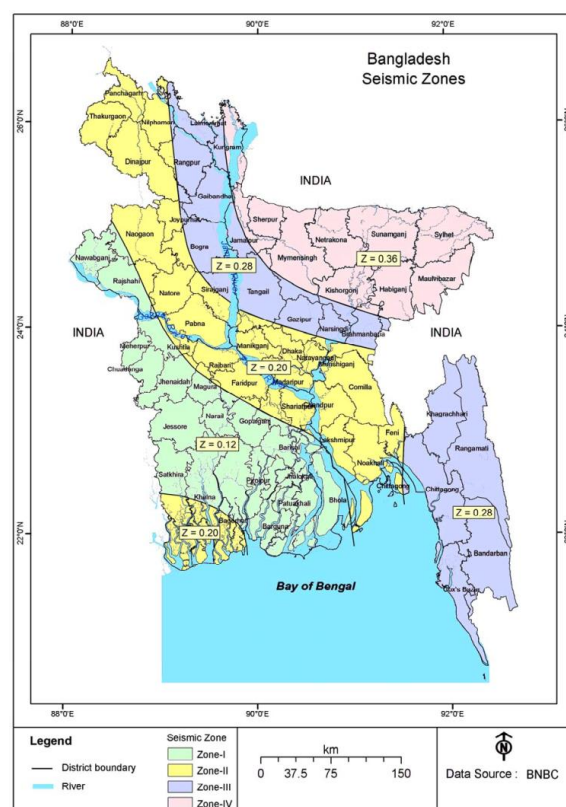


Figura 7. PGA para probabilidad de excedencia del 2% en 50 años ($T_R=2475$ años). Fuente: BNBC.

Adicionalmente, se desarrolló un estudio de riesgo sísmico específico para la ubicación del proyecto.

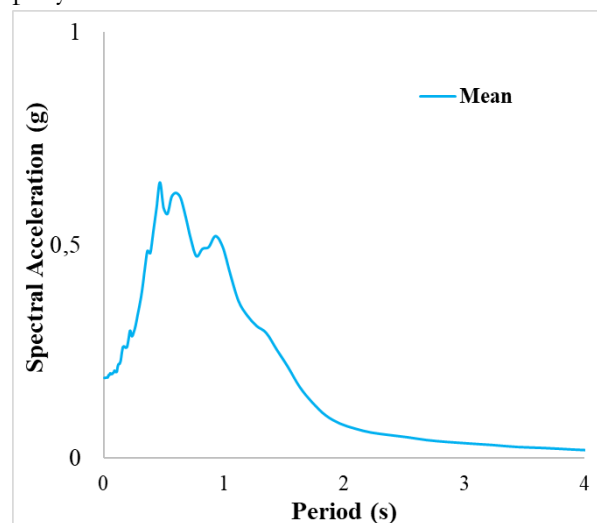


Figura 8. Espectro de respuesta propuesto para probabilidad de excedencia del 5% en 50 años ($T_R=975$ años). Fuente: Estudio de riesgo sísmico.

3.3 Socavación

Al tratarse de un delta, la mayor parte del país incluye una gran potencia de sedimentos. Con las épocas de lluvias y el aumento en la velocidad del

agua, estos espesores de materiales flojos son proclives a la socavación.

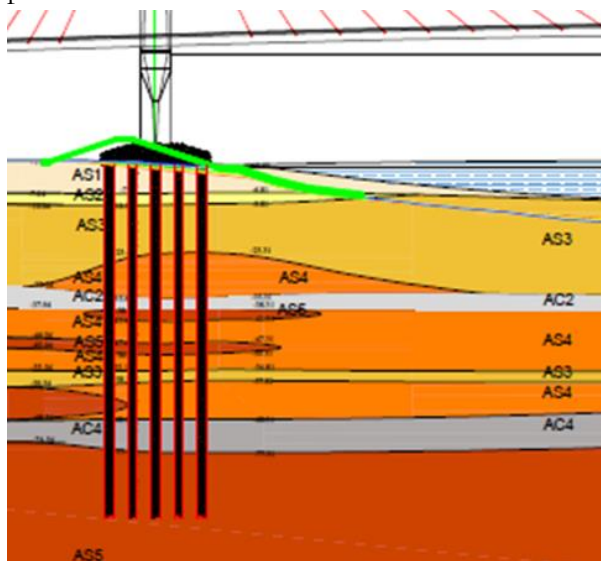


Figura 9. Estratigrafía en el entorno del pilono norte.

Con carácter general, los pilotes del puente apoyan en un estrato de arenas densas consolidadas (AS5) localizado a unos 70 m de profundidad. Existen unas capas superiores de una potencia cercana a los 40 m de suelos sin cohesión y de consistencias flojas (AS1-AS3), a los que se asocia el potencial de socavación.

3.4 Impacto de buque

Dada la importancia de los ríos en el país, buena parte de su comercio actual y futuro depende del tráfico fluvial. Se ha considerado una carga accidental de impacto de buque en las cimentaciones de los pilonos asociada a un peso muerto de buque de 10 000 toneladas (DWT), mediante cargas estáticas equivalentes de 48 MN en el sentido del río y 24 MN en la dirección perpendicular. Estos valores son un 240% de la máxima carga propuesta por el Eurocódigo para ríos navegables.

4. Cimentaciones

4.1 Pilonos

Las cimentaciones de los pilonos incluyen 30 pilotes hincados en vertical de 2.5 m de diámetro, 90 m de longitud y un espesor de

camisa de 40 mm. Este espesor contempla la pérdida de sección durante la vida útil del puente.



Figura 10. Ejecución de pilotes hincados. Fuente: Puente sobre el Padma. 2022.

Los 40 m superiores de pilote (asociados a la socavación) se rellenan de hormigón, disponiéndose armaduras en los 10 m superiores y una conexión a rasante tubo-hormigón. El encepado tiene unas dimensiones de 36.25x30.0x6.0 con chaflanes en cara superior. Debido a su volumen de hormigón (cercano a los 5600 m³) se han previsto detalles de armado para juntas de hormigonado cada metro en altura.

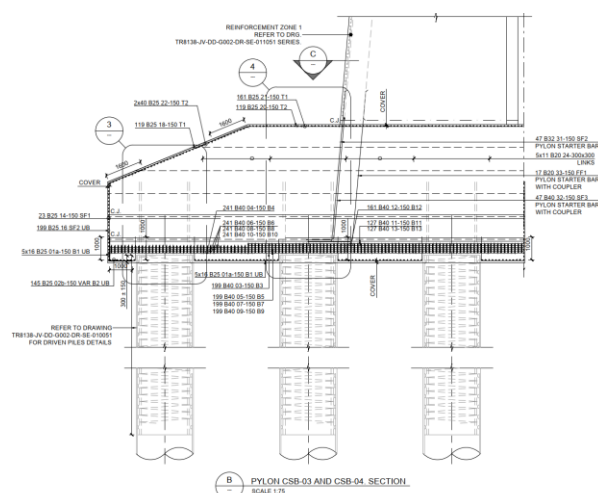


Figura 11. Sección por el encepado de un pilono (CSB03/CSB04).

4.2 Retenidas

Las cimentaciones de las retenidas se resuelven mediante pilotes perforados de 1.80 m de diámetro y longitudes comprendidas entre los 76 y los 88 m. Los encepados son de 21.0x15.0x4.0 m en ambas retenidas (intermedia y extrema) y se dispone un número distinto de pilotes: 6 en la extrema y 4 en la intermedia, al tener esta última

una carga vertical menor por efecto del tiro vertical de los cables de retenida.

Estas cimentaciones prevén la disposición de las cabezas de anclaje pasivo de unas familias de cables adherentes verticales que cuelgan dicho tiro transmitido por la retenida. De nuevo aquí, el número de cables y de cordones por cable es mayor en las pilas intermedias (12 cables de 24 cordones de 150 mm²) que en las extremas (4 cables de 19 cordones de 150 mm²).

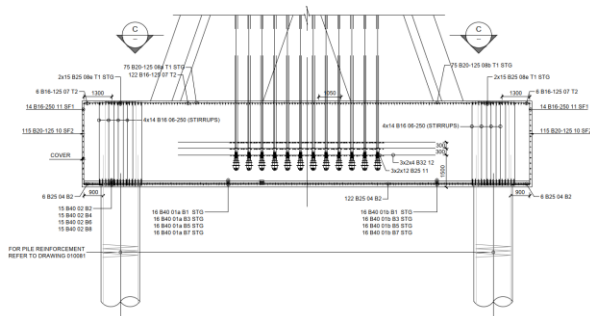


Figura 12. Sección por el encepado de retenida intermedia (CSB02/CSB05).

5. Pilonos

La geometría del pilono en su arranque en cimentación es un rombo macizo de diagonales 16.0 m y 8.4 m, dispuesto de manera que se favorezca el flujo del agua. En altura hay una transición a una zona de macla donde este fuste único se ensancha para recoger el apoyo del tablero y el arranque de dos brazos. Esta zona de ensanchamiento incluye mamparos interiores y huecos de inspección para la colocación y retirada de los cables que fijan temporalmente el tablero al pilono durante el avance en voladizo.

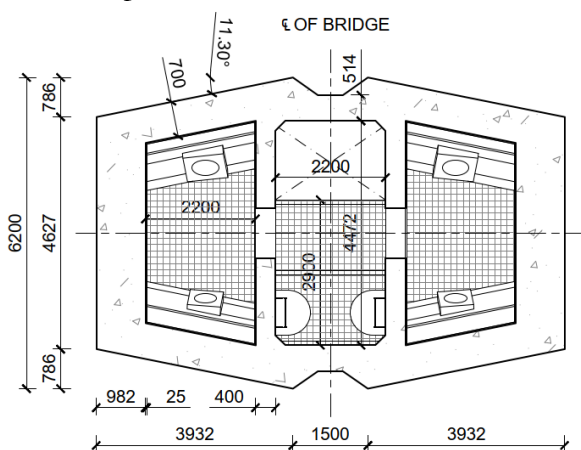


Figura 13. Sección tipo del mástil superior.

Los dos brazos, de sección trapecial hueca, se unen 50 m por encima del nivel de apoyos para conformar un mástil único de 54 m de longitud. Este mástil único, de 6.2 m en longitudinal y variable entre 10.0 m y 8.0 m en transversal, se divide en tres celdas: una central para una escalera de acceso y dos laterales para la disposición de las cabezas de anclaje de los cables de atirantamiento. Estas celdas laterales están conformadas por cajones metálicos con el fin de asegurar el replanteo de los anclajes y la transmisión de sus cargas.



Figura 14. Infografía de pilonos y pila de retenida.

6. Pilas de retenida y cables

Con el fin de aportar rigidez al conjunto y centrar las cargas verticales en la base del pilono, se determinó la ubicación más eficaz de una pila de retenida adicional a la que supone la transición entre los vanos de vigas y el tablero atirantado. Simultáneamente, se analizó qué cables debían aumentar su capacidad por este mismo motivo.

En esta fase, se concluyó que debía aumentarse el área no sólo de un cable

intermedio sino de dos, para mantener una sección razonable, y que la solución más eficiente era aumentar los cables S08 y S09 y disponer la retenida intermedia entre los dos, a 89.75 m del eje del pilono. La siguiente tabla muestra el número de cordones por cable. El número “01” de cada vano siempre corresponde al cable con el anclaje en el tablero más cercano al pilono: el cable más bajo.

Tabla 1. Número de cordones por cable.

Vano de retenida		Vano principal	
Cables(s)	Cordones	Cables(s)	Cordones
S01-S06	48	M01-M04	48
S07/S10/S14	61	M05	55
S08-S09	127	M06-M08	61
S11-S13	55	M09-M15	75
S15	109	-	-

Cada pila de retenida tiene cuatro cables de atirantamiento (de 109 cordones en la intermedia y 27 en la extrema) que cuelgan el tiro ascendente del tablero hasta la base del fuste, donde solapan con el postesado de las cimentaciones. Los desplazamientos del tablero son compatibles con la capacidad de giro de estos cables.

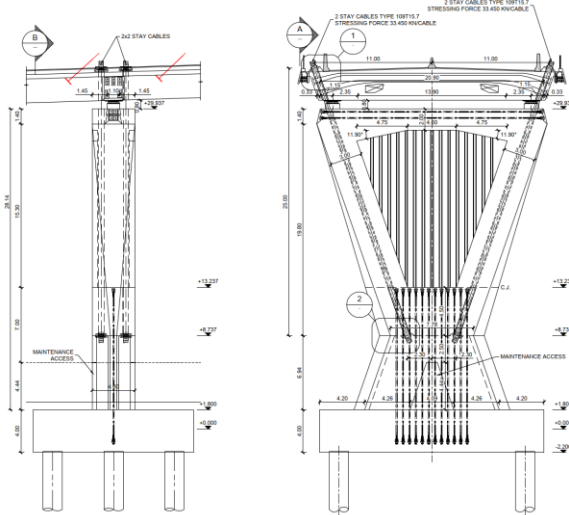


Figura 15. Alzado lateral y frontal retenidas intermedias.

Por su parte, la retenida extrema da soporte al vano de vigas adyacente y sobre ella se dispone la junta de dilatación.

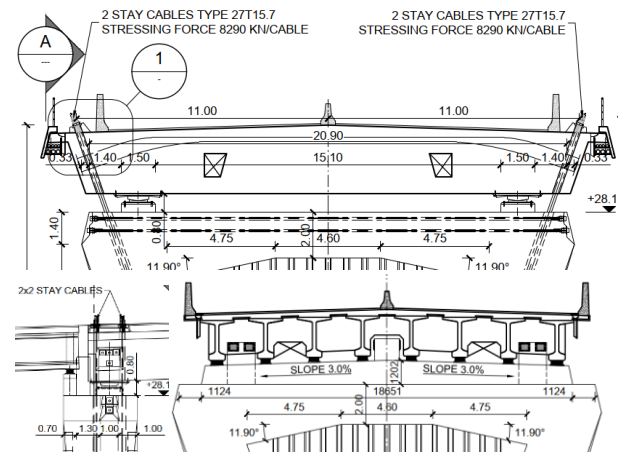


Figura 16. Coronación pilas laterales.

7. Tablero

El tablero consiste en una pareja de cajones unidos por costillas transversales en las zonas de anclajes de cables, y por diafragmas sobre pilas de retenida y pilonos. El canto del tablero es de 3.0 m en el eje con bombeo a dos aguas del 3%.

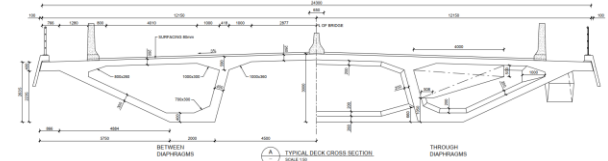


Figura 17. Sección tipo de tablero. Vano principal.

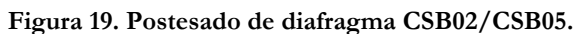
Para la sección tipo en los vanos laterales se recrece el espesor tanto de las almas como de los fondos de cajón. Esto aporta peso a la retenida y ayuda al equilibrio en las fases temporales, puesto que el peso de tablero entre dos cables consecutivos es el mismo en el vano principal (12.0 m entre cables) y el de retenida (8.5 m).

Se cierra la sección uniendo las tablas inferiores de ambos cajones como uno único en la zona del tablero sobre pilonos: 26 m a cada lado de éste, entre los cables S01 y M01. Esto mejora el trabajo conjunto de ambos cajones e incrementa el área de hormigón en la tabla inferior donde se tiene máximo axil (el de todos los cables) y momento negativo.

El pretensado del tablero se dispone tanto en la tabla superior como en la inferior. La tabla superior cuenta con pretensado interior

[illegible]

También los diafragmas de pilonos y pilas emplean pretensado en dirección transversal, en particular la pila de retenida intermedia, donde este pretensado equilibra el efecto de la carga excéntrica del cable que sirve de anclaje en vertical.



8.1 Pilonos

The figure consists of five line drawings arranged from left to right, illustrating the historical development of tower cranes. The first drawing on the left shows a simple derrick crane with a horizontal jib and a single pulley system, mounted on a small base. The second drawing shows a more complex derrick crane with a lattice boom and a counterweight, still on a simple base. The third drawing shows a tower crane with a lattice boom and a counterweight, mounted on a more substantial base. The fourth drawing shows a tower crane with a lattice boom and a counterweight, mounted on a base with multiple legs. The fifth drawing on the right shows a modern tower crane with a lattice boom and a counterweight, mounted on a base with multiple legs, and a more complex internal structure.

8.2 Tablero

The figure consists of three horizontal diagrams, each representing a different bridge configuration. The top diagram shows a suspension bridge with two tall, slender pylons supporting the main span with vertical cables. The middle diagram shows a two-pylon cable-stayed bridge with two pylons, each supporting the main span with multiple red cables. The bottom diagram shows a single-pylon cable-stayed bridge with one tall pylon supporting the main span with multiple red cables. In all diagrams, the bridge deck is shown as a horizontal line with a slight dip in the middle, and the approach spans are indicated by short vertical lines at the ends.

José Luis Sánchez Jiménez, Fernando Cea Soriano et al. / IX CONGRESO ACHE – GRANADA 2025 8

Se destaca que, hasta poder ejecutar el primer cable, el tablero avanza en voladizo desde el pilono de manera simétrica. El tablero dispone de un pretensado vertical en el diafragma del pilono que garantiza la estabilidad del conjunto hasta que el proceso pasa por la pila de retenida intermedia, a la que se ancla en vertical.



Figura 23. Avance en voladizo. Fuente: Panamá Atlántico.

9. Efectos del viento

El diseño del puente incluye un estudio del viento muy detallado. Se desarrollaron modelos CFD que posteriormente se contrastaron con ensayos en túnel de viento, con gran coherencia.

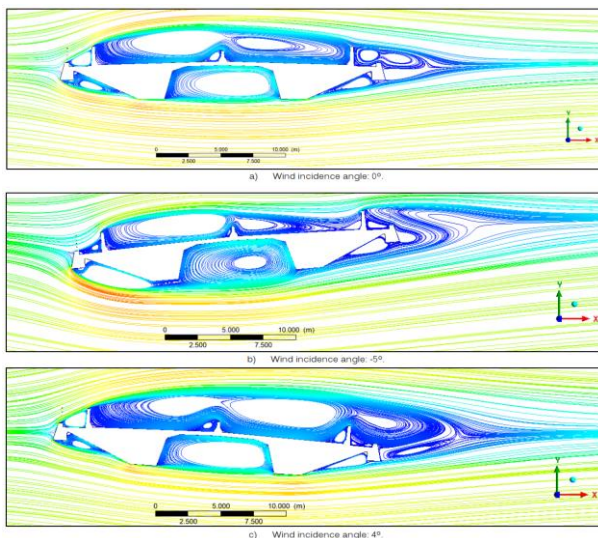


Figura 24. Análisis CFD para el tablero.

Los resultados de los modelos CFD sirvieron para la reducción de los coeficientes de fuerza empleados en el cálculo estático del viento, lo que tuvo un efecto beneficioso sobre el diseño, al ser el viento la acción crítica.



Figura 25. Ensayos en el tablero. Estático-células (arriba) y dinámico-acelerómetros (abajo).

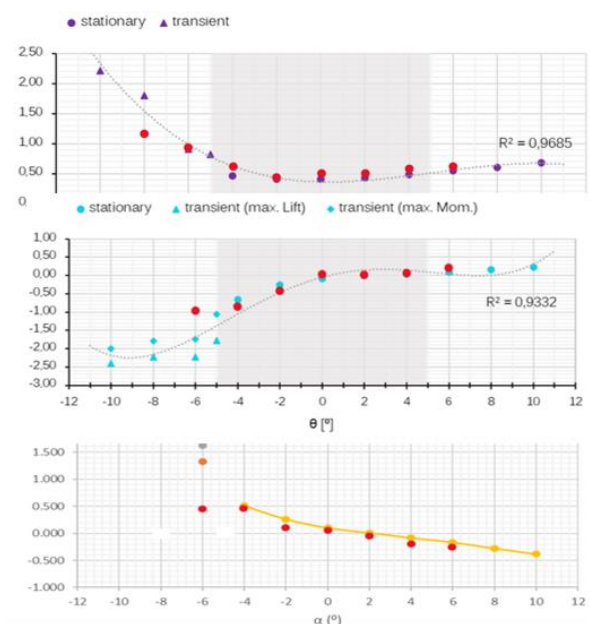


Figura 26. En rojo los resultados de arrastre, vertical y momento del túnel, sobre los del CFD.



Figura 27. Ensayo estático en el pilono.

10. Monitorización y mantenimiento

Como parte del diseño del puente se han definido elementos de monitorización, para su uso tanto durante el proceso constructivo como durante su vida útil. El coste de inversión en una infraestructura de esta magnitud justifica el empleo de la monitorización, que a su vez reduce el coste de mantenimiento a largo plazo.

Además, la monitorización, tanto de parámetros mecánicos como dinámicos, permite detectar patologías que no están a la vista de los inspectores, priorizar las reparaciones, anticipar la evolución del estado de cada elemento y prolongar la vida útil de la estructura que en este caso se ha fijado en 120 años.

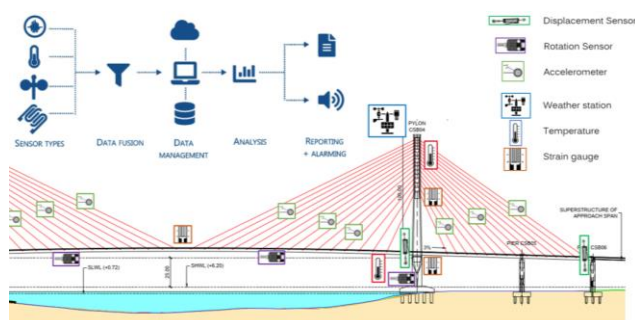


Figura 28. Elementos de monitorización en el tablero atirantado.

Para ello es preciso completar la instrumentación con un sistema de recogida y transmisión de la información y otro de análisis de la misma, que pueda generar informes y detectar necesidades de reparación urgente, en su caso.

Esto se acompaña de un plan de mantenimiento del puente que tiene por objeto detectar a tiempo cualquier defecto que pueda suponer un riesgo inaceptable para la seguridad o el funcionamiento o una necesidad grave de mantenimiento. Así se consigue proteger a la población, la estructura y el medio ambiente, y permitir la adopción de medidas correctivas adecuadas. Además, proporciona información que permite planificar la gestión y el mantenimiento de forma racional y sistemática.

El plan de mantenimiento empieza con el conjunto de documentación sobre el estado inicial del puente como base de partida. Sobre él se definen las inspecciones: inicial, rutinarias, principales, especiales y, en su caso, actuaciones de reparación y refuerzo, que son específicas de cada elemento: hormigón, cables, estructuras de acero, juntas y apoyos.

Se destaca el caso de los cables cuyo mantenimiento incluye inspección visual (simple o intrusiva), pruebas no destructivas, limpieza general, restablecimiento de la protección contra la corrosión, sustitución de piezas dañadas, renovación de amortiguadores y muestreo de cordones.

También el reemplazo de apoyos y juntas: todos los apoyos han sido diseñados con el espacio adecuado para su inspección y su eventual sustitución (espacio para la instalación de gatos auxiliares). Todas las juntas de dilatación pueden sustituirse desde el nivel de la plataforma.

Agradecimientos

Queremos agradecer a nuestros compañeros de MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPESA) por su labor tanto en la revisión independiente del diseño como en el desarrollo de los modelos CFD para el análisis de los efectos del viento y de los ensayos en el túnel de viento. También queremos extender el agradecimiento al ITER (Instituto Tecnológico de Energías Renovables) por su colaboración en el desarrollo del túnel de viento en sus instalaciones en Tenerife. Asimismo, agradecemos a Freyssinet y Rúbrica Ingeniería su asesoramiento especializado en los sistemas de atirantamiento y los carros de avance y plataformas para el tablero.

Referencias

- [1] Sánchez Jiménez J.L., Cea F., *Multi-risk Assessment for a Long Span Cable-Stayed Bridge in Bangladesh*, Congreso de IABSE, Costa Rica, 2024.