El impacto del pretensado orgánico:

Eficiencia en la construcción de puentes en concreto con autocimbra

Pedro Pacheco - Universidad de Oporto, BERD S.A., Oporto, Portugal
Hugo Coelho - BERD S.A., Portugal
André Resende - BERD S.A., Portugal

Fotos: Cortesía BERD S.A.

Construcción del puente sobre el río Corgo en Portugal.

Este artículo presenta el ejemplo real de una solución para construcción de tableros de puentes en concreto que responde a los principios actuales de la productividad. Se hace referencia al Sistema de Pretensado Orgánico (OPS), un método activo de pretensado que mejora la eficiencia estructural.

Introducción

La demanda por productividad elevada es una exigencia cotidiana en la construcción de puentes de la actualidad. Al respecto, variadas soluciones han comprobado ser eficientes en la construcción de puentes de concreto vano a vano. Aparte de la economía de costos, la elección de la solución más acertada no es lineal y depende de factores de distinta naturaleza: geometría del puente (curvatura, peralte, inclinación), sección transversal (peso, forma), longitud de vano y longitud total del puente, condiciones climáticas, logística, tradición de construcción y diseño y preferencia/experiencia del constructor.

Con independencia de la solución elegida, un factor fundamental en el logro de construcciones eficientes en costos y plazos es la cooperación adecuada desde la fase inicial entre el proyectista del puente y quien desarrolla el método constructivo. Eso permite hacer adaptaciones importantes al puente, lo que facilita la construcción. En este caso específico, los detalles son importantes y una decisión juiciosa puede tener impacto significativo en el tiempo de construcción.

Causas de la demanda de productividad

La exigencia de productividad en el caso de construcción de puentes tiene diferentes causas:

- Los costos de operación y del patio de obra son importantes y varían con el tiempo.
- El financiamiento actual de la construcción de puentes es con frecuencia por concesión, por lo cual hay interés en finalizar la construcción lo más pronto posible para recaudar el retorno de la inversión.
- Impacto que la construcción de puentes tiene en rutas existentes, limitando el tráfico.
- Promesas políticas.

Cómo alcanzar la productividad

Aunque las causas sean diferentes, para lograr mayor productividad en la construcción de puentes deben seguirse estas directrices generales:

- Preparación del proceso de construcción desde temprano, con el diseño del puente. Este desarrollo paralelo permite una solución menos costosa y más productiva en general.
- El análisis del proceso constructivo debe incluir todas las operaciones de la obra. La preparación adecuada simplifica las tareas y mejora la productividad.
- En todas las fases del proceso la mano de obra debe ser especializada, desde el diseño hasta la construcción del puente.
- El método constructivo debe incluir un análisis de riesgo. Todas las tareas deben ser planeadas con un nivel de riesgo aceptable. Además, una tarea segura suele ser más productiva.

Organic prestressing system (OPS)

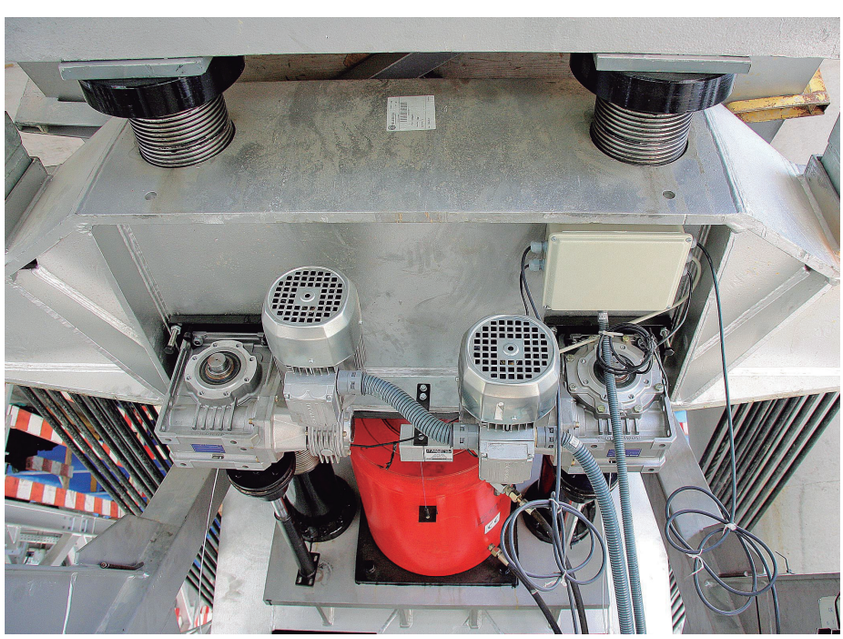
Funcionamiento

Utilizando como inspiración el comportamiento de estructuras presentes en la naturaleza (biomimética) y más específicamente el comportamiento del músculo humano, el Sistema de Pretensado Orgánico (OPS) es un sistema de pretensado activo que se adapta automáticamente, incrementando o disminuyendo las fuerzas de acuerdo con la variación de carga viva actuante en la estructura. No es más que un sistema en que la tensión aplicada se ajusta automáticamente a las cargas actuantes mediante un sistema de control, con el fin de reducir deformaciones en la estructura y minimizar tensiones debidas a cargas vivas (Pacheco, P. 1999).

Elementos principales

En un equipo de construcción de puentes, los principales elementos OPS son: 1) actuador (gato hidráulico) en el anclaje activo; 2) cables de presfuerzo; 3) sensores; 4) unidad de control; 5) anclaje pasivo, y 6) puntales de desvío.

Anclaje activo en el sistema OPS.



Anclaje pasivo en el sistema OPS.

El sistema de control OPS se basa en medición y análisis continuo de la deformación a medio vano. La información de los sensores se transmite a la unidad de control de las vigas que, con un algoritmo sencillo, decide la variación de la carrera del gato hidráulico en el anclaje activo, lo que cambia la tensión en los cables de preesfuerzo.

Ventajas

El control continuo en tiempo real de las fuerzas actuantes en la estructura permite que el constructor intervenga para prevenir accidentes en caso de necesidad, aumentando así el factor de seguridad estructural. Además, el OPS permite utilizar equipos de construcción de puentes más eficientes y más ligeros. Esta disminución de peso tiene impactos indirectos y considerables en la productividad y en los costos operacionales ya que estos equipos implican una cinemática considerable: lanzamiento frecuente, montaje, desmontaje y operaciones de transporte.

Estudio de caso

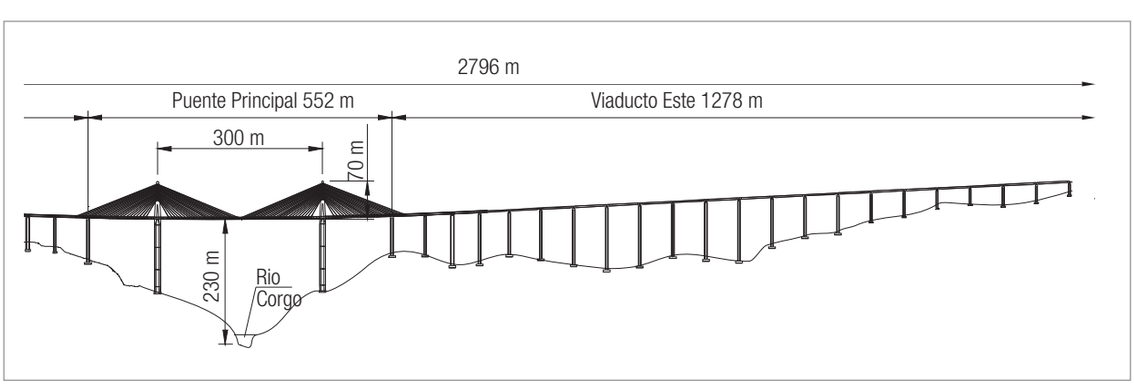
El Puente sobre el río Corgo en Vila Real (Portugal) es un puente atirantado con longitud total de 2.796 m. En este momento es el segundo mayor puente atirantado en Europa. El viaducto Este fue construido ejecutando 22 vanos con una longitud máxima de 60 m y con longitud total de 1.278 m.

El tablero es tipo cajón con anchura de 10 m. El ancho total del tablero es 25 m en los viaductos de acceso y 28 m en el puente atirantado. El ensanchamiento se hace con unos voladizos soportados con puntales prefabricados de concreto colocados cada 3 m.

Desafíos del proyecto

La solución de construcción fue desarrollada a la medida del proyecto, que ya se encontraba en una fase adelantada. Hubo desafíos:

- Ciclo de trabajo exigido: construcción de un vano de 60 m cada 10 días calendario.

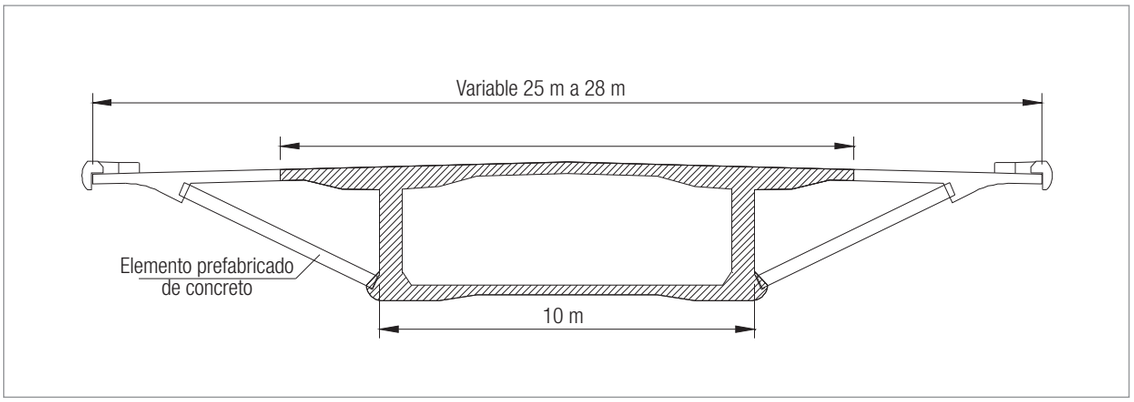


Alzado del puente sobre el río Corgo.

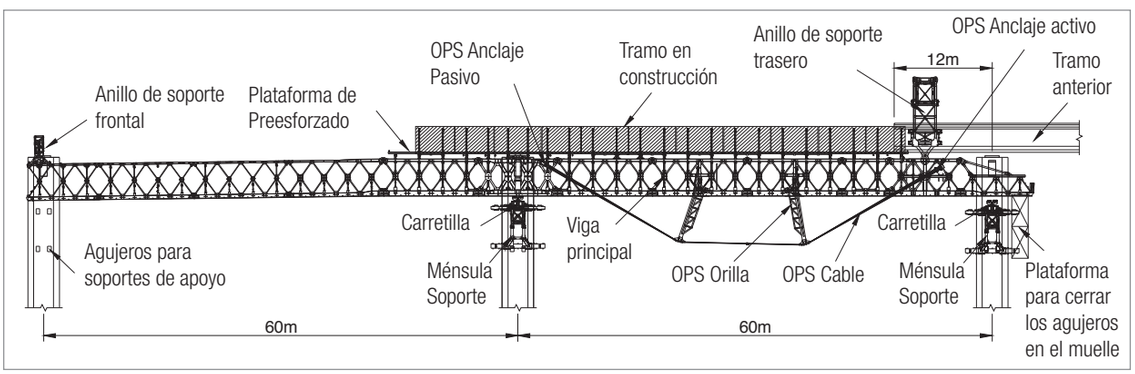
- El equipo tendría que trabajar con altas velocidades de viento (lanzamiento con +70 km/h).
- Debido a la topografía accidentada era imposible utilizar equipos auxiliares (grúas móviles) para montaje de los apoyos del equipo. Así este equipo tendría que ser autónomo en esta tarea.
- Espacio limitado para las operaciones de montaje (detrás del estribo) y desmontaje del equipo.

Equipo utilizado

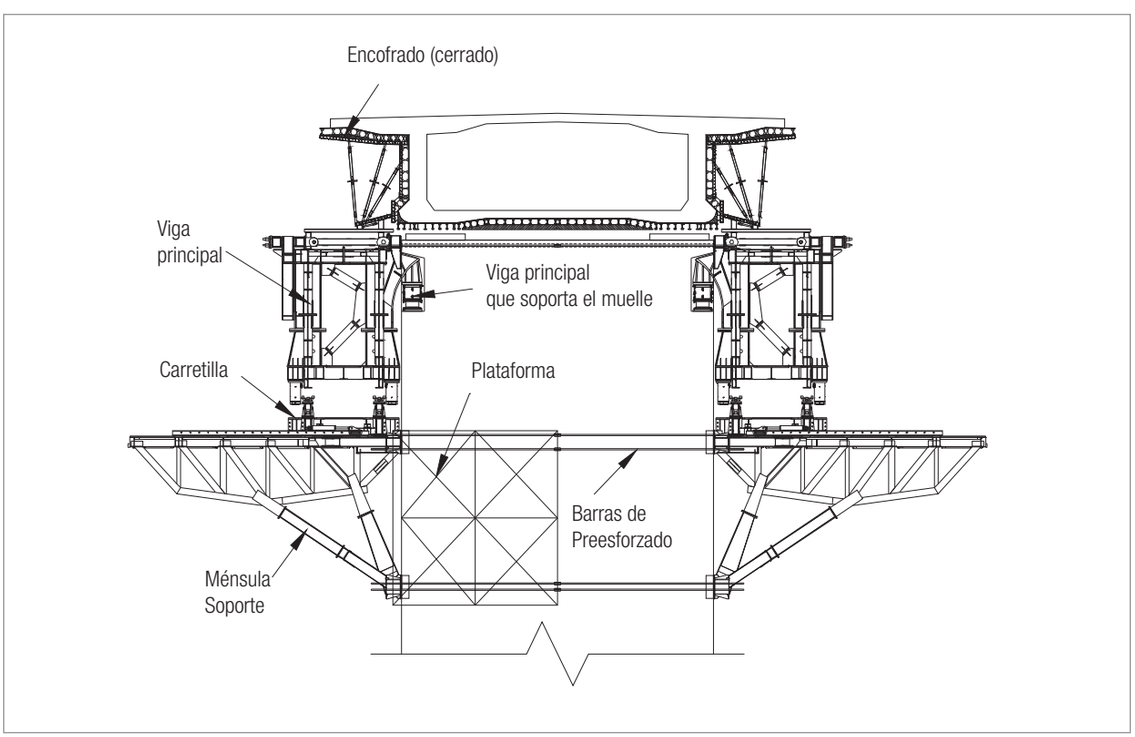
La solución desarrollada para construir el viaducto Este fue una cimbra autolanzable inferior. Los principales componentes de este equipo son: 1) Vigas principales y narices; 2) Anillo de apoyo; 3) Ménsulas de apoyo; 4) Estructuras transversales; 5) Bogies; 6) Elementos OPS; 7) Anillo de apoyo delantero.



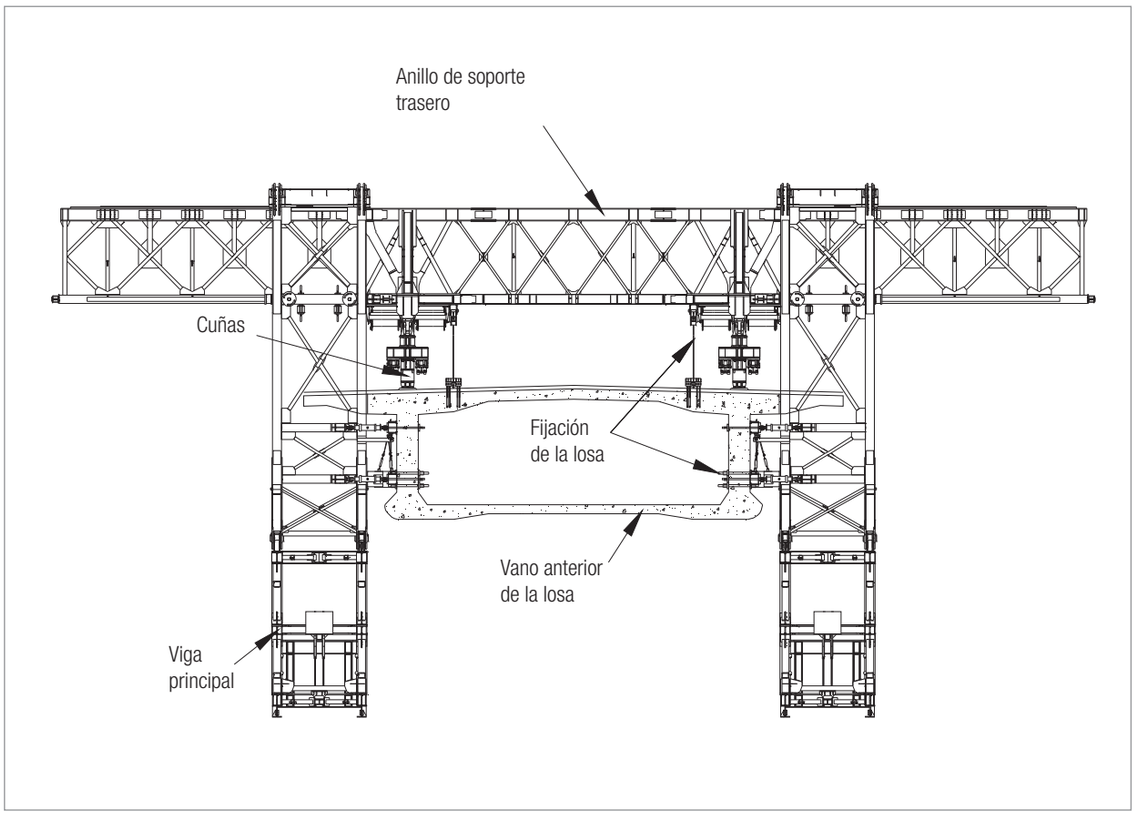
Sección transversal del tablero del puente sobre el río Corgo.



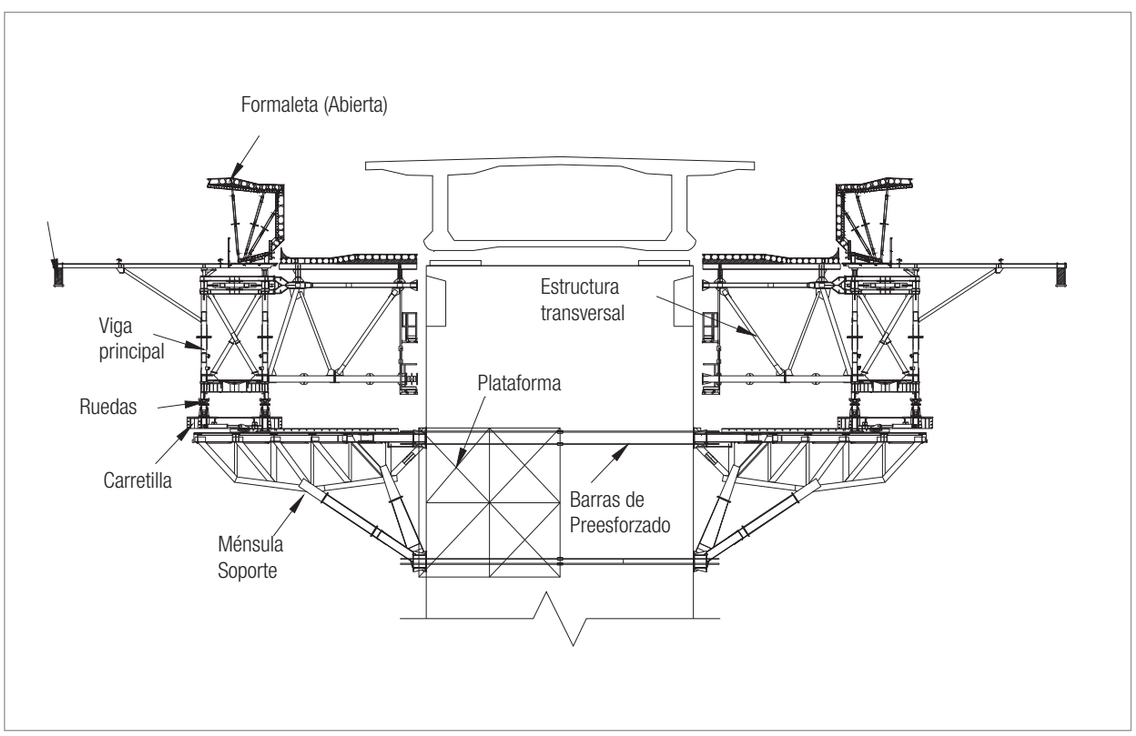
Alzado y componentes del equipo utilizado.



Apoyo delantero del equipo en la fase de vaciado del concreto.



Apoyo trasero del equipo en la fase de vaciado del concreto.



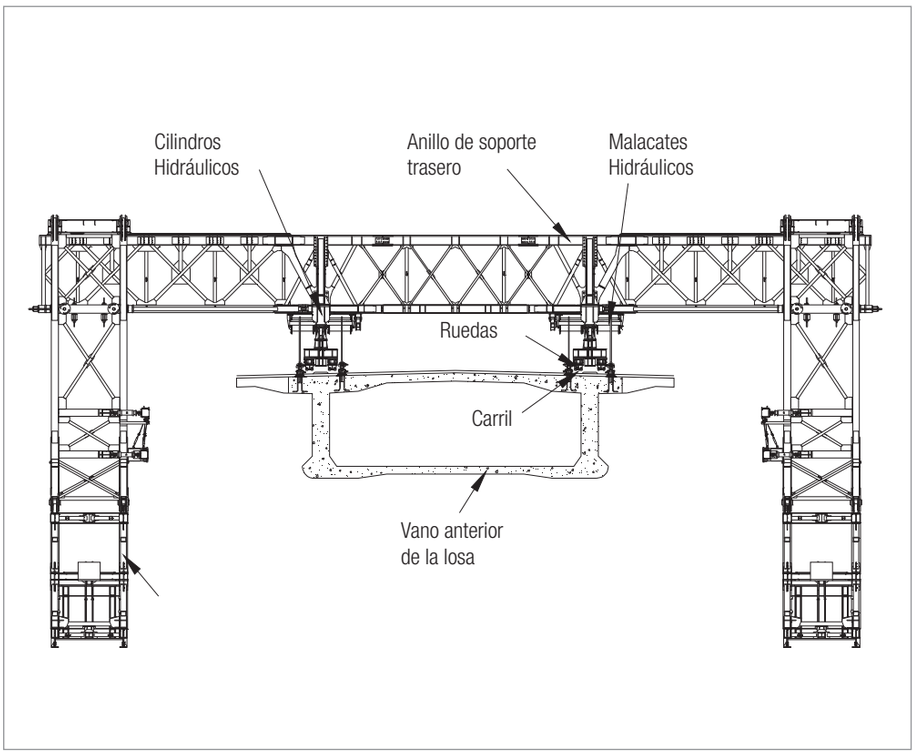
Apoyo delantero del equipo en la fase de lanzamiento.

Básicamente hay que distinguir dos fases: la fase fija y la fase de lanzamiento.

En la primera se efectúan las operaciones de construcción de tablero: colocación de acero, vaciado del concreto, tensado de cables de preesfuerzo, etc. En la segunda fase el equipo se mueve hacia el vano siguiente.

Ciclo de trabajo

La exigencia del contratista para un ciclo de trabajo de 10 días fue muy importante para definir el tipo de equipo a utilizar, desde el diseño hasta la operación. Las tareas fueran pensadas para garantizar el ciclo considerando todas las medidas de seguridad.



Apoyo trasero del equipo en la fase de lanzamiento.

PERI

El vaciado del concreto del cajón se hace en dos fases. En la primera se construyó la losa de fondo y los hastiales (sección en U). En la segunda se ejecutaba la losa superior. Esta decisión simplificó el encofrado interior y el pre-montaje del acero de refuerzo, incrementado la productividad del vaciado del concreto y del tensado del tablero.

Cuando el concreto de las dos fases alcanza una dureza definida, se tensan los cables de preesfuerzo del tablero y entonces la cimbra autolanzable se puede mover hacia el vano siguiente. Antes de lanzamiento es necesario desencofrar y mover transversalmente las vigas principales de la autocimbra.

Tras el movimiento transversal de los paneles del encofrado, las vigas principales se bajan y se mueven afuera para que la autocimbra no choque longitudinalmente con las pilas en su movimiento.

Las expectativas de productividad se superaron. Fue posible hacer un vano cada 7 días hábiles (9 días calendario). El viaducto Este fue construido antes del plazo previsto y sin accidentes.

Impacto del OPS

Además de las ventajas estructurales y de control de deformación ya mencionadas, el OPS tiene tres ventajas mayores en este proyecto particular:

- Cuando la losa superior del cajón fue fundida, la porción de la sección vaciada anteriormente (la U) ya estaba endurecida. Con el OPS es posible controlar las tensiones en la U durante la segunda fase de colocación del concreto.
- El control de deformación posibilitado por el OPS permite ahorrar tiempo debido a operaciones de contraflecha que serían necesarias en equipos de otras tecnologías. Esto fue particularmente importante en los últimos vanos del viaducto Este, ya que tenían longitud variable.
- En el vaciado del último vano la nariz ya había sido desmontada por cuestiones de compatibilidad con los carros de avance que construían el vano atirantado. La nariz influye en la distribución de momentos en la autocimbra y su no existencia implica un incremento en los momentos positivos en medio vano de las celosías principales de la autocimbra. El OPS permitió introducir un momento flector negativo, garantizando la seguridad estructural del equipo empleado.

Sistema de preesfuerzo.

Construcción de puentes mediante formaletas autolanzables.

Conclusiones

Se comprobó la utilidad del OPS para alcanzar el objetivo de utilizar menos acero en el equipo de construcción del puente y también en el de control continuo de la deformación.

Además, el uso del OPS aliado a una preparación de todas las tareas a ejecutar permite grandes ventajas en la productividad: hace realidad ciclos de trabajo antes impensables, al mismo tiempo que proporciona ventajas en cuanto a seguridad, pues muchos accidentes ocurren al realizar en la obra tareas improvisadas.

Referencias

- Pacheco, P. 1999. Preesfuerzo Orgánico – Un ejemplo de Sistema efector (en Portugués), Tesis de
- Doctorado, Dep. Ing. Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto (FEUP).