

Viaductos y Puentes de Acceso de Cebu-Cordova Link Expressway (CCLEX)

Viaducts and Access Bridges in the Cebu-Cordova Link Expressway (CCLEX)

Jordi Revoltós Fort^a, Enrique Sánchez Leiva^b, Javier Antón Díaz^c, Juan Ruiz León^d,
Oscar González Rodríguez^e, Silvia Criado Catalina^f

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de la Sección de Puentes y Viaductos de SENER. jrevoltos@sener.es

^b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sección de Puentes y Viaductos de SENER. enrique.sanchez@sener.es

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sección de Puentes y Viaductos de SENER. janton@sener.es

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sección de Puentes y Viaductos de SENER. juan.ruiz@sener.es

^e Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sección de Puentes y Viaductos de SENER. oscar.gonzalez@sener.es

^f Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Sección de Puentes y Viaductos de SENER. scriado@sener.es

RESUMEN

La nueva autopista que conecta la ciudad de Cebú con la isla de Mactán en Filipinas tiene una longitud total de 9.0 km. En ella se han realizado 9 viaductos. Sobre el canal de Mactán, que separa las islas, se sitúa el puente principal de tipo atirantado; a él se accede mediante 4 viaductos de acceso. Además, se requieren 4 puentes bajos cerca de Mactán. El diseño ha sido realizado por la UTE SENER-CFC. SENER ha realizado el diseño y asistencia técnica de las estructuras de acceso y de los puentes bajos mientras que el diseño del puente principal ha sido realizado por CFC [1]. La alta sismicidad, unida a los tifones y un entorno marino agresivo ha condicionado el diseño basado en elementos prefabricados.

ABSTRACT

The new expressway that connects the city of Cebu with the island of Mactan in the Philippines has a total length of 9.0 km and 9 viaducts. The cable-stayed main bridge is located on the Mactan channel, which separates the islands. It is accessed through 4 approach viaducts. In addition, 4 low bridges are required near Mactan. The design has been done by the JV SENER-CFC. SENER has carried out the design and technical assistance of the access structures and the low bridges while the design of the main bridge has been done by CFC [1]. High seismicity along with typhoons and an aggressive marine environment has conditioned the design based on precast elements.

PALABRAS CLAVE: Vigas prefabricadas, postesado, sismo, tifones, ambiente marino, apoyos LRB.

KEYWORDS: Precast girders, post-tension, earthquake, typhoons, marine environment, LRB bearings.

1. Descripción del proyecto

La nueva autopista de peaje materializa la tercera conexión entre las islas de Cebú y Mactán (Filipinas).

En el lado de la ciudad de Cebú, el trazado parte de la carretera existente Cebu South Coastal Road (CSCR), siendo la conexión en la isla de Mactán en la carretera Mactan Circumferential Road (MCR).

Sobre el canal de Mactán se ubica el Puente principal de tipo atirantado. Los viaductos y puentes de acceso se componen de 4 estructuras, 3 en el lado de Cebú y 1 en la isla de Mactán, adicionalmente se requieren 4 puentes bajos a lo largo del relleno en aguas someras también en la isla de Mactán (véase figura 1).

Durante la ejecución de las estructuras, no se permite la afección al tráfico de vehículos de la carretera CSCR ni sobre el tráfico marítimo del canal de Mactán.

El trazado cruza sobre la carretera existente (CSCR) en dos puntos, uno en la rampa

On y otro en el viaducto de Cebú. Para el primer cruce ha sido necesario un pórtico transversal de 45 m de longitud y en el segundo un vano único en todo el proyecto de 50 m de luz que ha condicionado los medios auxiliares.

La zona de peaje (toll plaza) se sitúa en la parte final del trazado, entre las dos últimas estructuras de puentes bajos y también en zonas de rellenos sobre mar (causeway).

El diseño tiene como principales condicionantes el efecto de los tifones propios de la zona del sudeste asiático (velocidad del viento de diseño de 250 km/h) con una alta sismicidad y en un ambiente marino agresivo.

Las elevadas temperaturas medias en un entorno marino han condicionado los requisitos de calidad de los hormigones con el fin de alcanzar la durabilidad mínima exigida.



Figura 1. Planta General del proyecto

Las características principales de las estructuras son:

Tabla 1. Listado de estructuras.

Estructura	Longitud Total (m)	Numero de vanos	Luz máxima (m)	Ancho de tablero (m)	Canto de Viga o Tablero (m)	Número de vigas
Puente Principal	653.00	5	390	22.480 - 26.900	3.50	(Cajón)
Cebu viaduct	432.80	10	50.12	21.667- 24.261	2.00	64
Cordova viaduct	917.30	23	40.00	21.100 – 23.300	2.00	138
CSCR On Ramp	533.20	15	46.12	6.872 – 14.707	1.35 y 2.00	48
CSCR Off Ramp	778.69	25	40.48	10.750 – 14.700	1.35 y 2.00	82
Cordova Reclamation Channel	179.20	6	30.30	21.100	1.35	36
Cordova Gabi-Pilipog	216.00	6	36.50	21.100	1.35	36
Cordova Fishermen	58.60	2	29.30	21.100	1.35	12
Cordova Pilipog	148.90	5	30.30	21.100	1.35	30

Se han utilizado elementos prefabricados para reducir tanto los costes como los tiempos de ejecución, con fecha de finalización en diciembre de 2020. La prefabricación se aplica sobre los 3,26 km de estructuras incluyendo vigas y prelosas en celosía.

La plataforma tipo de los tableros (excepto en las rampas On y Off) está constituida por 2 carriles de 3.50 metros por sentido con arcenes de 0.50 metros tanto interiores como exteriores, paseos peatonales con barandilla de 1.75 metros a ambos lados y barreras rígidas tanto en mediana como laterales de separación con la zona peatonal.

Para las rampas de un único sentido, la plataforma consta de 2 carriles de 3.50 metros,

arcenes de 0.50 metros, un paseo peatonal con barandilla y barreras rígidas de separación tanto a borde de tablero como en la separación con la zona peatonal.

La estructura CSCR On ramp comienza en el puente existente de la carretera CSCR conectando en paralelo el tablero de los 7 primeros vanos. Para ello, se realiza la demolición de la barrera de hormigón y se dispone de una junta de dilatación longitudinal que permita el paso en transversal de vehículos entre estructuras. La rampa Off conecta el viaducto de Cebú directamente a tierra (véase figura 2).

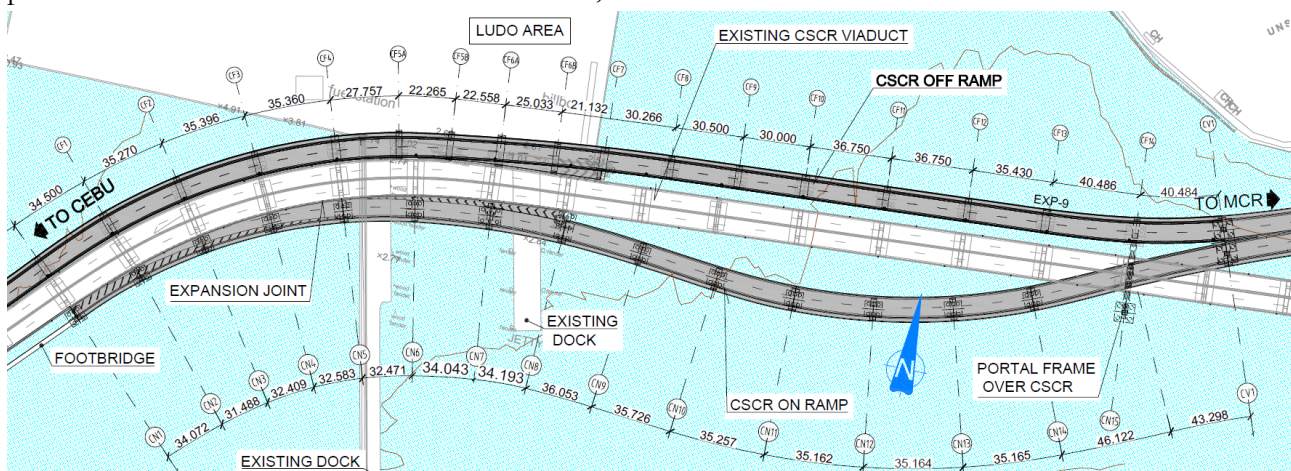


Figura 2. Vista en Planta de las rampas On y Off

El viaducto de Cebú conecta ambas rampas con el puente principal cruzando sobre la carretera CSCR en el último vano (véase figura 3).

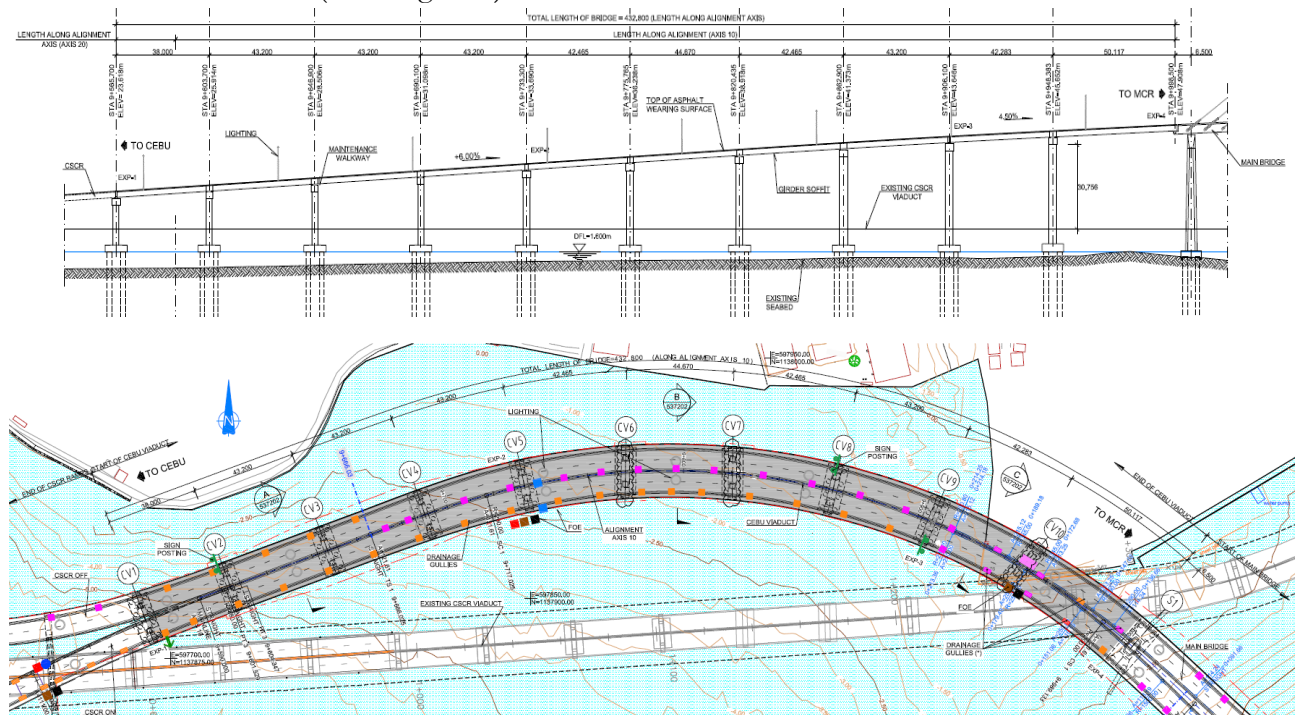


Figura 3. Vista en Alzado y Planta del Viaducto de Cebú

El terreno del lado de Cebú está compuesto por arcillas de gran potencia con limos en la parte superior susceptibles de erosión (scour) por el efecto de las corrientes marinas. Se han detectado capas licuefactables bajo situaciones sísmicas de hasta 18 metros de profundidad en el caso de la pila CV9 del viaducto de Cebú.

El viaducto de Cordova sirve de conexión entre el puente principal y el terraplén en el lado de Mactán (véase figura 4). En esta margen del canal, el terreno está compuesto por calizas desde la cota del terreno natural, lo que ha permitido reducir los espectros de respuesta en sismo optimizando las dimensiones de las cimentaciones.

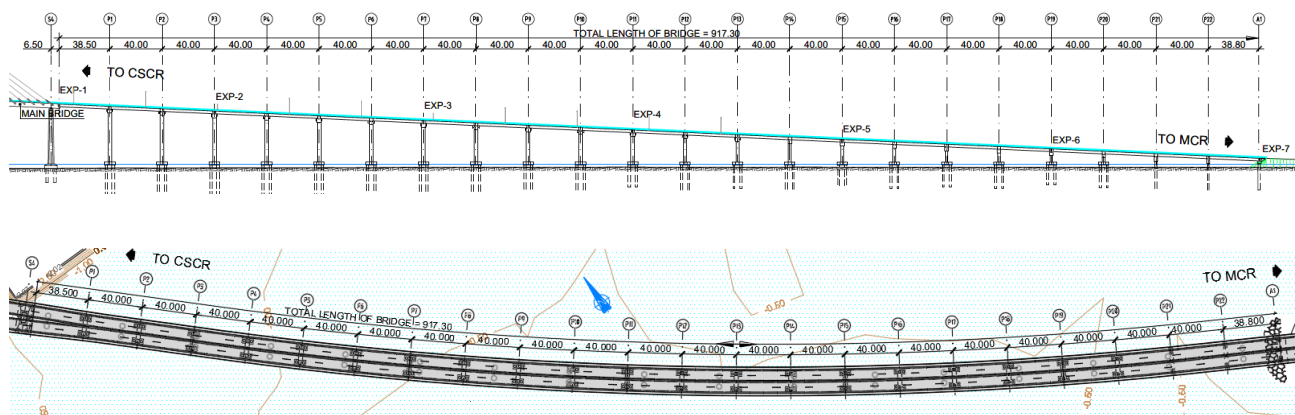


Figura 4. Vista en alzado y planta del Viaducto de Cordova

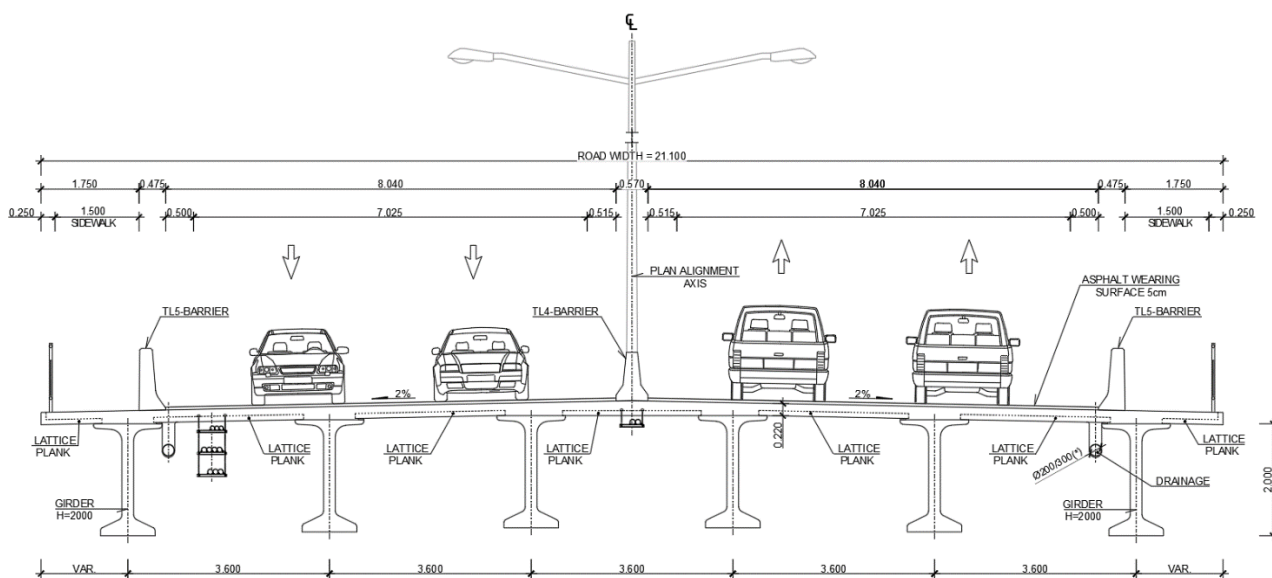
Plan view of the bridge showing the layout of the bridge deck, approach roads, and surrounding infrastructure. The bridge is 58.600m long, with two 29.300m spans. It features a 0.3% longitudinal slope. Key points include F1, F2, and F3, and elevations of 14.20 and 14.57. The diagram also shows the existing seabed, girder soffit, and causeway.

En estos puentes bajos, la configuración estructural varía respecto a los anteriores por disponer de apoyos de neopreno zunchado únicamente en zonas de juntas, siendo el resto de apoyos de pilas empotrados a la subestructura. Un espectro de respuesta más favorable unido a una mejor calidad del terreno han permitido eliminar apoyos mejorando los costes de mantenimiento.

El tablero está formado por vigas prefabricadas tipo doble T postesadas con losa superior de 22 cm de espesor constante (véase figura 6). Se realiza la continuidad a negativos formando módulos de hasta 4 vanos.

Para la ejecución de la losa se han utilizado prelosas en celosía en todo el ancho del tablero.

El tipo de acero de armar considerado para todo el proyecto ha sido de grado 60 para diámetros menores de 16mm y de grado 75 para el resto.



2.1 Vigas Prefabricadas

máximas de 37 metros y de 2.00 metros para luces mayores. En ambos casos, tanto la cabeza superior como el tacón inferior tienen la misma geometría, variando únicamente la altura del

alma en sección constante de 21 cm de espesor (véase figura 7).

Los anchos de las cabezas superior e inferior son 1.225m y 0.975 metros respectivamente.

Las resistencias características de los hormigones de vigas son de 50 y 60 MPa con un recubrimiento de 5 cm.

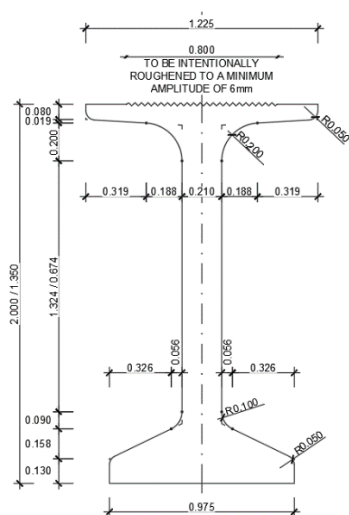


Figura 7. Sección tipo de Vigas.

Para el postesado de vigas, el número de tendones por viga (variable entre 1 y 4) y de torones por cable (hasta 13 unidades de 15.7mm, S7-1860 MPa) es variable en función de la luz.



Figura 8. Acopio de vigas

Con el fin de controlar las deformaciones diferidas, el tesado de los cables se realiza en dos fases. Un primer tesado del tendón o tendones de alma (véase figura 9) para el acopio de vigas en parque y una fase final con el tesado de los dos tendones inferiores previo a la colocación de la viga en obra.



Figura 9. Detalle de viga con tesado de primera fase

2.2 Losa de Tablero

Para la ejecución de la losa (de 22 cm de espesor) se ha utilizado prelosas en celosía de 9 cm tanto para las zonas entre vigas como en voladizos laterales. La resistencia característica de los hormigones tanto de prelosa como del hormigón de segunda fase es de 50 MPa con un recubrimiento de 5 cm.

Para verificar el comportamiento de la prelosa de voladizo, se ha realizado un ensayo a escala real (véase figura 10), obteniendo resultados favorables tanto en los desplazamientos verticales esperados, como en las soldaduras de la celosía a los cordones longitudinales.



Figura 10. Ensayo de prelosa de voladizo

2.3 Diafragmas de tablero

Tanto en las rampas como en los viaductos de Cebú y Cordova, los diafragmas de juntas tienen un espesor de 80 cm (véase figura 11) siendo de 40 cm en el caso de los puentes bajos. La conexión con las vigas se realiza mediante armadura pasante y llaves de cortante.

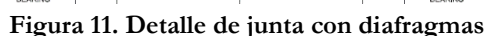
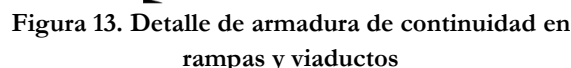


Figura 12. Detalle de diafragma con continuidad

En el caso de los puentes bajos, con esfuerzos de menor entidad, la transmisión de esfuerzos se ha realizado mediante el cruce de torones de pretensado dispuestos en prolongación desde la cara inferior de las vigas (véase figura 14).



2.4 Apoyo sobre el Puente Principal

0.800

0.220

2.000

MAIN BRIDGE DECK

ELASTOMERIC BEARING PADS

The diagram is a cross-sectional view of a bridge deck. It shows a rectangular structure with a width of 0.800 units and a total height of 2.000 units. The top layer has a thickness of 0.220 units. The main body of the deck is divided into several horizontal layers. At the bottom, there are four circular elastomeric bearing pads. A label 'MAIN BRIDGE DECK' points to the left side of the structure, and another label 'ELASTOMERIC BEARING PADS' points to the bottom pads. The drawing is a technical sketch with dimension lines and arrows.

Figura 15. Detalle de apoyo sobre el Puente Principal

3. Subestructura

Tanto para las rampas de acceso (On y Off) así como en el viaducto de Cebú se han dispuesto apoyos de neopreno con núcleo de plomo (LRB) para reducir los esfuerzos sobre la subestructura en situación sísmica. Con un espectro de respuesta elevado del lado de Cebú, el uso de estos dispositivos en las rampas ha sido posible dada la alta rigidez de la subestructura, aportando tanto aislamiento como amortiguación. En el viaducto de Cebú, con una subestructura más flexible, el comportamiento de los dispositivos se centraba principalmente en amortiguación.

El cálculo sísmico de las estructuras del lado Cebú, se ha realizado íntegramente mediante acelerogramas sintéticos.

En el caso del viaducto de Cordova, no ha sido necesario disponer de estos apoyos, ya que el uso de neoprenos zunchados (ELB) ha sido suficiente para un espectro de respuesta más favorable (véase figura 16).

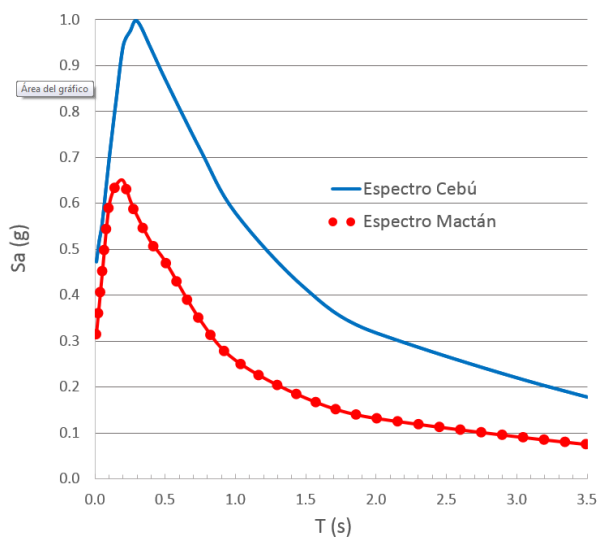


Figura 16. Espectros de diseño de Cebú y Mactán

En el resto de estructuras (puentes bajos) y para cada módulo continuo, el tablero se empotra a la subestructura en pilas interiores (véase figura 17), disponiendo de apoyos de neopreno zunchado tanto en estribos como en juntas de dilatación en pilas entre módulos.

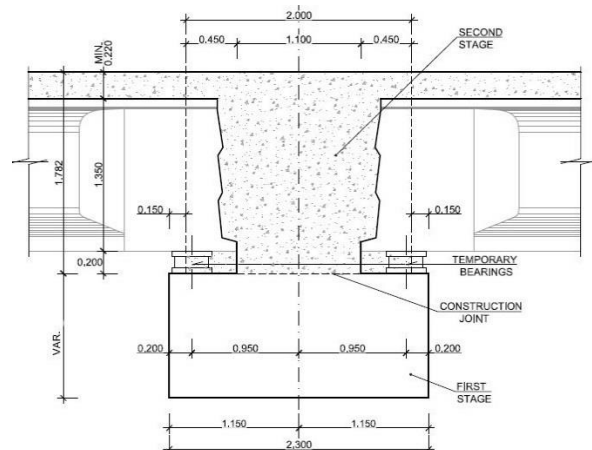


Figura 17. Detalle del empotramiento de vanos con continuidad en puentes bajos

El análisis sísmico de las estructuras del lado de Mactán ha sido realizado mediante cálculo espectral con un comportamiento elástico bajo el sismo último de diseño.

La resistencia característica de los hormigones de la subestructura es de 50 MPa excepto en los pilotes donde se ha considerado 40 MPa.

3.1 Pilas

Las pilas son de hormigón armado en todos los casos con dintel sobre fustes para el apoyo de las vigas.

En el viaducto de Cebú, las pilas son cuadradas de sección hueca de 2.40m, 2.80 m y 3.20 m de lado con espesor de tabiques de 35 cm (véase figura 18).

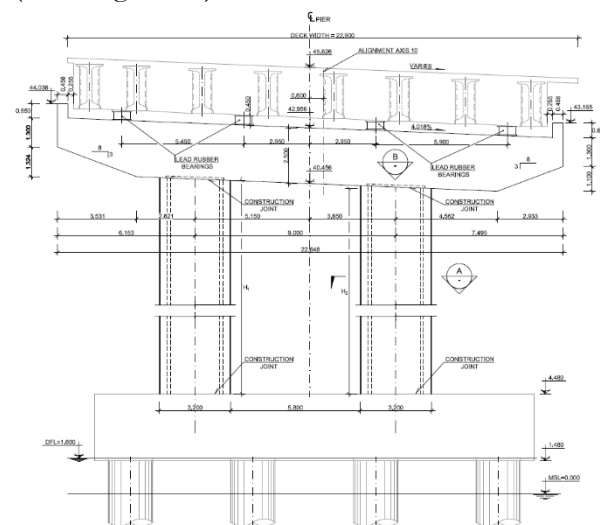


Figura 18. Alzado de pila CV10 del viaducto de Cebú

En el viaducto de Cordova, las pilas son cuadradas de sección hueca de 2.00m, 2.40 m y 2.80 m de lado con espesor de tabiques de 35 cm.

En los puentes bajos, todas las pilas se componen de dintel sobre 3 pilotes. El diámetro de los pilotes es de 1.50 m para las pilas con junta y de 1.80 m para las empotradas al tablero.

En las rampas, los fustes son de hormigón armado de sección cuadrada maciza de 1.20 m y 1.50 m de lado a excepción del pórtico CN15-CF14 para el cruce sobre la CSCR, donde sus dimensiones aumentan hasta los 2.00x2.40 metros (véase figura 19).



Figura 19. Cimentaciones y fustes de rampa On, a la derecha la estructura existente CSCR

El pórtico de cruce sobre la CSCR es de hormigón postesado ejecutado “in situ” que servirá de apoyo de los tableros de ambas rampas (véase figura 20).

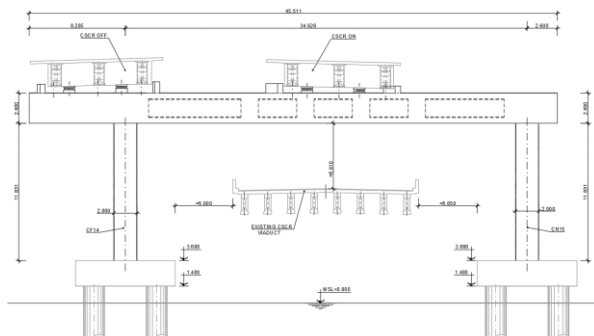


Figura 20. Alzado del pórtico CN15-CF14 del cruce sobre la carretera CSCR

La sección aligerada de 2.6x2.6 cuenta con un pretensado compuesto por 12 tendones de 31 unidades de 15.7 mm. El tesado se realizará en una sola fase desde el extremo de CF14.

La cimbra porticada para la construcción del dintel se apoya en los encepados a ambos lados de la CSCR.

3.2 Cimentaciones

Las cimentaciones son profundas en todos los casos con pilotes perforados de 1.50, 1.80 y 2.00 metros de diámetro.

Para la ejecución de los pilotes en mar, y dado que los encepados se disponen por encima del nivel del agua, es necesario disponer de camisa metálica perdida empotrada en el terreno competente.

La mayoría de las cimentaciones del lado Cebú (rampas On, Off y viaducto de Cebú) se ejecutan desde barcaza (véase figura 21).



Figura 21. Vista de las cimentaciones de la rampa On y viaducto de Cebú con el cruce sobre la CSCR.

Para todas las cimentaciones del lado de Mactán y algunas del lado Cebú, se realiza un relleno temporal permitiendo la ejecución desde terraplén (véase figura 22).



Figura 22. Vista aérea de relleno temporal para la ejecución del viaducto de Cordova.

3.3 Estribos

Los estribos son cargaderos pilotados ($\phi=1.50\text{m}$) en todos los casos.

En los puentes bajos, se dispone de escollera de protección frente al oleaje.

3.4 Zona del Ludo

El trazado en la rampa Off pasa sobre la propiedad del Ludo y junto a la carretera CSCR (véase figura 2). Los condicionantes del diseño no permitían ni el apoyo de la subestructura en la propiedad ni la conexión de las nuevas cimentaciones a las existentes. Para resolver el problema, se han dispuesto 3 pilas excéntricas con dinteles en ménsula cimentadas en el estrecho margen (véase figura 23).

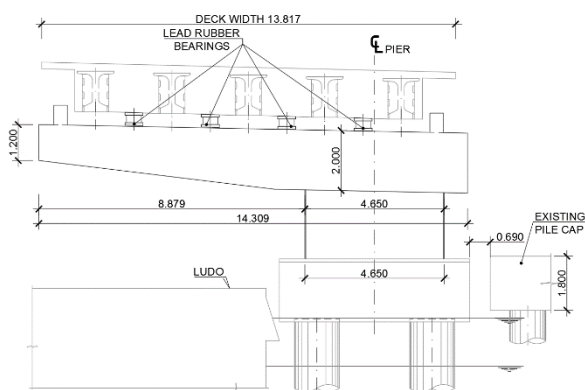


Figura 23. Rampa Off sobre zona de Ludo.

4. Proceso Constructivo

La colocación de la mayoría de las vigas de las rampas ON y Off, así como de los viaductos de Cebú y Cordova se realiza mediante lanzavigas con alimentación lateral principalmente.

En el caso de las rampas y del viaducto de Cebú, las vigas se transportan mediante barcaza hasta el punto de izado. Para el viaducto de Cordova, las vigas se transportan por el terraplén temporal paralelo a la estructura y procediendo también al izado de carga lateral.

El montaje del resto de vigas (primeros vanos de la rampas y puentes bajos) se realiza mediante grúa sobre el terraplén temporal.

Una vez instaladas las vigas y asegurada su estabilidad, se procede al montaje de prelosas.

Finalmente se procede al hormigonado de la losa en dos fases. Una primera fase de la zona de centros de vanos y una segunda fase de zona de negativos que incluye los diafragmas de

continuidad y extremos en juntas de dilatación (véase figura 24).

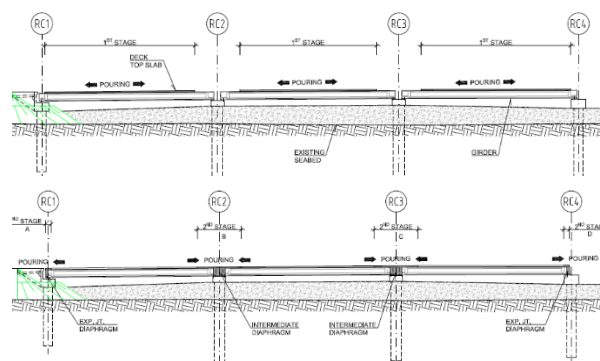


Figura 24. Fases de hormigonado de losa

Finalmente se procede con los acabados del tablero.

5. Realización

Concesionaria: CCLEC (Metro Pacific Tollway)

Dirección de obra: COWI y DCCD

Empresa Constructora: UTE CEBULINKJV (Acciona, First Balfour y DM Consunji)

Proyecto y asistencia técnica: SENER – CFC

Supervisión (ICE): FHECOR

Pretensado: FREYSSINET

Referencias

- [1] J. Muñoz, J.M. Domínguez, B. Martín, M.A. Astiz, M. Valero, S. Fernández, S. Fuente, Proyecto del puente atirantado entre las islas de Cebú y Mactán (Filipinas), congreso ACHE (2020).