

Aspectos relevantes de la construcción del Puente Atirantado entre las islas de Cebú y Mactan (Filipinas)

Stayed Cable Bridge between Cebu-Mactan isles construction relevant aspects.

Javier Muñoz-Rojas^a, José Manuel Domínguez Cabello^b, Alberto Pérez^c, Jorge Delgado^d, Laura Granda^e, Daniel Muñoz^f, Gianpaolo Gimondo^g y Julio Ruiz^h.

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. jmrojas@cfcs.com

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. jmdominguez@cfcs.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. aperez@cfcs.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Carlos Fernández Casado S.L. jdelgado@cfcs.com

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA Ingeniería Madrid. laura.granda.sansegundo@accionacom

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA Construcción Madrid. daniel.munoz.gonzalez@accionacom

^g Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA Construcción Madrid. @accionacom

^h Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA Construcción Madrid. jruicz@accionacom

RESUMEN

El Puente Atirantado entre las islas de Cebú y Mactan es la obra singular del proyecto Cebu-Cordova Link Expressway. La construcción por voladizos sucesivos se realizó con carro de avance autolanzable, dovelas hormigonadas in-situ de 3.50m de canto y hasta 26.90m de ancho. Plano central de atirantamiento con distancia entre tirantes de 12,0m en el vano principal y 7.15m en los vanos de compensación. Las longitudes de dovelas son de 6,00m en el vano principal y 7.15m en los vanos de compensación. Descompensación entre vano principal y vanos laterales. Izaje de carros y construcción de dovelas de arranque.

ABSTRACT

Stayed cable Bridge between Cebu and Mactan isles is the signature bridge in the Cebu-Cordova Link Expressway project. Cantilevered construction was fulfilled with underslung formwork traveller, in-situ concrete segments of 3.50m height and up to 26.90m width. Stayed cable central plane with 12,0m between stays in main span and 7.15m in back spans. Main span segment length of 6.00m and 7.15m in back span segments. Formwork traveller lift and construction of initial segments.

PALABRAS CLAVE: Puente atirantado, dovelas hormigon in-situ, voladizos sucesivos, carro avance.

KEYWORDS: stayed cable bridge, in-situ concrete segments, cantilever, underslung formwork traveller

1. Introducción

El puente atirantado sobre el canal de entrada al puerto de Cebú es la obra singular del proyecto Cebu-Cordova Link Expressway, actuación realizada en la modalidad de Early Contractor Involvement (ECI) y adjudicada en al consorcio CEBU Link JV, formado por ACCIONA y las

empresas filipinas First Balfour y D.M. Consunji Inc por un monto aproximado de 400 millones de USD. Tiene como objetivo aliviar el intenso tráfico entre Córdova -capital de la isla de Cebú y segunda ciudad de Filipinas- y la de Mactán donde se encuentra el aeropuerto de dicha

ciudad. Las obras se concluyeron en 2021 coincidiendo con el quinto centenario de la llegada de Magallanes y de la iglesia católica a Filipinas.

El puente principal se resuelve con una obra simétrica de 651,50 m de largo con una distribución de vanos de 5.75-60-65-390-65-60-5.75. El tablero, con sección cajón de hormigón pretensado de 3.50 m de canto constante se

encuentra atirantado en su eje, ejecutándose por avances en voladizos con dovelas in-situ mediante carro autolanzable.

El puente se encuentra en una zona de fuerte sismicidad $PSA=0.45g$ y variabilidad espacial en las condiciones del suelo frente a sismo, tifones con vientos de diseño de 250km/h e impacto de barco con una carga de 110MN..

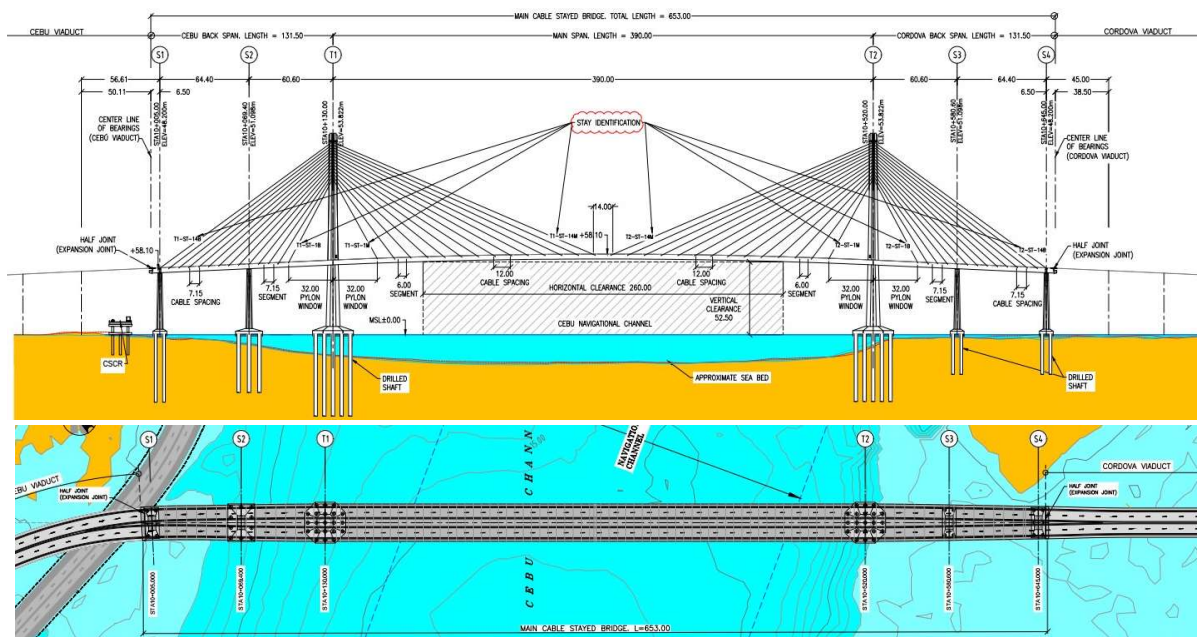


Figura 1. Planta y alzado. Configuración general.

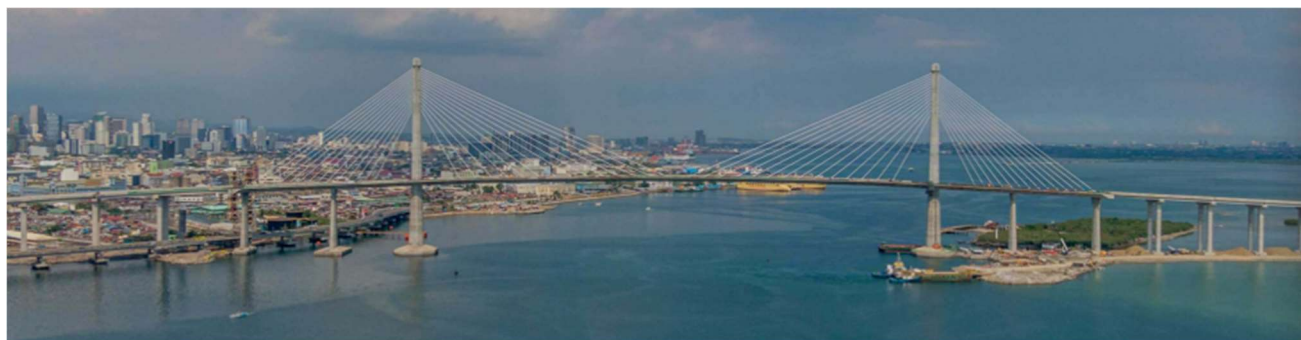


Figura 2 . Vista lateral estructura construida.

2. Aspectos destacados de la construcción.

La configuración del puente, así como las exigentes condiciones de la obra supusieron un gran reto constructivo.

Los problemas más relevantes que hubo resolver durante ella incluyen:

- Descompensación entre el vano principal y los vanos laterales (véase Figura 1), para lo cual se recurrió a diversos sistemas de estabilización: contrapesos, anclaje en pila intermedia con un elemento metálico que posteriormente queda embebido, avance distinto en la instalación de cables a uno y otro lado de la torre.

- Ejecución de las dovelas de arranque en pilonos empleando elementos de izado especiales (“paraguas”) de los encofrados
- Ejecución in-situ de dovelas completas de 26.90m de anchura y 6.0m en vano principal y 7.50 m en vanos laterales de longitud ejecutados con un carro inferior autolanzable de 200 T diseñado por Rubrica
- Ejecución del tramo de conexión en media madera con los vanos de acceso sobre puntales metálicos de hasta 40 m de altura.
- Colocación de las estructuras metálicas de los anclajes superiores (“armarios”) y la realización de las cruces ornamentales adosadas al mástil de la torre

A estos problemas técnicos se unen las complicaciones de trabajar en una zona de fuerte tifones y el impacto de la epidemia de COVID que surgió con la obra lanzada.

2.1 Procedimiento constructivo tablero.

Como puede observarse en la Figura 1, el vano principal es de 390.0 m de longitud y los vanos de laterales de 131.5 m. Esta configuración se encuentra condicionada por el canal de navegación (260m x 52.50m), infraestructura existente, etc. y está descompensada entre los vanos laterales y el principal por lo que se recurre a varios sistemas de estabilización:

- Dovelas de vano principal y lateral diferentes. (6,00m, 7.15m respectivamente)
- Uso de contrapesos interiores en dovelas del vano lateral.
- Pilas intermedias S2 y S3 con un sistema de compensación del tiro mediante anclaje.
- Desfase de hasta 2 niveles de tirantes entre el vano principal y el lateral (ver Figura 9)

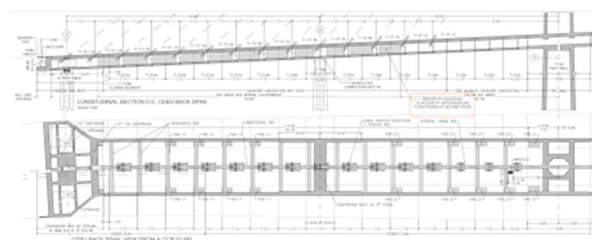


Figura 3. Sección longitudinal vano lateral.

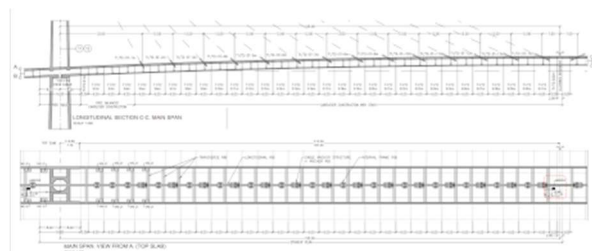


Figura 4. Sección longitudinal vano principal.

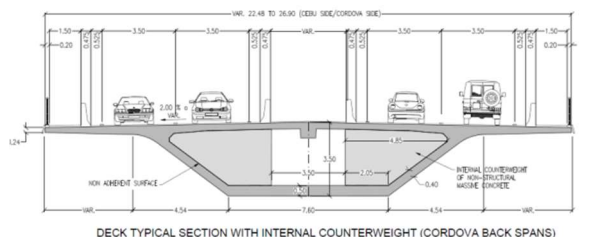


Figura 5. Contrapeso interior en vanos laterales

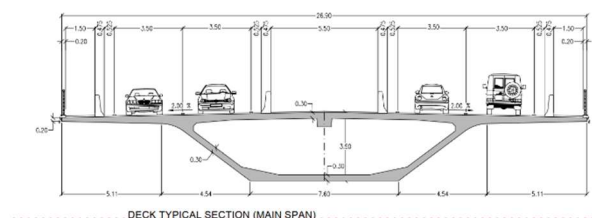


Figura 6. Sección tipo segmentos vano principal.

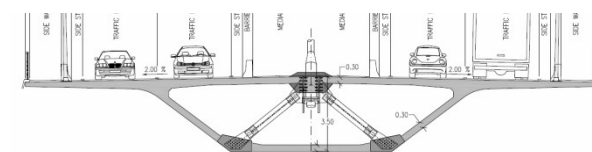


Figura 7. Sección tipo vano principal por zona de anclaje de tirantes.

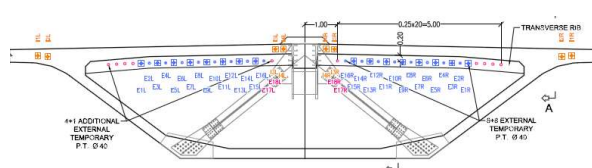


Figura 8. Sección con disposición típica de barras de postesado de proceso constructivo.

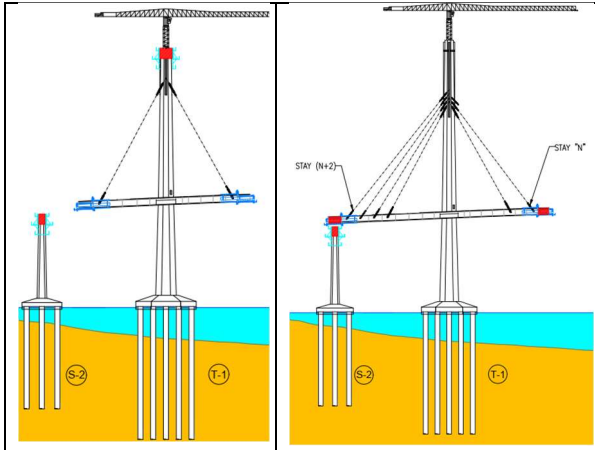


Figura 9. Desfase entre tirantes del vano principal y lateral durante el proceso constructivo.

Durante el proceso constructivo hay una secuencia inicial de avance en voladizo simétrica sin el uso de tirantes, en dicho proceso la máxima luz en voladizo es de 7.15m (al encontrarse el carro de avance desplazado) +35.74m en el vano lateral y 35.00m + 6.0m (al estar el carro de avance desplazado) en el vano principal, correspondientes a segmento 4 en vano lateral y segmento 6 en vano principal. El peso propio de los carros de avance de unos 200tn es similar al peso de segmento.

2.2 Dovelas de arranque (pier table) T1 & T2.

Un elemento crítico en el proceso constructivo es la materialización de la dovela de arranque en pilonos T1 y T2.

Para esta operación se configuraron los 2 carros de avance unidos en el encepado de dichas cimentaciones, mediante izado con una estructura temporal (“paraguas”) parcialmente embebida en la estructura se procede a la nivelación con la pendiente requerida por el tablero a su paso por pilonos (4.5%), montaje de

armado y posterior hormigonado de las dovelas de arranque.



Figura 10. Montaje, izado y colocación de carros para hormigonado de dovelas de arranque en pilonos.

El peso izado con la estructura temporal mediante heavy lifting fue de 500tn con unas dimensiones en planta de 16.0m x 23.0m



Figura 11. Carros de avance en posición final.

Se realizaron 4 fases de hormigonado tras lo que comienza el ciclo tipo de avance en voladizo, así como pueden comenzar las actividades de construcción de pylon sobre tablero como actividad independiente de las anteriores.

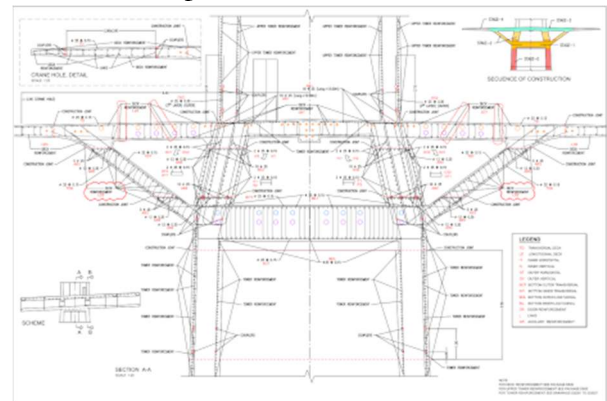


Figura 12. Sección dovela de arranque.

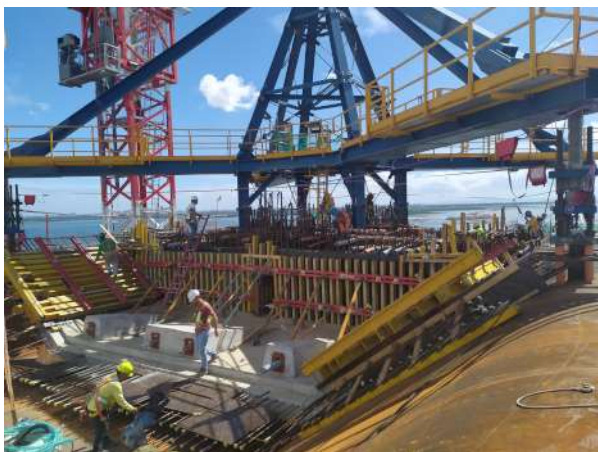


Figura 13. Hormigonado parcial dovelas de arranque. Estructura temporal de izado (“paraguas”)

2.3 Construcción tablero.

El ciclo tipo requería la materialización de 2 segmentos del vano principal (10 días) frente a 1 del vano trasero (10 días).

Se consiguió un ciclo optimizado con técnicas innovadoras en coordinación con el constructor, el diseñador y el suministrador de los carros de avance (ACCIONA, CFC y RUBRICA), entre otros:.

- Retrasar lo máximo posible el inicio de los contrapesos en el vano trasero.
- Hormigonado de una sola fase de los segmentos (carro modificado de RUBRICA).
- Diseño de las mezclas de hormigón para que las siguientes fases se realizaran en el menor tiempo posible.
 - Plegado de encofrados interiores del carro de avance con hormigones de 20MPa mín.
 - Tesado de las barras de postesado de proceso lo antes posible con $f_{ckj}=35\text{MPa}$.
 - Tesado de tirantes con una resistencia mín de compresión de $f_{ckj}=40\text{MPa}$.
- Diseño optimizado para poder lanzar el carro de avance antes de tesado del tirante precedente.

- Hormigonado de contrapesos fuera del camino crítico.
- Instalación de marcos metálicos premontados tanto en segmentos con tirante y sin tirantes.
- Montaje e izado de bombas de hormigonado y gruas tras la finalización de los segmentos 6m (vano principal) y 6s (vanos laterales) incrementando el rendimiento del proceso constructivo.



Figura 14. Marco interno anclaje tirantes.

2.4 Pilas intermedias S2 y S3. Conexión tablero.

El tablero sobre pilas intermedias es empotrado y es una conexión compleja en la que el diseño y proceso constructivo general se optimizó para reducir lo máximo posible y sacar del camino crítico esta conexión.

Para ello se diseña una estructura auxiliar metálica que queda embebida en pilas y permite el paso de las familias de postesado requeridas en este elemento (véase Figura 16 y Figura 17)

Así mismo para no interferir en el proceso general, se solicita avanzar el carro de avance en el proceso lo máximo posible compatible con las solicitaciones a soportar por dicha estructura auxiliar, así el voladizo máximo sin conexión con las pilas intermedias S2 y S3 es de 7.15m +85.62m en el vano lateral (segmento

TS11b+carro avanzado en TS12b) y 101.00m en el vano principal (segmento TS16m), véase Figura 15.

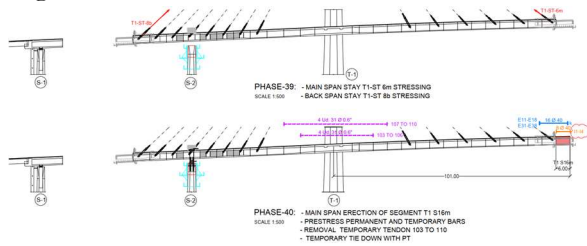


Figura 15. Esquema estructural previo a conexión en pilas intermedias.

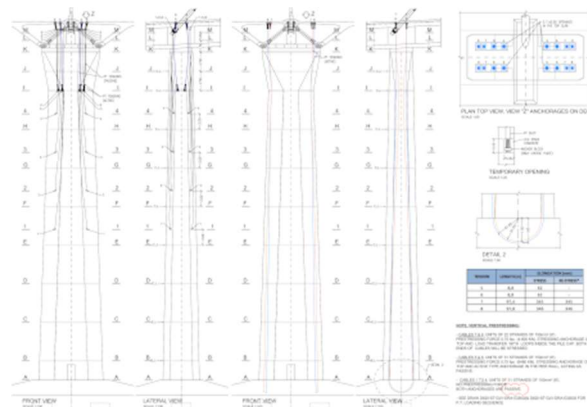


Figura 16. Postesado pilas intermedias S2 y S3.

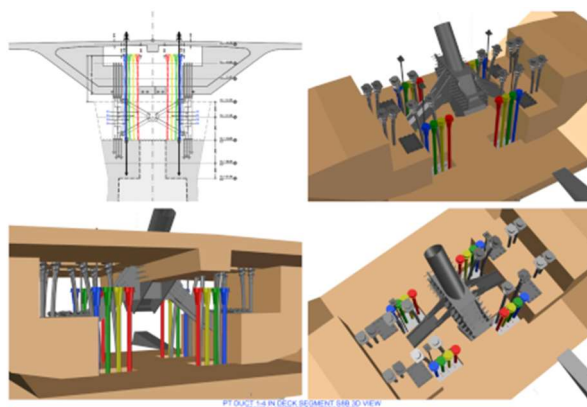


Figura 17. Familias de postesado en pilas anclaje S2 y S3.

Con esta configuración se pudieron independizar las tareas de bloqueo, hormigonado conexión monolítica y tesado de cables de anclaje en pilas intermedias. Así mismo esta operación requería de descenso de tablero por lo que también se pudo utilizar como medida de control geométrico general.

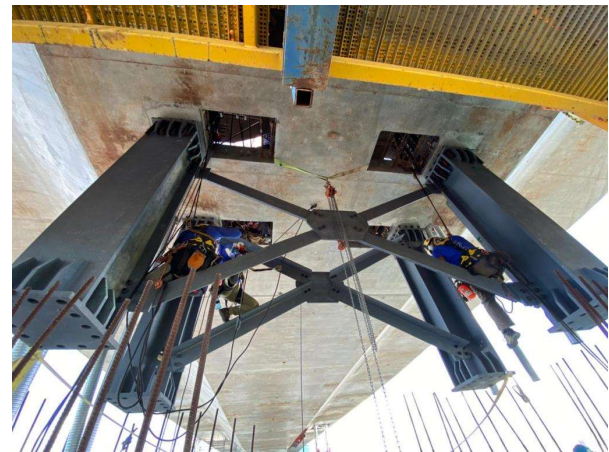


Figura 18. Estructura auxiliar anclaje. Fase inicial.

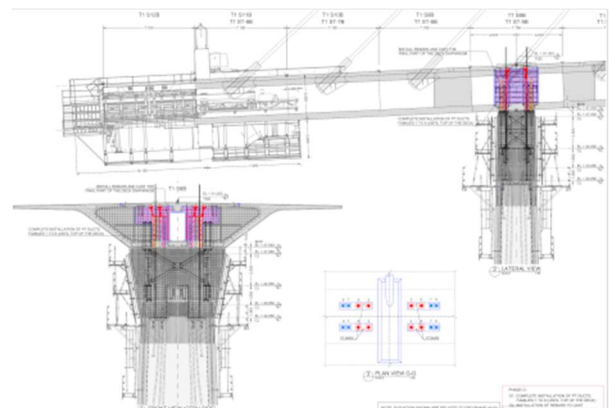


Figura 19. Fase de unión monolítica en pilas S2 y S3.

2.5 Construcción tablero en pilas de cierre S1 y S4.

El tablero en la zona de apoyos en pilas finales S1 y S2, es un elemento complejo e incluye la media madera para el apoyo del vano de acceso de vigas prefabricadas, apoyos del puente atirantado en pilas traseras y requiere ser sacado del camino crítico de construcción. Con ese objeto se diseña una estructura metálica tubular en la que se dispone el encofrado, elementos de transferencia de cargas a los apoyos definitivos, etc.

Una vez hormigonado el tablero es soportado por los puntales traseros y en los apoyos definitivos.

Los gatos dispuestos permiten una rotación de 5mrad max. que permiten un ajuste previo al hormigonado de cierre.

Las dimensiones son de 16.0m de longitud y 26.90m de ancho, produciéndose el

hormigonado en tres fases con un total de unos 638m³.

La estructura auxiliar metálica tubular formada por CHS1200-12 en los elementos principales y CHS500-10 en los secundarios alcanza una altura mayor de 40,0m sobre la base de apoyo de encepados. Esta se realizó con módulos repetitivos y uniones atornilladas que permitieron una rápida puesta en obra.



Figura 20. Estructura temporal.



Figura 21. Construcción tablero sobre pilas S1 y S4.

2.6 Cierre vano principal.

Las operaciones de cierre del vano principal se realizaron haciendo uso de los carros de avance, previo gateo y ajuste geométrico. En el bloqueo de ambos vanos en voladizo se reutilizaron las vigas utilizadas en los cierres laterales que formaban parte de los patines de los carros de avance laterales.

La rigidez general del sistema permite en este sistema un descenso en punta de voladizos de 100mm con una fuerza de gateo de 500kN.

La situación intermedia, en el que el puente está estructuralmente conectado mediante el bloqueo de los carros de avance pero a falta de ferrallado y hormigonado, requiere de un estudio detallado de dicho bloqueo para soportar a parte de las cargas de proceso las de viento y sismo en construcción.

El segmento de cierre es de 2,0m de longitud, suficiente para poder realizar solapes de armaduras

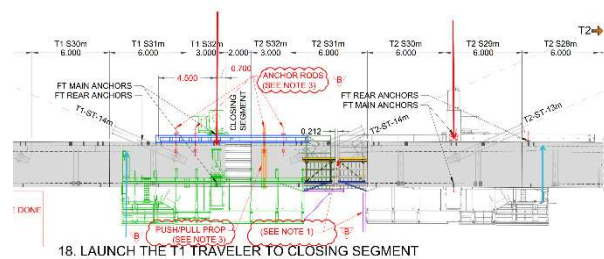


Figura 22. Situación de bloqueo vano principal.



Figura 23. Cierre de vano principal. Nivelación, bloqueo, hormigonado.

Agradecimientos

- Propiedad & Concesionario: CCLEC (Metro Pacific)
- Municipalidad de Cebu y Cordova.
- Diseño de referencia del cliente: COWI-DCCD (Dissing +Weitling Arch.)
- Construcción: CLJV (Acciona, First Balfour, D.M. Consunji Inc.)
- Consultor independiente: Norconsult.
- Ing. diseño y construcción: Carlos Fernández Casado.
- Checker independiente: Fhecor y Prointec.
- Tunnel de viento: Ignacio Da Riva Institue (IDR), Politécnica de Madrid.
- Test Físico Marino: Instituto Hidráulico de Cantabria (IH Cantabria)

- Modelos hormigón en masa, temperatura: Danish Technology Institute.
- Diseño y proveedor carros de avance: Rubrica.
- Encofrados trepantes pilas y pilonos : Ulma.
- Tirantes, Pretensado y juntas de expansión: Freyssinet.
- Apoyos esféricos: Maurer.
- Pilotaje: Trevi.
- Monitoreo: Strainstall.
- Heavy lifting: ALE (MAMMOET)

Referencias

- [1] J. Muñoz-Rojas, J.M. Domínguez, Proyecto del puente atirantado entre las islas de Cebú y Mactán (Filipinas) / Project of the cable stayed bridge between the islands of Cebu and Mactan, in: VIII Congreso ACHE, Santander, 2020.

- [2] DPWH: Design Guidelines, Criteria and Standards (DGCS), Volume 5, (2015).
- [3] AASHTO, Design bridge specifications, American Association Of State Highway And Transportation Officials, 2017.
- [4] J. Muñoz-Rojas, P. Manouchehri, Soil-Structure Interaction and Seismic Analysis in Design of the Cable-Stayed Bridge between the islands of Cebu and Mactán (Philippines), in: VIII Congreso ACHE, Santander, 2020.
- [5] J. Muñoz-Rojas, M.Á. Astiz, P. Manouchehri, Wind effects in the Project of the Cable - Stayed Bridge between the islands of Cebu and Mactán (Philippines), in: VIII Congreso ACHE, Santander, 2020: p. 1.
- [6] SIMILIA, Abaqus Analysis User's Guide, Dassault Systèmes. Simulia Corp., Providence, RI, 2016.
- [7] CJV, Cebu-Cordova Link Joint Venture. Main bridge Design Basis, Metro Pacific Tollways Development Corporation, 2019.
- [8] PTI, DC45: Recommendations for stay cable design, testing and installation, 5th ed., Post-Tensioning Institute, Farmington Hills, MI, 2007.
- [9] CJV, Main bridge: Superstructures construction Form Traveller, Method of Statements & Drawings, Cebu-Cordova Link Joint Venture, 2019.