







Diseño y Construcción del Puente Móvil del Gran Malecón en Barranquilla (Colombia).

Design and construction of the Gran Malecón's Movable Bridge in Barranquilla (Colombia)

Guillermo Capellán Miguel*, a, Miguel Sacristán Montesinosb, Pablo Alfonso Dominguez^c, Alejandro Godoy Ansótegui^d y Carla O. Julián^e

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director Técnico, Arenas & Asociados. gcapellan@arenasing.com. b Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Oficina, Santander, Arenas & Asociados. msacristan@arenasing.com. ^cIngeniero de Caminos, Canales y Puertos. Project Manager, Arenas & Asociados. palfonso@arenasing.com. d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador de Proyectos, Arenas & Asociados. agodoy@arenasing.com. e Ingeniera Civil. Técnico, Arenas & Asociados. cjulian@arenasing.com.

RESUMEN

Desde Arenas & Asociados hemos llevado a cabo el estudio de alternativas, proyecto y asistencia técnica a la obra del nuevo Puente Móvil del Gran Malecón en Barranquilla (Colombia). El objeto del proyecto es el cruce del nuevo vial sobre el Caño de Las Compañías, sin limitar el paso de embarcaciones. Se opta por una solución de puente metálico basculante de una sola hoja y contrapeso elevado ("tipo holandés"), con 35 m de luz y una anchura libre de 22 m. El diseño planteado no limita el gálibo libre en la posición abierta y supone un hito arquitectónico en la nueva actuación. La asistencia a la construcción incluye el apoyo en obra y la coordinación de la ejecución de la estructura metálica en España y los mecanismos en Alemania.

ABSTRACT

Arenas & Asociados has carried out the alternatives analyses, project and technical assistance on site of the Gran Malecón's new Movable Bridge in Barranquilla (Colombia). The purpose of the project is the crossing of the new road over the Caño de Las Compañías, without limiting the passage of boats. The solution chosen is a single-leaf bascule bridge with an elevated counterweight ("Dutch-type"), with a 35 m span and a free width of 22 m. The proposed design does not limit the vertical clearance in open position and is an architectural landmark in the new development. Construction assistance includes onsite support and coordination of the steel structure fabrication in Spain and the mechanisms in Germany.

PALABRAS CLAVE: puente basculante, contrapeso elevado, transporte marítimo, Barranquilla KEYWORDS: bascule bridge, elevated counterweight, maritime transportation, Barranquilla

1. Introducción

El nuevo Gran Malecón de Barranquilla surge por la intención de la ciudad de "volcarse" al río Magdalena, recuperando los terrenos anexos al río para el uso de sus ciudadanos. El Gran Malecón cuenta con conexión viaria formada por una calzada de 14.50 m con 4 carriles, una acera en el lado río al Este con ancho de 6.20 m, y una acera

de servicio de 1.30 m en el lado Oeste de la calzada, lo que supone un ancho total útil de 22 m. El nuevo puente se sitúa en la Unidad Funcional 4 sobre el caño de Las Compañías, un brazo del Río Magdalena que forma la Isla de La Loma. Esta isla es un enclave de gran importancia en el desarrollo futuro de la ciudad de Barranquilla, y culmina el proyecto del Gran Malecón. En ella se implantará el nuevo Ayuntamiento y una serie de nuevos desarrollos urbanos.

La empresa pública Edubar contrató a Arenas & Asociados para la redacción del Estudio de Alternativas y el Proyecto Básico de dos puentes móviles, inicialmente, en el Gran Malecón. Posteriormente, la UT Gran Malecón (formada por Jacur y Valorcón), adjudicataria de las obras, contrató también a A&A para la redacción del Proyecto Constructivo y la Asistencia Técnica a las Obras de, finalmente, un Puente Móvil en la Unidad Funcional 4.

En la actualidad no existe un tráfico náutico fuerte en este cauce, existen astilleros y zonas industriales en el río, pero se prevé la implantación de futuras marinas en esta zona con los nuevos desarrollos urbanos y la proliferación del tráfico náutico de recreo. Por tanto, no se considera adecuado cerrar esta salida al río Magdalena, siendo la implantación de un puente móvil una inversión de futuro. De cara a no limitar el tipo de embarcaciones a las que dar salida, se plantea un canal de navegación con un ancho mínimo de al menos 20 m y gálibo libre mínimo en posición abierta de 15 m. Un galibo libre en posición cerrada del entorno de 2 m resulta suficiente considerando que no existe salida de embarcaciones de emergencias, y que condicionar más la cota del nuevo puente por esta causa tendría un impacto negativo en la ordenación urbana del entorno.



Figura 1. Emplazamiento

2. Diseño

En esta zona, el caño tiene un ancho variable creciente hacia la desembocadura, de aproximadamente 35 a 90 m. Se ha ajustado el trazado del vial del Gran Malecón para adaptarse mejor a la urbanización prevista y conseguir un cruce lo más ortogonal al cauce del caño posible y en la zona de menor anchura.



Figura 2. Caño Las Compañías en la zona de cruce

Se propone una solución de puente basculante con una luz del vano móvil de 35 m, con un marco de contrapeso elevado para equilibrar el peso del vano móvil y facilitar el giro.

Se adopta una cota de rasante de +5.20 m, lo que, teniendo en cuenta un canto de tablero de 1.00 m bajo rasante, da lugar a un gálibo libre en posición cerrada de 2.00 m respecto a la cota de lámina de agua de +2.20 m en situación pésima de avenida, cumpliendo así con la normativa vigente. Con la solución de puente basculante planteada, el gálibo no queda limitado en posición abierta, cumpliéndose de esta forma el requerimiento de gálibo libre de al menos 15 m.

2.1. Descripción de la estructura

Después del estudio tipológico realizado previamente y tras tomar en cuenta las consideraciones adicionales por parte de la propiedad, la alternativa tipológica desarrollada para el Puente del Gran Malecón es la solución Basculante de hoja simple.

Se plantea un puente basculante con un vano móvil de 35 m y dos vanos laterales de 18.45 m para una longitud total de 73.90 m, considerando 2 m de apoyo en la pila principal.

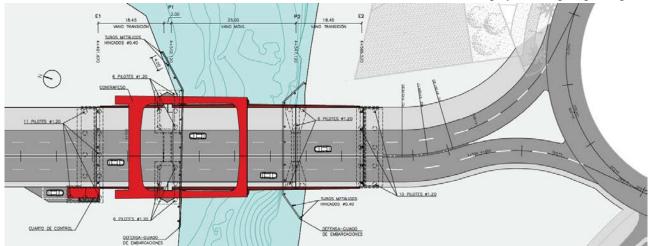


Figura 3. Planta del Puente Móvil

La idea central que se plantea para el proyecto del puente móvil del Gran Malecón es la de concebirlo como Puerta de la Ciudad, como elemento de conexión de la ciudad de Barraquilla, Puerta de Oro, hacia el río y hacia su propio desarrollo futuro, conectando el centro de eventos Puerta de Oro con la nueva Alcaldía y desarrollos urbanos en la Loma. El puente móvil adopta así la forma de pórtico con el elemento de marco rectangular como idea central del proyecto.

El puente basculante propuesto, posee un marco elevado horizontal de dimensiones 27.5x33 m que aloja el contrapeso. Dos soportes verticales elevan este elemento 12.5 m sobre el tablero. El marco incluye en su parte trasera un contrapeso de aproximadamente 700 ton, que

compensa en gran parte el peso de la hoja móvil que suspende por medio de una pareja de tirantes rígidos. Los soportes verticales permiten el acceso al interior de la pila principal, donde se alojan los mecanismos de operación, para su inspección y mantenimiento.

Para la operación de apertura, el puente posee dos cilindros hidráulicos que hacen girar el tablero respecto al eje de giro inferior y, como consecuencia, el marco del contrapeso oscila respecto al eje de giro superior. La rotación de apertura es de 80°.

La rasante se sitúa a nivel +5.20 m, por lo que el galibo libre es de 2.00 m respecto a la lámina máxima de agua a cota +2.20 m. En posición abierta no hay limitación de altura para las embarcaciones dentro del canal de navegación.

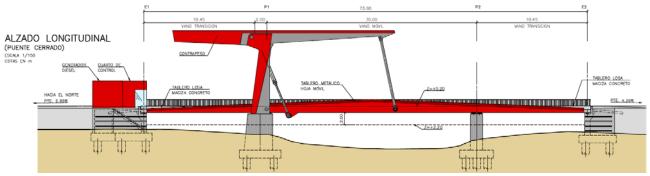


Figura 4. Alzado del Puente Móvil en posición cerrada

La hoja móvil de tablero, de longitud 35 m, es metálica y posee dos vigas longitudinales de canto máximo 2.2 m, de los cuales 1 m se dispone bajo rasante. El canto se reduce hasta 1.5 m sobre apoyos.

Las vigas principales del tablero dejan un espacio interior de 22 m en los que se sitúan los 4 carriles de calzada, y una acera de ancho 6.2 m útiles del lado río y 1.30 m del lado ciudad. La estructura móvil respeta el 100% del ancho útil

de del vial. Se disponen vigas transversales cada 4 m, y una viga central entre ellas en el eje de la calzada. La plataforma está formada por una losa ortótropa metálica formada por una chapa de 16 mm y rigidizadores cerrados cada 60 cm en la calzada y chapa de 12 mm y rigidizadores cada 65 cm en aceras. Sobre ella se dispone un pavimento ligero de tipo asfalto epoxy con árido mineral y solo 1 cm de espesor.

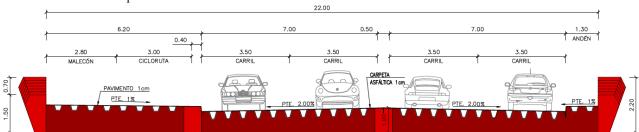


Figura 5. Sección tipo del tablero del vano móvil

A ambos lados del tablero se dispone el pórtico con los soportes principales separados 26 m. Los vanos de transición laterales de 18.45 m se resuelven con tablero de hormigón de tipo losa maciza de canto 1 m desde rasante igual al vano móvil. El canto estructural de la losa varía entre 0.92 y 0.75 m, con un espesor de pavimento de 8 cm. El elemento que permite accionar la operación de apertura o cierre del puente móvil son dos cilindros hidráulicos que se disponen anclados a las torres de giro y a la hoja móvil de tablero.

2.2. Descripción de la subestructura

El Puente cuenta con dos estribos de tipo cerrado con cimentación pilotada, que soportan el empuje de tierras y el apoyo extremo de los vanos de transición. Se definen además dos pilas, ambas con cimentación también pilotada; una de ellas hueca de mayor tamaño, que sustenta las torres del vano móvil y las rótulas de giro del tablero.

En el estribo 1 se aloja también la caseta de control del puente, en la que se incluye además el trasformador y un generador diésel de emergencia. En el lado de la caseta, en la aleta, se dispone una escalera de acceso al nivel inferior del estribo, para que el operario del puente pueda bajar si es necesario. En ambos estribos, tanto muro frontal como aletas en vuelta cuentan con rehundidos cada 80 cm de altura, como acabado estético.

La cimentación de ambos estribos está formada por un encepado de 1.30 m de canto sobre pilotes de 1.20 m de diámetro.

La pila principal (Pila 1), sobre la que se disponen las torres de apoyo del marco de contrapeso y las rótulas de giro del tablero, cuenta con fuste hueco para alojar los mecanismos de operación del vano móvil. El fuste tiene dos cuerpos laterales principales de 6.00 m de altura y un cuerpo central que une los dos anteriores con una altura menor, de 5.00 m.

La cimentación de la pila está formada por dos encepados de 1.30 m de espesor sobre 6 pilotes de 1.20 m de diámetro.

La pila 2 tiene un fuste macizo de hormigón, formado por dos cuerpos laterales de 6.00 m de altura y 2.00 m de espesor, con un cuerpo central que une los anteriores, de 5.00 m de altura y 1.00 m de espesor. La cimentación está formada por dos encepados triangulares de 1.30 m de canto, cada uno de ellos de 3 pilotes de 1.20 m de diámetro.

3. Construcción

3.1. Cimentaciones

La construcción del puente comenzó con la ejecución de los pilotes de 1.20 m de diámetro, desde la cota del terreno existente con camisa perdida hasta el sustrato pleistoceno sano, donde se empotraron entre 9 y 12 m.

Posteriormente se realizó la excavación hasta la cota de cimentación, cortando la parte

sobrante de la camisa progresivamente, por tramos. En las cimentaciones de las pilas, situadas junto al cauce del caño y con 5 m de excavación necesaria, fueron necesarios recintos de tablestacas con apuntalamiento provisional.

Una vez alcanzada la cota de cimentación se procedió al descabezado de pilotes y a la ejecución de encepados, con bombeo de agua constante en el caso de las pilas.







Figuras 6, 7 y 8. Ejecución de cimentación de pila 1 en recinto de tablestacas

3.2. Alzados de pilas y estribos

La ejecución de los alzados de pilas y estribos se realizó por tramos de muro de pequeña altura, para adaptarse a los medios existentes. Se utilizaron paneles fenólicos para los encofrados vistos, con listones de madera hechos a medida para los rehundidos.

En la pila 1 se aplicó una impermeabilización en los paramentos exteriores, para evitar filtraciones, ya que en el interior se alojan los mecanismos de operación. Adicionalmente, se ejecutaron mesetas de 20 cm de altura para el apoyo de los mecanismos y el solado interior se ejecutó con pendientes hacia un cajeado en el que colocar una bomba de emergencia.







Figuras 9, 10 y 11. Ejecución de alzado de pila 1 y vista interior

En la losa superior de pila 1 y en la coronación de pila 2, se disponen los cajeados y las barras de anclaje necesarias para la instalación de las torres metálicas de soporte del marco superior, las rótulas de giro y los dispositivos de guiado y bloque frontal.

Para la instalación de las 37 barras de anclaje de cada torre, se fabricaron 2 bastidores metálicos que permitían instalar las barras una vez posicionadas las torres correctamente. Para esta nivelación se dispusieron 6 barras provisionales adicionales en cada lado.







Figuras 12, 13 y 14. Bastidor metálico en taller, instalación de bastidor y barras de anclaje de rótulas principales y alzado de pila 2 con dispositivos de guiado y bloqueo

3.3. Estructura metálica

La fabricación de la estructura metálica se llevó a cabo en el taller de Horta Coslada en A Coruña, en piezas de gran tamaño que se trasladarían posteriormente a obra mediante transporte marítimo. En la siguiente figura se aprecian las 9 piezas (además de los tirantes) en las que se dividió la estructura, 3 del tablero, ambas torres y 4 del marco superior, con pesos de entre 12 y 118 ton.

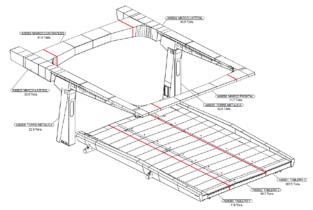


Figura 15. Piezas de estructura metálica para su fabricación en taller (Fuente: Horta Coslada)







Figuras 16, 17 y 18. Ejecución de piezas metálicas en taller

Estas piezas se transportaron al puerto Exterior de A Coruña en camiones. Allí se completó el tablero mediante la ejecución de las soldaduras longitudinales de unión entre las 3 piezas y se aplicó el pavimento epoxi tanto en calzada como en aceras. De forma el tablero se transportaría completo, sin trabajos adicionales en obra, excepto reparaciones y acabados.



Figuras 19 y 20. Transporte de piezas al puerto (Fuente: Horta Coslada) y montaje de tablero en el puerto

Las piezas se transportaron a obra en barco desde el puerto de A Coruña. Se empleó un barco tipo Amber, con grúas propias para Heavy Lifting, con las que se cargaron y descargaron las piezas metálicas. Las torres, los tirantes y los elementos del marco superior se transportaron en la bodega. Por otro lado, el tablero completo se transportó en la cubierta trincado mediante topes transversales y eslingas, que obligaron a disponer orejetas provisionales en la estructura.







Figuras 21, 22 y 23. Carga de piezas metálicas en el barco de transporte (Fuente: Horta Coslada)

El transporte final del tablero desde el puerto de Barranquilla a obra se realizó mediante una barcaza, en la que se trasladó la pieza por el río Magdalena hasta la obra. Desde la propia barcaza se colocó el tablero en su posición definitiva, sobre calzos metálicos provisionales, que permitieron el montaje de los bulones las rótulas principales de giro.





Figuras 24 y 25. Transporte mediante barcaza y posicionamiento del tablero en obra

El resto de las piezas se llevaron a obra mediante transporte terrestre y se izaron a su posición con grúas de gran tonelaje. Las vigas longitudinales del marco superior se instalaron sobre las torres de soporte definitivas y en dos torres de apeo provisionales que se instalaron en la parte trasera de contrapeso. Las vigas transversales se montaron directamente sobre las longitudinales, mediante las uniones atornilladas pretensadas definitivas.







Figuras 26, 27 y 28. Montaje de torres y marco superior

3.4. Mecanismos

La empresa alemana DSD Noell fue la encargada de la fabricación e instalación de todo el sistema de operación del puente, que incluye:

- *Sistema hidráulico*, formado por central de presión, cilindros hidráulicos y la instalación de tubería.
- Sistema eléctrico y de control, formado por el ordenador SCADA, generador diésel, transformador, SAI, paneles de control, cámaras de video, semáforos, barreras, sensores y la instalación de cableado.
- Equipamiento mecánico, que incluye las rótulas esféricas y bulones de giro, los dispositivos de guiado y bloqueo y amortiguadores.

La mayor parte de estos elementos se fabricaron en Alemania y se transportaron posteriormente a obra para su instalación. Dada la precisión geométrica necesaria para el montaje de las rótulas esféricas, los agujeros para alojarlas se ejecutaron con un diámetro menor que luego sería ampliado mediante mecanizado de precisión.

Los bulones de las rótulas se sumergieron en hielo seco en periodos no inferiores a 10 horas, reduciéndose así su diámetro previamente a la instalación en las rótulas de giro. Esto era necesario ya que las holguras son inferiores a la décima de milímetro.

Como se describió anteriormente, la central de presión y los armarios de control se instalaron en el interior de la pila 1. En la caseta de control situada en el Estribo 1, en compartimentos separados, se instalaron el generador diésel de emergencia, el transformador y el puesto de control con el ordenador SCADA.



Figuras 29, 30, 31 y 32. Central de presión en el interior de pila 1, cilindro hidráulico instalado y detalle de mecanizado para rótula principal e instalación de bulón

3.5. Contrapeso

Una vez finalizado el montaje de la estructura metálica, de los bulones de las rótulas de giro y la instalación hidráulica, se ejecutó el contrapeso en el marco superior. Para ello se llenaron las celdas dejadas a tal efecto en la parte trasera del marco con hormigón de alta densidad (37 kN/m³), hasta alcanzar aproximadamente 700 t de peso.

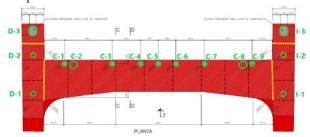


Figura 33. Esquema de ventanas de llenado

El llenado se realizó mediante bombeo por fases, siempre de forma simétrica, definidas en un procedimiento redactado previamente, en el que se especificaba la ventana de llenado y el volumen vertido.

Fase	Ventanas de Ilenado		Volumen/ ventana	Peso/ ventana kN	Volumen acumulado	Peso acumulado kN	Reacciones en Pila 2
			m ³		m ³		KIN
1.1	I-1	D-1	4.20	154.6	8.40	154.6	
1.2	I-2	D-2	2.30	84.6	13.00	239.2	
1.3	I-1	D-1	5.15	189.5	23.30	428.7	
1.4	I-2	D-2	5.20	191.4	33.70	620.1	
2.1	I-1	D-1	7.75	285.2	49.20	905.3	
2.2	I-2	D-2	7.80	287.0	64.80	1192.3	
3.1	C-2	C-8	10.00	368.0	84.80	1560.3	
3.2	C-3	C-7	3.50	128.8	91.80	1689.1	
3.3	C-4	C-6	3.00	110.4	97.80	1799.5	
3.4	C-5		3.00	110.4	100.80	1909.9	
4.1	C-2	C-8	12.00	441.6	124.80	2351.5	
4.2	C-3	C-7	3.50	128.8	131.80	2480.3	
4.3	C-4	C-6	3.00	110.4	137.80	2590.7	
4.4	C-5		3.00	110.4	140.80	2701.1	304 - 328
5.1	C-2	C-8	10.50	386.4	161.80	3087.5	219 - 243
5.2	C-3	C-7	4.70	173.0	171.20	3260.5	181 - 205
6	C-4	C-6	5.00	184.0	181.20	3444.5	141 - 165
7	C-5		5.00	184.0	186.20	3628.5	121 - 145
8	I-3	D-3	2.00	73.6	190.20	3702.1	105 - 129

Figura 34. Fases de llenado de contrapeso

El control de carga en cada fase se llevó a cabo mediante pesajes con gatos en pila 2, cuya carga esperada estaba también especificada en el procedimiento redactado. El ajuste final se realizó midiendo directamente la carga en los cilindros hidráulicos.





Figuras 35 y 36. Llenado del contrapeso

3.6. Pruebas de apertura

Tras el llenado del contrapeso y pasado el plazo requerido para el endurecimiento del hormigón, se realizaron las primeras pruebas de apertura del puente móvil. Estas pruebas fueron llevadas a cabo por el personal de DSD Noell en modo manual. Para ello se tomaron todas las medidas de seguridad pertinentes, incluyendo una duración de los tiempos de operación muy superior a la de diseño.

El resultado de las pruebas fue un éxito, alcanzándose la carga objetivo en los cilindros hidráulicos, manteniendo prácticamente la simetría de carga entre ambos. Una vez finalizadas las pruebas, se procedió a partir de entonces a finalizar la instalación de todos los sistemas eléctricos y de control y a los acabados del puente. Durante la realización de estos trabajos, se realizaron esporádicamente operaciones de apertura, para permitir el paso al astillero existente, que había estado bloqueado desde la instalación del tablero.

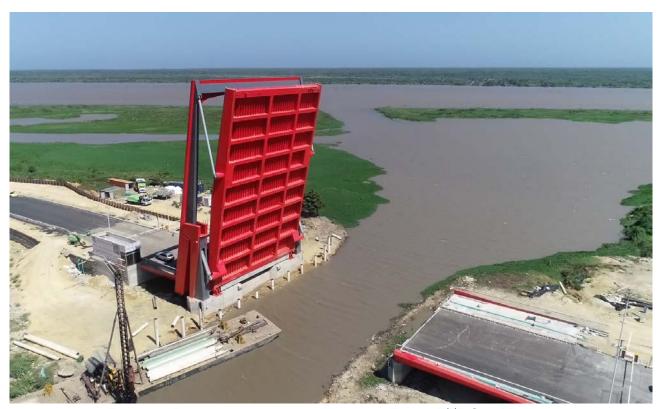


Figura 37. Secuencia de apertura del puente móvil durante las pruebas

Agradecimientos

Desde Arenas & Asociados, queremos dar las gracias a todos aquellos que han estado implicados tanto en la fase de proyecto, como de obra:

- Al **Ayuntamiento** y la ciudad de **Barranquilla** por la promover la obra.
- A la empresa pública EDUBAR por confiar en nuestro equipo para los estudios iniciales y el diseño del puente.
- A la UT Gran Malecón, formada por Jacur y Valorcón., por mantener su confianza en nosotros y por su empuje y dedicación para llevar a cabo la construcción de este puente, con un resultado final totalmente satisfactorio.
- A Horta Coslada y DSD Noell, por la calidad de su trabajo y por su implicación y colaboración en la búsqueda de soluciones.



Figuras 38. Puente finalizado en posición abierta (Fuente: UTE Gran Malecón)