

Nuevo Puente de Pumarejo en Barranquilla (Colombia). Aspectos relevantes de su proceso constructivo

New Pumarejo Bridge in Barranquilla (Colombia). Remarkable features of the construction process

Francisco Millanes Mato ^a, Miguel Ortega Cornejo ^b, Fernando Ruano Parra ^c, Jokin Ugarte González ^d, Rudiger Spengler ^e, David Ruiz ^f

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Presidente. IDEAM, S.A. francisco.millanes@ideam.es

^b Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Director de Ingeniería. IDEAM, S.A. miguel.ortega@ideam.es

^c Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyectos. IDEAM, S.A. fernando.ruano@ideam.es

^d Máster Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe de Proyectos. IDEAM, S.A. jokin.ugarte@ideam.es

^e Ingeniero Civil. Universidad RWTH Alemania. Responsable depart. de Estructuras Obra Civil en SACYR. rspengler@sacyr.com

^f Ingeniero Civil, Espec. en estructuras. Universidad Nac. de Colombia. Espec. estruct. Consorcio SES. dmelo@consorcioses.com

RESUMEN

El Nuevo Puente de Pumarejo en Barranquilla recientemente construido ha sido una de las obras más relevantes de Sudamérica. Aparte de su tramo central atirantado, con un vano central de 380m de luz, el puente consta de sendos viaductos de acceso de 618m y 755m de longitud respectivamente, resueltos por medio de una estructura continua con vanos tipo de 70m de luz. Su imponente tablero de hormigón, con grandes voladizos laterales apuntalados con jabalcones prefabricados para alcanzar un ancho variable entre 35,1m y 41m, ha requerido el empleo de medios auxiliares constructivos (autocimbra, carros de avance y de alas) fuera del orden de magnitud habitual.

ABSTRACT

The recently built New Pumarejo Bridge in Barranquilla has been one of the most outstanding construction works in South America over the last few years. Besides the main central cable-stayed zone, with a main central span 380m long, the bridge comprises two approach viaducts, with a length of 618m and 755m respectively, which are made up of a continuous structure with typical spans 70m long. Its extraordinary concrete deck, consisting of a central concrete box with large lateral wings propped by inclined struts to attain a variable important width (35,1m-41m), has required exceptional temporary construction equipment such as movable scaffolding system or cantilever construction travellers.

PALABRAS CLAVE: atirantado, autocimbra, voladizos sucesivos, cajón pretensado

KEYWORDS: cable-stayed bridge, movable scaffolding system, balanced cantilever, prestressed box.

1. Introducción

Situado a unos 12 km de la desembocadura del río Magdalena, y a escasos 30 m aguas abajo del actual puente (Figura 1), el Nuevo Puente de

Pumarejo satisface un doble propósito presente desde hace años en los planes de desarrollo nacionales de Colombia: por un lado la mejora

de la comunicación entre Barranquilla y Santa Marta mediante la ampliación de la capacidad vial entre ambas ciudades; por otro, la habilitación del río Magdalena para la circulación fluvial de buques de gran calado merced a la eliminación del puente actual de Pumarejo, principal obstáculo existente para el tráfico naviero. La consecución de este segundo objetivo hará del río Magdalena, si no la principal, sí una de las más importantes vías de comunicación de Colombia al hacer accesible su interior a embarcaciones de gran capacidad procedentes del Caribe y del norte del país.



Figura 1. Puente Pumarejo junto al existente

En consecuencia, la fisionomía de la nueva estructura ha estado esencialmente determinada tanto por los requisitos geométricos exigidos por los referidos objetivos, como por la dificultad que ya de por sí conlleva el franquear un río de las dimensiones del Magdalena. Así, la plataforma ha ampliado notablemente la capacidad del puente preexistente, con dos carriles, pudiendo albergar hasta seis carriles con dos ciclorutas laterales que permitirán satisfacer las estimaciones actuales de crecimiento del tráfico. Esto da lugar a un ancho del tablero extraordinario, variando desde los 35.1 m hasta los casi 40 m en ciertas zonas, dimensiones que aún no habían sido alcanzadas por ninguna otra estructura en Colombia. Asimismo, la ventana de paso requerida para los buques de gran calado que fueron previstos por la administración colombiana, ha supuesto la disposición de un vano central con un gálibo vertical de unos 40 m y una distancia transversal libre de unos 300 m.

Con el objeto de que la rasante adquiriera esta altura sobre el futuro canal de navegación, se ha debido dotar a la estructura de una gran longitud a fin de cumplir las pendientes máximas prescritas por la normativa de trazado. A esto se une la condición adicional establecida por la administración de situar los estribos del puente fuera de la zona potencialmente inundable, por lo que la extensión final del viaducto resulta ser de unos 2173 m divididos en tres tramos: 618 m de accesos desde la margen izquierda; un tramo central atirantado de 800 m; y los accesos en la margen derecha de unos 755 m.

Para la ejecución de esta imponente obra resultó adjudicatario el Consorcio SES, liderado por SACYR, que estimó llevar a cabo una modificación del proyecto original [1] del consorcio Ecopuentes con el fin de adecuarlo a los hábitos constructivos del país. El cambio fundamental ha afectado principalmente al proceso constructivo del tablero, optando por la ejecución del cajón de hormigón "in situ" con autocimbra, en lugar de la solución del proyecto original consistente en la utilización de dovelas prefabricadas que se montaban vano a vano. Esta modificación de proceso constructivo ha tenido una gran incidencia tanto en la concepción estructural del tablero como en los detalles, lo que ha obligado a la redacción de un proyecto específico cuyo desarrollo y seguimiento ha sido realizado por IDEAM para el consorcio SES.

Como ya se ha apuntado, las exigencias funcionales del nuevo proyecto demandan la demolición de la estructura existente, auténtico icono de la ciudad de Barranquilla y de Colombia que fue diseñado por el insigne ingeniero italiano Morandi. En cierta manera, el nuevo viaducto recibe en herencia de su predecesor también este carácter simbólico y representativo, lo que hace de la ejecución de esta obra no sólo un puente que se construye, sino también, un monumento que se erige.

2. Descripción general de la estructura

La nueva estructura se sitúa a escasos 30 m del puente que ha sustituido, en una bifurcación localizada del Magdalena, en la que el río se abre en dos brazos rodeando una isla sedimentaria central (isla Rondón) (Figura 2). Este enclave presenta ciertas ventajas que probablemente motivaron el emplazamiento del antiguo puente, como la posibilidad de disponer algunas pilas en la zona de la isla, o la menor profundidad relativa del brazo derecho del río.

El brazo izquierdo constituye el lugar idóneo para la ubicación del canal de navegación ya que, merced a su mayor profundidad, permite el paso de embarcaciones de gran calado. Sobre él vuela el tramo atirantado del puente que, con un vano central de 380 m y sendos vanos laterales de 140 m, alcanza una longitud total de 800 m. Los vanos de transición entre la zona atirantada y los viaductos de acceso mantienen la configuración tipo de 70 m de los vanos de acceso. Por lo tanto, el puente atirantado presenta una configuración simétrica respecto al centro del vano principal, componiéndose por

un total de cinco vanos de 70m+140m+380m+140m+70m (Figura 3 y 4).

El sistema de suspensión del vano principal tiene una configuración en semi-abanico simétrica respecto al eje de los pilonos. Está formado por un único plano de atirantamiento situado en el eje del tablero, compuesto por 17 parejas de tirantes de suspensión y otros tantos de retenida desde cada uno de los pilonos. Los tirantes se anclan en el punto medio de la sección transversal del tablero, manteniendo una separación longitudinal constante de 10 m entre parejas



Figura 2 Vista aérea del emplazamiento del Nuevo Puente de Pumarejo

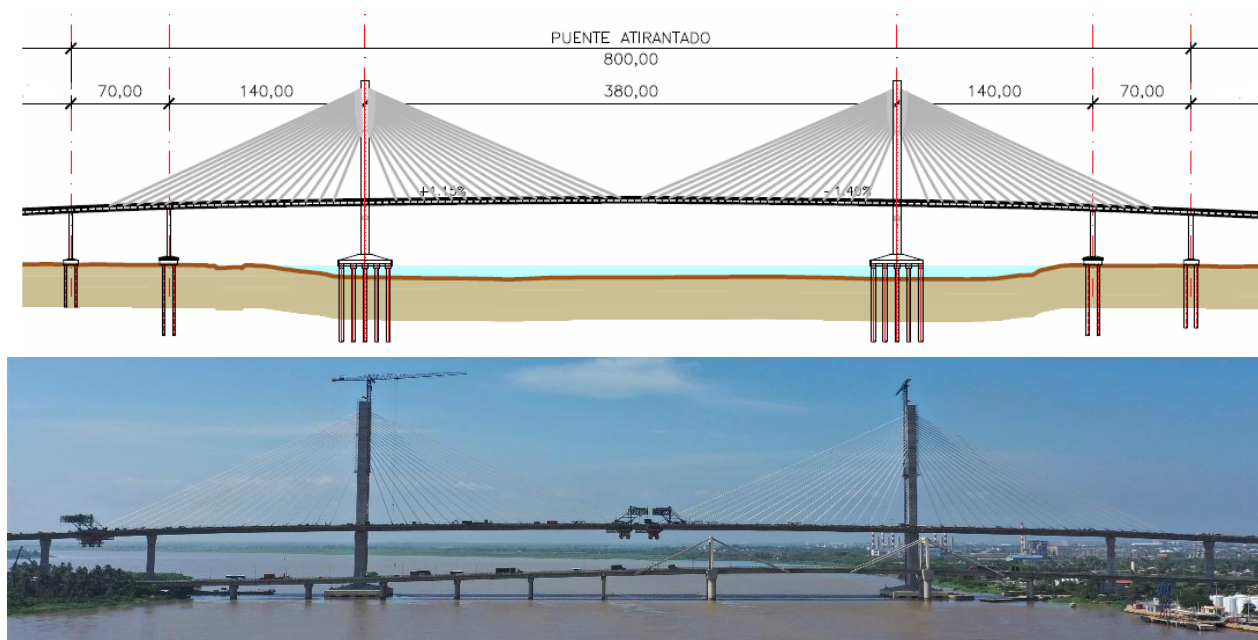


Figura 3 Alzado general del tramo atirantado en planos y en la realidad

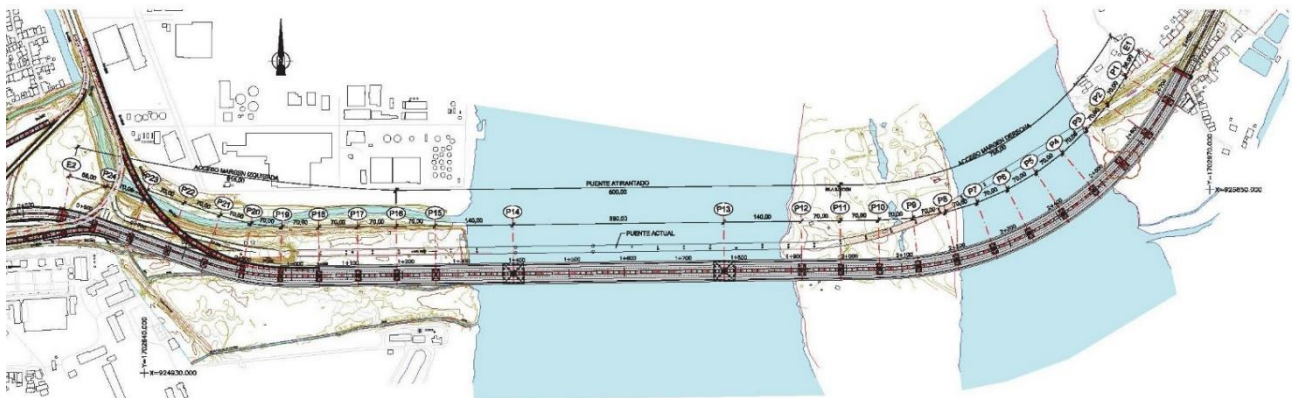


Figura 4. Planta general del Nuevo Puente Pumarejo.

El tablero se encuentra apoyado en los pilonos, lo que permite crear una ventana libre de tirantes de 45 m, 22,5 m hacia cada lado del eje de los pilonos. De esta forma, las parejas de tirantes más alejadas de los pilonos se anclan en el tablero a una distancia de 182,5 m (Figura 5).

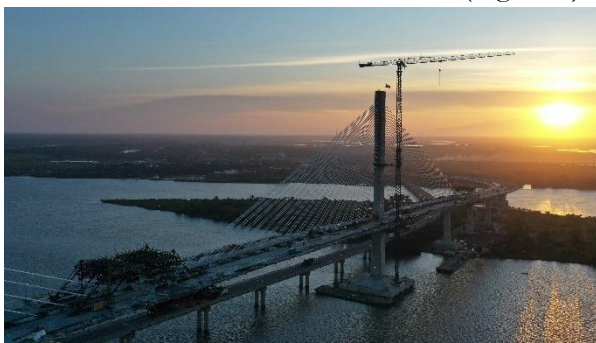


Figura 5. Disposición de tirantes en el pilono P13

En la margen derecha, hasta llegar a la zona del atirantado, el tramo de accesos tiene una longitud de 755 m repartidos en vanos homogéneos de 70 m con un vano de compensación de 55 m. Presenta esta zona un trazado en planta inicialmente curvo ($R=595$ m) hasta volverse recto en las inmediaciones del atirantado (Figura 6).

En la margen izquierda, el puente mantiene su configuración de vanos tipo de 70 m en su salida del atirantado, adquiriendo en su parte final forma arborescente al tener que subdividirse, por exigencias del trazado, en tres estructuras: un ramal norte que deriva el tráfico desde Sta. Marta a Puerto; un ramal Sur que recoge la circulación de Puerto a Sta. Marta; y un ramal central con dirección Barranquilla-Sta. Marta (Figura 7).



Figura 6. Vista del viaducto de acceso de la margen derecha



Figura 7. Vista aérea del viaducto de acceso de la margen izquierda y los ramales

Estas estructuras de los ramales, si bien pueden parecer secundarias en comparación con el puente principal, tienen una envergadura considerable. Así, el ramal norte, de 10,3 m de ancho y una longitud de 292,5 m repartida en 6 vanos ($38\text{m}+47,5\text{m}+47,5\text{m}+47,5\text{m}+50\text{m}+62\text{m}$), permite salvar el Caño Ahuyama, rivera que, desde Barranquilla, afluye al Magdalena por la izquierda (Figura 8). Por su lado, el ramal sur (Figura 9), con 9 vanos, adquiere una longitud de 369,475 m en trazado curvo de $R=80$ m.



Figura 8. Construcción del Ramal Norte



Figura 9. Vista aérea del Ramal Sur

Es de reseñar que la vinculación de los ramales al puente principal ha dado lugar a entronques relativamente complejos, que han requerido de un estudio pormenorizado tanto desde el punto de vista geométrico como estructural.

Completan el conjunto estructural del Nuevo Pumarejo tres pasarelas, de 64 m, 148 m y 281,5 m para el tránsito de peatones y de bicicletas (Figura 10).

Con la salvedad de las pasarelas y del ramal Sur, el conjunto de Pumarejo (accesos margen derecha, atirantado, accesos en margen izquierda y ramal norte) constituye una macroestructura continua con juntas únicamente en los estribos extremos.

En la fase de servicio, el puente se halla retenido por los pilonos del atirantado, de suerte que el punto fijo estructural se encuentra aproximadamente en el centro del viaducto haciendo que los desplazamientos en las juntas extremas sean mínimos.



Figura 10. Vista de pasarela Norte durante su construcción

El tablero de los vanos de acceso presenta una sección cajón de hormigón de 3,65 m de canto, lo que, para el vano tipo de 70 m, supone una relación canto-luz de 1/19. Como se ha mencionado anteriormente, el ancho de la estructura queda fuera del rango habitual de la tipología cajón simple, llegando en las proximidades de los vanos atirantados a un ancho total de 38,10 m. Las dos alas, inclinadas 58°, respecto a la horizontal, cubren una anchura entre las mismas de 12 m, en la losa inferior del tablero, y de aproximadamente 16 m en la losa superior, de modo que el ancho restante del tablero se compone de dos voladizos de aproximadamente 11 m, a ambos lados del cajón.

Estas longitudes de voladizo se materializan mediante la disposición de costillas transversales cada 5 m, apoyadas sobre puntales exteriores e interiores. Los puntales exteriores consisten en elementos de hormigón prefabricado de sección rectangular, mientras que los interiores son secciones metálicas que apoyan las costillas en el eje de simetría del cajón.

Esta sección transversal se conserva en el tramo atirantado, variando únicamente la configuración del apuntalamiento interior en los puntos de inserción del atirantamiento, en los que se dispone una delta metálica que, alojando los anclajes de la pareja de tirantes, permite transmitir su carga al cajón del tablero (Figura 12).

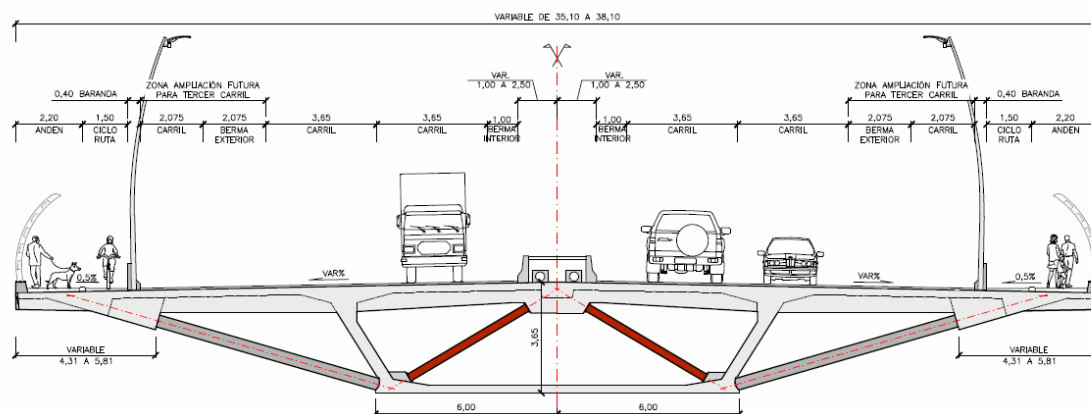


Figura 11. Sección tipo en viaductos de acceso.

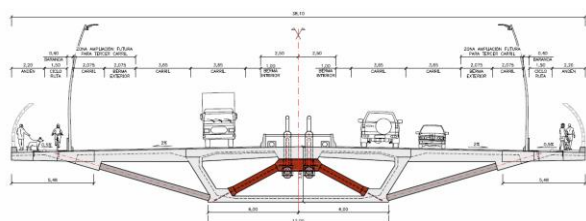


Figura 12. Sección por punto de inserción de tirantes en tramo atirantado.

3. Proceso constructivo del tablero en accesos

En lo relativo al proceso constructivo del tablero en los accesos, ha sido necesario llevar a cabo dos procedimientos diferentes en función de los requisitos específicos de cada emplazamiento en la obra: ejecución mediante cimbra convencional, y construcción mediante autocimbra.

Tras la ejecución de este primer segmento de la Margen Izquierda, se procedió a ejecutar el cajón central (núcleo central de 16m de ancho) del resto de vanos de la margen izquierda mediante autocimbra superior, en fases de 70m de longitud que se extienden 15m más allá de cada pila. La autocimbra que se empleó es superior al tablero, apoyándose directamente sobre el mismo (Figura 13).

El avance mediante autocimbra según el procedimiento descrito se extendió en la Margen Izquierda hasta 15 m por delante de la pila P16. Posteriormente, ésta se desmontó y se llevó al vano 3 de la Margen Derecha, donde la cadencia

de avance prosiguió hasta superar 15 m la pila P11 del tramo atirantado. Los dos primeros vanos en esta margen se ejecutaron “in situ”.

Dado el peso considerable del tablero, y con el objetivo de limitar los medios auxiliares a disponer, la ejecución del cajón central se planteó en subfases, de modo que en una primera fase se construían la losa inferior y almas (sección artesana), y posteriormente, se ejecutaban la losa superior entre almas. Para cada una de estas fases era preciso tesar una serie de cables de pretensado del tablero, limitando así las tensiones en el mismo y la fisuración durante la fase constructiva. Una vez ejecutado el cajón, incluyendo la sección en U, más la losa superior central, y tesados los cables correspondientes, se procedía al avance de la autocimbra. La ejecución de los voladizos se materializaba en fases posteriores mediante un carro de alas que avanzaba unos dos vanos por detrás de la autocimbra.

Como se ha comentado, el tipo de autocimbra utilizado ha requerido, por exigencias de la cinemática de su ciclo, la presencia de una dovela 0 para el apoyo de sus patas delanteras en la pila de avance. Esto ha exigido la ejecución “in situ” de los mamparos del tablero con anterioridad al paso de la autocimbra (Fig. 14) para garantizar la estabilidad de este elemento en las distintas fases del proceso constructivo, los mamparos han contado con dos parejas de dados de hormigón



Figura 13. Proceso de ejecución de los viaductos de acceso con autocimbra (Foto: David Ruiz).



Figura 14. Mamparo con dados de hormigón provisionales y anclajes provisionales.

para el apoyo del mamparo, y de un pretensado provisional que lo vinculaba con el cabecero de la pila.

Una vez hormigonada la primera subfase del tablero (sección artesa) se procedía a la remoción de los cables de pretensado y de los macizos de hormigón, para lo que se ha recurrido a un proceso de corte con hilo de diamante. Posteriormente se proseguía con el resto de etapas del ciclo de construcción del tablero (tesado de primeras familias de cables, ejecución de la losa superior, tesado del resto de cables...). La supresión de la vinculación provisional tablero-pila ha obedecido al interés de reducir los esfuerzos que se transmitirían a la

subestructura por posibles movimientos impuestos del tablero (retracción, acortamiento elástico...).

Cabe reseñar que el paso de la autocimbra sobre el tablero recién construido, vano extremo con una sección transversal incompleta (sin voladizos laterales), ha constituido una de las fases críticas de la comprobación estructural del viaducto.

Asimismo, se indica que, hasta la ejecución de los voladizos laterales, la mayor parte del pretensado se encuentra aplicado en una sección transversal con menor área (cajón central) y con menor peso propio, lo que conlleva la existencia en ciertas secciones de esfuerzos inversos a los naturales por sobretesado (como el punto de inflexión). Esta situación, que se normaliza al aplicarse el peso de los voladizos, junto con el

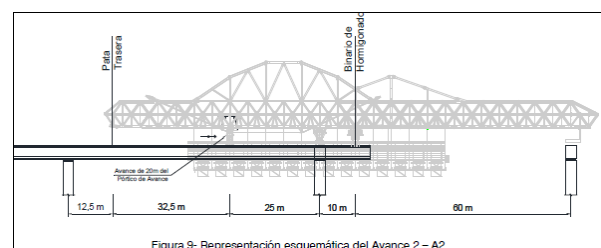


Figura 15. Apoyo de la autocimbra sobre el tablero.

referido paso de la autocimbra, son ejemplos de situaciones de cálculo que deben estudiarse exhaustivamente en un proceso constructivo de este tipo.

Por otro lado, el paso de la autocimbra sobre el tablero (Figura 15) ha exigido el diseño y dimensionamiento de recrecidos y armados específicos en los puntos de apoyo de los binarios, a fin de garantizar una transmisión adecuada de las cargas locales de la autocimbra al sistema estructural general del tablero.

Para la constitución de los puntos fijos provisionales se dispusieron unos arriostramientos metálicos en forma de cruz de San Andrés en el estribo E24 (para la margen izquierda) y en la pila P3 (márgen derecha) (Figura 16). Esta solución, aparte de su función de retenida frente a acciones longitudinales convencionales (rozamiento de apoyos, viento, frenado y arranque de la autocimbra...), ha permitido resolver el requisito de sismo de construcción que exige la AASHTO por medio de un mecanismo que, en virtud de los conceptos del cálculo sísmico en desplazamientos y del cálculo por capacidad, reduce ostensiblemente los eventuales esfuerzos que un tablero de estas dimensiones y peso hubiera transmitido a la subestructura en caso de evento sísmico.

Por último, se señala que los voladizos laterales y la disposición del jabalcón lateral, se han ejecutado por medio de un carro de alas confeccionado “ad hoc” para esta obra (Figura 17). Este elemento, que era adaptable a las



Figura 16. Puntos fijos provisionales en fase constructiva



Figura 17. Ejecución de los voladizos laterales con carro de alas

variaciones de ancho del tablero, efectuaba puestas de 15m de longitud.

4. Proceso constructivo del tablero en el tramo atirantado

Al igual que en los vanos de acceso, se ha llevado a cabo la ejecución de la sección transversal del tramo atirantado en dos fases, cajón central y voladizos laterales, mediante el proceso constructivo de voladizos sucesivos desde los pilonos centrales del viaducto.

En este sentido, se ha empleado una pareja de carros de avance superior en cada pilono (Figura 18) para la construcción de las dovelas del cajón central que, con sus 10m de longitud y unas 500t de peso, han situado este puente en la vanguardia mundial de este procedimiento constructivo.



Figura 18. Carros de avance

Desde el arranque de los voladizos en el pilono hasta la ubicación de las primeras parejas

de tirantes a ambos lados del pilono, ha sido necesario vincular el tablero a la subestructura para garantizar la estabilidad del tablero en estas fases iniciales. Esta vinculación se materializó por medio de un empotramiento con dados de hormigón y cables de pretensado verticales anclados en el cabecero de la parte inferior del pilono. Una vez dispuestas las parejas de tirantes a ambos lados del pilono se procedió a la remoción de la vinculación provisional.

Los voladizos laterales se han ejecutado por medio de un carro de alas inferior (Figura 19) que, al desplazarse a lo largo del sofito del tablero, no ha interferido con los tirantes ni con los medios de construcción dispuestos sobre el mismo. Estos carros inferiores han construido porciones de voladizos de unos 10m de longitud con un desfase de dos puestas respecto al carro de avance de voladizos de la sección central.

En orden a conferir a la estructura de una mayor estabilidad frente a las acciones derivadas del viento en fase constructiva, se dispusieron a ambos lados del pilono cables inferiores de arriostramiento que vinculaban el tablero al encepado (Figura 20). Estos cables inferiores, anclados a unos 50m del arranque en pilonos, han participado en el sistema estructural del conjunto tablero-pilono-atirantamiento, colaborando a resistir los posibles desequilibrios existentes entre ambos voladizos.

Por último, para el cierre del tablero tanto en el centro de vano como con los viaductos de acceso, se han diseñado unas vigas metálicas



Figura 19. Vista frontal de los carros de avance (superior) y de alas (inferior)



Figura 20. Vista aérea del pilono P14 en la que se aprecian los cables de arriostramiento inferiores

específicas que, una vez enfrentados los bordes a unir, coartaban el movimiento relativo de las secciones extremas de los voladizos (Figura 21).

Para obtener una cota similar de estos extremos antes del hormigonado del cierre, se ideó un proceso de regulación geométrica que empleaba un sistema de contrapesos y pórticos de apoyo que se disponían o retiraban según las distintas etapas de ejecución de los cierres.

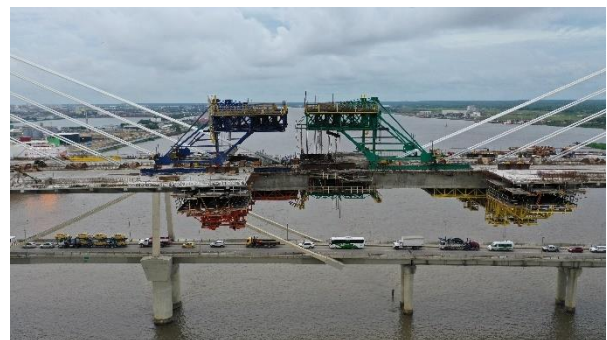


Figura 21. Ejecución de la dovela de cierre de centro de vano atirantado

5. Principales participantes en proyecto y obra

Propiedad: Ministerio de Transporte de la República de Colombia (Instituto Nacional de Vías).

Empresa Constructora: Consorcio SES
 Director del proyecto: Juan Pablo Durán y David Gutiérrez
 Jefe de oficina técnica: David Ordín y Maite Calleja;
 Especialista estructural: David Ruiz

Servicios Técnicos: SACYR S.A.
 Raquel Caballero, Rüdiger Spengler, Agustín Redero, Rafael Guillén, Fátima Calderón, Jorge Cañizal.

Proyecto Constructivo Modificado:

IDEAM S.A.

Francisco Millanes, Luis Matute, Miguel Ortega, Enrique Bordó, Fernando Ruano, Jokin Ugarte, Ildefonso de la Cruz, Jorge Miguel Montero, Maria João Freitas, Guillem Collell.

Asistencia Técnica especializada durante la ejecución de las obras: IDEAM S.A.

Francisco Millanes, Miguel Ortega, Fernando Ruano, Jokin Ugarte, Alberto Suz, Jorge Miguel Montero, Iván Toribio, Ildefonso de la Cruz, Maria João Freitas, José María Hernández, Pedro Atanasio, Guillem Collell.

5. Agradecimientos

Fotografías de figuras 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 18, 19, 20 y 21) cortesía de David Ruiz (CONSORCIO SES)

Referencias

- [1] J. Durán, R. Spengler, D. Ordín, A. Redero, D. Ruiz, R. Guillén, R. Caballero, F. Calderon, Adecuación proceso constructivo del nuevo puente atirantado de Pumarejo en Barranquilla, Colombia., VII Congreso de ACHE, La Coruña, 2017
- [2] F. Millanes, M. Ortega, F. Ruano, I. de la Cruz, J. Ugarte, J. P. Durán, D. Ordín, El proyecto constructivo de los vanos de acceso del Nuevo Puente Pumarejo en Barranquilla, Colombia, VII Congreso de ACHE, La Coruña, 2017
- [3] F. Millanes, M. Ortega, E. Bordó, F. Ruano, J. Ugarte, J. P. Durán, D. Ordín, El proyecto constructivo del tramo atirantado del Nuevo Puente Pumarejo en Barranquilla, Colombia, VII Congrso de ACHE, La Coruña, 2017