

LA EVOLUCIÓN DE LAS AUTOCIMBRAS – NUEVAS NECESIDADES Y NUEVAS SOLUCIONES

Pedro PACHECO

PhD

BERD y FEUP

CEO y Profesor Auxiliar

pedro.pacheco@berd.eu

António Adão da Fonseca

Civ. Eng.

BERD

Project Manager

antonio.fonseca@berd.eu

Hugo Coelho

PhD STUDENT

BERD

Structural Engineer

hugo.coelho@berd.eu

Resumen

En las últimas décadas la utilización de cimbras autolanzables en la construcción de puentes y viaductos ha conocido una creciente implementación en diferentes puntos del globo. Se estima que se hacen más de 500 puentes y viaductos por año en todo el mundo con este método constructivo y la tendencia es que este número crezca.

Paralelamente, las exigencias para estos tipos de equipos son cada vez mayores. Esto se verifica debido a cinco factores fundamentales: aumento de exigencias de seguridad; aumento de exigencias de carga; aumento de la gama de luces con aplicabilidad de cimbras autolanzables; mayor rigor en el control de calidad y necesidad de rapidez de ejecución.

En este artículo, después de una sistematización de estas necesidades, se presenta un nuevo tipo de autocimbras que tienen la particularidad de ser reforzadas con pretensado orgánico. Estas cimbras evidencian ventajas significativas y están detalladamente analizadas y relacionadas con las nuevas exigencias del mercado.

Palabras Clave: Construcción de puentes, cimbras autolanzables, sistema de pretensado orgánico.

1. Introducción

En las últimas décadas la utilización de cimbras autolanzables en la construcción de puentes y viaductos ha conocido una creciente implementación en diferentes puntos del globo. Se estima que se hacen más de 500 puentes y viaductos por año en todo el mundo con este método constructivo y la tendencia es que este número crezca.

Paralelamente, las exigencias para estos tipos de equipos son cada vez mayores. Esto se verifica debido a cinco factores fundamentales:

1. Aumento de exigencias de seguridad y control en el proyecto, fabricación y operación de cimbras – comprobado por las crecientes preocupaciones de las instituciones gubernamentales y asociativas (como es el caso de España);
2. Aumento de exigencias de carga – debido a la construcción de tableros más pesados (comunes por ejemplo en obras de alta velocidad) o debido a la construcción de tableros más largos (a veces se convierten tableros dobles en tableros únicos);
3. Aumento de la gama de luces con aplicabilidad de cimbras autolanzables – la gama límite para la construcción con cimbras autolanzables era de cerca de 50m a 55m a finales del siglo XX, pero actualmente es de cerca de 65m a 70m, y existe una tendencia para aumentar debido al elevado coste de métodos alternativos para tableros con vanos de 70m a 90m de luces;
4. Mayor rigor en el control de calidad – los problemas debidos a una no adecuada interacción entre la cimbra y el tablero son hoy motivos de análisis que merecen ponderación, y la deformabilidad excesiva de una cimbra o una menos correcta disposición de apoyos puede ser motivo de rechazo de un equipo;
5. Necesidad de rapidez de ejecución – las exigencias económicas del mercado vuelven cada vez mas importantes los factores de productividad como los ciclos de trabajo, los tiempos de montaje y desmontaje e incluso las

exigencias de transporte de los equipos – la configuración de los equipos actuales tiene que reflejar estas exigencias.

La incipiente implementación de la tecnología de pretensado orgánico en los equipos de construcción de puentes ha conducido al desarrollo de nuevos tipos de cimbras autolanzables para hormigonado de tableros de puentes y viaductos vano a vano [1]. El sistema de pretensado orgánico (Organic Prestressing System - OPS) es un concepto inspirado en el comportamiento de una estructura orgánica de la naturaleza: el músculo [2]. Básicamente, es un sistema de control activo cuyo objetivo es reducir deformaciones y tensiones debidas a cargas variables.

En este artículo, se describen distintas soluciones de equipos orgánicamente pretensados, concretamente: (a) autocimbras sobre tablero y bajo tablero para vanos con luces corrientes (de 40 m a 60 m), (b) autocimbras sobre tablero de elevada productividad para vanos con luces reducidas (de 25 m a 35 m) y (c) equipos híbridos especiales para la construcción de puentes con vanos de grandes luces (70 m a 90 m). En todos los casos se presentan los aspectos principales de cada equipo con especial incidencia en el comportamiento estructural. Posteriormente, se identifican las principales ventajas de estos equipos.

2. Pretensado orgánico aplicado a autocimbras

El sistema de pretensado orgánico no es más que un sistema de pretensado en el que la tensión aplicada se ajusta automáticamente a las cargas, a través de un sistema de control, para reducir las deformaciones y minimizar los esfuerzos en la estructura.

El sistema OPS incluye la monitorización continua de la estructura principal de la cimbra evaluando, en cada proceso de hormigonado, los principales parámetros estructurales (por ejemplo, la rigidez). Este sistema está conectado a un sistema de aviso o alarma. Así, se identifica en una fase prematura cualquier problema de la estructura principal (por ejemplo, montaje deficiente de tornillos) y se evitan riesgos mayores. Esto constituye un importante paso para el aumento de seguridad.

La primera aplicación del sistema de pretensado orgánico (OPS) en una cimbra autolanzable para construcción de puentes confirmó su viabilidad y ventajas, principalmente en lo que respecta al control activo de deformación y de monitorización de la estructura. La cimbra comprende 4 vigas longitudinales independientes formadas por celosías modulares (Fig. 1).



Fig. 1 Primera aplicación de una cimbra autolanzable con OPS

Cada viga está reforzada con un sistema OPS, que esencialmente comprende cables de pretensado no adherentes, anclajes, puntales y sillas de desvío, actuador hidráulico, sensores y componentes de automatización (Fig. 2). El algoritmo de control utiliza la flecha a medio vano como principal variable de control [3].

En cada viga, se instalan 2 cables de pretensado en planos verticales externos a las celosías. Los cables de pretensado con una configuración trilineal están anclados junto a las secciones de apoyo. Dos puntales verticales desvían los cables, y dividen el vano (L) en tres vanos con longitud $L/3$.

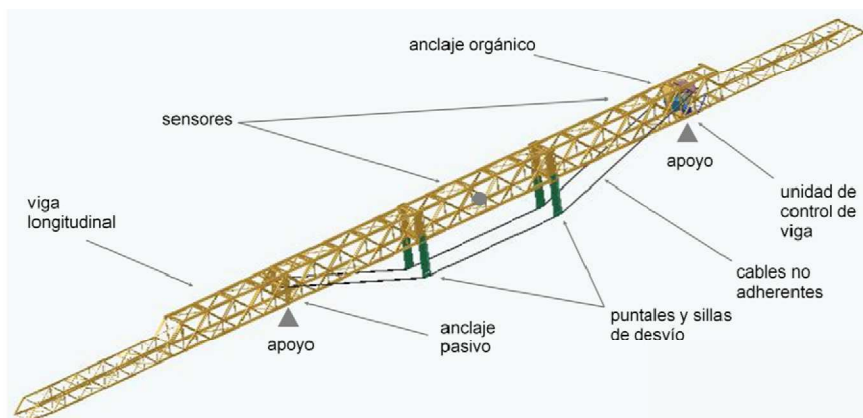


Fig. 2 Esquema 3D de viga longitudinal de una autocimbra bajo tablero con OPS [3]

Siempre que se consiga una excentricidad razonable de los cables es posible, mediante la introducción de fuerzas de pretensado moderadas, asegurar el control activo de flechas y de tensiones, asegurando un mejor control de calidad y equipos significativamente más ligeros. Por otro lado, el sistema OPS también permite importantes aumentos de capacidad de carga o, alternativamente, aumentar la gama de luces con aplicabilidad de cimbras autolanzables.

3. Autocimbras para vanos con luces corrientes (40 m a 60 m)

Actualmente, existen en el mercado dos tipos fundamentales de cimbras para la construcción de puentes y viaductos con vanos corrientes (40 m a 60 m): cimbras bajo tablero y cimbras sobre tablero [4]. No se estudian aquí, con profundidad, las ventajas de unas y de otras. De una forma muy generalista, las primeras son más comunes y de uso más generalizado, y se encuadran mejor en las formas de trabajar de gran parte de los constructores. Las segundas son menos intuitivas por lo que se refiere a la operación pero presentan algunas ventajas de versatilidad (admiten menores radios de curvatura y permiten soluciones de mayor autonomía para obras con pilas altas). Se presentan seguidamente las características generales de autocimbras bajo y sobre tablero con el sistema OPS.

3.1 Autocimbras bajo tablero con OPS

Las autocimbras bajo tablero con pretensado orgánico para construcción de vanos con luces corrientes se constituyen típicamente por 2 vigas longitudinales en celosía. Durante la fase de hormigonado, las vigas se unen por estructuras transversales y se apoyan delante en ménsulas de pila y detrás a través de cuelgue en el tablero previamente construido.

Cada viga está reforzada con el sistema de pretensado orgánico cuyo trazado es semejante al de la primera aplicación: 2 cables de pretensado con un trazado trilineal anclados en las secciones de apoyo y desviados por puntales. En la Figura 3 se presenta una autocimbra bajo tablero concebida para la construcción del tablero de un viaducto de carretera en España, con vanos de 62 m de luz.

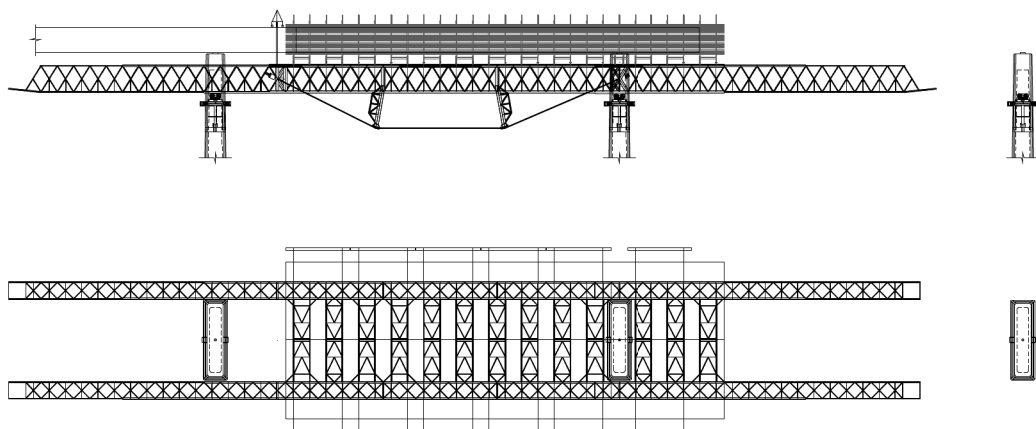


Fig. 3 Autocimbra bajo tablero para construcción de vanos de 62 m de luz

El tablero a construir es particular, en la medida en que tiene 24 m de ancho y pesa 550 kN/m (en media). Además, la vía presenta variaciones de geometría a lo largo del trazado que exigen un sistema especial de ajuste del encofrado.

El peso total del equipo es de 9000 kN, incluyendo 2 vigas longitudinales, estructuras transversales, plataformas de acceso y guardias de seguridad, encofrado, 3 pares de bogies, 3 pares de ménsulas de apoyo en pila y 1 pórtico de cuelgue trasero. Las vigas longitudinales tienen una longitud total de 140 m y una sección transversal con $2.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ (medida a ejes) con un seccionamiento a media altura para facilitar el transporte.

La fuerza de pretensado instalada en cada cable al final del hormigonado es de 6000 kN y la deformación máxima a medio vano es de 25 mm, correspondiente a la deformación de las estructuras transversales. Este valor corresponde a una enorme reducción si se compara con el valor de la deformación prevista para la misma estructura sin el sistema OPS (345 mm). Si la estructura incluyese los cables de pretensado pero no tuviese control de deformación (cables que se comportan pasivamente), el valor de la deformación en condiciones semejantes sería de 200 mm.

Respecto a las tensiones en los cordones de las vigas longitudinales, la inclusión del sistema OPS se traduce en reducciones muy significativas durante la fase de hormigonado. En el cordón superior, el sistema OPS implica una reducción de las tensiones de compresión del orden del 67%. En el cordón inferior, la tracción se transforma en compresión, y el valor absoluto de la reducción es del orden del 55%.

3.2 Autocimbras sobre tablero con OPS

Las autocimbras sobre tablero reforzadas con pretensado orgánico se caracterizan por tener una viga longitudinal reforzada con un cordón superior arqueado y un cordón inferior que se controla de manera activa por un sistema OPS. Estructuralmente, esta no es más que una solución del género “bowstring” en la cual el tirante es activo y se tensa progresivamente a medida que la estructura se carga con el peso del hormigón del tablero. Así se evita el alejamiento de los arranques y la consecuente abertura del arco. Durante el lanzamiento, el tirante se destensa y la estructura se comporta como una celosía de canto variable.

La eficiencia estructural del arco y del tirante activo durante el hormigonado permite reducir drásticamente las deformaciones de la viga principal entre apoyos. Esta eficiencia estructural es característica de las autocimbras OPS y es particularmente útil en tableros hormigonados en 2 fases, ya que el sistema OPS impide la deformación de la estructura e impide el consecuente apareamiento de fisuras por deformaciones impuestas en el tablero hormigonado en la primera fase. Las Figuras 4 y 5 representan una autocimbra OPS para hormigonado de tableros con vanos de 48 m de luz, con una sección transversal media de 7.3 m^2 de área. Este equipo pesa 3750 kN, incluyendo la viga longitudinal, las estructuras transversales, plataformas de acceso, guardias de seguridad, encofrado y las estructuras de apoyo en las diferentes fases de operación.

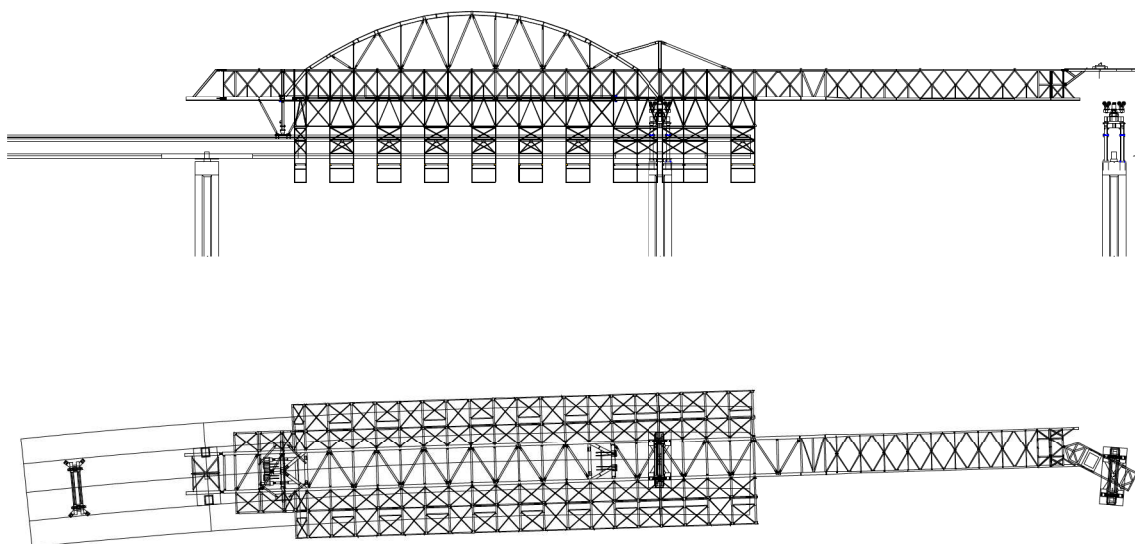


Fig. 4 Autocimbra sobre tablero para vanos de 62 m de luz: alzado (arriba) y planta (abajo)

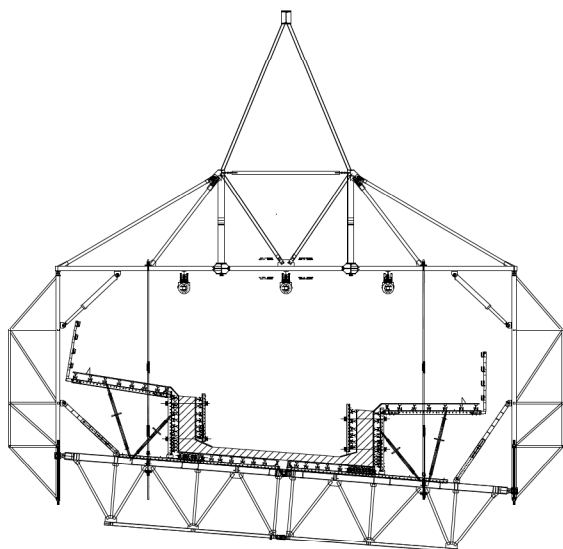


Fig. 5 Autocimbra sobre tablero para vanos de 62 m de luz: sección transversal en posición de hormigonado

Para este caso concreto, y despreciando la contribución de la rigidez del tablero construido en la primera fase, la flecha máxima en medio vano es 30 mm ($L/1300$) y la variación de deformación entre la primera y la segunda fase es 10 mm ($L/4000$).

El sistema OPS impide la abertura del arco, posibilita mantener su comportamiento estructural natural, y evita el apareamiento de momentos flectores. Así, durante el hormigonado, los esfuerzos actuantes en arco son esencialmente de compresión. Por otro lado, el “bowstring” activo absorbe casi la totalidad de la carga de hormigón, permitiendo aligerar los cordones, las diagonales y los montantes de la viga principal. Consecuentemente, las uniones entre los elementos fundamentales, en particular entre los módulos del arco y de la viga principal están esencialmente condicionadas por los esfuerzos actuantes en la fase de lanzamiento.

4. Autocimbras de elevada productividad para vanos cortos (25 m a 30 m)

En obras extensas, el rendimiento del ciclo de trabajo de los equipos se vuelve económicamente muy importante. La reducción del número de operaciones y la optimización del tiempo de ejecución de las tareas necesarias para la construcción de tableros de viaductos y puentes sólo se puede conseguir utilizando equipos con un desempeño estructural adecuado y una simplicidad funcional superior a la de los equipos convencionales. En el caso de las obras extensas, con muchos vanos de luz constante y reducida (25 m a 35 m), la optimización del ciclo de trabajo puede pasar por el hormigonado simultáneo de 2 vanos, que conduce a la reducción del número de operaciones de avance, ya que el equipo desempeña la función de dos máquinas convencionales sin la necesidad de duplicar los frentes de obra.

La geometría de una autocimbra sobre tablero con pretensado orgánico y con capacidad para construir simultáneamente 2 vanos tiene particularidades importantes, esencialmente por lo que se refiere al trazado de pretensado.

Estructuralmente, esta cimbra incluye una viga de 2 tramos (durante el hormigonado) con 2 cables de trazado bilineal anclados en medio de los vanos y desviados sobre el apoyo intermedio por una torre de acero (Fig. 6). El actuador está situado en uno de los anclajes. Este diseño presupone que el proceso de hormigonado se inicia en la sección de la pila central, y se desarrolla seguidamente con la construcción simultánea de los dos vanos adyacentes. El hecho de que la sollicitación del hormigón sea prácticamente simétrica posibilita un funcionamiento semejante al de una estructura atirantada con control activo de la fuerza en los tirantes. Así, los cables orgánicos confieren a la viga 2 apoyos ficticios, como que reduciendo el vano máximo de hormigonado, lo que se traduce en una disminución de los momentos flectores. La decisión sobre la actuación del sistema OPS se basa en el valor medio de las flechas de la viga en las dos secciones de anclaje.

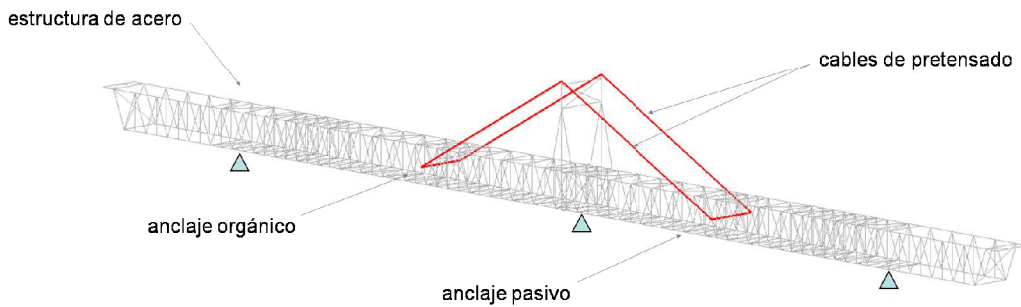


Fig. 6 Esquema 3D de la viga de una autocimbra para construcción simultánea de vanos

Las Figuras 7 y 8 representan una aplicación de este tipo de autocimbra a la construcción de un tablero con sección transversal de 5 m^2 de área y vanos con 25 m de luz. Este equipo pesa 2700 kN, incluyendo la viga longitudinal en celosía con sección transversal de $2.8 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ y con 83 m de longitud, estructuras transversales, plataformas, guardias de seguridad, encofrado y estructuras de apoyo en pila.

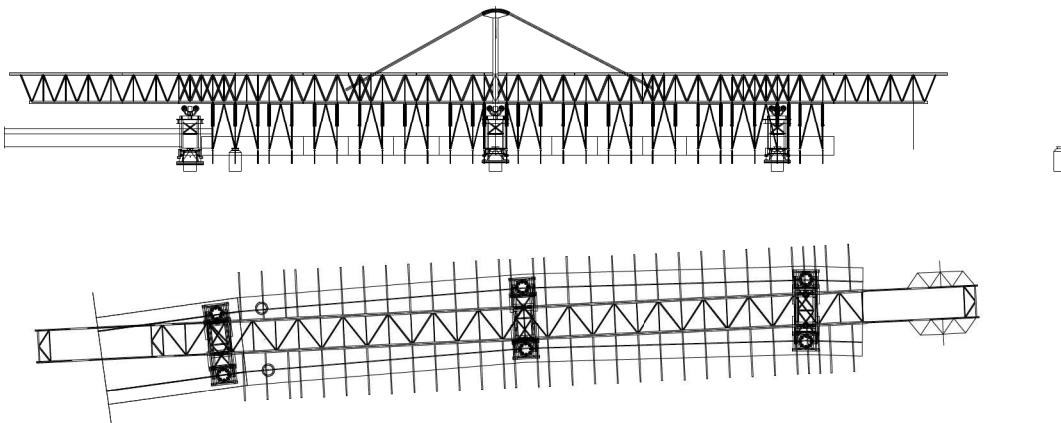


Fig. 7 Alzado (arriba) y planta (abajo) de autocimbra para construcción simultánea de 2 vanos de 25 m de luz

Durante el hormigonado, la inclusión del sistema OPS en la viga principal permite una reducción de momentos flectores de cerca de 75%, y produce reducciones de tensiones en los cordones de cerca de 35%. En lo que respecta a las deformaciones, la reducción de la flecha máxima es de 85%.

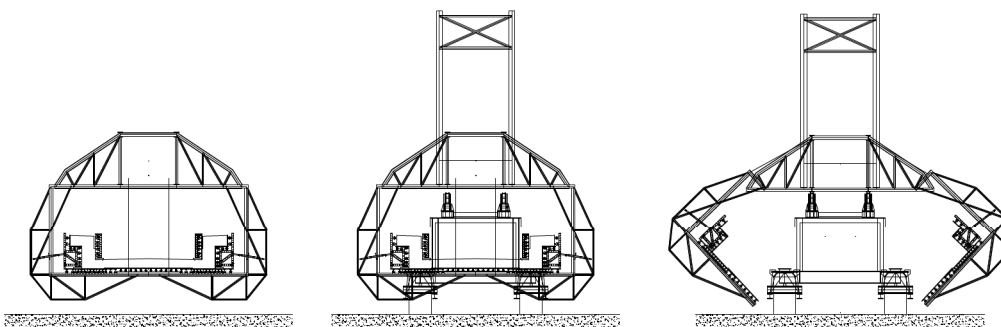


Fig. 8 Cortes en sección transversal de autocimbra para construcción simultánea de 2 vanos de 25 m de luz

5. Autocimbras para vanos de grandes luces

En un pasado reciente no era razonable desarrollar equipos para construcción vano a vano de tableros de puentes y viaductos de hormigón pretensado con más de 70 m de luz, dado que éstos serían muy pesados, robustos y difíciles de maniobrar y lanzar. En la actualidad, el procedimiento más usual de hormigonado *in situ* de tableros de puentes con vanos de esta magnitud (más de 70 m de luz) es el método de voladizos sucesivos que consiste en construir el tablero avanzando por tramos sucesivos, haciendo soportar a la parte ya construida el peso propio del tramo siguiente y el peso de los encofrados [5].

Sin embargo, la aparición de la tecnología OPS ha dado a conocer una nueva generación de equipos para la construcción de puentes que permite establecer nuevos horizontes. Para la construcción vano a vano de tableros de puentes y viaductos de hormigón pretensado con grandes luces se desarrolló una cimbra autolanzable híbrida.

Teniendo en cuenta la funcionalidad, este equipo híbrido consta de 2 celosías longitudinales bajo tablero y una celosía longitudinal sobre tablero, y combina las ventajas de los equipos superiores (capacidad para transportar la ferralla del tablero prefabricado y lanzamiento longitudinal más fácil) con la simplicidad de los equipos inferiores (más fácil de maniobrar y operación de abertura de encofrados más sencilla).

Las dos celosías inferiores son estructuras de cimbreo puras, que soportan el peso del encofrado y del hormigón fresco durante el hormigonado. Durante esta fase, las celosías se apoyan por una suspensión trasera en el tablero previamente construido y por collares de rozamiento localizados en la pila delantera. Como estas celosías no son autolanzables, su diseño está totalmente concebido para la fase de hormigonado, posibilitando la optimización de su longitud (no necesita narices), de su sección transversal (OPS funciona en todas las fases estructuralmente relevantes) y de su trazado de cables de pretensado orgánico. La esbeltez de la estructura posibilita explotar al máximo el potencial del sistema OPS, y tiene como resultado expresivas reducciones de los esfuerzos y deformaciones.

Por otro lado, la celosía superior se encarga del lanzamiento de las celosías inferiores y del encofrado. En una primera fase, la celosía superior se autolanza hasta una mesa de apoyo localizada en la pila delantera.

Después, dos elementos móviles (anillos) soportan todo el conjunto inferior (celosías inferiores y encofrado). El Anillo Trasero soporta la parte trasera de las celosías inferiores y se lanza sobre un rail localizado sobre el tablero previamente construido. El anillo delantero incorpora los collares de rozamiento de apoyo en la pila y tiene un conjunto de ruedas de acero que posibilita su movimiento sobre el cordón superior de la celosía superior, permitiendo el lanzamiento de todo el conjunto inferior. Durante esta etapa, el Anillo Delantero transmite una fuerza concentrada a la celosía superior, cuyo sistema OPS entra en funcionamiento. El sistema OPS (similar al mencionado anteriormente) mejora el comportamiento estructural de la celosía superior significativamente.

De un modo general, este equipo es más fácil y más seguro que los equipos convencionales, ya que gran parte del peso móvil (anillos, encofrado y celosías inferiores) se lanza a través de un rail perfectamente fijo – la celosía superior.

En la Figura 9 se representa la aplicación de una autocimbra híbrida a la construcción de un viaducto con un vano de 80 m de luz y una sección transversal del tablero con 12 m² de área. En la Figura 10 se representa esquemáticamente el proceso de lanzamiento.

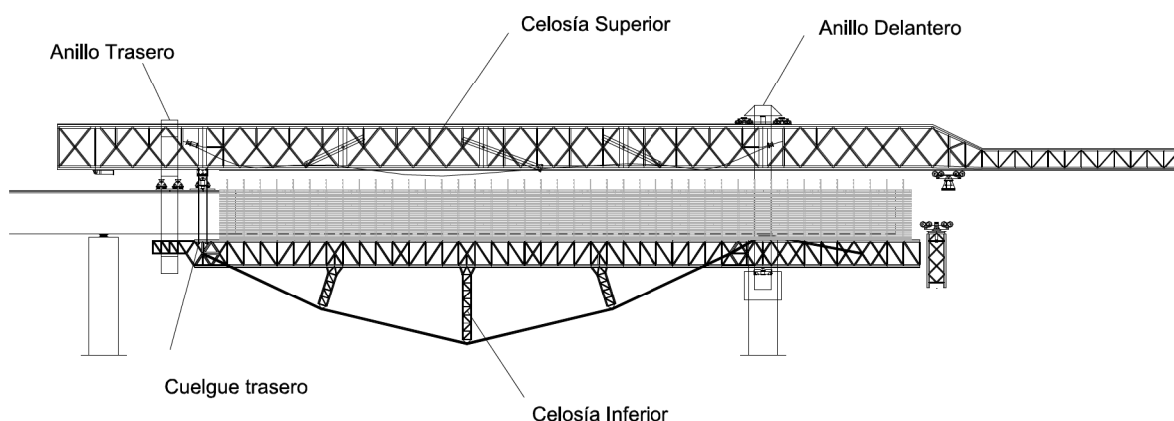


Fig. 9 Alzado de autocimbra híbrida con OPS para construcción de vanos con 80 m de luz

La eficacia del sistema OPS alcanza su expresión máxima en el desempeño estructural de las celosías inferiores. Su trazado de pretensado orgánico incluye 2 cables superiores, que controlan la deformación de 1/5 de vano en voladizo y 2 cables inferiores desviados por 3 puntales no rotativos que controlan la deformación a medio vano. La fuerza de pretensado en servicio es de 9000 kN por celosía.

Cada celosía inferior, con una longitud de 118 m y una sección transversal de 2.0 m × 3.0 m pesa aproximadamente 1200 kN. A su vez, la celosía superior, con una longitud de 150 m y una sección transversal de 4.5 m × 5.0 m pesa cerca de 2700 kN. El peso total del equipo es de 9500 kN.

Comparado con los equipos de construcción por voladizos sucesivos, se identifican las siguientes ventajas:

- Reducción significativa del período de construcción (construcción de 1 vano por ciclo);

- Reducción (del orden del 30%) del coste del pretensado del tablero:
 - Reducción de la cantidad del pretensado del tablero (no hay momentos de voladizo);
 - Reducción del número de anclajes y acopladores;
 - Reducción del número de operaciones de pretensado en el tablero;
- Reducción del número de operaciones de riesgo elevado (movimientos y lanzamientos);
- Control geométrico del talero más fácil;
- Inexistencia de problemas de desequilibrios de voladizos (no son necesarios tirantes para la estabilización del tablero);
- Autonomía total – no son necesarios medios auxiliares para montar las mesas de apoyo en pila y para transportar operarios y equipos a pie de obra.

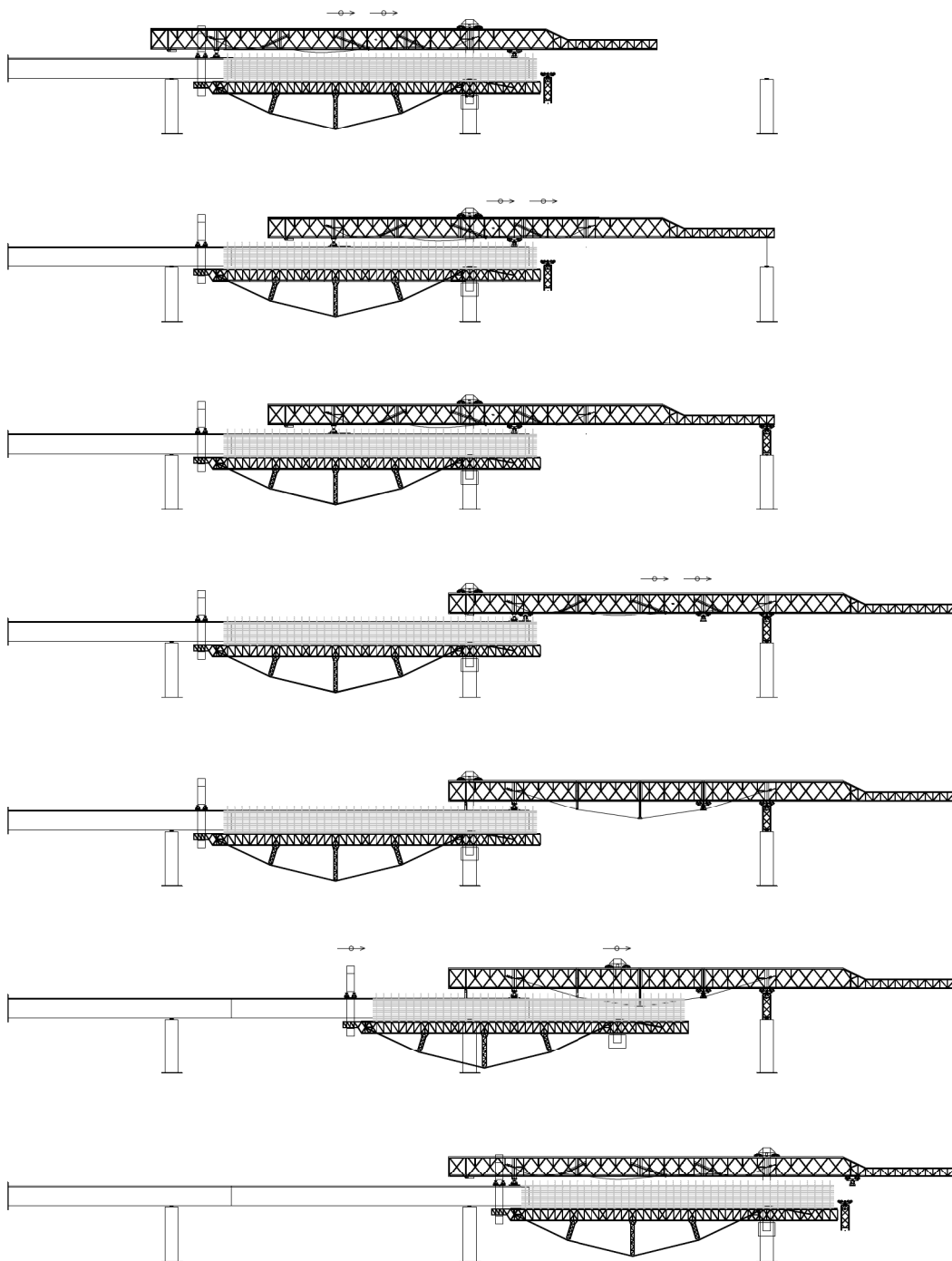


Fig. 10 Lanzamiento de autocimbra híbrida con OPS

6. Ventajas de la aplicación de la tecnología de pretensado orgánico en autocimbras

La utilización de una cimbra con el sistema OPS comporta algunas ventajas bien claras, que resultan esencialmente del control de deformaciones, de la reducción del peso de los equipos y del aumento generalizado de la seguridad:

- Monitorización – el sistema OPS incluye la monitorización continua de la estructura principal de la cimbra. Continuamente, en cada proceso de hormigonado, se evalúan los principales parámetros estructurales (por ejemplo, la rigidez). Este sistema está conectado a un sistema de aviso o alarma. Así, se identifica en una fase prematura cualquier problema de la estructura principal (por ejemplo, montaje deficiente de tornillos), evitando riesgos mayores.
- Calidad de la construcción – el control de deformaciones tiene ventajas para el encofrado y sobre todo para el puente, reduciendo recubrimientos de regularización, permitiendo cumplir con perfección la geometría longitudinal del puente, y muy importante, evitando fisuras en el tablero en la fase de aplicación de pretensado – pues, en cimbras muy deformables, cuando termina la aplicación de pretensado (acciones ascendentes) gran parte de las cargas (también ascendentes) provocadas por la cimbra se mantienen. Ésta es una de las preocupaciones que mereció reparos en “Manual de Cimbras Autolanzables” [6].
- No existencia de fisuras en la sección de primera fase de hormigonado – cuando el tablero es hormigonado en dos fases, en la segunda operación de hormigonado, si la cimbra se deforma, hay una contribución espontánea de la parte del tablero ya construido. Esto provoca fisuras (típicamente en las almas). Con la acción del OPS, este problema se evita debido al control de deformaciones en la segunda fase de hormigonado.
- Menores sollicitaciones en el puente – las cimbras con OPS tienen celosías principales mucho más ligeras que las cimbras sin OPS (normalmente se aseguran reducciones de peso superiores a 30%). Así las acciones verticales y las acciones horizontales en el avance de la autocimbra se reducen proporcionalmente, aspecto crítico en pilas de gran altura. En lo que concierne a esto se destaca la cuestión de cargas verticales diferenciales cuando las celosías bajo tablero están en posiciones distintas de avance.
- Menor dificultad y menor riesgo en el montaje/desmontaje – la referida reducción del peso de las celosías vuelve las operaciones de montaje y desmontaje más fáciles y más seguras pues, es posible hacer una separación en un número más reducido de elementos (de mayores dimensiones).
- Mayor seguridad en estado límite último – el sistema OPS incluye innúmeros sistemas de redundancia. Además, la estructura se dimensiona en estado límite último para soportar todas las cargas considerando la acción accidental resultante del “fallo del OPS”. Simultáneamente, como los cables de pretensado están dimensionados para tensiones bajas de servicio, éstos constituyen un apoyo elástico de muy elevada resistencia, asegurando un elevado nivel de seguridad en situaciones corrientes de hormigonado.
- Reducción de tornillos – durante el hormigonado, las tracciones en el cordón inferior de las cimbras (que pueden ser de muchas centenas de toneladas) son, en estructuras con el sistema OPS, asumidas por los cables. Esto permite reducir dramáticamente el número de tornillos en las celosías, reduciendo tiempo de montaje y, sobre todo, reduciendo riesgo, pues los tornillos son elementos muy dependientes de factor humano – en el montaje y operaciones de inspección y manutención.

7. Conclusión

Siempre que las estructuras están sujetas a cargas variables importantes, el pretensado orgánico constituye una solución particularmente eficaz. En el caso particular de las cimbras autolanzables, ese concepto se aplica en su plenitud, pues las cargas variables son varias veces superiores al peso propio del equipo.

Las autocimbras con pretensado orgánico, al tener deformaciones muy reducidas y por ser muy ligeras, reúnen una serie de ventajas que abren nuevos horizontes a las tecnologías de construcción de puentes y viaductos vano a vano.

8. Agradecimientos

A los autores les gustaría expresar su agradecimiento a otros miembros del equipo de producción: António Guerra, Pedro Borges, António André, Teresa Oliveira, André Resende, Inês Ferraz, Frederico Fonseca y David Ramos, que son, de hecho, coautores de este trabajo.

Referencias

- [1] PACHECO P., *Auto-adjustable prestressing*, Patente PCT, pct/pt/2004/011, WO2004/109018, Gazette OMPI, 2004.
- [2] PACHECO P. y ADÃO DA FONSECA A., "Organic Prestressing – an example of an Effector System ", *Structural Concrete Journal of Fib*, Vol. 3, No. 2, 2002, pp. 107-113.
- [3] PACHECO P. y otros, "A Scaffolding System strengthened with Organic Prestressing – the first of a new Generation of Structures", *Structural Engineering International Journal of the IABSE*, Vol. 17, No. 4, 2007, pp. 314-321.
- [4] AFONSO B., *Equipamentos móveis para construção de pontes*, Disertación para obtención del grado de máster en construcción por el Instituto Superior Técnico de la Universidad Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.
- [5] MATHIVAT J., *Construcción de puentes de hormigón pretensado por voladizos sucesivos*, 1ª ed. española, Editores Técnicos Asociados, S. A., Barcelona, 1980.
- [6] CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN (CNC), *Manual de Cimbras Autolanzables*, 1ª ed., CNC, Madrid, 2007.