

# Diseño y construcción del Puente atirantado de Danjiang en Taiwán

**Kilian Karius<sup>a</sup>, Michael Müller<sup>b</sup>, Wen Kai Chen<sup>(c)</sup>, Rafael Rodríguez Molina<sup>d</sup>,  
Fernando Gutierrez Manzanedo<sup>e</sup>**

<sup>a</sup>Jefe de proyecto, Leonhardt, Andrä und Partner, Stuttgart, Alemania. [kilian.karius@lap-consult.com](mailto:kilian.karius@lap-consult.com)

<sup>b</sup>Miembro del Consejo Ejecutivo de Leonhardt, Andrä und Partner, Stuttgart, Alemania. [michael.mueller@lap-consult.com](mailto:michael.mueller@lap-consult.com)

<sup>c</sup>Ingeniero profesional y director de sucursal, Leonhardt, Andrä und Partner, Taipei, Taiwán. [wenkai.chen@lap-consult.com](mailto:wenkai.chen@lap-consult.com)

<sup>d</sup>Ingeniero de Proyectos, Leonhardt, Andrä und Partner, Madrid, España. [rafael.rodriguez@lap-consult.com](mailto:rafael.rodriguez@lap-consult.com)

<sup>e</sup>Ingeniero Senior, Leonhardt, Andrä und Partner, Stuttgart, Alemania. [fernando.gutierrez@lap-consult.com](mailto:fernando.gutierrez@lap-consult.com)

## RESUMEN

La construcción del Puente Danjiang y su carretera de acceso es el proyecto de transporte más importante en el norte de Taiwán. Ubicado en la desembocadura del río Tamsui, junto al estrecho de Taiwán, el puente Danjiang está destinado a convertirse en un lugar de referencia por su famosa puesta de sol de Tamsui como telón de fondo. La solución de proyecto es un puente atirantado con un solo mástil diseñado por las empresas de ingeniería Sinotech Engineering Consultants, Leonhardt Andrä und Partner y la firma de arquitectos Zaha Hadid Architects. Este puente se convertirá en el mayor puente atirantado asimétrico con una sola torre del mundo. La construcción está actualmente en curso y tiene como objeto completar el proyecto dentro de plazos, presupuesto y superando los estándares de calidad.

## ABSTRACT

The construction of Danjiang Bridge and its access road is northern Taiwan's most important transportation project. Located at the mouth of Tamsui river, adjacent to the Taiwan strait, Danjiang Bridge is destined to become a notable landmark against the backdrop of Tamsui's famous sunset. Our design solution is a cable-stayed bridge with only one mast: the one designed by our team of Sinotech Engineering Consultants, Leonhardt Andrä und Partner and Zaha Hadid Architects is going to be the largest asymmetric cable-stayed bridge with a single tower in the world. Construction is under way to achieve completion within time, budget, and exceeding quality standards.

**PALABRAS CLAVE:** Puente atirantado, diseño sísmico, encofrado trepante, cálculo dinámico, arquitectura.

**KEYWORDS:** Cable-stayed bridge, seismic design, climbing formwork, dynamics, architecture.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Actualmente se está llevando a cabo la construcción del nuevo cruce sobre el estuario de Tamsui, entre los distritos de Tamsui y Bali, en el norte de Taiwán. Una vez terminado, el puente de Danjiang cumplirá los siguientes objetivos:

- acortar el tiempo de viaje entre Tamsui y Bali, ampliando así la conexión al interior del país y promoviendo su desarrollo regional.
- Conectar zonas recreativas clave para estimular el turismo.
- Proporcionar para la Ciudad Nueva de Danhai una carretera de acceso terrestre para mejorar el tráfico a la costa norte.

- Incrementar el apoyo a las infraestructuras del puerto de Taipei,
- Contribuir a la mejora de la red metropolitana de autopistas de Taipei en consonancia con el plan de desarrollo urbano de la ciudad,
- Ampliar el sistema de metro ligero (LRT) para dar servicio a la zona de Bali.

El equipo constituido por Sinotech Engineering Consultants, Leonhardt Andrä und Partner (LAP) y los arquitectos de Zaha Hadid (ZHA) diseñaron el icónico puente principal de una sola torre, que resultó ser la propuesta ganadora en un concurso internacional de diseño. El puente se concibe no sólo como un enlace de transporte funcional, sino también como un hito cultural y medioambiental, que armoniza con el paisaje circundante.

### 1.1 Batimetría

La cuenca de drenaje del río Tamsui abarca 2.726 km<sup>2</sup>, de manera que el puente Danjiang se proyectó para alojar inundaciones con un periodo de retorno de 200 años. La pendiente del cauce es más suave en el lado de Tamsui y más pronunciada en el lado de Bali, con una batimetría que oscila entre 0 m y -8 m, y una profundidad máxima de aproximadamente 8.4 m.

### 1.2 Geología

No se identificaron fallas activas en la zona del proyecto, si bien las fallas geológicas más cercanas -Hsingchuang, Chinshan y Shanchiao- se encuentran a 7-8 km de distancia, habiéndose esta última activado por última vez hace unos 10.000 años.

Aproximadamente a -33 m en el lado de Tamsui comienza el lecho rocoso, descendiendo gradualmente hasta -66 m en el lado de Bali. A partir de este perfil, quedó claro que colocar las grandes cimentaciones en el lado de Tamsui era la solución más rentable y estructuralmente robusta.

### 1.3 Trazado del puente

El Puente Principal, de 920 m de longitud, presenta vanos de 75 m + 75 m + 450 m (vano principal) + 175 m + 75 m + 70 m, como se ilustra en la . El vano principal cruza un canal de navegación de 200 m de anchura y 20 m de gálibo vertical. La anchura total típica del puente es de 44.7 m entre barandillas, ampliándose a 55.3 m en la zona atirantada. En esta zona, el tablero se separa para quedar a ambos lados de patas de la torre de 15 m de anchura.

El tablero prevé por sentido de circulación dos carriles con arcones, un carril para ciclomotores de 2.5 m de anchura y una acera peatonal de 5 m de anchura . Durante la Fase 1, el tablero también alberga un carril para vehículos de alta ocupación (HOV), que posteriormente se modificará para vías de tren ligero (LRT) en la Fase 2.



Figura 1 . Tablero ortótropo cajones gemelos , Fase 1

## 2. DISEÑO ESTRUCTURAL

### 2.1 Distribución de luces y esquema estructural

Las longitudes de los vanos del puente Danjiang a ambos lados del pylon son de 450 m y 175 m, lo que genera reacciones desequilibradas bajo todas las cargas. El primer reto del diseño era optimizar la distribución de materiales minimizando el peso total de la estructura (y la masa sísmica). Las soluciones desarrolladas que

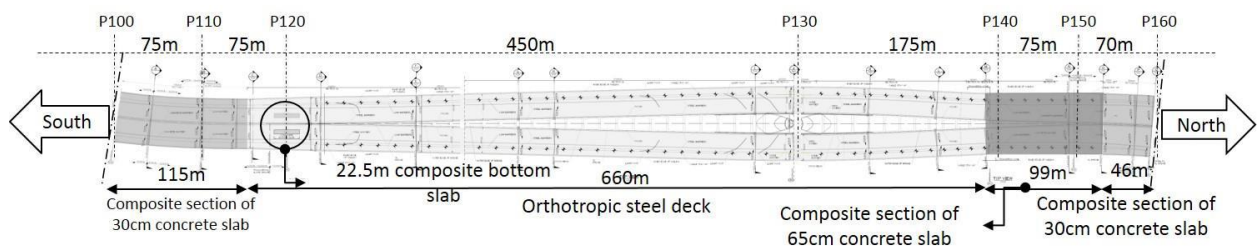
permitieron una adecuada distribución y redujeron la carga permanente incluyeron:

- a) Combinar tramos de sección mixta y tablero ortótropo en las zonas apropiadas del puente para compensar el desequilibrio. La [Figura 3](#) muestra la sección mixta con losa de 30 cm de espesor y 115 m de longitud de la zona Sur, que se conecta con el tablero ortótropo de 660 m, donde se coloca una losa inferior de hormigón sólo en una pequeña longitud de 22.5 m cerca de la pila P120. Posteriormente y ya en la parte Norte, se dispone nuevamente como contrapeso cerca de las pilas P140 y P150, una sección mixta de 99 m de longitud con 65 cm de espesor de losa, seguida de una última sección de 46 m de longitud con losa de 30 cm de canto, en el lado de Tamsui cerca de la P160. Mantener el peso de la estructura lo más reducido posible era crucial para el sistema de tirantes, el diseño antisísmico y la cimentación, además de permitir segmentos más largos para un montaje más rápido del voladizo.
- b) Utilizar tubos de acero huecos para el pilono en la parte superior donde la sección es maciza y adoptar secciones huecas para las pilas. Este diseño permitió ahorrar 550 m<sup>3</sup> (14%) de hormigón en el pilono en su parte superior y 1200 m<sup>3</sup> (20%) en las pilas intermedias

- c) Emplear materiales más resistentes para minimizar las dimensiones:
  - Pilon y pila P140  $f'_c = 56$  MPa de hormigón autocompactante.
  - Resto de pilas:  $f'_c = 49$  MPa
  - Acero pasivo:  $f_y = 420$  y 490 MPa
  - Acero estructural según ASTM A709: Grado 50W,  $f_y = 350$  MPa y Grado HPS70W,  $f_y = 490$  MPa
- d) Otras medidas de reducción de peso incluyeron el uso de barreras de seguridad de acero en lugar de hormigón y traviesas de acero para la vía de metro ligero.

## 2.2 Geometría del pilono

La identidad de los puentes atirantados está formada en gran medida por la geometría de los pilonos. De ahí que fuera de suma importancia traducir las formas fluidas del concepto arquitectónico a una geometría que fuera económicamente construible y que materializara la idea subyacente. Esta evolución comenzó ya en la fase de concurso, como se muestra en la [Figura 4](#), dando como resultado un pilono que se eleva 200 m por encima de la línea de agua, con dos patas que convergen 45 m por encima del tablero, y rematado con dos extensiones arquitectónicas denominadas "orejas de conejo".



**Figura 3 . Elección de los materiales del tablero del puente**

Durante la fase de diseño preliminar, la geometría se racionalizó aún más en estrecha colaboración con fabricantes de encofrados experimentados. El elemento clave del proceso de optimización fue transformar las superficies originales de doble curvatura en radios unidireccionales que permitieran el uso de un

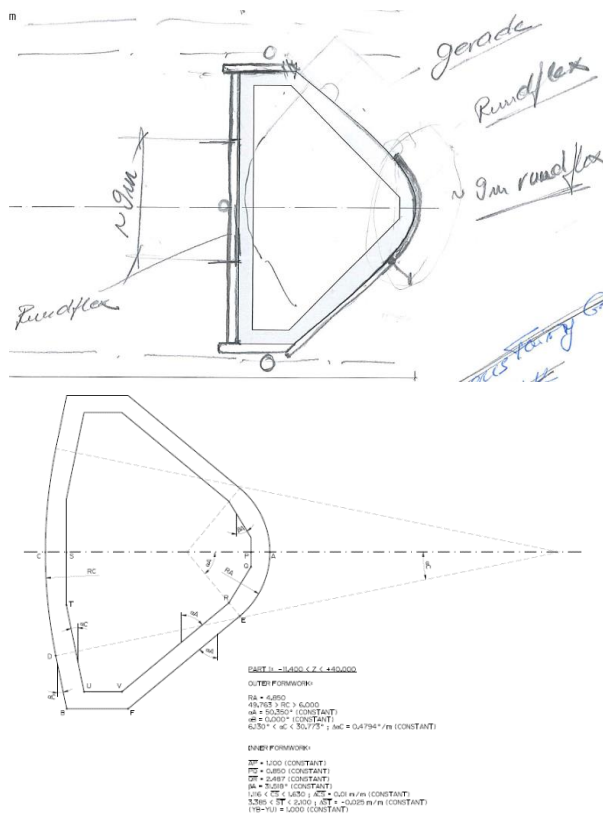
encofrado trepante. Este objetivo se alcanzó en todas las zonas excepto en la zona de conexión (donde dos patas se juntan en una sola) así como en los tres segmentos superiores ("orejas de conejo"), en los que seguiría siendo necesario un encofrado convencional.

Como parte de este proceso, las formas se plasmaron mediante formulación matemática, lo que también era una necesidad para la licitación de la construcción.

La [Figura 5](#) muestra la transición de los conceptos del taller a las formulaciones finales del diseño.



**Figura 4 . Evolución de la forma del pilón en la competición**



**Figura 5 . Evolución de la forma del pilón en el diseño de la licitación**

## 2.3 Sistema de tirantes

El sistema de atirantamiento se diseñó como un sistema de torones paralelos, formados por

torones individuales de acero de siete hilos recubiertos de polietileno de alta densidad (HDPE) con galvanización, y alojados dentro de un tubo guía exterior de HDPE. Los tirantes están dispuestos en forma de abanico asimétrico como se muestra en la [Figura 6](#).

El vano principal consta de 27 pares de tirantes, el lateral de sólo 20 pares, espaciados a intervalos de 15 m en el tablero ortótropo y a intervalos de 12 m en el tablero mixto del lado Tamsui.

Las fuerzas de los tirantes bajo cargas permanentes en la situación de apertura al tráfico y a tiempo infinito ( $t_{\infty}$ ) difieren entre sí no sólo debido a los efectos a largo plazo, sino también por la sustitución del carril HOV por vías de LRT durante los 120 años de vida útil del puente. En cualquier caso, no está previsto el retesado, ya que las fuerzas de los tirantes están configuradas para cumplir en todo momento los siguientes criterios: (1) Minimizar el cortante del pilono en el punto de unión entre patas, (2) garantizar la compresión permanente en los apoyos, (3) Limitar los momentos flectores del tablero.

## 2.4 Farolas arquitectónicas

El puente Danjiang presenta un diseño de iluminación único, con postes de luz cónicos y curvos situados entre los tirantes de los cables. Estos postes alcanzan una longitud máxima de unos 30 m y están inclinados en ángulos que coinciden con los de los tirantes adyacentes. Esto los convierte en un rasgo distintivo de la identidad del puente.

Se han considerado las siguientes 4 acciones decisivas para el diseño estructural de los postes:

- (a) amortiguación debida al viento que actúa sobre los postes,
- (b) vibraciones inducidas por vórtices (VIV) debidas al viento que actúa sobre los postes,
- (c) excitación dinámica debida a las vibraciones por vórtices (VIV) del tablero del puente, y,
- (d) excitación dinámica debida a la respuesta sísmica del tablero del puente.

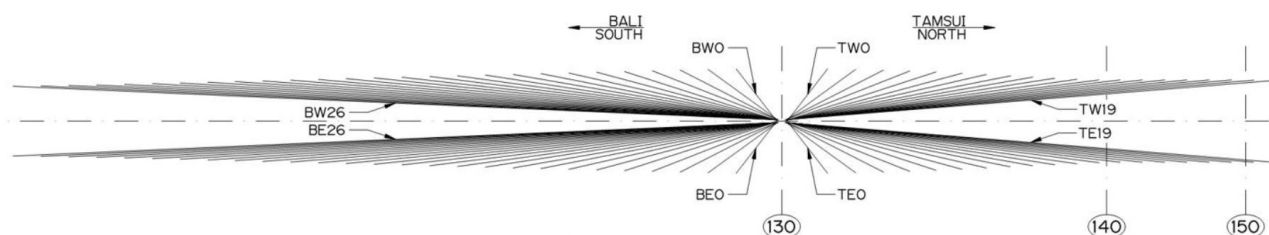


Figura 6 . Disposición de los tirantes

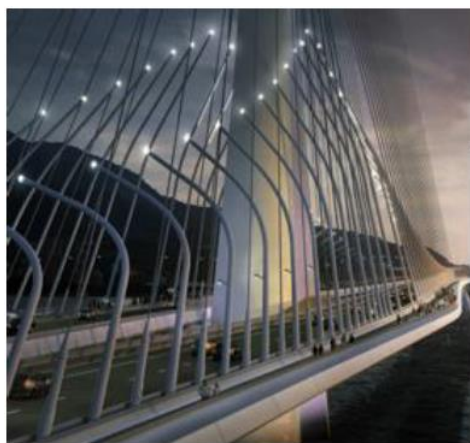


Figura 7 . Postes de iluminación arquitectónicos

Para garantizar un rendimiento óptimo en las condiciones (b) y (d), se requiere una amortiguación artificial. Por lo tanto, los postes estarán equipados con amortiguadores de masa sintonizada y un desajuste de masa opcional.

## 2.5 Articulación

La selección y puesta a punto de los dispositivos de aislamiento sísmico ha sido un reto crítico durante todo el diseño. El aislamiento sísmico es necesario en ambas direcciones horizontales para reducir las reacciones de los apoyos. Aunque los movimientos son necesarios para la disipación de energía y la extensión de la frecuencia durante un evento sísmico, los desplazamientos sísmicos deben limitarse debido al tamaño de la junta de dilatación, las limitaciones de espacio en los pilares y el pilono, y las fuerzas transferidas a la cabeza del pilono a través de los tirantes. El reto consistía en desarrollar un sistema que cumpliera todos los requisitos y que, al mismo tiempo, evitara los movimientos en condiciones normales de

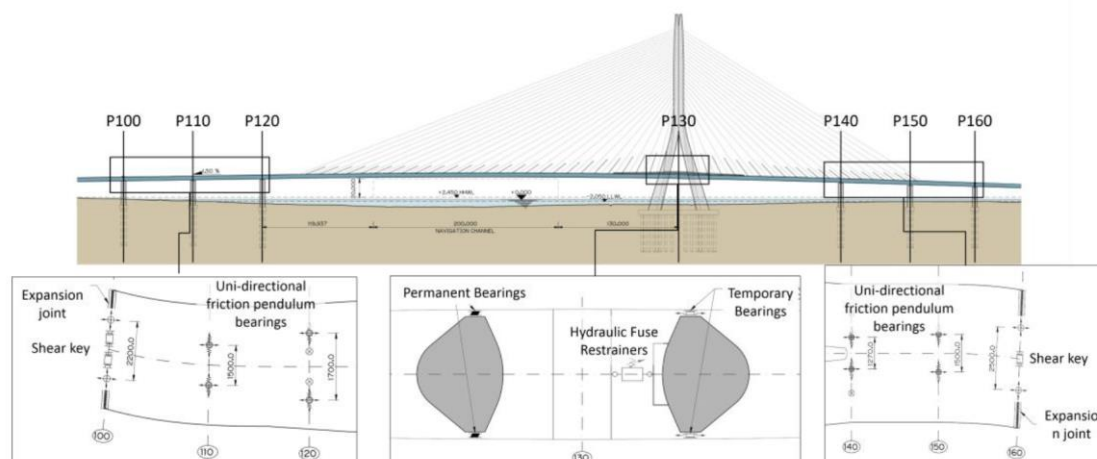
servicio y bajo las cargas de los tifones. Esto condujo finalmente a un sistema que cambia sus propiedades a un nivel de fuerza específico.

En la dirección longitudinal, se seleccionaron fusibles hidráulicos (HFR) como solución óptima. Siete dispositivos HFR conectan el tablero a la pata del pilono Tamsui, actuando como soportes rígidos bajo cargas no sísmicas. Al alcanzar la fuerza umbral, se libera la presión hidráulica por un orificio y los HFR funcionan como amortiguadores viscosos. Los amortiguadores viscosos estándar de las pilas de transición junto con los topes rígidos cilíndricos machihembrados de ambas patas del pilón proporcionan redundancia y seguridad adicionales contra el desacoplamiento en condiciones extremas. Tras el evento sísmico, el orificio se cierra, y la estructura puede requerir un recentrado después de un evento grande o múltiples eventos más pequeños.

Toda la subestructura contribuye a la rigidez lateral. El pilono y las pilas de transición tienen capacidad suficiente para aportar el soporte lateral rígido. Sin embargo, los pilares intermedios son más esbeltos y podrían sobrecargarse durante un evento sísmico, por lo que se seleccionaron apoyos esféricos pendulares unidireccionales. Sus propiedades se ajustaron para proporcionar una fuerza de arranque adecuada bajo cargas normales, limitar los desplazamientos sísmicos y garantizar el recentrado tras un evento sísmico. Para reducir los costes de ensayo y fabricación sólo se especificaron dos conjuntos de propiedades.

El tablero se apoya verticalmente sólo en los pilares y en los tirantes.

La Figura 8 muestra el esquema general de articulación.



**Figura 8 . Esquema de articulación**

| Seismic Intensity                   | Hazard Level (Return Period) | Service Performance Level                | Damage Performance Level | Behaviour Factor R | Structural Behaviour |
|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| SEE (Safety Evaluation Earthquake)  | 80%/50y (30 y)               | Fully Operational                        | None                     | 1.0                | Elastic              |
| DBE (Design-Based Earthquake)       | 10%/50y (475 y)              | Operational                              | Minimal                  | 1.0                | Essentially Elastic  |
| MCE (Maximum Considered Earthquake) | 2%/50y (2500 y)              | Limited service (Emergency vehicle only) | Repairable               | 1.0~1.5            | Limited Ductility    |

**Tabla 1. Principales niveles de rendimiento**

## 2.6 Diseño basado en el desempeño sísmico

Taiwán es una de las regiones más sísmicas del mundo. El emplazamiento se encuentra en la zona II de Taipei, según la especificación de diseño sísmico de puentes de autopista del MOTC, con aceleraciones máximas del terreno (PGA) de 0,32 g para los niveles de terremoto máximo considerado (MCE) y de 0,24 g para los niveles de terremoto base de diseño (DBE).

El Diseño Basado en el Desempeño Sísmico (PBSD, por sus siglas en inglés) se adopta como marco para alcanzar un nivel operativo objetivo tras el evento (por ejemplo, nivel de daños) para distintas intensidades de movimiento del terreno. El objetivo es cumplir los criterios de rendimiento de la Tabla 1 mediante la consecución de los siguientes objetivos:

1. **Pequeños terremotos frecuentes (SEE):** La estructura se comporta elásticamente, sin daños en los componentes y con acceso inmediato al tráfico. Los desplazamientos

residuales de varios eventos pequeños pueden requerir intervenciones menores de recentrado o realineamiento.

2. **Terremotos ocasionales (DBE):** La estructura sufre daños mínimos y desplazamientos residuales limitados, que requieren intervenciones de recentrado o realineamiento.
3. **Terremotos raros de gran magnitud (MCE):** El puente no colapsa, de modo que se garantiza una evacuación segura. Se considera una infraestructura vital, con componentes reparables. No deben formarse rótulas plásticas. El puente sigue operativo para el tráfico de emergencia tras el evento.

Se realizó un análisis no lineal paso a paso en el tiempo utilizando siete registros de movimientos del terreno compatibles con los espectros de respuesta del MOTC, teniendo en cuenta los efectos de propagación de las ondas y la pronunciada respuesta dinámica no lineal de la estructura, causada por los apoyos esféricos pendulares y por los apoyos hidráulicos fusibles

tipo HFR. Además, se realizó un estudio de peligrosidad sísmica específico del proyecto para evaluar los efectos locales del emplazamiento, teniendo en cuenta sus características geotécnicas únicas ("firma" sísmica). Se escalaron tres acelerogramas históricos del terreno, correspondientes al terremoto de Chi-Chi, el terremoto de Hualien y el terremoto del año 331, para ajustarlos a la curva de peligrosidad.

## 2.7 Efectos del viento

Taiwán no sólo es propenso a los terremotos, sino también a los ciclones tropicales (tifones), lo que hace que el clima de vientos en la ubicación del puente Danjiang sea severo. Las velocidades del viento predominantes se estudiaron minuciosamente mediante análisis de valores extremos basados en registros de viento a largo plazo. Los resultados, confirmados por la literatura, indican una velocidad básica del viento (media de 10 minutos) de 46,0 m/s para un periodo de retorno de 100 años para el puente en su fase final. Para la construcción, la velocidad del viento de diseño es de 38,1 m/s en un periodo de retorno de 25 años, y la velocidad del viento operativa con cargas de tráfico es de 30,3 m/s.

Los efectos del viento se analizaron mediante simulaciones numéricas y pruebas en túnel aerodinámico:

### a) **Pruebas en túnel aerodinámico de secciones transversales de tablero (1:120)**

Se ensayaron varias configuraciones para evaluar los parámetros aerodinámicos y aeroelásticos, teniendo en cuenta la separación de los cajones gemelos, las características del viento y las configuraciones de la sección cajón en diferentes etapas. Los resultados confirmaron que las secciones transversales de la cubierta son estables frente al flameo, el galope y la divergencia hasta velocidades del viento de aproximadamente 100 m/s.

### b) **Ensayo en túnel aerodinámico sobre pilono exento (escala 1:200)**

Se analizaron las mediciones de presión y las reacciones sobre la cimentación del pilono aislado. No se detectaron galopes, pero es posible que se produzcan vibraciones inducidas por vórtices. Las amplitudes máximas de vibración en la parte superior del pilón oscilan entre 140 mm (perpendicular) y 200 mm (longitudinal), con aceleraciones de 0,84 m/s<sup>2</sup> y 0,34 m/s<sup>2</sup>, respectivamente.

### c) **Ensayos parciales del modelos para la estabilidad de vehículos en circulación (escala 1:175)**

Se ensayaron los efectos del viento sobre los vehículos que pasaban con el modelo de pilono completo y parte de los cajones gemelos en tres configuraciones: sin pantallas anti-viento, con pantallas anti-viento y tanto con pantallas anti-viento como con barreras acústicas. Las velocidades del viento en las zonas protegidas con cortavientos eran inferiores, lo que reducía el riesgo de peligros inducidos por el viento en comparación con las zonas de tablero expuesto.

### e) **Simulaciones numéricas de la respuesta de amortiguación y las inestabilidades aerodinámicas**

Se utilizó un modelo aeroelástico en 3D para simular los efectos del viento a partir de los datos del túnel de viento. No se encontró inestabilidad en el estado final del puente ni en las fases de construcción hasta velocidades de viento de 100 m/s. El puente es estable frente al flameo, el galope y la divergencia. Las amplitudes del desprendimiento de torbellinos y de las ráfagas se mantuvieron por debajo de los umbrales para peatones, con la recomendación de cerrar el puente para vientos superiores a 22 m/s a la altura del tablero. El modelo también proporcionó casos de carga de viento para el análisis estructural.

f) **Pruebas en túnel aerodinámico con modelo completo (escala 1:175)**

Las pruebas con el modelo completo validaron las simulaciones numéricas anteriores y confirmaron la idoneidad estructural del puente. Las tres configuraciones ensayadas -puente en servicio, fase de montaje 1 y fase de montaje 2- demostraron estabilidad aerodinámica frente al flameo, el galope y la divergencia para velocidades del viento de hasta 90 m/s como mínimo.

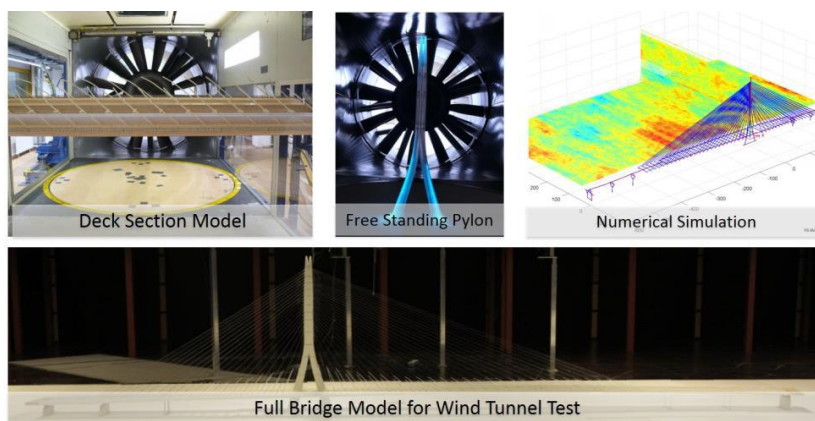


Figura 9 . Modelos de ensayo en túnel de viento

### 3.1 Fabricación de estructuras de acero

La estructura metálica se fabrica localmente en la costa este de Taiwán. A continuación se transporta por carretera a las zonas de almacenamiento de la obra y al puerto de Taipei, donde se ensamblan los segmentos parciales de acero para su montaje. La [Figura 10](#) muestra una fotografía del taller metálico y la [Figura 10](#) ilustra el montaje y almacenamiento en la obra.



Figura 10 . Taller metálico

## 3. CONSTRUCCIÓN

El método de construcción del puente Danjiang sigue procedimientos bien establecidos para este tipo de puentes, tanto en la industria como localmente en Taiwán. Los detalles de diseño y la secuencia de montaje sugerida se han adaptado para garantizar tanto la economía como la mitigación de riesgos.



Figura 11. Montaje de segmentos de tablero en obra

### 3.2 Montaje del pilono

El montaje del pilono se realiza en trepas de 4 m utilizando diversas formas de encofrado. El contratista optó por el hormigón autocompactante, un material de uso común en Taiwán, para ajustarse a la experiencia de la mano de obra local. Las barras longitudinales se solapan utilizando acopladores.

El sistema trepante PERI SCS fue seleccionado para construir tanto las patas inclinadas inferiores del pilono como la parte

superior, como se muestra en la . La ilustra el esquema de montaje de las patas inclinadas inferiores, que incluye puntales provisionales entre ellas para garantizar una geometría y unos esfuerzos correctos. El hormigonado de esta sección inferior se realizó utilizando una bomba desde el pantalán ejecutado a tal efecto, mientras que el hormigón por encima de la cota +56 m se suministra mediante cubilote.

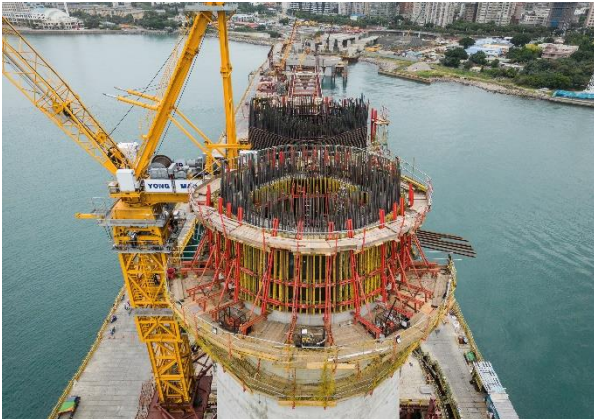


Figura 12 . PERI SCS trepante en las patas de la torre

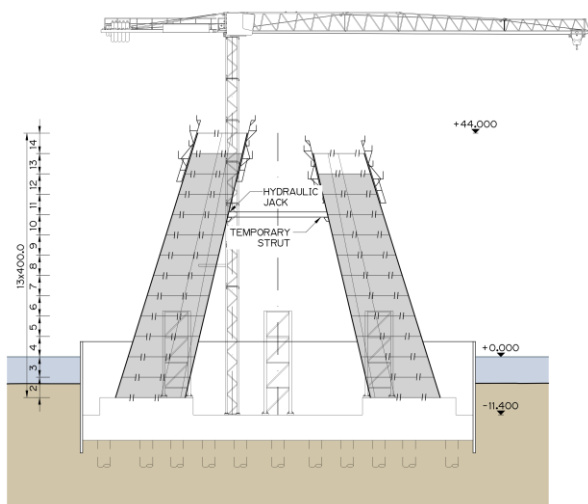


Figura 13 . Esquema de construcción de las patas inferiores del pilono

La sección central y recta del pilono se construye utilizando el sistema auto-trepante PERI ACS, que asciende por la estructura emergente sobre carriles. La Figura 14 muestra el sistema ACS en uso en la sección de tirantes del pilono. En este caso, no se requiere encofrado interior, ya que el hormigón se vierte contra los armarios metálicos de los tirantes.



Figura 14 Sistema auto-trepante PERI ACS

### 3.3 Montaje del tablero

La Figura 18 muestra y describe la secuencia general de montaje del tablero. Inicialmente, se montan los vanos de aproximación y el recinto tablestacado de pilotes para el pilono.

La secuencia de montaje original preveía que las dovelas del vano de aproximación se entregarían en barcaza y se instalarían deslizándolas hacia tierra sobre una viga de deslizamiento. Sin embargo, debido a problemas con los permisos y el aprovisionamiento de barcasas, el contratista decidió izar los segmentos con una grúa desde el lado de tierra y empujarlos hasta su posición, como se muestra en la Figura 15



Figura 15 . Instalación del vano lateral Bali

También se introdujo otro cambio en el diseño de la losa del tablero mixto. El diseño final especificaba paneles parciales prefabricados, identificados como la opción más económica en aquel momento. Sin embargo, el contratista optó por una solución de hormigón in situ, habitual en la construcción de edificios en Taiwán. La Figura 16 muestra los paneles de encofrado de acero perdido utilizados para este método.



Figura 16 . Paneles de encofrado de losa mixta

Paralelamente al montaje de los vanos de aproximación, la construcción del tablero atirantado comenzó con la construcción de las dovelas cero en el pilono sobre una estructura de apuntalamiento provisional.

Una vez conectados los segmentos de la dovela cero mediante soldadura in situ, se montaron grúas derrick encima. Estas grúas se utilizan para izar los segmentos de tablero desde la barcaza durante el proceso de construcción en voladizo, como se muestra en la Figura 17.

Los tirantes de DYWIDAG se instalan antes de izar el segmento de tablero correspondiente. Esta secuencia continúa hasta que se cierra el vano lateral. A partir de ese momento, sólo se izará el vano principal utilizando el método de avance en voladizo. En el vano lateral, los tirantes correspondientes se instalan como parte del ciclo de montaje típico para equilibrar las fuerzas introducidas en el pilono.



Figura 17 . Montaje de un voladizo equilibrado

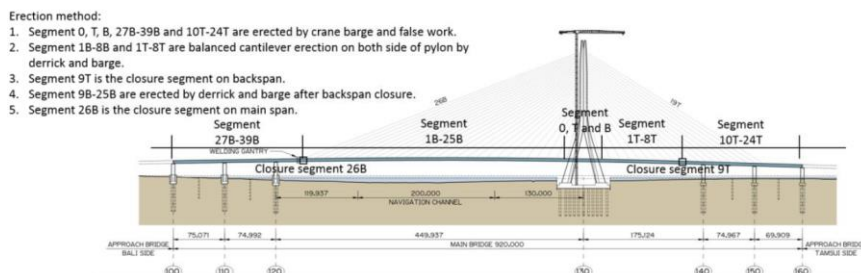


Figura 18 . Secuencia de montaje de la cubierta

## 4. CONCLUSIÓN

La construcción del puente Danjiang planteó importantes retos. La propia ubicación del emplazamiento planteaba un entorno complejo para cualquier puente, con riesgos tanto de terremotos como de tifones. El diseño de una estructura arquitectónica icónica que cumpliera las expectativas del propietario y del público, sin salirse del presupuesto, añadió más complejidad al proyecto.

Sin embargo, el progreso actual y la calidad del trabajo demuestran que es posible superar estos formidables retos. Este éxito pone de relieve el poder de la colaboración, con todos los participantes en el proyecto trabajando juntos

hacia un objetivo común y dando prioridad a los mejores intereses del proyecto.

### Referencias

- [1] Karius K., Cheng S.-H., Chen W.-K., Krieger K. (2019) *Structural Design of the Danjiang Bridge, Taiwan, The largest asymmetric single tower cable stayed bridge*, Conferencia CECAR8, Tokio, Japón.
- [2] Michael Müller, Rolf Jung, Tobias Mansperger, Stefan Burgard (2022), *Tablero ortótropo mixto y armadura de fibra de basalto;* VIII CONGRESO ACHE –SANTANDER 2020 Tablero