

Lanzador de vigas prefabricadas para la construcción de Viaductos en Cebú (Filipinas)

Beam Launcher for the construction of Viaducts in Cebu (Philippines)

Patricia García Rodríguez^a, Jesús Tomás Muñoz Cruz^b, Manuel Biedma García^c,

Fernando Flórez Llanos^d, Oswaldo Pellejer Padial^e

^a Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA. Jefe de Proyectos. patricia.garcia.rodriguez@acciona.com

^b Ingeniero de Obras Públicas. ACCIONA. Jefe de Oficina Técnica. jesustomas.munoz.cruz@acciona.com

^c Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA. Jefe de Departamento Estructuras Metálicas. manuel.biedma.garcia@acciona.com

^d Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. ACCIONA. Gerente de Self Performance Office. ffllorez@acciona.com

^e Ingeniero Industrial. ACCIONA. Jefe de Proyectos. opellejer@acciona.com

RESUMEN

Para el montaje de las vigas prefabricadas de los Viaductos de la Autovía de Conexión entre Cebú y Córdova en Filipinas, ACCIONA ha diseñado y construido un lanzador de vigas con una capacidad de 110 toneladas y una luz máxima de trabajo de 52 m. Los Viaductos presentan una pendiente longitudinal de hasta un 6.6%, por lo que para desarrollar el movimiento se ha diseñado un sistema de cremallera – piñón que garantice la seguridad durante las maniobras. La versatilidad del lanzador permite alimentación lateral y trasera de las vigas además de una carga de izado en punta de hasta 16 toneladas.

ABSTRACT

For the installation of the precast beams in the Viaducts of the Cebu–Córdova Link Expressway in Philippines, ACCIONA has designed and manufactured a beam launcher of 110 tons of lifting capacity and 52 m of maximum working span length. The Viaducts have a longitudinal slope up to 6.6%, so for the beam launcher movement a rack-pinion system has been designed in order to guarantee the safety during the manoeuvres. The beam launcher versatility allows lateral and rear feed of precast beams and a front hoist lifting load up to 16 tons.

PALABRAS CLAVE: Lanzador de vigas, estructura móvil, cremallera-piñón, pendiente elevada, vigas prefabricadas.

KEYWORDS: Beam launcher, mobile structure, rack-pinion, high slope, precast beams.

1. Descripción general de la obra

Los Viaductos previstos a montar con el lanzador de vigas, correspondientes a las obras de la Autovía de Conexión entre Cebú y Córdova en Filipinas, son cuatro. Todos ellos de vigas prefabricadas en doble T, sección americana NU1350 para luces hasta 37m y NU2000 hasta 52m. Los Viaductos tienen

longitudes de 533m, 507m, 432m y 917m con ancho variable, lo que hace un total de más de 10 km de vigas a colocar. Las luces son variables en todos los Viaductos, con una luz mínima de 30m y una luz máxima de 52m, medidas en el eje de alineación del trazado. El radio mínimo en planta es de 238.85m y la pendiente longitudinal

variable, con un valor máximo del 6.6%. Los primeros vanos a montar son ampliaciones de un Viaducto ya existente. La obra ha sido adjudicada a la UTE CEBULINK JV, de la que ACCIONA es la compañía líder.

2. La necesidad de un lanzador versátil.

El lanzador de vigas requerido para los trabajos, deberá montar las vigas prefabricadas de los Viaductos anteriormente indicados haciendo frente a los siguientes retos:

- El lanzador deberá ser capaz de montar las vigas que servirán de ampliación de la plataforma del Viaducto actualmente existente, con la menor invasión de la calzada y teniendo en cuenta los radios mínimos requeridos, condicionando con ello la sección transversal del lanzador, que deberá tener el menor ancho posible. Además, para reducir esta invasión de la calzada, el lanzador deberá ser capaz de posicionar las vigas, izándolas desde la propia pila con uno solo de los cuchillos del lanzador.

- En un mismo Viaducto hay vanos de diferentes luces, lo que obliga a que el lanzador sea modular, para adaptarse a la longitud requerida.

- El lanzador deberá maniobrar en función de las diferentes formas de trabajo que serán requeridas para el montaje de los Viaductos: carga lateral de vigas desde pontona, alimentación delantera y trasera desde el vano adyacente y alimentación delantera y/o trasera desde el propio tablero hormigonado, usando unas patas auxiliares. Además, el lanzador irá provisto de un polipasto en punta, tanto delantero como trasero, que permita el montaje y desmontaje de los medios auxiliares requeridos para el apoyo del lanzador sobre las pilas.

- Se deberá garantizar la seguridad de los trabajos en todas las maniobras a realizar por el lanzador, teniendo en cuenta la elevada pendiente longitudinal de los Viaductos de hasta un 6.6%. Para asumir este reto, el lanzador ha sido diseñado con un sistema de cremallera – piñón, tanto para el sistema de traslación del propio lanzador, como para el movimiento de los carros de elevación.



Figura 1. Vista general del lanzador de vigas de ACCIONA.

3. Planteamiento conceptual del lanzador.

La tipología del lanzador es la de dos cuchillos de estructura metálica triangular espacial de 110.90m en su composición de máxima longitud, 3.785m de canto y 5.72m de ancho total. Los cordones superiores de los cuchillos son recorridos por dos puentes grúas de 55 toneladas de capacidad de elevación cada uno. Ambas celosías del lanzador se mueven longitudinal y transversalmente sobre los carros de lanzamiento ubicados en las pilas.

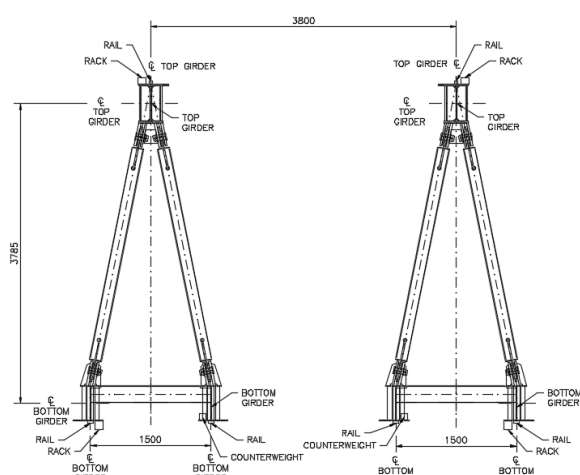


Figura 2. Sección transversal del lanzador.

Las celosías metálicas han sido diseñadas como modulares. Cada módulo tiene una longitud de 11.80m. En los extremos se colocan dos módulos especiales, denominados frontal y trasero, de 8.25m de longitud cada uno, definiendo en su cordón inferior una curva, que ha sido diseñada para permitir la entrada en los carros de traslación del lanzador, considerando la deformación en situación de máximo voladizo. Los cálculos del lanzador han sido desarrollados según la Normativa Americana AASHTO y cumpliendo con la Directiva 2006/42/CE relativa a máquinas.

Los cordones tanto inferiores como superiores son continuos en cada módulo. Las diagonales que conforman las celosías son bulonadas, para permitir la facilidad de transporte, así como la rapidez en el montaje y desmontaje de la estructura.

Las uniones entre módulos han sido planteadas como uniones pretensadas, bien con tornillos pretensados con control de apriete mediante arandelas DTI, bien con barras pretensadas, cuando los elevados esfuerzos así lo requerían.

Las uniones críticas del lanzador han sido evaluadas con un MEF que garantice la correcta transmisión de esfuerzos.

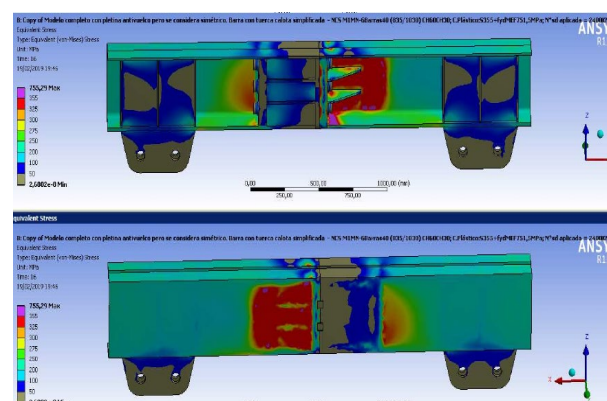


Figura 3. MEF. Uniones pretensadas entre módulos del lanzador.

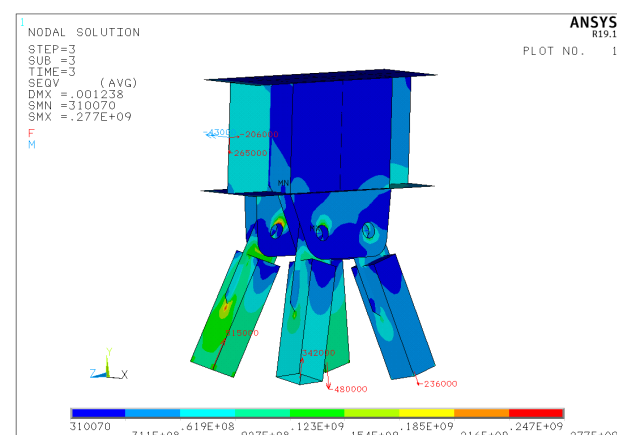


Figura 4. MEF. Uniones bulonadas entre diagonales y cordones del lanzador.

Los cuchillos del lanzador son independientes y están arriostrados únicamente por dos marcos colocados en cada uno de los módulos frontal y trasero del lanzador.

El movimiento relativo entre cuchillos debe estar garantizado, de forma que se puedan realizar movimientos transversales de la estructura, ripados, a lo largo de una alineación curva. Para ello, los marcos de arriostramiento están provistos de una rótula guiada, que

permite acotar este movimiento.

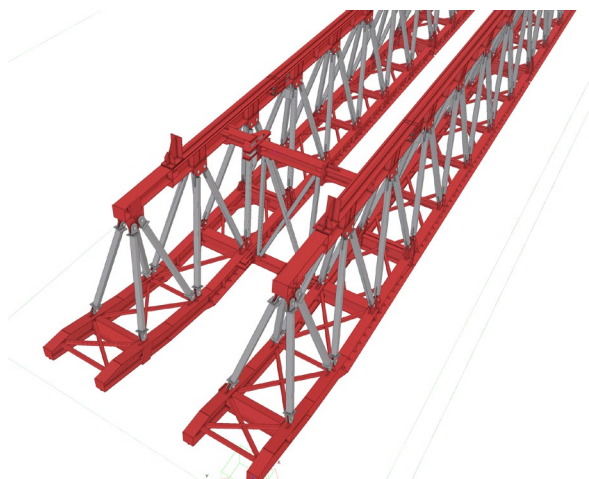


Figura 5. MEF. Detalle del marco de arriostramiento entre cuchillos del lanzador.

4. Sistema de movimiento.

Se distinguen dos tipos de movimiento del lanzador, que no podrán realizarse de forma simultánea:

4.1 *Movimiento longitudinal del lanzador.*

Cada cordón inferior del lanzador está provisto de un carril, sobre el que se producirá la transmisión de cargas verticales. El movimiento longitudinal se produce por la acción de 4 motores situados en cada pila, 2 por cada carro de lanzamiento correspondiente a un cuchillo, que se encargarán de transmitir la fuerza longitudinal de tiro mediante un sistema de engranaje de cremallera-piñón. Estas cremalleras están situadas en los cordones inferiores exteriores de cada cuchillo, es decir, un total de 2 cremalleras a lo largo de los dos cordones inferiores del lanzador. No se produce transmisión de cargas verticales a través de la cremallera del lanzador. Durante el lanzamiento, el mínimo de pilas que actúan como motor es de dos.

4.2 *Movimiento transversal del lanzador.*

El movimiento transversal del lanzador se realiza sobre los carriles dispuestos en las vigas de ripado situadas sobre las pilas, mediante la actuación de dos motores dispuestos en cada uno de los carros de lanzamiento.

Para permitir el movimiento transversal del lanzador, en el caso de directriz curva, la componente longitudinal de las fuerzas, será soportada únicamente por una de las pilas



Figura 6. MEF. Carro de lanzamiento

Las cremalleras, que permiten garantizar el movimiento longitudinal del lanzador con total seguridad, son de acero de alta aleación, lo que permite alcanzar una elevada dureza superficial. Estas cremalleras van unidas al lanzador mediante tornillos calidad 10.9 y con tacos de cortante para garantizar la correcta transmisión de esfuerzos.



Figura 7. MEF. Detalle cremallera-piñón.

Los carros superiores también van provistos de un sistema de engranaje piñón-cremallera, de forma que el movimiento de las cargas con un 6.6% de pendiente se pueda producir con total seguridad.

5. Fabricación del lanzador.

El lanzador de vigas ha sido fabricado íntegramente en los Talleres Centrales de ACCIONA. El proceso de fabricación del Lanzador ha tenido una duración de 6 meses, comenzando en marzo de 2019. Los trabajos de montaje de vigas del lanzador en Filipinas están previstos para enero de 2020.



Figura 8. Premontaje de diagonales en taller.



Figura 9. MEF. Premontaje de cordones en taller.

Durante el proceso de fabricación, la estructura ha sido sometida al control de calidad requerido para una clase de ejecución CC3. Para garantizar el perfecto ensamblaje de los diferentes elementos que componen el lanzador, toda la estructura ha sido modelizada con un software de BIM.

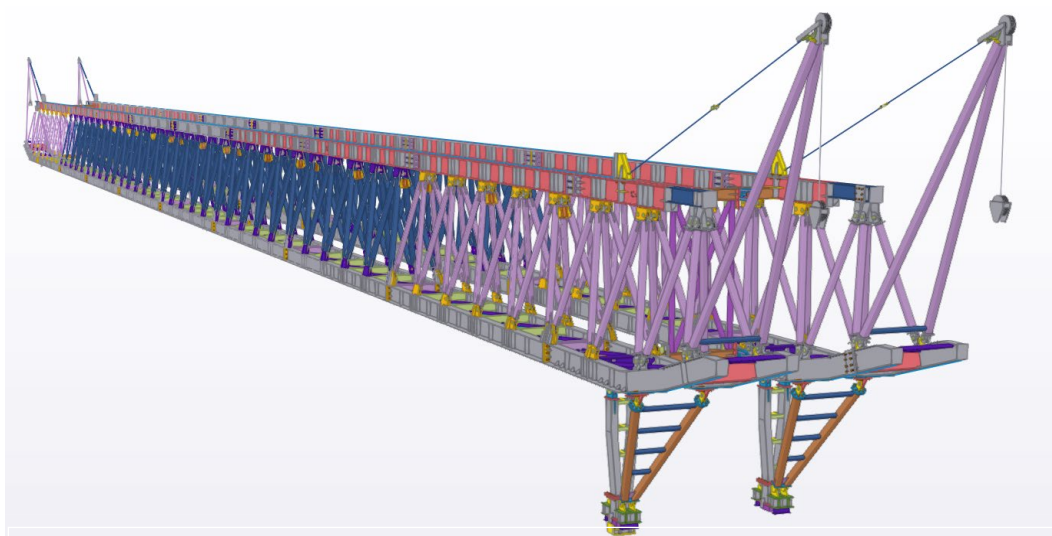


Figura 10. Modelado en 3D del lanzador.

6. Maniobras del lanzador.

Las principales maniobras que desarrollará el lanzador en los trabajos de instalación de vigas prefabricadas son los siguientes:

- Montaje de elementos auxiliares sobre pila, utilizando el polipasto previsto en la punta delantera/trasera del lanzador.

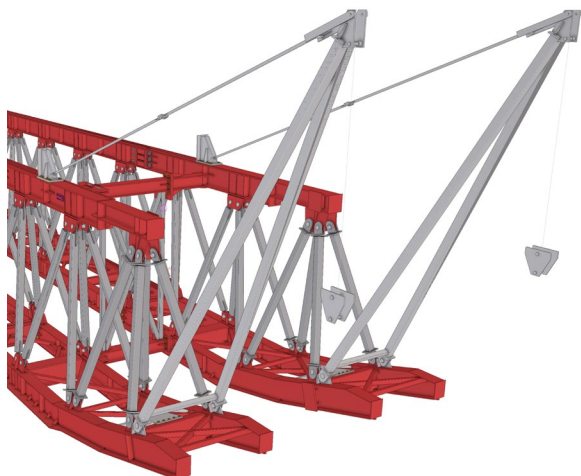


Figura 11. MEF. Polipasto en punta.

- Alimentación trasera de vigas prefabricadas desde tablero utilizando pata delantera/trasera de apoyo.

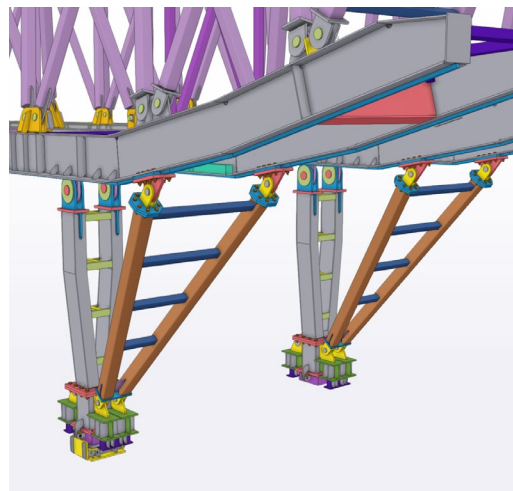


Figura 12. Pata delantera/trasera del lanzador.

- Carga lateral desde pontona lateral al lanzador. El lanzador “sale” de la sombra del dintel de la pila hasta 1m para coger la viga prefabricada.

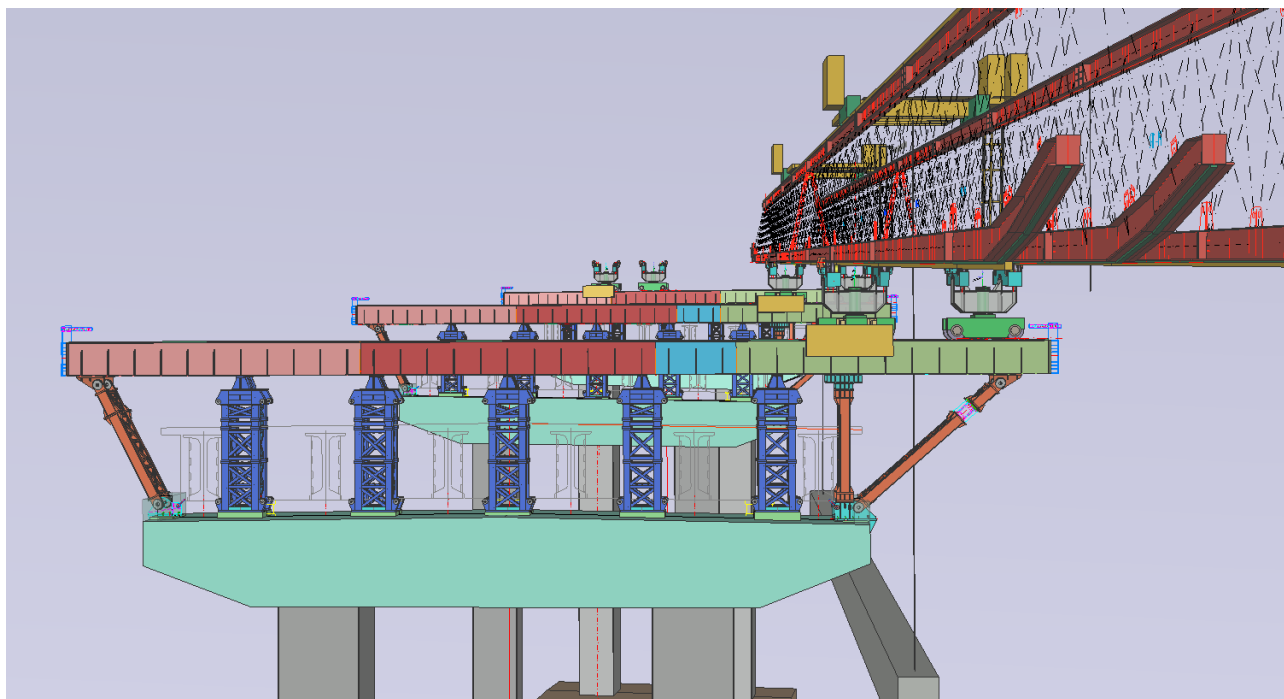


Figura 13. Alimentación lateral.

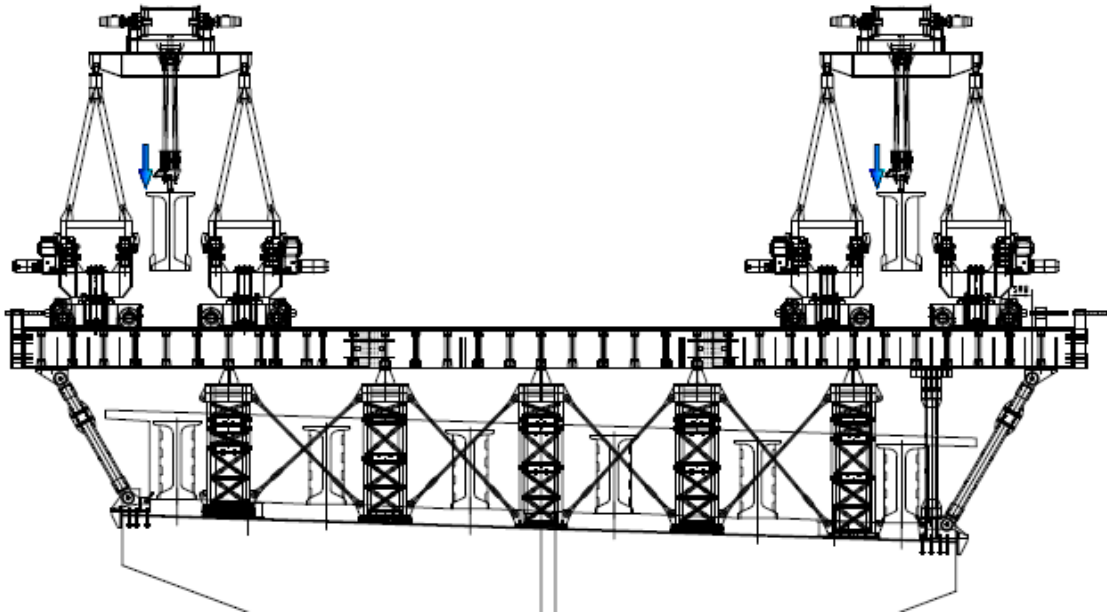


Figura 14. Elementos auxiliares sobre pila para el funcionamiento del lanzador.

7. Implementación en obra. Elementos auxiliares.

Para el desarrollo de los trabajos del lanzador de CEBU, ha sido necesario el desarrollo de los siguientes elementos auxiliares:

- Viga transversal de ripado. Esta viga es de longitud variable en función de la pila sobre la que se moverá el lanzador y la forma de alimentación del mismo. Para ello se ha diseñado de forma modular, con uniones con cubrejuntas entre módulos, para hacer las modificaciones necesarias de la forma más rápida posible.
- Puntales inclinados. Unidos a la viga transversal mediante una unión bulonada.
- Puntales verticales. Unidos a la viga de ripado mediante una unión frontal atornillada.
- Torres temporales. Como los puntales verticales, están unidas a la viga de ripado mediante una unión frontal atornillada.

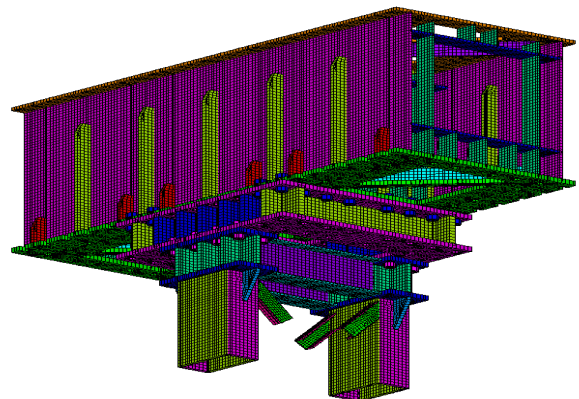


Figura 15. Encuentro de viga de ripado y puntal vertical.

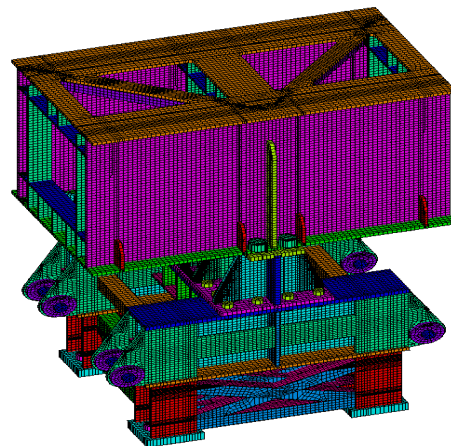


Figura 16. Encuentro de viga de ripado y torre provisional.

- Conexión de elementos temporales a las pilas de hormigón. Para la conexión de los puntales a las pilas de hormigón se han diseñado unas piezas especiales, que serán las encargadas de transmitir los elevados esfuerzos de tracción y cortante a las pilas de hormigón.

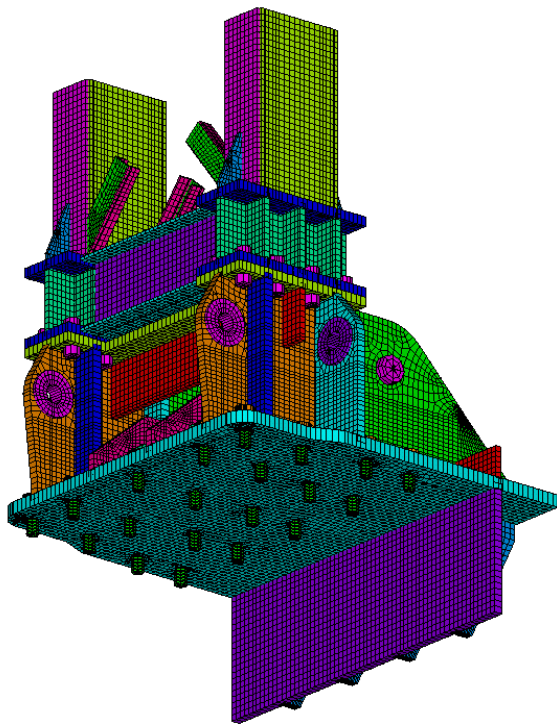


Figura 17. MEF. Encuentro de puntal inclinado y vertical a pila de hormigón.

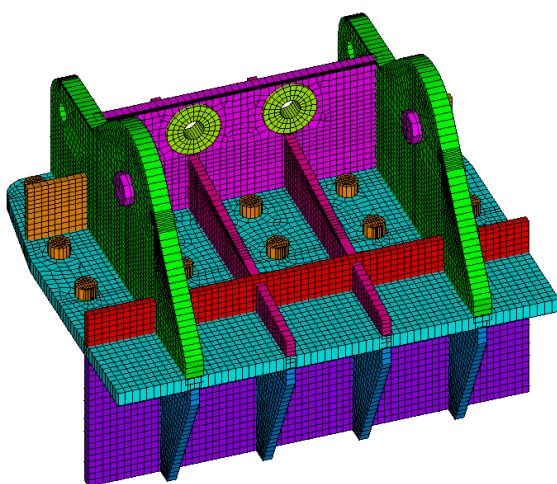


Figura 18. MEF. Encuentro de puntal inclinado a pila de hormigón.

8. Condicionantes de viento. Viento fuera de servicio

Para el desarrollo de los trabajos del lanzador se han definido varios umbrales de viento.

8.1 Viento de servicio.

Es el viento durante el cual son admisibles las maniobras del lanzador, tanto el movimiento longitudinal y transversal del mismo, como las cargas de izado y posicionado de vigas. El viento de servicio admisible es hasta 60km/h. El lanzador está previsto de un anemómetro para controlar en todo momento la velocidad del viento durante los trabajos.

8.2 Viento fuera de servicio I.

Hasta velocidades de viento de 100Km/h, el lanzador deberá estar posicionado en la denominada “posición de parking”, sobre tres pilas y lo más centrado posible dentro de las mismas. En caso de alineación curva, la ubicación del mismo será tal que permita promediar las excentricidades entre pilas.

8.3 Viento fuera de servicio II.

En la zona en la que se desarrollarán los trabajos del lanzador, en Filipinas, son frecuentes los tifones y tormentas tropicales. Por este motivo, se ha solicitado por parte de la propiedad, que el lanzador sea diseñado para una velocidad de viento de 225km/h., obtenida para un periodo de retorno de 10 años y considerando un elemento temporal durante la fase de construcción. Además de contemplar esta velocidad de viento durante el desarrollo de los cálculos y diseño del lanzador, se han previstos diferentes actuaciones específicas de atado, para hacer frente a las velocidades de viento fuera de servicio requeridas. Los elementos auxiliares sobre pilas, como son las torres, puntales y vigas transversales, así como sus elementos de conexión a las pilas, también han sido diseñados para este condicionante de velocidades de viento extremo.

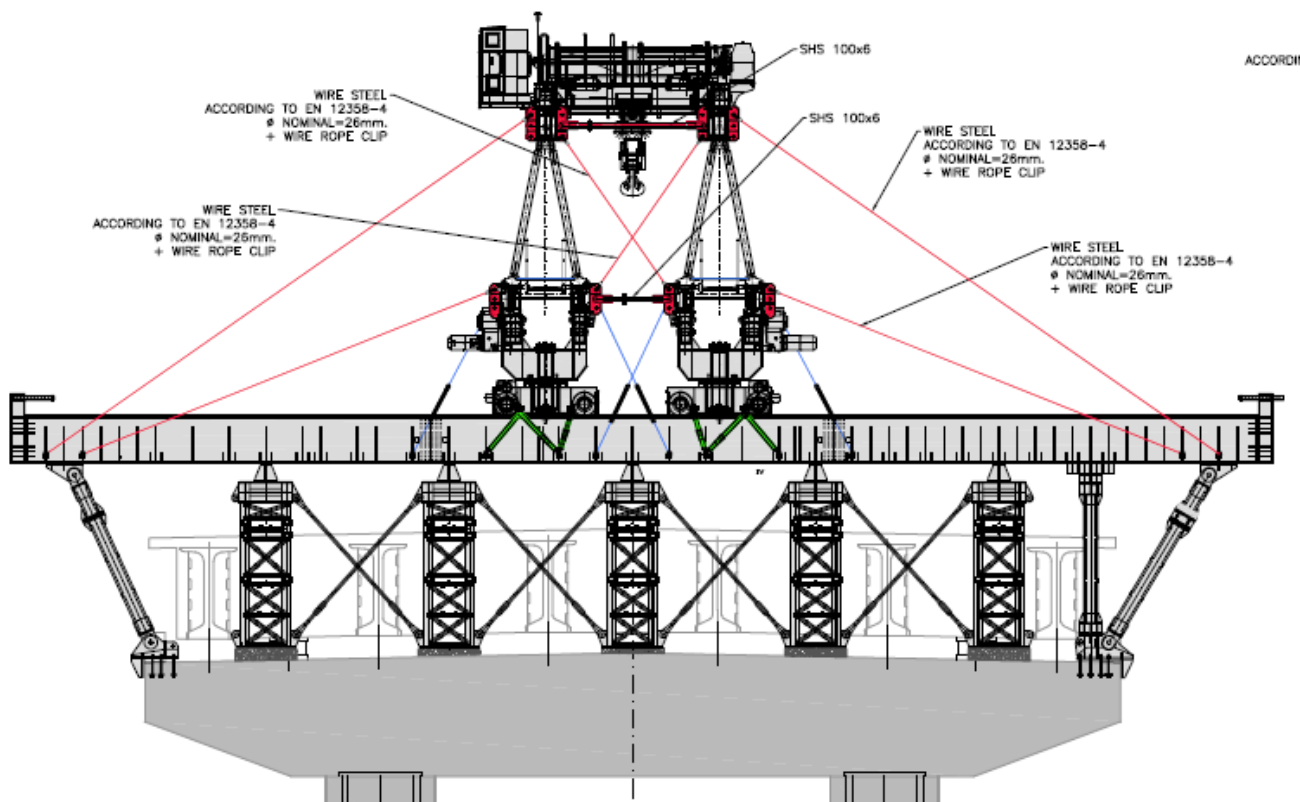


Figura 19. Disposición de atado en pila para viento fuera de servicio II. 225Km/h.

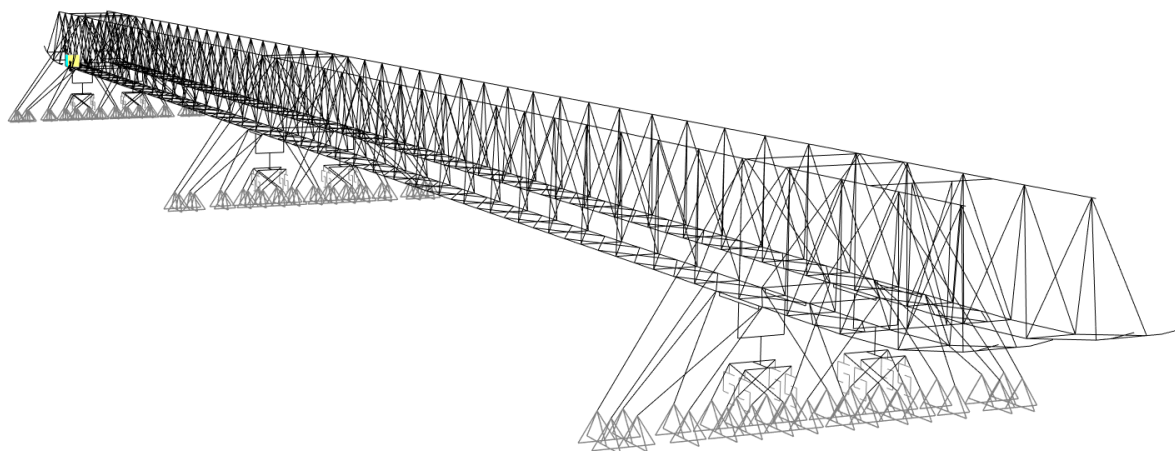


Figura 20. Modelo global de cálculo para viento fuera de servicio II. 225Km/h.

9. Conclusiones

El principal desafío para el diseño del lanzador ha sido poder garantizar la seguridad de los trabajos en todas las situaciones requeridas por la singularidad de la obra, especialmente la elevada pendiente del 6.6%.

Por ello se ha optado por un sistema lo más automatizado posible, que minimice los errores humanos y permita afrontar los trabajos con la mayor garantía de seguridad, sea cual sea la maniobra a realizar.

Referencias

- [1] AASTHO LRFD. Bridge Design Specifications, 8Ed, 2017.
- [2] DIRECTIVA 2006/42/CE relativa a máquinas.
- [3] M. Rosignoli, Bridge Construction Equipment. ICE Publishing, 2013.
- [4] M. Rosignoli, Bridge Launching. ICE Publishing, 2014.
- [5] J. Pascual Santos, F. Millanes Mato, Control del proceso de lanzamiento de vigas en viaductos de pilas esbeltas. Hormigón y acero, 1999.
- [6] N. Trotin, P. Ladret, S. del Olmo, “El Carrizo”: construcción con lanzadoras de un tablero atirantado por avance en voladizo, Hormigón y acero, 2015.