

Nuevo puente móvil de desplazamiento vertical en la isla de Pamban en India

New vertical lift bridge in the Pamban Island in India

Ginés Ladrón de Guevara Méndez^{*, a}, José Luis Sánchez Jiménez^b, Alberto Curbelo

Díaz^c y Álvaro Serrano Corral^d

^a Ingeniero de Caminos. Director de Proyectos. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPSA)

^b Ingeniero de Caminos. Director del Departamento de Estructuras. TYPSA

^c Ingeniero de Caminos. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPSA)

^d Ingeniero de Caminos. Director Técnico. MC2 Estudio de Ingeniería (Grupo TYPSA)

RESUMEN

El nuevo puente móvil de desplazamiento vertical en la Isla de Pamban sustituye al puente basculante existente de tipología “Scherzer Rolling Bascule” que forma parte de la línea de ferroviaria que conecta la isla con el subcontinente indio. El tablero móvil del nuevo puente está constituido por un único vano de 75,7 m de luz compuesto por dos celosías metálicas laterales de tipo Warren de canto variable y un ancho de plataforma de 10,3 m. El movimiento del puente se lleva a cabo mediante dos conjuntos de sistemas electromecánicos ubicados en dos torres de 40 m de altura situadas en los extremos del tablero conformando un sistema del tipo “Tower drive vertical lift”.

ABSTRACT

The new vertical lift bridge on Pamban Island replaces the existing “Scherzer Rolling Bascule” bridge that is part of the railway line that connects the island to the Indian subcontinent. The lift span of the new bridge is formed by a 75.7 m single-supported span composed of two lateral steel Warren trusses of variable depth and a platform 10.3 m wide. The vertical lift of the bridge is carried out by means of two sets of electromechanical systems placed in two towers 40 m high, located at the ends of the lift span forming a "Tower drive vertical lift" system.

PALABRAS CLAVE: puente, móvil, desplazamiento vertical, ferrocarril, estructura metálica, celosía Warren, cimentación profunda

KEYWORDS: bridge, movable, vertical lift, railway, steel structure, Warren truss, deep foundation

1. Antecedentes y objeto

El histórico puente de la isla de Pamban es un viaducto ferroviario de vía única sin electrificar de aproximadamente 2 km de longitud, que atraviesa el Estrecho de Palk, conectando la isla de Pamban con el subcontinente en el estado de

Tamil Nadu en el sureste de India. Las obras de ejecución del puente comenzaron en el año 1911 y finalizaron en diciembre 1914. A partir de ese momento, la principal conexión entre India y Sri Lanka se ha mantenido mediante el servicio

ferroviario que llega hasta la isla de Pamban y desde allí, a través de un ferry, continúa hasta la localidad de Talaimannar en Sri Lanka. En la actualidad el puente y la línea ferroviaria siguen

en servicio, estando destinados principalmente al traslado de los peregrinos que acuden regularmente a los múltiples templos ubicados en la isla.



Figura 1. Puente móvil existente en la Isla de Pamban de tipología “Scherzer Rolling Bascule”

El puente existente está compuesto por dos tramos de acceso en terraplén, 145 vanos de 12,2 m de luz formados por vigas metálicas isostáticas y un tramo móvil de tipología “Scherzer Rolling Bascule” con una luz de 66,5 m, compuesto por dos hojas móviles resueltas mediante dos celosías laterales y vigas transversales en correspondencia con los nudos inferiores de la celosía. Sobre dichas vigas se apoyan las dos vigas longitudinales de soporte de los carriles.

El sistema “Scherzer Rolling Bascule” [1] [2] se caracteriza por la geometría curva de los cordones inferiores de las celosías metálicas en su extremo dorsal o de culata, formando dos cuartos de circunferencia por cada hoja denominados “segmental girders”, debido a su conformación mediante segmentos de acero fundido. Durante la operación de apertura o cierre del puente, estos elementos circulares ruedan sobre los correspondientes carriles dorsales estableciendo un giro de la hoja acompañado de un desplazamiento horizontal de la misma hacia atrás durante la maniobra de apertura o hacia delante durante la de cierre. El

movimiento de rodadura se lleva a cabo mediante la rotación del eje situado en el centro del círculo de rodadura, operado por un sistema manual de manivela.

Durante la fase de puente cerrado, resulta necesario compensar el desequilibrio, motivado por la presencia de la sobrecarga de uso del ferrocarril, mediante la disposición de dos pórticos situados en los extremos dorsales de las hojas, los cuales recogen la componente vertical hacia arriba generada por dicho desequilibrio.

Este puente centenario es un icono nacional por su singularidad tipológica y por ser el primer puente marítimo construido en India. Por ello recibe el sobrenombre de “The Queen of Indian bridges” y se ha convertido un atractivo turístico en el sur del país.

Desafortunadamente, las graves patologías que se han detectado, fundamentalmente debidas a la intensa corrosión en los elementos metálicos y a problemas en las cimentaciones de hormigón, obligan a desmantelarlo completamente. Se sustituye por un nuevo puente de desplazamiento vertical en paralelo con el

existente, ya preparado para una futura doble vía y la electrificación de la línea.

La UTE TYPASA-STUP-MC2 ganó el concurso promovido por la empresa pública india para el desarrollo de infraestructuras ferroviarias Rail Vikas Nigam Limited RVNL, para el proyecto y la asistencia técnica a la dirección de la obra del nuevo puente. La redacción del proyecto comenzó en enero de 2018 finalizando en la

primavera de 2019. Las obras se han iniciado en el mes de noviembre de 2019 y está prevista su finalización a finales del año 2020.

El encargo comprende la sustitución de la totalidad del puente existente, tanto de los tramos fijos como del tramo móvil, en una ubicación paralela al eje del mismo. El presente artículo se centra exclusivamente en el diseño del tramo móvil.



Figura 2. Simulación del nuevo puente móvil de tipología “Tower drive vertical lift”

2. Condicionantes y requerimientos del diseño

En el presente apartado se exponen los condicionantes de mayor relevancia que han determinado el diseño conceptual del puente y que han establecido también el desarrollo de los detalles constructivos del mismo.

En términos generales, se ha planteado un puente de estructura metálica, tanto para el tablero como para las torres, y cimentación profunda de hormigón armado ejecutado “in situ”. En el caso del tablero, la decisión de emplear estructura metálica resulta evidente al tratarse de un tablero móvil. En el caso de las torres, se optó también por el empleo de estructura metálica, teniendo en cuenta:

- Las ventajas constructivas de la solución metálica en un entorno de accesibilidad complicada
- La reducción del peso propio de la pila permite disminuir las cargas en las cimentaciones profundas
- El aprovechamiento del espacio interior de las torres más favorable en la solución metálica

2.1 Estrategia frente a la corrosión ambiental

El puente está ubicado en uno de los entornos con mayor corrosión por ambiente marino del mundo. Consecuentemente, el planteamiento conceptual considera este aspecto de manera determinante desde el origen del diseño. Desde este punto de vista, se plantean una serie de

criterios los cuales se exponen a continuación [3] [4].

Por una parte, la cota de la nueva rasante del puente se ha determinado con objeto de evitar el contacto del agua marina con la estructura del puente, incluso la procedente del oleaje o posibles salpicaduras. De este modo, se establece una distancia entre la cota de pleamar máxima viva equinoccial y la cota inferior del tablero metálico de 5 m.

Según los estudios realizados sobre la influencia de la altura sobre el nivel del mar en la corrosión marina en estructuras metálicas, se determina que, a partir de una altura de aproximadamente 8 a 10 m, se detecta una reducción paulatina del efecto de la corrosión. De este modo, parece razonable establecer como criterio de diseño elevar respecto al nivel del mar los elementos más sensibles, como es el caso de los sistemas electromecánicos de movimiento del puente.

Por otra parte, la bibliografía y normativa de referencia recomienda que las superficies metálicas expuestas sean lisas y continuas [5], y se dispongan en todo caso bordes curvados, evitando en la medida de lo posible bordes y esquinas afilados o agudos que facilitan la acumulación de impurezas o partículas y que, por otra parte, dificultan la aplicación de los sistemas de protección pasiva del acero. De este modo, se lleva a cabo un planteamiento de la estructura metálica basado en uniones soldadas, exceptuando algunos casos particulares en los que, como se verá, se proyectan uniones atornilladas sin perder de vista los criterios antedichos. Asimismo, se establecen una serie de pautas tales como el establecimiento de espesores de sacrificio, tratamientos de reducción de tensiones, predominio de las soldaduras a penetración y una atención especial a los detalles.

Finalmente, se diseña un procedimiento de protección pasiva frente a la corrosión marina basado en sistemas de eficacia demostrada aplicados en plataformas off-shore:

- Metalizado mediante proyección térmica basado en zinc TSZ
- Capa intermedia sellante epoxídica basada en zinc
- Capa final de polixiloxano

Se establece una durabilidad práctica, considerando un mantenimiento adecuado del sistema, de aproximadamente 50 años, momento en el cual se procedería al repintado del puente en caso de ser necesario, teniendo en cuenta que la vida útil del puente es de 100 años.

2.2 Condicionantes de uso

Por parte del promotor de la obra se establecen una serie de criterios fundamentales de uso del puente los cuales se resumen a continuación:

- Previsión de doble vía con una distancia entre ejes de vía de 5,3 m, lo cual determina un ancho de plataforma de 10,3 m
- Gálibo vertical mínimo de 5,87 m
- Ancho total libre del canal entre bordes de cimentaciones de aproximadamente 72 m
- Altura libre para el paso de embarcaciones de 22 m en posición de puente abierto, lo que supone que el tablero debe desplazarse verticalmente 17 m (22 m – 5 m).
- Provisión para la instalación de la futura electrificación de la vía
- El eje de la nueva estructura se dispondrá a una distancia de 27,5 m del eje del puente actual de manera que se mantenga la operatividad de este último durante el desarrollo de la obra
- Debe buscarse la máxima fiabilidad y robustez del sistema de movimiento del puente, mediante procesos sencillos y con mínimo mantenimiento

Otro de los aspectos relevantes en el diseño es el establecimiento de las tolerancias de fabricación y montaje, tanto de los elementos estructurales: estructura metálica, poleas, cables y contrapeso, como de los sistemas mecánicos. Estas tolerancias deben establecerse claramente en la fase de proyecto y ser contractuales, debido a que cualquier desviación geométrica que supere

ciertos límites mínimos puede imposibilitar la correcta operatividad del puente [6] [7].

2.3 Condicionantes estéticos

Tal como se ha indicado, el puente actual es un icono nacional en el sur de India y un importante

atractivo turístico. Por tanto, resulta decisivo para el promotor llevar a cabo un diseño que cuide los aspectos estéticos tanto desde el punto de vista de la tipología estructural y sus formas como en relación a los aspectos cromáticos, iluminación nocturna, etc.

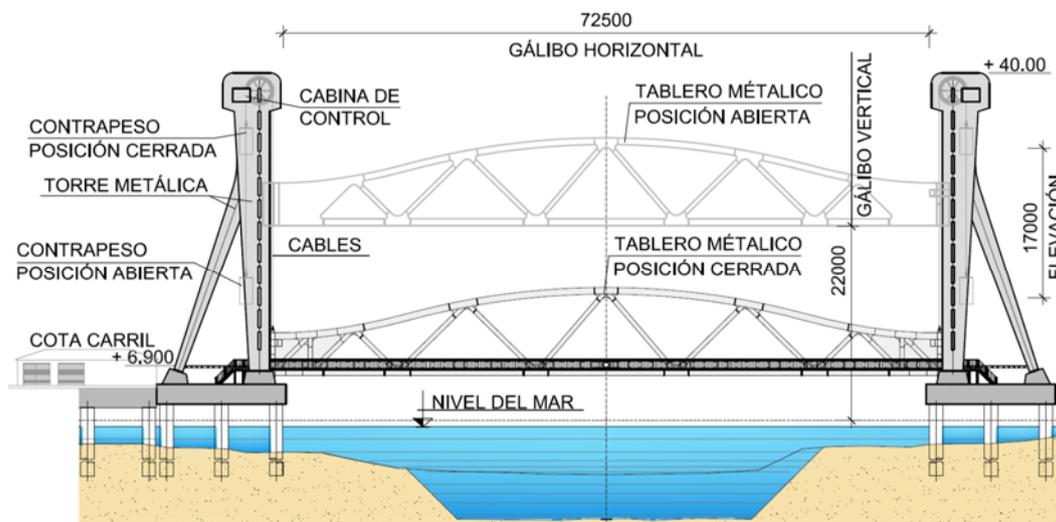


Figura 3. Alzado general del puente móvil

3. Descripción de la estructura del puente

A partir de los condicionantes y requerimientos anteriormente expuestos, y después de un estudio de soluciones previo, se plantea una solución de tablero metálico de desplazamiento vertical siguiendo la tipología ampliamente extendida con la denominación inglesa “Tower drive vertical lift”. En términos generales, el diseño del puente sigue el citado criterio de sencillez desde el punto de vista estructural y formal, pero también respecto al propio sistema de desplazamiento formado esencialmente por un conjunto de poleas, cables y contrapesos que permiten la elevación y descenso del tablero mediante motores eléctricos de baja potencia. Dichos motores eléctricos y el resto de los sistemas y maquinaria de actuación se ubican de manera lo más compacta posible en el extremo superior de dos torres también metálicas,

precisamente, tal como se ha indicado, en la ubicación más favorable con objeto de reducir al mínimo la posible corrosión sobre dichos sistemas.

3.1 Estructura del tablero móvil

El tablero móvil del puente está constituido por un único vano de 75,7 m de luz compuesto por dos celosías metálicas laterales de tipo Warren de canto variable con un máximo de 9,9 m en el centro del vano. El ancho total del tablero resulta de 11,3 m (figura 4) sumando el ancho de la plataforma entre celosías de 10,3 m, más el ancho de las mismas de 0,5 m cada una. Los cordones superior e inferior de las celosías están formados por una sección en cajón cerrado de 750 mm de canto y 500 mm de ancho. El espesor de las chapas de las alas y almas de los cordones resulta variable entre 20, 25, 36 y 40 mm, según el rango de espesores de chapa disponibles en los talleres metálicos en India. Las diagonales están constituidas también por secciones en cajón

cerrado, en este caso cuadradas de dimensiones 500 x 500 mm y espesores de chapa de 16, 20 y 25 mm.

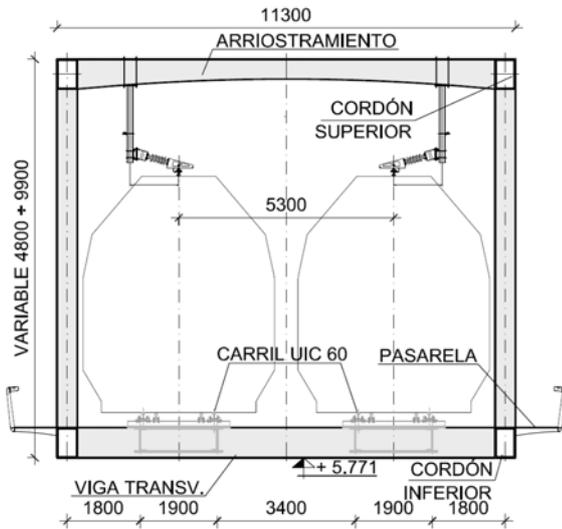


Figura 4. Sección transversal del tablero móvil

El pandeo lateral de los cordones superiores se restringe mediante la disposición de cinco elementos horizontales que vinculan ambas celosías en el nivel de los cordones, generando de este modo una celosía de tipo Vierendeel debido a la ausencia, en este caso, de diagonales. Desde el punto de vista del comportamiento transversal, el tablero está formado por un conjunto de vigas armadas en doble-T con el mismo canto que el cordón inferior de las celosías (750 mm) y espesores de alas y almas de 32 mm y 16 mm respectivamente. Estas vigas transversales se sitúan siguiendo una modulación tipo entre ejes de 5,2 m, y se conectan con los cordones inferiores de las celosías según un esquema perfectamente empotrado, mediante soldadura a tope entre las alas superior e inferior de ambos elementos. La continuidad del alma de las vigas transversales con el cordón inferior se garantiza mediante la disposición de un diafragma interior en el mismo en correspondencia con el alma de la viga (figura 5). Sobre las vigas transversales se apoyan, a su vez, las vigas longitudinales de soporte de los carriles las cuales incluyen los correspondientes diafragmas siguiendo, en este caso, un esquema convencional en puentes de ferrocarril en India, salvo por la ausencia de uniones atornilladas en

las vigas de soporte de los carriles, las cuales se disponen soldadas a las vigas transversales dándoles continuidad a través de ellas, formando así un sistema compacto en coherencia con los criterios de protección frente a la corrosión antedichos.

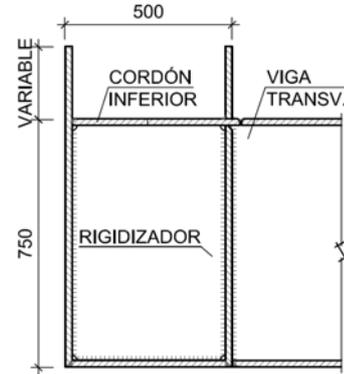


Figura 5. Detalle de conexión entre viga transversal y cordón inferior

El peso total de la estructura metálica del tablero móvil es de 4240 kN, resultando un valor total de carga permanente de 5440 kN incluidos las cargas muertas de los carriles, traviesas, fijaciones y pasarelas de mantenimiento.

3.2 Estructura de las torres

Las dos torres metálicas ubicadas en los extremos del tablero móvil son elementos esenciales en el diseño, debido a que en ellas y en sus cimentaciones se concentran todos los elementos de movimiento, apoyo, enclavamiento, guiado y control del tablero.

La estructura de cada torre está constituida por dos fustes verticales que transmiten las cargas verticales del conjunto hasta cimentación, dos puntales inclinados dorsales (figura 3) que colaboran con los fustes para recibir las acciones horizontales, fundamentalmente las acciones del viento y el sismo, y un dintel superior que genera un sistema pórtico en la dirección transversal conjuntamente con los fustes verticales, pero que también tiene la función esencial de albergar la mayor parte de los sistemas mecánicos de desplazamiento del puente y la cabina de control (figura 7).

Los fustes verticales están formados por secciones en cajón cerrado rigidizado de dimensiones 3,0 x 2,3 m en el arranque hasta 3,0 x 4,00 m en su cota superior. Por otra parte, en los fustes se disponen los carriles y canales de guiado del tablero móvil y del contrapeso respectivamente, los cuales quedan integrados en la sección transversal (figura 6). Asimismo, en el interior de los fustes se ubican las escaleras y el ascensor de acceso a las salas de maquinaria y a la cabina de control.

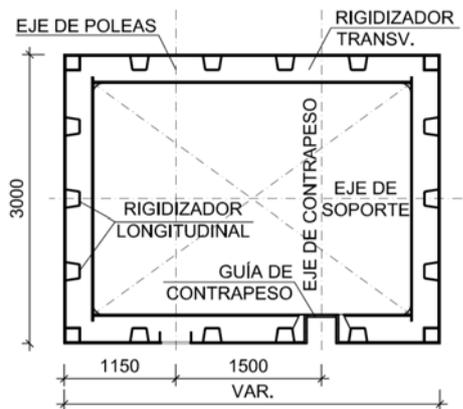


Figura 6. Sección cajón rigidizado de los fustes

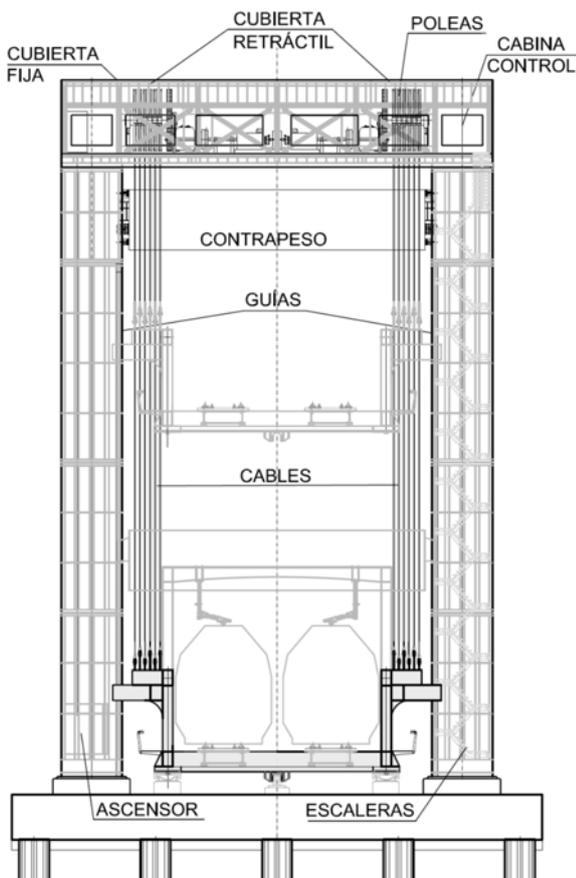


Figura 7. Alzado de las torres

Del mismo modo, los puntales dorsales están formados por una sección cajón rigidizada de dimensiones 1,2 x 1,0 m en el arranque, hasta alcanzar un ancho de 3,0 m en su conexión con el fuste.

El dintel está formado por una estructura abierta en celosía espacial, compuesta por 8 tubos dispuestos en la dirección longitudinal del dintel (figura 8) y una serie de montantes y cruces de arriostramiento, los cuales deben ser compatibles con la funcionalidad del puente para lo cual resulta necesario:

- Proporcionar el espacio para la ubicación y soporte de la maquinaria: poleas y sistemas electromecánicos
- Permitir la retirada y reposición de las poleas y sistemas electromecánicos desde el exterior mediante grúas
- Ubicar la cabina de control y permitir la accesibilidad general al dintel y la circulación en el interior del mismo para el mantenimiento de los sistemas
- Permitir la máxima visibilidad desde la cabina de control, necesaria para un adecuado seguimiento visual de los tráficos marítimo y ferroviario por parte los técnicos

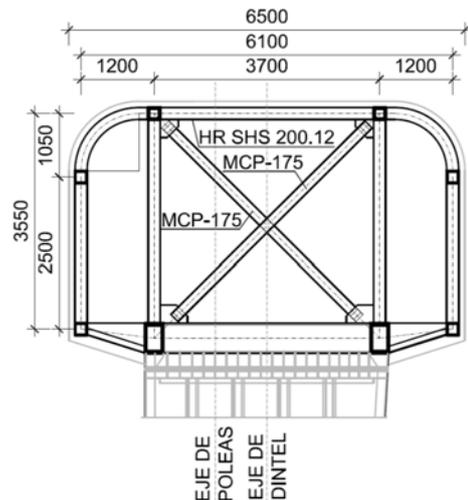


Figura 8. Sección transversal del dintel

De este modo, en algunos de los paños tanto verticales como horizontales no resulta posible disponer cruces de arriostramiento determinándose, por tanto, una celosía espacial híbrida que combina paños con arriostramientos

de tipo convencional y paños con sistemas tipo Vierendeel.

3.3 Estructura del contrapeso

Los contrapesos ubicados en cada una de las torres tienen la función de equilibrar teóricamente el peso del tablero móvil, de manera que la potencia de los motores sea la mínima correspondiente a las fuerzas de inercia y a los rozamientos de los mecanismos. Sin embargo, en la práctica resulta habitual un cierto desequilibrio por exceso o por defecto. En este caso, se ha determinado establecer contrapesos de geometría prismática con dimensiones 14,6 x 3,0 x 1,5 m, sensiblemente más ligeros que el peso teórico del tablero, de manera que, bajo la acción de las cargas permanentes en posición de puente cerrado, se obtenga una leve reacción en los apoyos del tablero, del orden de 65 kN por apoyo. Teniendo en cuenta lo anterior, los contrapesos previstos tienen un peso total teórico de 2590 kN cada uno.

En cualquier caso, los pesos reales del tablero y del contrapeso deben ser cuantificados de manera precisa durante la construcción y ajustados de modo que se garantice el desequilibrio positivo previsto en el proyecto [6].

3.4 Elemento estructurales específicos

Además de los contrapesos anteriormente descritos, este tipo de puentes de desplazamiento vertical incluyen dos elementos estructurales específicos esenciales: los cables y las poleas.

El sistema de elevación planteado consta de 4 grupos de cuatro cables de 46 mm de diámetro situados en correspondencia con las cuatro esquinas del tablero. Los cables están compuestos por un núcleo de central de 7 cordones compactos embebidos en una matriz plástica y 9 cordones exteriores también compactos. Esta configuración confiere al cable un comportamiento mejorado frente a la abrasión y la fatiga debida a la flexión. El material

de los cordones es acero galvanizado de grado 1960 N/mm².

Las poleas, situadas en el extremo superior de las torres, son los elementos encargados de recibir el apoyo de los cables y proporcionar el movimiento de los mismos, y por tanto del tablero, a través de la fricción entre el cable y la superficie de apoyo del mismo en la polea (garganta o canal). La configuración geométrica de las poleas resulta esencial para el funcionamiento adecuado y la durabilidad de los cables, de manera que se limiten fenómenos como la excesiva abrasión el cable y la fatiga por flexión, que su vez también influye en la durabilidad frente a la corrosión asociada a la fatiga [6]. El diámetro de la polea es de 3,0 m medido entre centros teóricos de los cables y la geometría de la garganta tiene un diámetro de 52 mm y una apertura de 30°.

3.5 Cimentación de las torres

La cimentación de cada una de las torres está constituida por un conjunto de 15 pilotes de 1,5 m de diámetro, con una separación entre los mismos de 6,0 m en la dirección transversal del puente y de 6,15 m en la dirección longitudinal. El encepado es una pieza prismática de 14,5 m en la dirección longitudinal, 26,2 m en la dirección transversal y 2,25 m de canto.

El hormigón empleado en el encepado es del tipo M-45 según la norma india IS 456:2000, equivalente aproximadamente a un hormigón HA-40 según EHE. Las armaduras del encepado y los pilotes son de acero inoxidable del tipo G-410L según la norma IS 16651:2017.

4. Proceso constructivo

De manera esquemática, el proceso constructivo del puente consta de las siguientes fases:

- Ejecución de los pilotes desde pontona.
- Disposición de los encofrados del encepado apoyados en ménsulas dispuestas en los

pilotes. Ferrallado y hormigonado de los encepados.

- Fabricación y ensamblaje en taller (primario) de módulos transportables del tablero y aplicación del metalizado en caliente.
- Transporte de los módulos a un taller (secundario) cercano a la obra y ensamblaje completo del tablero incluidas las cargas muertas. Pesaje del tablero.
- Aplicación del resto de la protección anticorrosión al conjunto, transporte mediante pontona y ubicación en posición definitiva mediante heavy lifting.
- Fabricación y ensamblaje de los módulos transportables de las torres de 12 m de longitud y 50 t de peso
- Montaje de las torres mediante grúas sobre pontona y uniones atornilladas por el interior de los fustes.
- Fabricación, transporte y ubicación del contrapeso. Pesaje y ajuste del contrapeso.
- Elevación del contrapeso mediante gatos y enclavamiento del mismo en posición elevada.
- Ubicación de las poleas, cables y maquinaria.

5. Descripción general de los sistemas electromecánicos y automatismos

Cada uno de los conjuntos de sistemas electromecánicos incluye: un motor principal y uno de respaldo, cajas de cambio para ajustar la velocidad de rotación de las poleas, frenos hidráulicos y sistemas de lubricación automáticos. Se disponen variadores de frecuencia para garantizar arranques suaves y una aceleración o desaceleración adecuada. El sistema de mecanismos se completa con guías para el tablero y el contrapeso, y enclavamientos para bloquear el movimiento en la posición de servicio sobre sus apoyos. La maniobra completa de elevación de 17 m está prevista en alrededor de cinco minutos.

El suministro eléctrico se garantiza con un transformador y un grupo electrógeno que es

capaz de completar la operación de apertura o cierre en caso de fallo de la red.

El diseño del puente incluye, además de los sistemas mecánicos y eléctricos de accionamiento indicados, un sistema de control automático secuencial del movimiento del puente, integrando asimismo el control y señalización de los tráficos ferroviario y marítimo, con objeto de garantizar la máxima seguridad de los usuarios.

6. Análisis de la estructura del puente

El análisis de la estructura del puente se ha llevado a cabo siguiendo la metodología de cálculo establecida en los eurocódigos, a pesar de que la normativa aplicable en el ámbito del proyecto es la normativa india. Esta decisión se ha tomado de mutuo acuerdo con el cliente RVNL y el equipo de supervisión del “Indian Institute of Technology (IIT Madras)”. Sin embargo, los materiales empleados y sus especificaciones, en cuanto a los hormigones y aceros se refiere, así como las acciones específicas (viento, sismo y tren de cargas) son los correspondientes a la normativa india vigente.

Desde el punto de vista de las acciones, conviene subrayar por su relevancia la acción del viento. El puente se encuentra ubicado en mar abierto en una zona especialmente expuesta a ciclones extremos habituales en climas monzónicos. La velocidad básica de viento considerada es $v_b = 39$ m/s. Resulta además prescriptivo la aplicación de un factor de valor 1,3 debido a la vulnerabilidad por ocurrencia de ciclones severos. Por otra parte, la acción del viento resulta determinante debido a la altura de las torres, a la posición elevada del contrapeso en situación de puente cerrado y a la posición elevada del tablero en situación de puente abierto. Respecto a este último escenario, debe destacarse que la posición habitual es la de puente cerrado debido a que el tráfico ferroviario resulta preferente y solamente en determinadas

horquillas horarias está prevista su apertura para el paso de embarcaciones. Asimismo, se considera que la operatividad del puente queda suspendida en caso de previsión de ciclones durante los monzones. De este modo, se establece una reducción del viento máximo de diseño en posición de puente abierto del 50 % respecto al viento máximo en posición cerrada.

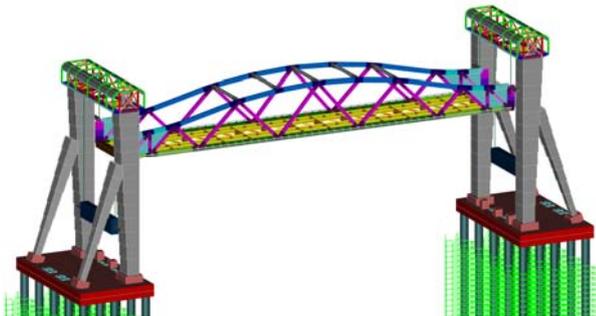


Figura 9. Modelo de cálculo del puente en posición abierta

El tren de sobrecargas empleado es el correspondiente a una locomotora de 12 ejes de 245 kN, una sobrecarga uniforme adicional de 91,5 kN/m por vía.

Finalmente, la acción sísmica resulta también relevante en el diseño debido a la particular distribución de masas, con mayor incidencia en el diseño de la pila debido a la ubicación de los contrapesos elevados en posición de puente cerrado.

7. Conclusiones

El diseño del puente se ha llevado a cabo en base a criterios de máxima fiabilidad y robustez, y a un concepto básico orientado a reducir al mínimo la incidencia de la corrosión marina de los elementos que lo constituyen. La elección del sistema fundamental de movimiento del puente y de la ubicación de la maquinaria de actuación en la parte superior de las torres (“tower drive vertical lift”) responde a los criterios y conceptos antes mencionados.

Desde el punto de vista de la maquinaria, se han elegido sistemas de tipo fundamentalmente electromecánico, exceptuando el caso particular de los frenos que en este caso son hidráulicos.

Durante el diseño conceptual se analizó la posibilidad de disponer sistemas de actuación de tipo hidráulico, con una componente más tecnológica. Sin embargo, se optó por confiar en la mayor sencillez, fiabilidad y robustez de los electromecánicos, teniendo en cuenta la ubicación del puente, alejado de núcleos urbanos o puertos importantes, lo cual dificulta el mantenimiento y la sustitución de las piezas.

Agradecimientos

El proyecto del puente móvil ha sido promovido y financiado por la empresa pública india RVNL. De manera especial queremos mostrar nuestro agradecimiento a Mr. Pradeep Gaur, director de RVNL, Mr. B. Kamalakara Reddy, director del proyecto, y Mr. Siva Subramanian, ingeniero jefe del proyecto. Asimismo, queremos agradecer a Mr. Arul Jayachandran, profesor del IIT Madras y supervisor del proyecto por sus aportaciones esenciales para el desarrollo del mismo.

Referencias

- [1] C. Brinstiel, W. Bowden and G.A. Foster, *Movable Bridge Design*, Institution of Civil Engineers, United Kingdom, 2015.
- [2] T.L. Koglin, *Movable Bridge Engineering*, Jonh Wiley and Sons, EE.UU., 2003.
- [3] J.K. Saha, *Corrosion of Constructional Steels in Marine and Industrial Environment*, Springer India, 2013.
- [4] ASTM, *Marine Corrosion in Tropical Environments*, EE.UU., 2000.
- [5] G.W. Owens and P.R. Knowles, *The Steel Construction Institute*, United Kingdom, 1992.
- [6] AASHTO LRFD, *Movable Highway Bridge Design Specifications*, EE.UU., 2nd Edition 2007.
- [7] AASHTO LRFD, *Movable Bridge Inspection, Evaluation and Maintenance Manual*, EE.UU., 2nd Edition 2016.