SOLUCIONES DE VANGUARDIA PARA LACONSTRUCCIÓN DE PUENTES CON VANOS DE 70 A 90M

Pedro PACHECO
PhD, Bridges Professor
BERD, S.A., Fac. Eng. Porto Univ.
CEO
pedro.pacheco@berd.eu

Hugo COELHO
Structural Engineer
BERD, S.A.
Production Manager
hugo.coelho@berd.eu

Pedro BORGES
Structural Engineer
BERD, S.A.
Technical-Commercial Manager
pedro.borges@berd.eu

António GUERRA
Structural Engineer
BERD, S.A.
Project Coordinator
antonio.guerra@berd.eu

RESUMEN

En este artículo se trata de la construcción de puentes con vanos entre 70 y 90m. Además de analizar los aspectos generales relacionados con la concepción y utilización de los equipos de construcción, también se trata de la interacción entre el puente y el equipo constructivo. En todo el artículo se dan ejemplos de aplicaciones reales de cimbras autolanzables en la construcción de puentes con grandes vanos y se presentan soluciones constructivas de vanguardia.

En las conclusiones, también se refieren algunas recomendaciones de cálculo.

PALABRAS CLAVE: Pretensión orgánica; equipos para construcción de puentes; grandes vanos.

1. Introducción

La construcción de puentes y viaductos de hormigón con varios vanos utilizando cimbras autolanzables es eficiente y competitiva. Esta solución constructiva se utiliza usualmente en la construcción de puentes y viaductos con vanos hasta 60m. En los últimos años, la experiencia acumulada ha permitido el desarrollo de soluciones para la construcción, vano a vano, de puentes con vanos comprendidos entre 70 y 90m (*Large MSS* o *LMSS*). Para este tipo de vanos, la utilización de cimbras puede conducir a resultados económicos sorprendentes en los casos en que el número de vanos es significativo y el coste de pilas y cimentaciones es relativamente elevado como, por ejemplo, en puentes sobre agua. Además, estos equipos permiten obtener ratios de productividad elevados y un proceso constructivo fuertemente industrializado.

Para este tipo de vanos (70-90m), un estudio reciente (MORIM 2008) comprueba que la construcción vano a vano garantiza ventajas importantes como la continuidad del tablero y la optimización significativa del consumo de materiales (en particular, acero de pretensión), dado que la fase de construcción es prácticamente neutra para el cálculo del tablero.

Hasta un pasado reciente, puentes con vanos comprendidos entre 70 y 90m eran típicamente construidos por voladizos sucesivos o con recurso a soluciones con tableros metálicos o mixtos (MATHIVAT (1980)).

Actualmente, con los recientes desarrollos en la concepción de equipos de construcción vano a vano, surge una fuerte alternativa.

Sin embargo, este método constructivo requiere un estudio completo y profundo de los principales desafíos técnicos involucrados en su aplicación, tanto para los proyectistas de puentes como para los proveedores de los equipos de construcción.

En la documentación internacional (EURONORM (2003), EUROCODE 1 (2005)) hay un importante vacío de información sobre las acciones inducidas en los puentes por MSS o LMSS. Aunque en algunos países ya se hayan dado contribuciones muy importantes sobre este tema (AFONSO (2007), CNC (2007)), es inequívoco que seguirá siendo necesaria una fuerte inversión en investigación y estandarización normativa.

En este artículo, después de la presentación de aspectos generales relacionados con la utilización y concepción de LMSS, se discutirán de las principales características de estos equipos de construcción con dos objetivos claros:

1. Dar a los proyectistas de puentes información sobre los equipos constructivos presentados;
2. Contribuir para la discusión entre especialistas en *MSS*, considerando que en esta área específica hay un evidente vacío de documentación normativa.

Algunos de los tópicos presentados se basean en conocimiento empírico acumulado y otros resultan de conclusiones de diferentes trabajos científicos aún en progreso (no publicados).

En todo el artículo se presentan dos ejemplos reales de construcción de tableros de puentes hormigonados *in situ* en los que se recurre a *LMSS* y permiten una percepción más directa de los asuntos presentados.

En las conclusiones se hacen recomendaciones tanto para proyectistas de puentes como para especialistas en *MSS*.

2. Aspectos generales relacionados con la utilización y concepción de *LMSS*

La construcción vano a vano de puentes y viaductos adoptando el método de hormigonado *in situ* con utilización de LMSS es una posibilidad con mucho potencial en puentes y viaductos con vanos múltiplos (especialmente en las condiciones descritas anteriormente).

A continuación, si consideramos los aspectos discutidos, la principal particularidad de la construcción vano a vano con LMSS para el proyecto del puente, consiste en el hecho de que es posible lograr una solución para el tablero esencialmente condicionada por las acciones de servicio del puente.

El puente sobre el Río Cabriel, en España, cerca de Valencia (Figura 1) y el puente sobre el valle Hostovsky Creek, cerca de Nitra, Eslovaquia (Figura 2 y Figura 3) son dos ejemplos de puentes en los cuales, la ejecución con recurso a LMSS fue una elección racional. Ambos puentes tienen múltiplos vanos, las pilas son relativamente altas (cerca de 45m) y el coste de métodos alternativos habría sido considerablemente elevado.

En el puente sobre el Río Cabriel, con un vano corriente de 70m, el método alternativo probable habría sido construir por voladizos sucesivos. Con este método, habría sido posible conseguir una productividad de cerca de 120m/ mes (con 6 carros de avance) contra la productividad normal de cerca de 140m/ mes alcanzada en LMSS. Adicionalmente, el método alternativo implicaría un consumo adicional de acero de pretensión muy significativo dadas las necesidades implícitas de la construcción por voladizos sucesivos.

En el puente sobre el valle Hostovsky Creek, con un vano corriente de 69m, la solución alternativa probable pasaría por la construcción vano a vano utilizando un *MSS* convencional (con un vano de 42m), lo que implicaría la construcción de pilas provisionales para reducir el vano constructivo. Esta solución implicaría costes adicionales significativos relacionados con la construcción y demolición de las pilas provisionales.

Figura 1: Puente sobre el Río Cabriel

Figura 2: Puente sobre el valle Hostovsky Creek

Los *LMSS* más recientes son muy productivos, están dotados de innumerables equipos auxiliares para la operación y están preparados para trabajos nocturnos (ver Figura 3).

Otro aspecto particular del *LMSS* es el volumen de hormigón por vano, que puede ser muy significativo. Las tareas de hormigonado con volúmenes superiores a 500 m^3 son evitadas con frecuencia y es usual la introducción de juntas horizontales. Este aspecto tiene implicaciones en el proyecto del encofrado y en el control de deformaciones durante la segunda fase de hormigonado, y es crucial evitar eventuales fisuras con el tablero construido en la primera fase.

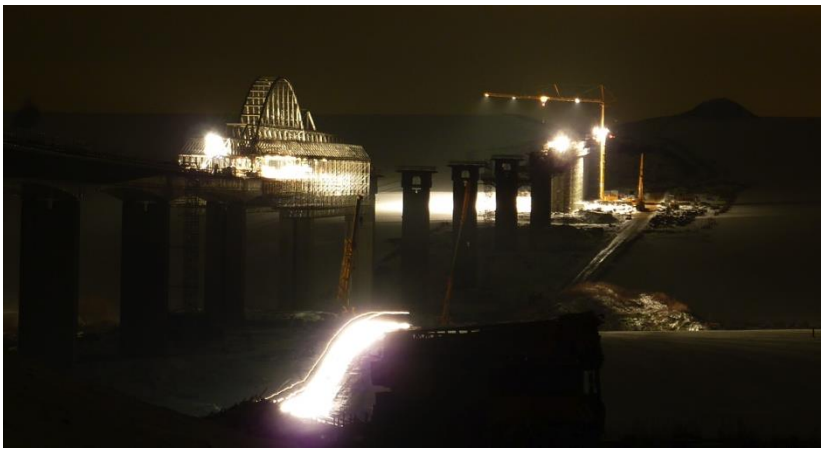

Figura 3: Puente sobre el valle Hostovsky Creek (trabajos nocturnos)

3. Límites de vanos de los *LMSS*

Una pregunta normal que puede surgir es la siguiente: ¿cuál es el límite de longitud de vano para un *LMSS*?

La pregunta es tan evolutiva como el estado del arte en sí. Actualmente, hay dos factores condicionantes esenciales: el peso del *LMSS* y la estabilidad durante la operación de avance teniendo en cuenta el efecto de la acción del viento.

Debemos considerar también otro aspecto condicionante, dependiendo fuertemente del tipo de *LMSS*: el límite de deformación. De hecho, la deformación máxima aceptable para un *MSS* corriente – L/400 – puede representar valores superiores a 200 mm para un *LMSS*, pudiendo implicar problemas técnicos. Este tema será posteriormente tratado en este artículo.

Generalmente, en un *MSS* convencional (vanos de 40 a 60m) el peso del equipo no condiciona el cálculo del puente, lo que puede ser rigurosamente comprobado con cálculos específicos (HYO-GYOUNG et al. (2006)). Sin embargo, en vanos más grandes (70 a 90m) esto puede no suceder y depende del peso del *LMSS*.

El peso del *LMSS* está fuertemente influenciado por la localización de la junta de hormigonado del tablero. Tanto el puente sobre el Río Cabriel como el puente sobre el valle Hostovsky Creek se construyeron con juntas localizadas a L/4, y ambos tuvieron buenos resultados – con un peso desplazable de 770 tonf, y no se vieron condicionadas por la dimensión del tablero.

En lo que respecta la estabilidad del *LMSS* frente a la acción del viento durante la operación de avance, aunque la velocidad de viento admisible esté limitada en el Manual de Operaciones de los Equipos, en caso de que las frecuencias naturales de los modos fundamentales sean muy bajas, el estudio de estabilidad en avance utilizando las metodologías usuales puede no ser suficiente para garantizar la seguridad estructural y, por este motivo, se exige la realización de estudios específicos de mayor complejidad (eventualmente ensayos en túnel de viento).

Con base en una muestra de 16 modelos de *MSS* y *LMSS* de tipo superior (1 viga principal) e inferior (2 vigas principales), se han trazado curvas aproximadas de frecuencias naturales (modo de flexión transversal en la posición de balance máximo) para diferentes vanos – ver Figura 4. Dada la ausencia de soporte científico, el límite de la frecuencia más baja se ha establecido gracias a la experiencia. Hay diversos *MSS* referenciados por todo el mundo con frecuencias entre 0,2 Hz y 0,25 Hz (modo horizontal de flexión transversal).

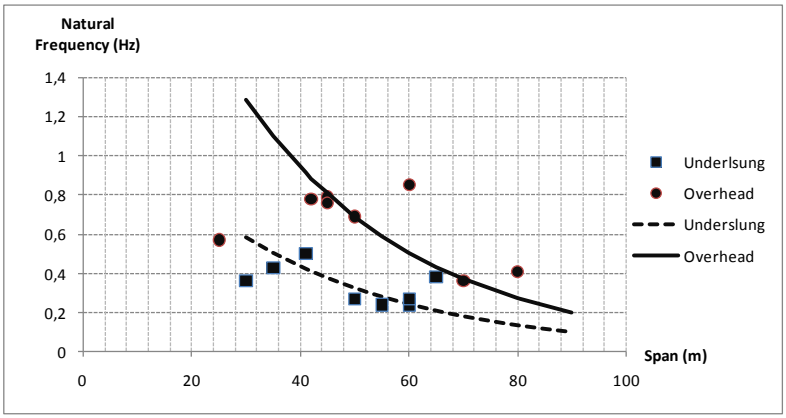

Figura 4: Frecuencias naturales del MSS (modo horizontal de flexión transversal) en la posición de balance máximo en el avance (PACHECO et al. 2011)

Así, en caso de utilización de un *LMSS* superior que cumpla satisfactoriamente los límites de peso establecidos en la Figura 4, el límite razonable del vano será aproximadamente de 90m.

En el caso de utilizar el *LMSS* inferior, el vano límite será seguramente más bajo. Esta diferencia se justifica por los *MSS* inferiores están compuestos usualmente por 2 vigas principales (que abrazan la pila) y por haber más restricciones geométricas (limitaciones de altura máxima y ancho máximo). En consecuencia, las vigas principales de los MSS inferiores son más esbeltas y llevan a frecuencias naturales de vibración más bajas.

4. Fuerzas horizontales introducidas en las pilas por el *LMSS*

Las acciones transmitidas a las pilas por el *LMSS* resultan esencialmente de las siguientes causas: (1) proyección horizontal de la reacción de apoyo del *LMSS* (apoyos deslizantes longitudinalmente inclinados); (2) efecto de rozamiento durante el avance; (3) acciones de frenado (durante el avance); (4) fuerzas en los puntos de reacción del sistema de locomoción; (5) desplazamientos impuestos por la dilatación térmica del tablero ya construido y del propio *LMSS*; (6) acciones introducidas por el viento (transversal y horizontal) y (7) fuerzas accidentales introducidas por el *LMSS*. Las acciones 6 y 7 serán discutidas en los puntos siguientes.

5. Acciones del Viento

Las acciones del viento en el *MSS* o *LMSS* son claramente distintas en las fases de avance del equipo y en fases en las que el equipo está inmóvil, ya que tienen en cuenta la duración de las fases/ operaciones y consecuente período de retorno adecuado.

Usualmente, las situaciones más críticas derivan de combinaciones de viento transversal con viento vertical durante las fases de avance. En el caso de *MSS* inferiores, puede ser relevante tener en cuenta fenómenos resultantes del hecho de que una extensión de la cimbra esté protegida por el tablero previamente construido mientras que el resto de la extensión se encuentre expuesta al viento.

Naturalmente, el viento longitudinal puede condicionar el cálculo de algunos componentes específicos (sistema de locomoción y frenados) y el análisis que de ahí resulta se resume a tareas de dimensionamiento corrientes.

En el caso de *MSS* corrientes, hay recomendaciones sustentables para velocidades de viento, de dimensionamiento y operación (CNC (2007)) (ver Tabla 1). Para los *LMSS* no hay documentación

normativa y no hay información estadística que permita fijar valores, dado que las pilas pueden ser particularmente altas. En todo caso, hay registros (derivados de los proyectos en los que los autores han estado involucrados) que confirman que los valores indicados para los *MSS* pueden no ser seguros en el caso de puentes con pilas altas, en cuya construcción los *LMSS* pueden ser potencialmente utilizados. En consecuencia, se recomienda un análisis caso a caso en el dimensionamiento del *LMSS*.

	Operación de Avance Velocidad media (km/h)	Operación de Avance Velocidad de pico (km/h)	Equipo Inmóvil Velocidad tormenta (km/h)
MSS (CNC (2007))	40	60	140 - 170

Tabla 1: Velocidades del viento de dimensionamiento de MSS

Resalta el hecho de que *LMSS* con frecuencias naturales inferiores a 0,2 Hz (modo horizontal de flexión transversal) durante el avance en la posición de balance máximo (o eventualmente con frecuencias bajas en otros modos de vibración), deben ser evaluados con metodologías adecuadas (eventualmente ensayos en túnel de viento).

6. Vibraciones de las pilas inducidas por el viento con eventual estabilización por el *MSS*

Corrientemente, los proyectistas de puentes llevan a cabo los estudios necesarios para evaluar el comportamiento dinámico del puente tanto en la fase de servicio como en la fase constructiva, considerando la estructura del puente de forma aislada. Sin embargo, hay una situación particular del proceso constructivo que no es necesariamente evidente para un proyectista con experiencia, ya que no se detecta en un modelo de cálculo del puente aislado y que asume una relevancia creciente en puentes con pilas altas, adecuadas a la utilización de *LMSS*.

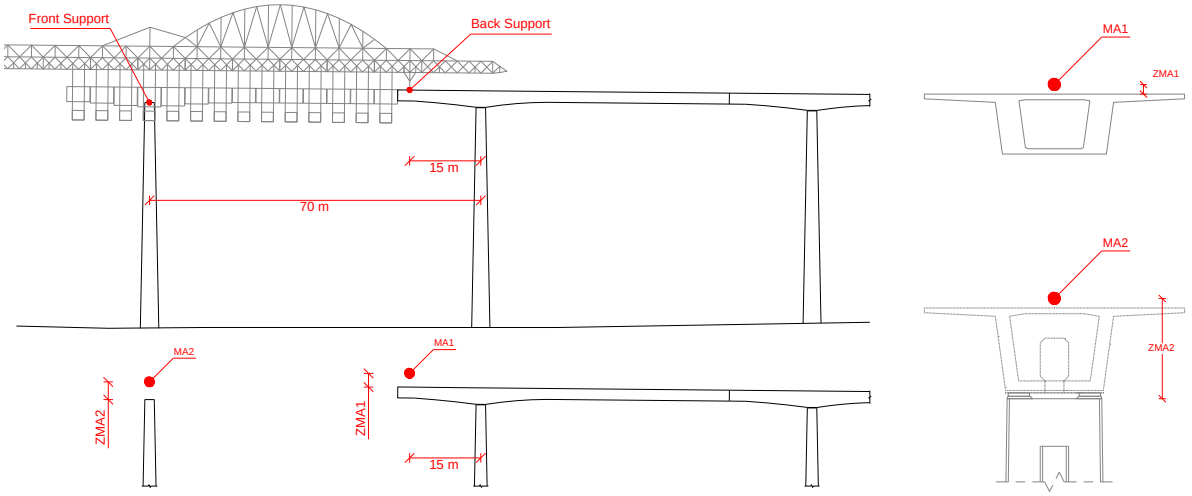

Figura 5: Localización de la masa del LMSS y del hormigón liquido durante la colocación de hormigón – puente del Río Cabriel

Durante la colocación de hormigón se asiste a un aumento significativo de la masa en la pila delantera, no acompañado por un aumento inmediato de rigidez (ya que el hormigón queda fluido). De hecho, el hormigón depositado en el encofrado del *MSS* o *LMSS* disminuye significativamente la frecuencia natural de la pila delantera (en el caso del Río Cabriel, la reducción fue de 0,49 a 0,34 Hz), debido a la existencia de una masa importante en la parte superior de la pila (ver masa MA2 en la Figura 5) sin el efecto de frenado conferido por la rigidez

del tablero. La inestabilidad por generación de vórtices y la inestabilidad aerodinámica galopante (VALTER (2009)) son dos fenómenos resonantes posibles, debido a la acción del viento.

En el puente sobre el Río Cabriel, el fenómeno potencialmente más relevante consistía en la oscilación inducida por generación de vórtices, asociada a una velocidad crítica del viento de 20,3 m/s, debido a la baja frecuencia natural de la vibración de la pila (0,34 Hz) (VALTER (2009)).

La velocidad crítica mencionada (muy baja) no es admisible y la interacción entre el proyectista del puente y el proyectista del *LMSS* (ha sido desarrollado un modelo de interacción) ha llevado a la adopción de medidas adicionales. Las conexiones entre el *LMSS* y el puente han sido estudiadas para garantizar un apoyo elástico en la parte superior de la pila (con una rigidez mínima de 33000 kN/m), que se ha traducido en un aumento de la velocidad crítica del viento para valores superiores al límite operacional en el hormigonado (25 m/s).

En aplicaciones con *LMSS*, este asunto en particular debe ser estudiado por el proyectista del puente, en especial en el caso de pilas altas.

7. Acciones accidentales inducidas en el puente por el *LMSS*

Un análisis (en el ámbito de la tesis de doctorado de uno de los autores, no publicada) de un registro de 47 accidentes e incidentes (en 4 continentes) con equipos de construcción de puentes (ECP) proporciona información relevante. Aunque en el estado presente solo haya evidencia de la causa del accidente en 36 % de los casos (causas de los accidentes firmemente identificadas – CAFI), es claramente evidente que la causa primordial de los accidentes es el factor de error humano (75 % de CAFI). Otro indicador importante es el fallo de componentes mecánicos fundamentales sin redundancia (cerca de 12 % de CAFI).

Las catástrofes naturales representan solamente 2 % de la totalidad de los accidentes registrados.

Esta información consolida la idea de que algunos errores humanos deben ser encarados como “acciones accidentales” y, probablemente, deben ser contemplados como tal en el dimensionamiento del ECP.

Resultan dos recomendaciones para los proyectistas de *LMSS*:

1. Los valores característicos de las variables relacionadas con tolerancias operacionales deben ser calculados teniendo en cuenta los límites del Manual de Operaciones multiplicados por un coeficiente parcial de seguridad;
2. Las uniones de elementos estructurales fundamentales que se hacen y deshacen en todos los ciclos deben tener redundancia.

Este estudio revela claramente que la mayoría de las situaciones accidentales son más relevantes para el dimensionamiento de los equipos que para el cálculo del puente. Sin embargo, hay por lo menos 2 situaciones accidentales a considerar en el dimensionamiento del puente:

1. Encastramiento del *LMSS* en las ruedas o en los dispositivos deslizantes;
2. Fuerza dinámica en los elementos de anclaje de los cables de los cabrestantes de locomoción, debido a la rotura o desprendimiento de uno de los cables.

La primera situación resulta típicamente de defectos geométricos en el carril de rodadura de las vigas principales de los *MSS* o *LMSS*. En caso de que haya escalones en las juntas entre carriles, y dependiendo de la magnitud del escalón, la fuerza de locomoción aumenta siempre que el

escalón entra en contacto con la rueda o dispositivo de desplazamiento, pudiendo sufrir un incremento hasta conseguir el límite de capacidad del sistema de locomoción. Si la anomalía es significativa y, en caso de que el sistema de locomoción esté holgado, la acción de encastramiento puede provocar desplazamientos horizontales muy significativos en la pila. Esta acción debe ser cuantificada por el proyectista del *LMSS*, teniendo en cuenta las tolerancias de fabricación de la estructura metálica (y la geometría real), la geometría de las ruedas, el dispositivo de rodamientos y la capacidad del sistema de locomoción, debiendo ser transmitida al proyectista del puente. Puede ser traducida a través de un "coeficiente de rozamiento accidental equivalente".

La segunda situación es exclusiva de los *LMSS* con locomoción promovida por cabestrantes, típicamente caracterizados porque están equipados con 2 cabestrantes de locomoción por una cuestión de redundancia. En caso de colapso de uno de los cabestrantes, el otro admite la fuerza del primero. Esta transferencia puede ser un fenómeno rápido, dando origen a una situación de amplificación dinámica.

Así, en caso de una fuerza de servicio en cada cabestrante de valor F (la fuerza global en los 2 cabestrantes es 2×F), los elementos estructurales a los que los cabestrantes están anclados deben ser dimensionados para una fuerza accidental de valor 3F = F × (1+ 1 × FAD), donde se considera un valor conservativo para el factor de amplificación dinámico (FAD = 2), válido en la ausencia de una evaluación más rigurosa.

8. Desplazamientos impuestos en los apoyos del *LMSS* por el gradiente térmico en el cierre del puente

Anteriormente, se ha hecho referencia a las acciones potencialmente inducidas por el *MSS* o *LMSS* en la pila debidas al efecto del gradiente térmico, en determinadas fases del proceso constructivo.

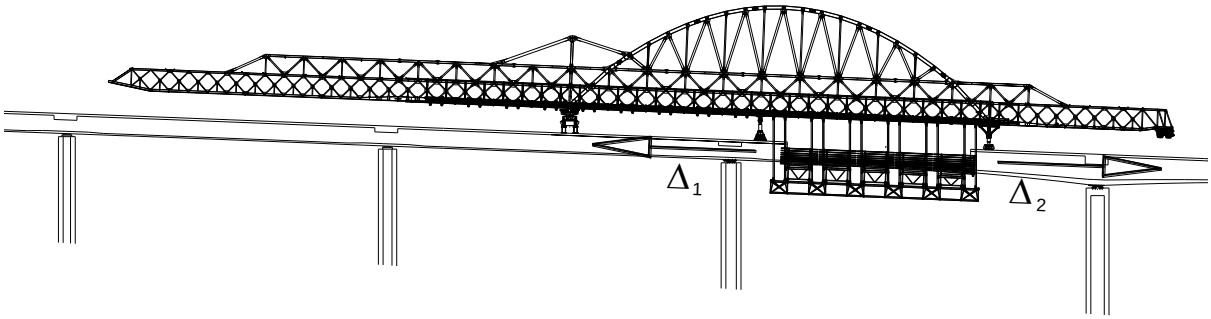

Figura 6: Imagen del cierre del puente sobre el valle Hostovsky Creek (PACHECO et al. 2011)

Durante la construcción del vano de cierre del puente, el *LMSS* está frecuentemente sobre dos apoyos con movimientos independientes (Δ1 y Δ2). El cierre puede ocurrir en la proximidad de un encuentro, donde el desplazamiento Δ1 es casi nulo - lo cual puede ocurrir en medio del puente - y es necesario evaluar ambos desplazamientos. Los desplazamientos impuestos pueden inducir esfuerzos internos significativos en la estructura del *LMSS*, si no son adoptadas medidas adecuadas. En puentes largos, esta acción debe ser evaluada por el proyectista del puente que deberá transmitir la información relevante al proyectista del *LMSS*. Como referido anteriormente, la solución pasa generalmente por un detalle adecuado de los apoyos del *LMSS*.

En la Figura 6 se representa la situación de cierre del puente sobre el valle Hostovsky Creek. Los desplazamientos impuestos al *LMSS* se presentan en la imagen. En este puente, han sido concebidos apoyos deslizantes específicos para el apoyo del *LMSS* en el hormigonado del cierre.

9. Control de deformaciones

La práctica en la especificación de estructuras de cimbra es limitar su deformación máxima a (L / 400 (V. DE CARVALHO (2008)); siendo L el vano del puente). En aplicaciones con *LMSS*, este límite debe ser más restrictivo ya que la deformación puede implicar problemas estructurales en el tablero durante la aplicación del pretensado (V. DE CARVALHO (2008)) y también debido a la posibilidad de ocurrencia de dificultades operacionales, así como problemas relacionados con el decimbrado del *LMSS* tras la aplicación de pretensado y problemas relacionados con la afinación del encofrado.

Adicionalmente, las tolerancias geométricas para la construcción del puente son valores absolutos (CEN (2009)), lo que representa valores relativos muy reducidos para la gama de vanos de los *LMSS* (entre L / 3500 y L / 4500). De acuerdo con la experiencia, con la utilización de *LMSS* se alcanzan buenos resultados cuando la deformación a medio-vano esté limitada a L / 1000.

Una solución con eficacia probada en la reducción de deformaciones de *MSS* y *LMSS* consiste en la aplicación de pretensado orgánico (*Organic Prestressing System*) (PACHECO et al. (2007)).

En los ejemplos presentados - el puente del Río Cabriel y el puente sobre el valle Hostovsky Creek – en los cuales se ha utilizado un *LMSS* superior con una viga principal arqueada reforzada con *OPS*, la deformación máxima registrada a medio vano durante la colocación de hormigón fue claramente inferior a L / 2000.

10. Conclusiones

Las principales conclusiones se presentan en las tablas 2 y 3.

1	Vano límite (en la fecha) para aplicación de *LMSS*: 90 m
2	Localización de las juntas: a L/4 del pilar
3	Trazado de pretensado: solución clásica de la construcción vano a vano
4	Consideración de fuerzas horizontales en los pilares frontales: (1) Proyección horizontal de la reacción de apoyo de lo *LMSS*; (2) Fricción de deslizamiento del *LMSS*; (3) Fuerza de frenado; (4) Fuerzas de locomoción en los puntos de reacción; (5) Gradiente térmico; (6) Acción del viento sobre el *LMSS* y (7) Acciones accidentales inducidas por el *LMSS*
5	Consideración de combinaciones adecuadas de acciones verticales y horizontales, reflejando el funcionamiento del *LMSS*
6	Eventual consideración de oscilaciones inducidas por la acción del viento en las pilas, eventual necesidad de frenado de la pila por parte del *LMSS*
7	Consideración de las acciones accidentales inducidas por el *LMSS* en el tablero

Tabla 2: Recomendaciones de Proyecto de Puentes (con LMSS)

1	Mínima Frecuencia Natural (modo horizontal de flexión transversal): 0,2 Hz a 0,25 Hz
2	Límite de peso viajante del *LMSS* dado aproximadamente por (0,75 × L) × B (peso en ton, L es el vano del puente en m y B el ancho del tablero en m)
3	Valor recomendado para la fricción de rodamiento: 2% a 5% (utilización de ruedas o *rollers*)
4	Sistema de frenado hidráulico que garantice un frenado “suave”
5	Eventual consideración de velocidades de viento más elevadas en el dimensionamiento del *LMSS* – se recomienda un análisis caso a caso
6	Consideración en el *LMSS* de los desplazamientos inducidos por acción térmica (esencialmente en los vanos de cierre)
7	Máxima deformación a medio vano de L / 1000 (con la totalidad del peso del hormigón)
8	Td = To × Φ (siendo Td las tolerancias de cálculo de proyecto, To las tolerancias indicadas en el Manual de Operaciones y Φ un factor de seguridad)
9	Prever redundancia en las uniones estructurales fundamentales hechas y deshechas en todos los ciclos

Tabla 3: Recomendaciones de Proyecto del LMSS

En caso de que se sigan estas recomendaciones (o similares), la construcción vano a vano de puentes con vanos largos entre 70m y 90m utilizando *LMSS* puede constituir una alternativa muy económica, segura y rápida, como documentan los casos de éxito de construcción de los puentes sobre el Río Cabriel y sobre el valle Hostovsky Creek.

11. Agradecimientos

Los autores agradecen a toda el equipa de BERD que ha trabajado en los proyectos mencionados, a Valter y a SHP (proyectistas de los puentes), a Construgomes (responsable de la operación de los *MSS*), a DOKA (proveedor de encofrado), a QREN (apoyo ID) y a PAVASAL y EUROVIA (constructoras de los puentes).

12. Referencias

[1] MORIM, M. Estudo do tabuleiro de um viaduto de betão pré-esforçado construído tramo a tramo com vãos de 90 m, Tesis de Máster, FEUP, 2008.

[2] MATHIVAT J. Construccion de puentes de hormigón pretensado por voladizos sucesivos, 1ª Edición Española, EDT, S. A., 1980.

[3] EURONORM. 12811-12: Temporary Works equipment – Part 1: Scaffolds, 2003

[4] EUROCODE 1. Actions on structures – Part 3: Actions induced by cranes and machinery, 2005.

[5] AFONSO B. Equipamentos móveis para execução de pontes, Tesis de Máster, IST 2007.

[6] CONFEDERACIÓN NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN (CNC). Manual de cimbras autolanzables, en Español, 1ª ed., CNC, 2007.

[7] HYO-GYOUNG KWAK, JE-KUK S. Determination of design moments in bridges constructed with a movable scaffolding system (*MSS*), in Elsevier, Computers and Structures, Nº 84, 2006, pp. 2141–2150(10).

[8] VALTER, VÁSQUEZ, J., DOMÍNGUEZ SANTANA, B. Viaducto Río Cabriel - Análisis Dinámico Pilas, Ponencia, Nº 074.08.P23/IN-005.2, PAVASAL, 2009.

[9] VASCO DE CARVALHO, D. Estudo da fase de aplicação de pré-esforço em tabuleiros de pontes construídos tramo a tramo, Tesis de Máster, FEUP, 2008.

[10] CEN. BS EN 13670: Execution of concrete structures, 2009.

[11] PACHECO, P., GUERRA, A., BORGES, P., COELHO, H. A scaffolding system strengthened with organic prestressing – the first of a new generation of structures, in Structural Engineering International, journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 17, Nº 4, pp. 314-321(8), 2007.

[12] PACHECO, H. COELHO, BORGES, P., GUERRA, A.,"Technical Challenges of Large Movable Scaffolding Systems", Structural Engineering International, Vol. 21, Number 4 . pp. 450-455, 2011.