

Particularidades de la ejecución del tramo atirantado del nuevo puente de Pumarejo

Execution particularities of the of the cable stayed section of the new Pumarejo bridge

David Ruiz Melo^{*, a}, Rüdiger Spengler^b

^a Ingeniero Civil, Especialista en estructuras (mdavidruiz@gmail.com). Universidad Nacional de Colombia. Especialista estructural Consorcio SES.

^b Ingeniero Civil. Universidad RWTH Alemania (rspengler@sacyr.com). Responsable departamento de Estructuras Obra Civil en SACYR

RESUMEN

El nuevo puente Pumarejo, construido en la ciudad de Barranquilla (Colombia) entre Agosto de 2015 y Diciembre de 2019, consta de un vano principal atirantado de 380m de luz, una longitud total entre estribos de 2173m y un ancho de tablero variable entre 35.10 y 38.10m convirtiéndose en el puente con el segundo tablero más ancho y el mayor vano atirantado de Colombia. Este artículo resume los aspectos más relevantes de la construcción del tramo atirantado, el cual consta de un vano principal de 380m y 2 vanos de retenida en ambos costados de 140m y 70m.

ABSTRACT

The new Pumarejo bridge, built in the city of Barranquilla (Colombia) between August 2015 and December 2019, consists of a main span of 380m, a total length between abutments of 2173m and a variable deck width between 35.10 and 38,10m becoming the second widest deck bridge and the longest cable stayed span of Colombia. This article summarizes the most relevant aspects of the construction of the cable stayed section, which consists of a main span of 380m length and 2 retention spans to both sides of 140m and 70m.

PALABRAS CLAVE: Puente, atirantado, carros de avance, Barranquilla.

KEYWORDS: Bridge, cable stayed, form travellers, Barranquilla

1. Introducción

El nuevo Puente Pumarejo construido en la ciudad de Barranquilla, Colombia, cruza el río Magdalena a 20 km de su desembocadura al mar Caribe y conecta los departamentos de Magdalena y Atlántico. Su ejecución se inició en el mes de agosto de 2015 y finalizó en diciembre de 2019.

El antiguo puente fue ejecutado en 1974 por las constructoras Cuellar Serrano Gomez y Lodigiani, y fue diseñado por el ingeniero

italiano Ricardo Morandi. El nuevo puente logra aumentar el galibo del cruce sobre el canal navegable permitiendo el paso de embarcaciones de mayor envergadura y ampliando la calzada vehicular de 1 a 3 carriles por sentido y el paso peatonal de 1 metro a 3.20m de ancho.

El puente consta de un vano principal atirantado de 380 metros ejecutado con carros de avance, y viaductos de acceso con luces de 70 metros

ejecutados mediante autocimbra. Los carros de avance y la autocimbra ejecutaban secciones vaciadas in situ de 16m de ancho y de la misma manera mediante carros de alas se ejecutaban los volados laterales llevando la sección a su ancho total, variable entre 35.10 y 38.10 metros.

2. Método constructivo del tramo atirantado

Tras evaluar en la fase de pre-construcción distintas opciones de solución para la ejecución de las dovelas, incluyendo alternativas con carros de avance inferior, con dovelas desde 5 metros de longitud y carros de alas superiores, finalmente se optó por la solución de mayores rendimientos esperados y menor interferencia con el sistema de tirantes y pilas de retenida. De esta manera se decidió como solución final el empleo de carros de avance superiores de notables dimensiones, que ejecutaban tramos de 10 metros de longitud vaciados in situ, con pesos de dovelas entre 370 y 510 toneladas para los 16 metros de ancho de la sección central.

Los carros de avance ejecutaban secciones de 16 metros de ancho, que se ampliaban a 38.1m mediante carros de alas de avance inferior, los cuales ejecutaban tramos de hasta 10 metros de longitud con pesos de tramo ejecutado de 200 toneladas en promedio. Estos carros debían ir retrasados por 3 dovelas con respecto al frente de avance, acorde al proceso constructivo definido en los diseños, evitando de paso interferencias con los medios de fijación de los carros de avance.

El ciclo de ejecución de las dovelas, que en promedio tardaba entre 12 y 15 días, se regía principalmente por la siguiente secuencia, que buscaba minimizar el desequilibrio entre voladizos de retenida y suspensión:

- Hormigonado de la sección U de la dovela del lado de suspensión.
- Hormigonado de la sección U de la dovela del lado de retenida.
- Hormigonado de la losa de la dovela de suspensión.



- Hormigonado de la losa de la dovela del lado de retenida.
- Hormigonado de las alas laterales de la dovela de suspensión (con un retraso de 3 dovelas del frente de ejecución)
- Hormigonado de las alas laterales de la dovela de retenida (con un retraso de 3 dovelas del frente de ejecución) y tesado de costillas transversales.
- Instalación y tesado de la pareja de tirantes del lado de suspensión
- Instalación y tesado de la pareja de tirantes del lado de retenida.
- Avance de carros de sección central.
- Avance de carros de alas.

Tras cada una de las fases de ejecución mencionadas, se tomaban datos topográficos en cada junta de dovela, lo que permitió llevar un exhaustivo control geométrico, tanto de la sección central como de las alas laterales.

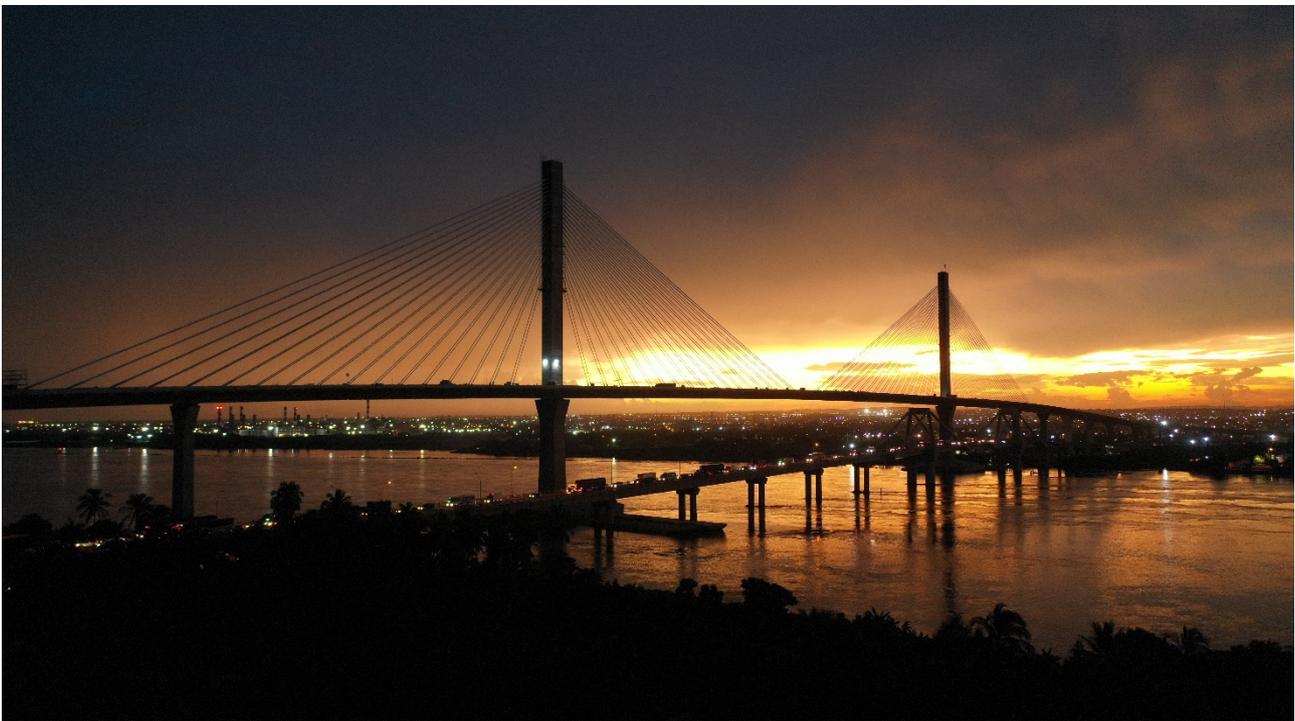
3. Particularidades durante la ejecución

3.1 Control geométrico del tablero e instrumentación

Tras cada una de las fases tanto en balance como en desbalance, se realizaban levantamientos topográficos de los puntos de control del tablero y de pilonos, que permitían llevar un estricto control de deformaciones y contraflechas.

Estos datos se apoyaban por un sistema de GPS de precisión instalados en las estructuras principales de los carros de avance, los cuales permitían constatar las deformaciones propias de los carros de avance y las mediciones realizadas por la topografía.

Adicionalmente, el sistema que arrojaba lecturas de coordenadas cada 30 minutos, permitió conocer los desplazamientos por temperatura en



las fases de mayor influencia, y obtener medidas a tiempo real de los movimientos inducidos durante la instalación y tesado de los tirantes. Se

conocían también los movimientos reales en los extremos de voladizos durante cada una de las etapas de vaciado de dovelas.



Figura 3. Carro de avance y carro de alas pilono 14

Sobre uno de los torones, en 44 de los 136 tirantes del tablero (internados en uno de los tirantes impares), se instalaron celdas de carga que permitieron llevar un control detallado de las fuerzas de tesado y su evolución durante la ejecución. Estos datos se reportaban cada 30 minutos, con lo cual se permitía prácticamente a tiempo real, verificar el adecuado comportamiento de la estructura y su sistema de tirantes, o en su defecto detectar los posibles comportamientos anómalos del sistema en ejecución.



Figura 4. Carro de avance y carro de alas pilono 13

3.2 Destesado de tirantes durante construcción.

Dentro del proceso constructivo diseñado, se planteaba la necesidad de realizar durante una

serie de fases intermedias de ejecución, el destesado de los tirantes de retenida 12, 14, 15 y 16. Se trataba de tirantes que tenían entre 75 y 88 cordones, trabajando a fuerzas cercanas a los 150 kN por cordón previamente al ajuste de fuerza. La mayor de las fuerzas, se presentó en el tirante TRE-14 con una magnitud de 12995 kN, la cual debía descenderse hasta 6580 kN acorde a lo estipulado en el diseño.

Para tal tarea, se ingresaron por primera vez al país los gatos de tesado de mayor dimensión que se hubiesen utilizado en puentes en Colombia, con capacidad de tesar a cargas de hasta 16000 kN.



Figura 5. Gatos SCJ-16000 y mesas de destesado

La solución planteada consistía en instalar los tirantes correspondientes sobre un conjunto de calzos de 3.2cm de espesor (cantidad variable entre 13 y 22), apoyar la placa de anclaje sobre los mismos y retirar con la mesa de destesado instalada los calzos de cada tirante de la pareja de manera prácticamente simultánea en una fase posterior. Finalmente, tras el retiro de los calzos, el anclaje apoyaba sobre la placa de reparto definitiva, las cuñas seguían mordiendo en el

mismo sitio y el tirante se había acortado en distancias de hasta 70 cm (en tirante TRE-16).

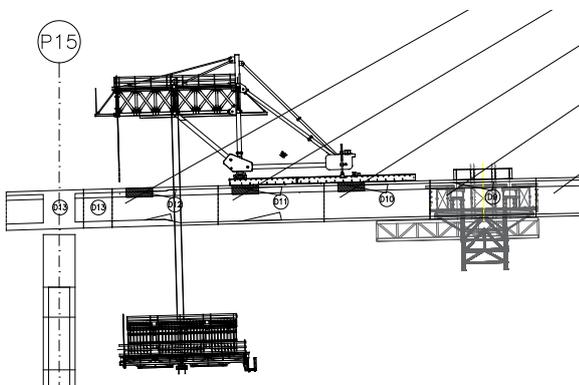
Tras finalizar el retiro de calzos, se retiraban las mesas y gatos múltiples, y se ajustaba la fuerza del tirante al valor objetivo definido previamente en los planos de construcción, mediante los habituales gatos unitarios.

Durante las operaciones de destesado se controlaban también fuerzas de los tirantes aledaños con las celdas de carga instrumentadas. En todos los casos se evidenciaron fuerzas muy cercanas a las esperadas en los planos y documentos de diseño.

3.3 Flanqueo de estructuras auxiliares.

Como consecuencia del sistema constructivo adoptado, se presentaron problemas de ejecución para las dovelas sobre las pilas de retenida en cada costado del vano principal.

Al tratarse de un sistema con dovelas vaciadas en sitio, se requirió la ejecución previa de las dovelas sobre las pilas de retenida, denominadas como DR-13 (En pilas 12 y 15), y tras su conexión con el tramo atirantado, se debieron descender, trasladar en el suelo las plataformas inferiores de los carros de avance en las dovelas DR-12 para izarlas y continuar posteriormente con la ejecución de las dovelas DR-14.



De la misma manera, tras completar las alas laterales de las dovelas DR-12, el carro de alas ejecutaba una fase de 5 metros correspondiente a las alas de la dovela DR-13, luego se retrocedía y se descendía para trasladarse al otro costado de la pila de retenida. La estructura como tal pesaba cerca de 120 toneladas, lo que hacía su traslado una delicada operación para la cual se emplearon sistemas de strand jacks, que computarizaban las reacciones de los gatos de descenso y ascenso de la estructura completa. Una vez se trasladaba, se retrocedía para ejecutar los 5 metros restantes de las alas de la dovela DR13, y se continuaba con su ciclo tipo.



3.4 Ejecución dovelas de cierre

Para la ejecución del tablero atirantado, el proyecto contemplaba la ejecución de 5 sitios de cierre, 2 contra secciones de dovelas vaciadas previamente en las pilas de retenida (Dovelas DR-13.2), 2 con los viaductos de acceso ejecutados previamente con la autocimbra (Dovelas DR18.2) y 1 en el vano principal, al conectar los voladizos este y oeste (Dovela DS-18.2).

La ejecución de las dovelas de cierre, se veía afectada por los movimientos que las presiones de viento ejercían sobre las caras de los pilonos y la sección de tablero. Predominantemente la dirección del viento en la ciudad de Barranquilla es en sentido Sur-Oeste en las épocas de mayores velocidades, lo que en algunos casos no favorecía

a los movimientos observados previamente al cierre.

Adicional a ello se contemplaban movimientos por gradientes térmicos y variaciones de temperatura uniforme en los extremos de los voladizos antes de cierre del orden de 5-10 cm.

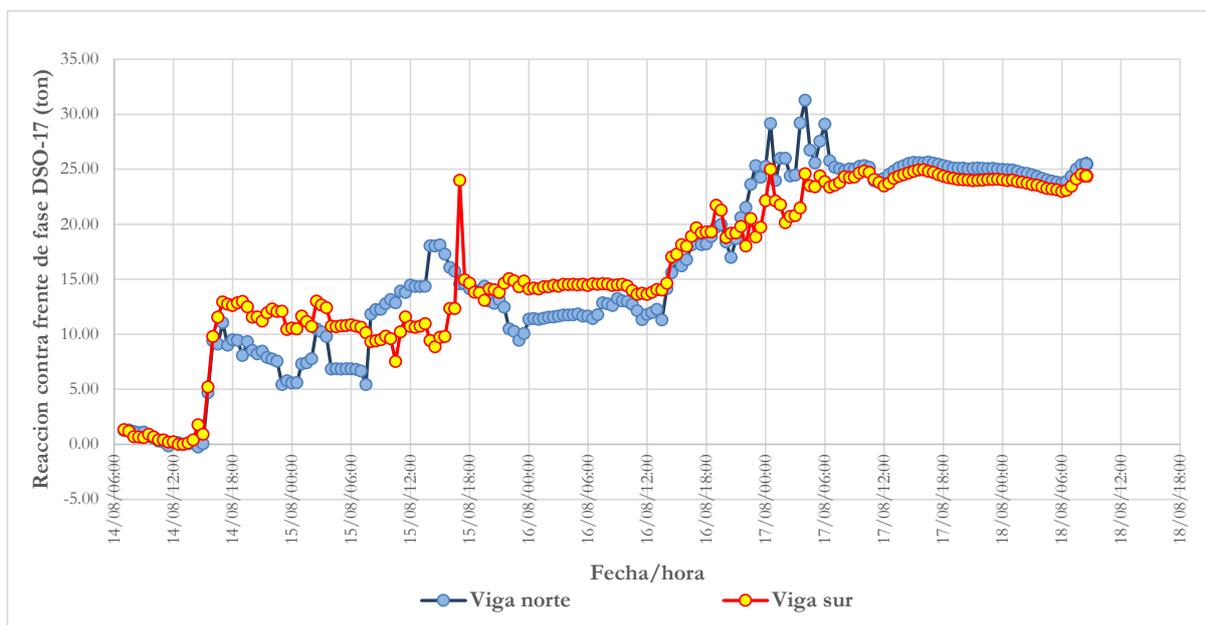
Para sortear los efectos eólicos y térmicos mencionados, se planteó un sistema de 2 vigas de continuidad, que se anclaban al extremo del voladizo en ejecución y mediante la disposición de contrapesos en el mismo, se aseguraba el contacto y reacción mínima de cada una de ellas contra la dovela o vano con el cual se conectaba. El sistema propuesto contemplaba la instalación de extensómetros a cuerda vibrante, soldados a los patines inferior y superior de cada una de las dos vigas, con los cuales se conocía el esfuerzo actuante en la sección instrumentada, y se traducía a valores de reacción en los extremos de las vigas.

Durante las operaciones de cierre, se seguía siempre una secuencia de actividades contemplada en el diseño, y se controlaban los valores máximos y mínimos de reacción que podían soportar las vigas.



Figura 8. Vigas de continuidad en cierre vano principal

En la Figura 9 se presentan las reacciones obtenidas para el cierre del tramo central atirantado, las cuales llegaron a un valor pico de 30 ton por viga y tras el hormigonado de la dovela de cierre, se mantuvieron del orden de 25 ton.



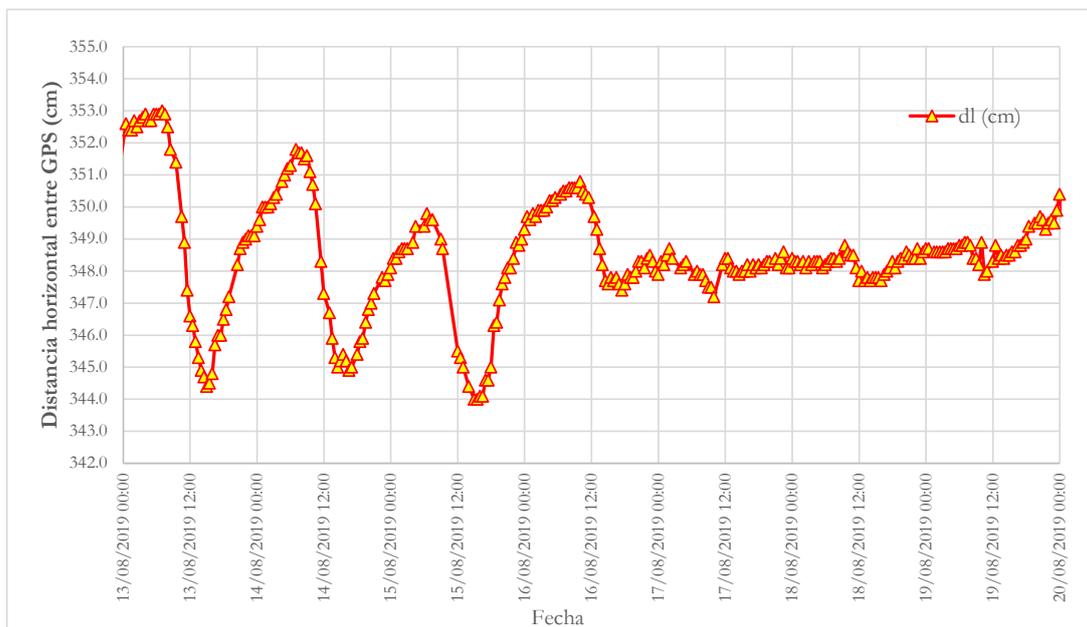
El diseño de las vigas permitía reacciones máximas de hasta 75 t, sin embargo, durante las operaciones de cierre la mayor reacción registrada solo llegó a un valor del orden de 50 t en el cierre contra los viaductos de acceso.

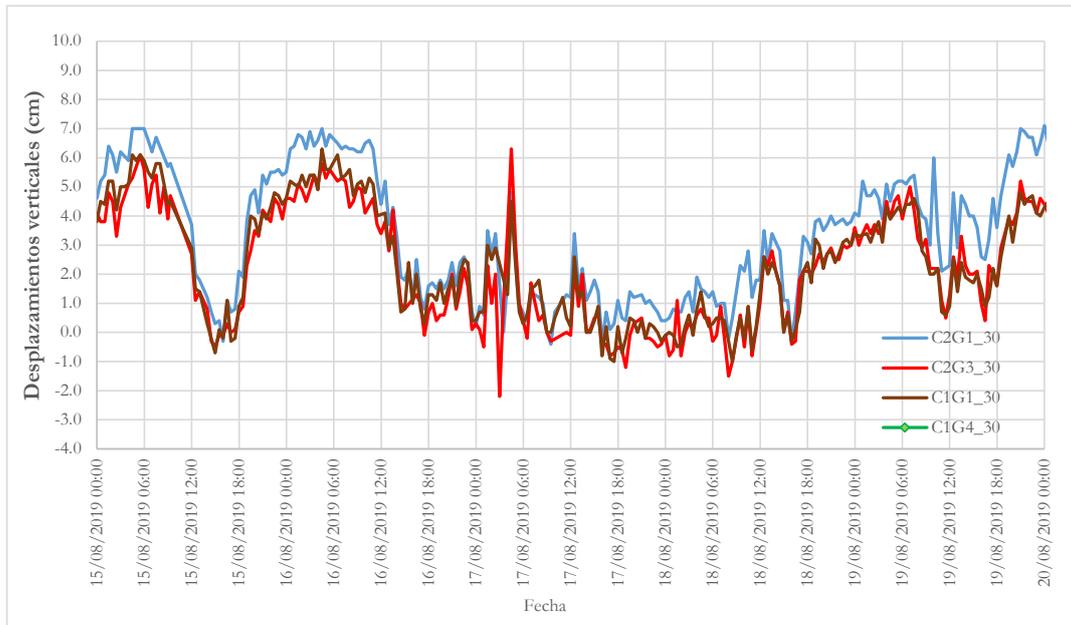
Para el cierre del tramo central, se tuvieron en cuenta las lecturas de los GPS instalados en los carros de avance, lo cual permitió controlar los movimientos térmicos que se tenían antes y después de conectar los voladizos con las vigas de continuidad, no solo en elevación, sino

también en distancia horizontal, verificando la adecuada conexión de las vigas de continuidad antes, durante y después del hormigonado del cierre.

En la Figura 10 se presenta la distancia horizontal entre el GPS del carro de avance oeste y el del carro este, en días antes y después del vaciado de la dovela de cierre (16/08/2019). Se observa como tras la fijación del sistema de continuidad, los movimientos horizontales se redujeron drásticamente, garantizando que el sistema evitara el traslado de esfuerzos nocivos a la sección de concreto fresco.

En la Figura 11 se presentan las variaciones de elevación de los 4 GPS conectados, antes durante y después del hormigonado, el cual se inició hacia las 23:00 del 16 de agosto de 2019 y finalizó hacia las 06:00 del día siguiente. El valor cero corresponde a una lectura de las 09:00 am del día 17. De los movimientos reportados se estableció una variación de elevaciones por efectos de gradientes térmicos y cambios de temperatura uniforme en tirantes y estructura, del orden de +/- 4 cm., sin los movimientos similares en los voladizos este y oeste.





3.5 Sistema provisional de empotramiento

El sistema de apoyo proyectado para al tablero atirantado sobre los pilonos, corresponde a apoyos esféricos de 35000 kN de carga máxima en condiciones de servicio, el cual permite los giros de la sección en sentido longitudinal y cierto grado de desplazamientos cortos. El sistema se acompaña de apoyos contra el levantamiento, y apoyos contra movimientos transversales y longitudinales.

Esta condición de apoyo no es estable por si sola para las primeras fases de ejecución del tablero, por lo cual se proyectó un sistema de fijación provisional, con un conjunto de 16 cables de 37 cordones tesados a aproximadamente 195 kN cada uno, que comprimirían la sección de dovela sobre pila contra el cabecero del pilono con una fuerza total estimada de 105000 kN. La dovela sobre pila y el cabecero del pilono se encontraban conectados mediante secciones de concreto reforzado a manera de apoyos provisionales, los cuales tras la eliminación de la fuerza en los cables fueron cortados mediante sistema de hilo diamantado.



Figura 12. Pilono 13 tras eliminación del sistema de fijación provisional

- Montaje carros de avance con el arriostamiento entre carros (“Cross member”)

- Ejecución sección U de dovela de suspensión cero
- Ejecución sección U de dovela de retenida cero
- Ejecución losa de dovela de suspensión cero
- Ejecución losa de dovela de retenida cero
- Desmontaje del “Cross member” y avance carros a posición de ejecución de dovela 1.
- Ejecución sección U de dovela 1 de suspensión
- Ejecución sección U de dovela 1 de retenida
- Ejecución losa de dovela 1 de suspensión
- Ejecución losa de dovela 1 de retenida
- Primer tesado de tirantes de suspensión 1
- Primer tesado de tirantes de retenida 1.
- Eliminación de cables y apoyos provisionales
- Segundo tesado de tirantes de suspensión 1
- Segundo tesado de tirantes de retenida 1

Tras el retiro de los apoyos, el tablero comenzó a trabajar bajo su condición final de apoyo en los pilonos, permitiendo los giros acorde a cada una de las etapas de construcción.

Agradecimientos

Durante la ejecución del nuevo Puente Pumarejo, fueron cientos de personas y empresas las que intervinieron en un sinnúmero de actividades que se ejecutaron desde sus etapas de pilotaje, a las cuales se debe la culminación de este singular proyecto que enmarca la ingeniería de puentes en Colombia.

En particular, se resalta el trabajo y apoyo de las empresas VSL (Barcelona) quienes realizaron el sistema de atirantamiento del tablero y ConstruGomes en Portugal, que desarrollaron y fabricaron las soluciones de carros de avance y de alas para el tramo atirantado.