

TENDENCIAS ACTUALES PARA CONSTRUCCION PREFABRICADA DE  
PUENTES EN CONCRETO Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN COLOMBIA

MISAEAL ANDRES TAVERA RUIZ

KATIANA DALILA TAVERA RUIZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS  
BUCARAMANGA, SANTANDER  
2016

TENDENCIAS ACTUALES PARA CONSTRUCCION PREFABRICADA DE  
PUENTES EN CONCRETO Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN COLOMBIA

MISAEEL ANDRES TAVERA RUIZ  
KATIANA DALILA TAVERA RUIZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR:  
PhD. ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
ESPECIALIZACION EN ESTRUCTURAS  
BUCARAMANGA, SANTANDER  
2016

## RESUMEN

### TÍTULO:

TENDENCIAS ACTUALES PARA CONSTRUCCION PREFABRICADA DE PUENTES EN CONCRETO Y SU POSIBLE APLICACIÓN EN COLOMBIA □□

### AUTORES:

MISAEAL ANDRÉS TAVERA RUIZ

KATIANA DALILA TAVERA RUIZ †

### PALABRAS CLAVES:

Superestructura, puentes, prefabricación, dovelas, Colombia.

### DESCRIPCIÓN

Recientemente en Colombia, se ha impulsado el mejoramiento de la infraestructura vial mediante la implementación de las llamadas vías 4G, las cuales, requieren ser construidas en tiempos considerablemente cortos y a su vez, contienen dentro de los diferentes trazados, la intervención de puentes existentes o construcción de nuevas estructuras que según la experiencia a nivel nacional, se caracterizan por excederse en los tiempos de construcción.

Es así como nace la necesidad de buscar una alternativa que contribuya al rendimiento en la construcción de estos puentes en todo el territorio nacional, sin reducir la calidad de los mismos.

A nivel internacional se ve reflejada la implementación de los elementos prefabricados para acelerar el proceso constructivo de la superestructura de puentes en concreto, razón por la cual, surge la necesidad de revisar dichos métodos usados recientemente para satisfacer las necesidades similares a las presentadas actualmente en Colombia, donde se deben realizar grandes obras de ingeniería en un considerable corto tiempo. En este caso, con la característica de tener una geografía agreste en gran porcentaje del territorio nacional.

Con la realización de esta monografía se pretende analizar tanto las ventajas como las desventajas de este tipo de industria prefabricada y sus diferentes sistemas constructivos, en relación a la industria nacional.

---

□ Trabajo de grado.

† Facultad de ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Especialización en Estructuras. Director Ph.D Álvaro Viviescas

## ABSTRACT

### TÍTULO:

CURRENT TRENDS FOR PRECAST BRIDGE BUILDING AND ITS POSSIBLE APPLICATION IN COLOMBIA

### AUTHORS:

MISAEEL ANDRÉS TAVERA RUIZ

KATIANA DALILA TAVERA RUIZ †

**KEY WORDS:** Superstructure, Bridges, Prefabrication, Voussoirs, Colombia.

### DESCRIPTION

Recently in Colombia, has promoted the improvement of road infrastructure by implementing the so-called 4G routes, which require to be built in considerably short times and in turn, they contain within different paths, the intervention of existing bridges or construction of new structures based on experience at national level, they are characterized by overdo construction times. Thus arises the need to find an alternative that contributes to the performance in the construction of these bridges throughout the national territory, without reducing their quality.

Internationally reflected the implementation of the prefabricated elements to accelerate the construction process of the superstructure of bridges in particular, why, the need to review these methods used recently to meet similar needs as currently presented in Colombia where you must make major engineering works in a short considerable time. In this case, with the characteristic of having a large percentage rugged geography of the country. With the completion of this paper it is to analyze both the advantages and disadvantages of this type of industry and its various prefabricated building systems, in relation to the domestic industry.

---

□ Degree Work

† Mechanical and Physical Engineering Faculty, Civil Engineering School.  
Specialization in Structures. Director Ph.D Alvaro Viviescas

## INDICE

INTRODUCCION.....	10
1. OBJETIVOS.....	11
2. ALCANCE.....	11
3. ANTECEDENTES.....	12
4. MARCO TEÓRICO.....	14
5. TENDENCIAS ACTUALES PARA LA CONSTRUCCION PREFABRICADA DE PUENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....	27
6. TÉCNICAS PARA CONSTRUCCION DE PUENTES CON ELEMENTOS PREFABRICADOS A NIVEL INTERNACIONAL.....	29
7. POSIBLE APLICACIÓN EN COLOMBIA DE TECNICAS DE CONSTRUCCION PREFABRICADA PARA SUPERESTRUCTURA DE PUENTES EN CONCRETO. ....	38
8. CONCLUSIONES.....	44
BIBLIOGRAFIA.....	46

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Puente voladizos sucesivos sobre río Juanambú, Chachagüí, Nariño.....	13
Figura 2: Puente tramo Cisneros-Loboguerrero, vía Buga-Buanaventura, Valle.....	14
Figura 3: Puente tercer nivel calle 92 .....	15
Figura 4: Puente sobre el río Humea.....	17
Figura 5: Puentes Calle 100 .....	18
Figura 6: Viaducto Helicoidal. ....	19
Figura 7: Viaducto Portachuelo.....	20
Figura 8: Viaducto la Estampilla.....	21
Figura 9: Puente en arco sobre el rio de Oro. Girón.....	23
Figura 10: Puente de la 4 Sur / Gilberto Echeverri Mejía.....	25
Figura 11: Viaducto de la Novena.....	26
Figura 12: Vigas prefabricadas. ....	30
Figura 13: Instalación de una dovela prefabricada .....	31
Figura 14: Instalación de dovelas vano a vano mediante cimbra.....	32
Figura 15: Puente de la Linea 4 del metro de Chile.....	33
Figura 16: Puente Confederación, Canadá.....	34
Figura 17: Puente de San Enrique. ....	35
Figura 18: Puente Anita Garibaldi. ....	36
Figura 19: Puente Vidin-Calafat, sobre el Rio Danubio.....	37
Figura 20: Dovela Conjugada. ....	40
Figura 21 Control geométrico de dovela recién fabricada.....	41
Figura 22: Transporte de una viga prefabricada.....	42
Figura 23 Transporte de una dovela prefabricada .....	43

## INTRODUCCION

Actualmente en Colombia, se han presentado diversos avances en materia de comercio, turismo, transporte, entre otras actividades que dependen directamente del estado de las diferentes carreteras para el buen funcionamiento del sector productivo.

Es evidente el interés mostrado por el estado en mejorar la calidad de las vías nacionales, razón por la cual, se hace necesaria la ingeniería para desarrollar los nuevos proyectos de infraestructura vial. Así mismo, al tratarse de obras de carácter prioritario en cuanto a movilidad nacional, se cuenta con tiempos de ejecución muy reducidos, por lo que es importante considerar métodos constructivos más eficientes para cumplir dichos objetivos.

De esta manera, surge la necesidad de revisar a nivel internacional los métodos usados recientemente para satisfacer las necesidades similares a las presentadas actualmente en Colombia, donde se deben realizar grandes obras de ingeniería en un considerable corto tiempo. En este caso, con la característica de tener una geografía agreste en gran porcentaje del territorio nacional.

Una posible alternativa para realizar labores en condiciones óptimas y en tiempos cortos, está representada por una industria capaz de elaborar previamente las diferentes piezas necesarias en la construcción (prefabricación), con el fin de agilizar los tiempos de entrega y mejorar la calidad en todas las obras realizadas. Así se define la industria del prefabricado, que a través del tiempo ha tomado fuerza a nivel internacional, mediante la realización de proyectos significativos, tales como el Puente Vidin-Calafat (Sobre el río Danubio), y el Ponte Anita Garibaldi (Brasil), los cuales se han elaborado con la colaboración de esta industria.

Con la realización de esta monografía se pretende analizar tanto las ventajas como las desventajas de este tipo de industria prefabricada y sus diferentes sistemas constructivos, en relación a la industria nacional.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. GENERAL**

Establecer una línea base o estado de la tecnología asociada a la construcción prefabricada de puentes en concreto y su posible aplicación en Colombia.

### **1.2. ESPECIFICOS**

Identificar las técnicas y métodos dominantes para construcción de superestructura de puentes en concreto en Colombia.

Identificar las tecnologías usadas actualmente para construcción prefabricada de puentes a nivel internacional.

Evaluar la posible aplicación en Colombia de técnicas de construcción prefabricada para superestructura de puentes en concreto.

## **2. ALCANCE**

Este trabajo se enfocará a estudiar los puentes de luces cortas y medias. Se limita al estudio de información existente en fuentes secundarias (artículos científicos, trabajos de grado de pregrado y posgrado), revistas, memorias de congresos, etc.

### 3. ANTECEDENTES

La construcción de puentes en Colombia está representada principalmente por un sistema constructivo predominante, como es el método de voladizos sucesivos “in situ”. Dicho método se caracteriza por permitir la construcción de puentes de grandes y medianas luces, siendo una solución adecuada en terrenos irregulares y de alta montaña como es el caso de nuestro país. [20]

Para realizar este tipo de construcción, se pueden considerar principalmente dos opciones, la construcción asimétrica (obligada por necesidad del entorno) y la construcción simétrica (para optimizar y compensar momentos). El hormigonado de las dovelas puede ser en un solo ciclo o por fases. En la construcción asimétrica, se avanza a partir de una pila previamente construida, en una sola dirección, razón por la cual se requiere realizar un atirantamiento provisional que permita sostener el carro de avance. Así mismo, se deben tener ciertas precauciones de tipo constructivo como es la consideración de los momentos flectores generados a partir del avance de la obra y los cambios de temperatura que pueden afectar los cables, generando deformaciones en la viga [12]. En el método de construcción simétrica se arma un encofrado en cada cara de la pila en el sentido longitudinal del puente, desde el cual posteriormente se realiza el avance de los carros, cada uno en sentido opuesto, razón por la cual es también llamado el método de los voladizos compensados.

Los puentes construidos por voladizos sucesivos en Colombia se empezaron a ver a partir de los años 70, con la construcción combinada mediante cables exteriores provisionales, voladizos sucesivos y un tirante definitivo anclado del puente Pumarejo sobre el río Magdalena en Barranquilla, el cual fue diseñado por el profesor italiano Ricardo Morandi, cuenta con una luz central de 140 metros y dos luces laterales de 69 metros [20]. Tiempo después, en 1976, el primer puente construido únicamente mediante el método de los voladizos sucesivos “in situ” fue el puente sobre el río Juanambu (Figura 1), el cual consiste de una luz principal de 90 metros con dos luces laterales de 45 metros. La altura de las dovelas se reducía en relación con la distancia al centro de la luz. En su momento, esta obra se destacó con el Premio Nacional de Ingeniería [3].

Figura 1: Puente voladizos sucesivos sobre río Juanambú, Chachagüí, Nariño



Fuente:<http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2013/08/Puente-Juanmbu1.jpg>

En la década de los años 90, se construyeron en Colombia puentes importantes con este sistema constructivo como el puente de la Transversal de los contenedores en Plato sobre el río Magdalena, los puentes de Casa de Teja y Aserrío del sector comprendido entre Guayabetal y Pipiral, de la Carretera Bogotá-Villavicencio, y el puente Puerta del Nowen que une los Departamentos de Meta y Guaviare entre otros. Para los años 2001 y 2004, se construyeron el viaducto de Pipiral de la Carretera Bogotá-Villavicencio y el puente de Barranca-Yondó sobre el río Magdalena. Éste, con su luz central de 200 metros, la de mayor longitud para esta tipología en el país [18].

En el año 2008, con el inicio de los grandes proyectos de infraestructura en el país también comienza en Colombia el auge de construcción de los puentes en voladizos sucesivos muy apropiados para solucionar las diferentes depresiones propias de nuestra topografía colombiana. Se destacan los construidos sobre el corredor Bogotá – Buenaventura (Figura 2), la Ruta del Sol y las vías para los grandes proyectos de infraestructura energética en el país [18]

Figura 2: Puente tramo Cisneros-Loboguerrero, vía Buga-Buanaventura, Valle del Cauca.



Fuente:Argos.[http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2013/08/IMG\\_39961.jpg](http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2013/08/IMG_39961.jpg)

#### **4. MARCO TEÓRICO.**

Los puentes se pueden definir como todo tipo de estructura que proporcione una vía de paso sobre una carretera, un valle o un río, cumpliendo a su vez, la función de unir carreteras o vías férreas, así como de transportar tuberías y líneas de distribución de agua, gas, hidrocarburos, energía o fibras.

Existen diferentes tipos de puentes, los cuales difieren en su concepción física por la manera de recibir y transmitir las cargas provenientes de la estructura y el tablero, clasificándose en 5 tipos, de los cuales, se derivan otras tipologías.

##### **4.1. TIPOLOGIAS DE PUENTES EN CONCRETO MAS COMUN EN COLOMBIA**

###### **4.1.1. PUENTES DE VIGAS**

**(Sección tipo I, sección en cajón, o sección en cajón variable)**

Los puentes de vigas, son el tipo más común y simple de puente. Básicamente consisten en vigas horizontales apoyadas en los extremos por

una pila o estructura similar. Los puentes de vigas más largos, deben estar sostenidos a lo largo de la luz por estructuras adicionales, razón por la cual, suelen usarse específicamente para abarcar luces cortas o medias.

A partir de esta idea, con el avance científico y tecnológico, se ha dado lugar a otras formas más complejas, las cuales se comportan de manera similar como son los tramos en voladizos sucesivos (viga cajón de sección variable), puentes en viga cajón o dovelas prefabricadas.

En Colombia existen numerosos puentes de esta tipología, entre los cuales se encuentran.

#### 4.1.1.1. PUENTE TERCER NIVEL CALLE 92

Figura 3: Puente tercer nivel calle 92



Fuente: <http://www.topografiajg.com/project/puente-vehicular-de-tercer-nivel-calle-92-con-autopista-norte/>

El puente tercer nivel calle 92 (Figura 3) está ubicado en Bogotá, iniciando en el carril oriental de la avenida NQS, y terminando en el carril oriental de la Autopista Norte. Pasa sobre dos puentes de la autopista y por el de la calle 92.

El puente tiene una longitud de 567m, dividida en 14 luces entre 36 y 44m cada una. Así mismo, cuenta con un tablero de tres carriles (12 m).

La estructura presenta cuatro curvas de diferentes radios y establece peralte en la longitud transversal de la calzada, el radio de curvatura más pequeño en planta es de 127m. La superestructura está apoyada sobre 13 columnas y 2 estribos. En la construcción de este proyecto se tomaron en cuenta diferentes factores determinantes, como el uso de acero A-588, la implementación de apoyos de neopreno, el diseño de una columna excéntrica para dar paso a una posible prolongación de la paralela sur-norte de la Autopista Norte, la intervención mínima del tráfico vehicular, así como una viga con 58 secciones calculadas para optimizar el acero al máximo [5].

Al enfocarnos en el proceso constructivo, se puede resaltar la cimentación mediante pilotes de concreto prefabricado con sección de 35x35cm, transportados por módulos de 10m mediante tracto camión e hincados con martillo, alcanzando una profundidad de 40m. Los estribos están cimentados mediante 12 pilotes y todas las columnas están cimentadas mediante 16 pilotes a excepción de 2, una cuenta con 18 pilotes y otra que tiene 15 [5].

Este puente entra en la tipología de puentes Viga Cajón, pues la estructura mixta de la viga, compuesta por un cajón prefabricado en acero de 850 ton y una placa colaborante en concreto preesforzada transversalmente con monotorones adheridos y fundida in situ. Los segmentos de la viga se montaron con grúa y posteriormente se ensamblaron con soldadura. La placa de concreto se fundió de forma tradicional, y para los voladizos de 3.50m se fundió con carro de avance para no interrumpir el tráfico vehicular [5].

#### **4.1.1.2. PUENTE HUEA**

Se encuentra situado en el municipio de Cabuyaro (Meta), sobre el río Huea (Figura 4). Tiene una longitud de 316.4m distribuidos en 5 luces, la más larga de 120m, las secundarias de 60.10m y las ubicadas a cada extremo, de 38.10m cada una. La pendiente longitudinal del puente es del 5% y cuenta con un peralte del 2%. La viga cajón de concreto postensado es de 11.6m de ancho, en el cual está incluida la calzada, la barrera de tráfico y los voladizos exteriores [22].

Al tratarse de un puente sobre un río, se realizó el trabajo de cimentación en época de verano donde el cauce del río es bajo. Se construyeron 9 pilotes preexcavados de 1.50m de diámetro para cada columna. Se manejaron profundidades de pilotes de 34.5m, 37m, 30m, y 20m, dependiendo de la ubicación de la columna a cimentar.

Figura 4: Puente sobre el río Humea



Fuente: Construtec S.A.

En los segmentos del puente adyacentes a los estribos se usó la tipología de placa y viga postensada de 1.82m de altura, fundida in situ. En la longitud restante del puente se usó el método constructivo por voladizos sucesivos, mediante el avance de dos carros instalados por grúa.

#### **4.1.1.3. PUENTES CALLE 100**

Son dos puentes que se encuentran situados en el norte de Bogotá (Figura 5), que cruzan sobre la glorieta y el paso deprimido que une la Avenida carrera 9ª y la carrera 15. En la construcción de estos puentes se tuvo en cuenta el impacto en el tráfico vehicular, con el objetivo de causar mínimas afectaciones. El proyecto debía considerar diferentes factores determinantes, dentro de los cuales, se encontraban las limitaciones de espacio para cimentación y la cimentación para las zonas de acceso al puente. La construcción de la obra iba en paralelo al diseño estructural, ya que la geometría estructural estaba estrictamente definida por el diseño arquitectónico. [13]

Figura 5: Puentes Calle 100



Fuente:[http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2012/11/IMG\\_7540.jpg](http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2012/11/IMG_7540.jpg)

Los dos puentes son estructuras independientes con características similares, pero con servicio al público individual, ya que cada puente solo tiene tránsito por un mismo sentido, siendo contrarios entre sí. Cada puente tiene una longitud total de 295m, dividida en dos secciones, la primera se denomina zona de acceso, la cual está constituida por dos luces de 30m en cada costado, la segunda, con tres luces simétricas de 46m, 83m y 46m, apoyadas sobre cuatro columnas, constituyen el puente principal. Durante el proceso constructivo se evidencio la cimentación como actividad crítica, debido a las limitaciones arquitectónicas y a la estabilidad del suelo. Los puentes se construyeron simultáneamente, la sección de acceso fue fundida “in situ” con concreto postensado y usando el método tradicional. La sección de puente principal se construyó por el método de voladizos sucesivos, siendo necesarios 8 carros de avance [13].

#### **4.1.1.4. VIADUCTO HELICOIDAL - DOSQUEBRADAS.**

El viaducto Helicoidal (Figura 6) se encuentra ubicado en la vía que de Pereira conduce a Manizales, específicamente en el tramo que une a Dosquebradas con Santa Rosa. Consta de una estructura en espiral con

una longitud total de 404m, presenta una pendiente constante del 7% y un peralte del 8%. La obra está sostenida sobre una serie de ocho columnas circulares huecas de hasta 27 metros de profundidad, con aisladores sísmicos que garantizan seguridad al viaducto en caso de temblores, pues por la zona de El Rodeo atraviesa la falla geológica Romeral. La viga cajón es en concreto postensado y tiene un tablero de 10m de ancho con una altura de sección constante de 2.20m [6]

Figura 6: Viaducto Helicoidal.



Fuente:

<http://www.eldiario.com.co/uploads/galleryNews/36376/photos/6.jpg>.

En cuanto al proceso constructivo, se optó por voladizos o dovelas sucesivas. Para este proyecto se necesitaron 4 carros de avance. El carro de avance se debe instalar sobre la superficie de la losa de las vigas sobre apoyo y posteriormente se realiza el vaciado de la primera dovela, la cual, se tensiona cuando culmine el proceso de fraguado. El carro de avance se desplaza ahora sobre la nueva dovela y se ubica el segundo carro en la posición inicial del primer carro. Este proceso se debe realizar simétricamente sobre la columna. La construcción de este puente se inició en febrero de 2006 y se inauguró en el año 2010. [6]

#### 4.1.1.5. VIADUCTO PORTACHUELO, ZIPAQUIRÁ.

El viaducto Portachuelo (Figura 7) fue galardonado en el año 2010 (Premio Excelencia en Concreto), debido a la solución estructural y geométrica del proyecto. Esta obra consiste en dos puentes curvos y continuos que cumplen el objetivo de evitar que los vehículos que se dirigen desde Bogotá hacia los departamentos de Boyacá y Santander, deban ingresar a Zipaquirá. El diseño estructural del viaducto Portachuelo se basa en un tablero de concreto reforzado vaciado “in situ”. La estructura se cimenta sobre pilotes de 0.6m de diámetro y 36m de profundidad [2].

Figura 7: Viaducto Portachuelo



Fuente:

[http://www.asocreto.org.co/rc\\_2010/pdf/Presentaciones\\_finales\\_RC2010/Premios%20Excelencia/Premios%20Excelencia%20-%208%20-%20Viaducto%20Portachuelo.pdf](http://www.asocreto.org.co/rc_2010/pdf/Presentaciones_finales_RC2010/Premios%20Excelencia/Premios%20Excelencia%20-%208%20-%20Viaducto%20Portachuelo.pdf)

La tecnología usada para su construcción fue “vano a vano”, el cual consiste en montar un vano completo descansado sobre una cimbra uniendo a continuación las dovelas mediante pretensado. Para el caso específico de este proyecto se cimbraron y se encofraron secciones de 2 vanos más 1/3 del vano siguiente. Luego del fraguado del 80% de la sección, se postensó al 60% de la fuerza total de pretensado antes de retirar la cimbra y el encofrado, los cuales se desplazaban inmediatamente a la siguiente sección.

El plazo de construcción de este proyecto se determinó en 10 meses, donde se plasmaron en total 8.000 m<sup>3</sup> de concreto y se destacó como una importante obra de ingeniería por la optimización de recursos, rendimiento logrado, disminución de costos y la calidad final de la obra y del concreto [10].

#### 4.1.1.6. VIADUCTO LA ESTAMPILLA, EJE CAFETERO.

El viaducto la estampilla (Figura 8) se encuentra ubicado en la vía que comunica a Manizales con Pereira a la altura del kilómetro 2.5. Su construcción se llevó a cabo gracias a una inversión de aproximadamente 25.000 millones de pesos y fue inaugurado en el año 2007. El objetivo de esta obra fue dar solución a un terreno geológicamente inestable y de fuerte actividad tectónica como son los dos legendarios y trágicos puntos de deslizamiento denominados La estampilla y La estampillita. El proyecto consiste en dos puentes curvos de 223m de longitud, paralelos entre sí pero con una diferencia de nivel entre ellos. [7]

Figura 8: Viaducto la Estampilla.



Fuente: <http://flickeflu.com/photos/92782737@N06/interesting>

La superestructura de los dos puentes consiste en una estructura continua de viga cajón construida mediante el sistema de dovelas

sucesivas. La forma de solucionar el proceso constructivo en las luces de 80, 43 y 47 metros, fue el sistema de voladizos compensados de dovelas sucesivas fundidas in situ. Como se ha mencionado previamente, se realiza la fundida de la primera dovela, sobre la cual se ubica un carro de avance y se procede a seguir el armado de la siguiente dovela. Lo anterior, se realiza simétricamente respecto a cada pila. Cuando se culminó el proceso constructivo de los voladizos y se fundió la dovela de cierre, se tensionaron los cables primarios, y se liberó totalmente el puente en sus apoyos [7].

#### **4.1.2. PUENTES EN ARCO**

La característica principal de este tipo de puentes es la capacidad de trabajo a compresión de la mayor parte de la estructura, la cual, requiere apoyos de gran capacidad para absorber los empujes horizontales que transmite el arco. A su vez, el arco es el encargado de soportar el tablero, el cual, puede estar ubicado en la parte inferior, superior e incluso en una posición intermedia respecto a la ubicación de la estructura.

Así mismo, esta tipología de puentes ha evolucionado a través del tiempo, mejorando la calidad de construcción del mismo. El puente de arco en compresión de pista colgante ha sido posible gracias al uso de materiales ligeros que resisten grandes esfuerzos a tracción, tales como el acero, hormigón armado y hormigón pretensado. Generalmente, el proceso constructivo se desarrolla por segmentos, debido a que el arco debe someterse a cargas de forma simétrica. Siendo esta una de las principales desventajas, que los arcos solo trabajan cuando el elemento está completamente cerrado [8].

##### **4.1.2.1. PUENTE FLANDES**

El puente Flandes, o Antonia Santos (Figura 9), consta de dos puentes en arco de concreto blanco para tránsito vehicular. Están localizados sobre el Río de Oro, en la vía que comunica a Girón con Bucaramanga (Santander). Cada puente consta de una luz de 90m, su superestructura está soportada por dos arcos inclinados de concreto reforzado, cuya altura es de 20 m y su longitud de 90m, de los cuales se desprenden 8 pendolones a cada lado, separados cada 10m. La placa tiene 14m de ancho, distribuidos en 3 carriles para vehículos y un paso para peatones en un costado. [23]

Figura 9: Puente en arco sobre el río de Oro. Girón, Santander.



Fuente:<http://blog.360gradosenconcreto.com/wp-content/uploads/2013/08/Puentes-Antonia-Santos1.jpg>.

La superestructura tipo cajón está compuesta por 4 vigas de sección I, en concreto postensado y altura 1m, cada 3.6m, las cuales están apoyadas sobre 8 vigas transversales fundidas in situ, que coinciden con los pendolones, sobre los cuales se construye la placa superior postensada en dirección longitudinal, encargada de contrarrestar los empujes generados por el arco.

En cuanto al proceso constructivo, se puede hablar de factores determinantes para el desarrollo del proyecto, ya que el sitio de la obra estaba sobre la vía en funcionamiento y la construcción del primer puente se llevó a cabo mientras seguían en funcionamiento los puentes militares provisionales. En los estribos se instalaron aisladores sísmicos de péndulo por fricción, los cuales soportan la viga flotante transversal en la que se empotran los arcos de concreto.

La primera obra a realizar fue la cimentación de ambos puentes, donde se contó con una cimentación mediante barretes preexcavados para los estribos de cada estructura. Lo anterior con el fin de evitar sobre costos en el alquiler de la maquinaria necesaria para desarrollar ese tipo de cimentación. Posteriormente se continuó con la construcción completa del puente ubicado aguas abajo. [9]

Las vigas flotantes transversales se armaron con parrillas de acero de refuerzo y ductos de cables dentro de la formaleta, los cuales se localizaron con la debida precaución para garantizar un óptico funcionamiento. Posterior al fraguado del concreto de las vigas flotantes transversales, se realizó la instalación de la estructura metálica del arco y la ubicación de los pendolones. Paralelamente, se implementaron monotorones no adheridos introducidos en mangueras de protección, con el fin de establecer el sistema de soporte de los cables de tensionamiento externo.

Después del montaje de la estructura metálica del arco, se inició la fundición del concreto blanco que la reviste. Al completar el tiempo de fraguado del arco, se fundieron las vigas transversales y se anclaron los pendolones para cumplir el orden establecido por el diseñador y someter el arco a las cargas de forma simétrica. La fundida se realizó comenzando por las vigas exteriores, luego las vigas centrales y se culminó con las vigas intermedias. Finalizado este proceso, se pudo continuar con la instalación de los segmentos de viga longitudinal y con la fundida de la placa de fondo y la placa superior, actividad que también se realizó de manera simétrica. [9]

#### **4.1.3. PUENTES ATIRANTADOS**

Los puentes atirantados se caracterizan por tener el tablero suspendido mediante cables de acero conectados a uno o varios pilones centrales. Una característica importante es la altura del pilón central, la cual puede oscilar entre el 20% y el 25% de la luz principal. Este tipo de puentes se implementa generalmente para solucionar grandes luces. Los puentes atirantados tienen partes trabajando a tracción y otras a compresión. [16]

##### **4.1.3.1. PUENTE GILBERTO ECHEVERRI MEJÍA – PUENTE DE LA 4 SUR.**

El puente atirantado lleva el nombre de Gilberto Echeverri Mejía, (en homenaje al ingeniero, líder social y político antioqueño), conocido también como puente de la 4 sur (Figura 10), Está ubicado entre los intercambios de la calle 10 y la calle 12 sur (Aguacatala), atraviesa el río Medellín y se convierte en una alternativa de movilidad para los sectores de Guayabal y El Poblado en Medellín. El puente cuenta con ocho carriles de 580 m. de longitud y un ancho total de 40,5 m. Soportado en dos torres de 37 m de altura. [21]

Figura 10: Puente de la 4 Sur / Gilberto Echeverri Mejía



Fuente: <http://www.conconcreto.com/puente-gilberto-echeverri-mejias-CO-en>

El Puente Gilberto Echeverri Mejía fue diseñado por la firma EDL Ltda., bajo la dirección del ingeniero Héctor Urrego Giraldo, y su construcción fue realizada por Conconcreto, con un plazo de entrega definitivo de 25 meses. [21]

En cuanto al proceso constructivo, uno de los retos que se evidenció en obra, fue la necesidad de fundir los dados de fundación de las pilonas del puente atirantado con volumen total de  $1000\text{m}^3$  cada uno. Para minimizar su impacto visual, la estructura lleva tres planos de cables, dos laterales y uno central.

#### **4.1.3.2. PUENTE PUMAREJO, BARRANQUILLA – PUENTE LAUREANO GOMEZ**

El puente Pumarejo, diseñado por el reconocido profesor italiano Ricardo Morandi, es una de las obras más importantes de la ingeniería colombiana del siglo XX, fue inaugurada en 1974 y se encuentra ubicado sobre el río Magdalena a 20 km de la desembocadura en el mar Caribe. El puente cuenta con capacidad de permitir el tránsito de 1.500 vehículos por hora a una altura de 17 metros sobre el nivel del agua del río. El ancho de calzada es de 12.5m, la longitud total es de 1.489m, la cual se encuentra dividida en tres tramos. El primer tramo es el acceso a Barranquilla, con longitud de 319m, el segundo tramo es el sector atirantado con longitud de 282m, el acceso a Palermo es el tercer tramo del puente con longitud de 887m. [19]

La superestructura del puente esta soportada por 56 columnas, las cuales tienen diámetros de 2.5 o 5m, y forman 29 tramos en los cuales se instalaron vigas prefabricadas de concreto de 47 m de longitud. El tramo del puente que es atirantado se encuentra dividido en 3 luces, las cuales se dividen en una luz central de 140m y dos luces adyacentes de 70m, construidas mediante el sistema de viga-cajón, soportadas en 4 columnas y 4 tirantes que a su vez están recubiertos por concreto. [19]

La construcción de este proyecto tardó 42 meses, y es un icono de desarrollo para la región. Por esta razón, se hace necesario expandir este proyecto debido a las necesidades futuras del comercio y transporte marítimo a la altura de la desembocadura del río Magdalena. Según lo anterior, se tiene proyectada la construcción de un nuevo puente más moderno y amplio, que permita el paso de embarcaciones de mayor altura. Una vez finalice la construcción del nuevo puente, el actual será demolido.

#### **4.1.3.3. VIADUCTO DE LA NOVENA**

El viaducto de la novena (Figura 11), es el puente urbano atirantado con mayor luz de Colombia. Se encuentra ubicado en la ciudad de Bucaramanga.

Figura 11: Viaducto de la Novena.



Fuente:

<http://www.bucaramanga.gov.co/Prensa/post/2015/04/07/Records-del-Viaducto-de-la-Novena-que-el-jueves-9.aspx>

En la construcción del viaducto atirantado de 6 carriles, 550,8 metros de longitud, 30 de ancho y 2 pilones centrales con 112 y 132 metros de altura se invirtieron más de 134.000 millones de pesos.

## **5. TENDENCIAS ACTUALES PARA LA CONSTRUCCION PREFABRICADA DE PUENTES A NIVEL INTERNACIONAL.**

Debido al crecimiento económico, turístico y poblacional en general en todo el mundo, han sido insuficientes las vías existentes para desplazarse en la mayoría de los países. Por tal motivo, se hace necesaria la construcción de un mejoramiento vial, dentro de la cual se evidencia la construcción de muchos puentes a nivel nacional e internacional, con el fin de reducir distancias, y a su vez, disminuir el tiempo requerido para desplazarse de un sitio a otro.

Generalmente se necesita la construcción de puentes para solucionar problemas geológicos de la zona, ya sea solucionar el paso por una cordillera, por una ladera, cruzar un río, entre otras situaciones que requieren soluciones de ingeniería para el bienestar de toda la comunidad. Así mismo, es evidente la necesidad de mejorar la velocidad de construcción, ya que las estructuras se necesitan en servicio lo más pronto posible. La presencia de dichas obras civiles, afecta directamente el desarrollo de la economía de la zona que se vaya a intervenir, razón por la cual, surgió como alternativa en la construcción acelerada de puentes, su evolución hacia la industrialización del método constructivo de voladizos sucesivos, mediante la implementación de elementos prefabricados, los cuales generalmente son elaborados en una planta donde se pueden controlar muchos factores (efectos ambientales, calidad de fabricación, imprevistos, etc.) adversos de la fabricación in situ, mejorando la calidad y reduciendo los tiempos de construcción.

El método constructivo de voladizos con dovelas prefabricadas, es una técnica muy empleada actualmente en construcción de puentes segmentados que cubren desde pequeñas, medianas y grandes luces, llegando hasta los 150m e incluso mayores, con diferentes restricciones dependiendo de las condiciones del sitio, su accesibilidad, disponibilidad de recursos entre otros factores. El límite superior de luz que se puede cubrir con esta técnica de construcción depende generalmente del peso de los segmentos y el costo de la fabricación de las dovelas prefabricadas, así como del desarrollo de los medios auxiliares para su izaje (vigas lanzadoras, cimbras, etc)

Una de las principales diferencias con respecto a la construcción in situ, es que al requerir la instalación de los segmentos a usar, éstos ya llevan varios días o semanas de haber sido fundidos, razón por la cual, se minimizan los cambios

en momentos flectores debido a la fluencia. El coeficiente de fluencia para el concreto de un tablero prefabricado debe calcularse para cada caso particular, pero generalmente se acerca a uno, mientras que para un tablero fundido in situ, está entre dos y tres. [2]

En puentes de pequeñas y medianas luces, los efectos de fluencia tienden a ser insignificantes por la velocidad de construcción que se maneja con los elementos prefabricados, ya que en algunos casos, como en los puentes pretensados de viga cajón, se alcanzan a instalar hasta 6 segmentos por día. La velocidad de construcción varía en diferentes proporciones según la tipología del puente, ya que en casos como los puentes extradados y atirantados, se requiere un tiempo adicional debido a la especial atención que se le debe dedicar a la ubicación de los tirantes. [2]

El uso de elementos prefabricados en la construcción de puentes de concreto tiene numerosas ventajas, dentro de las cuales se encuentran:

- El porcentaje de fraguado del concreto alcanzado antes del ensamble de las dovelas permite ensamblar longitudes más largas de tablero.
- Las fisuras que se presentan normalmente cuando se funde in situ, desaparecen gracias al proceso de prefabricación, ya que la temperatura del concreto puede ser controlada y no está expuesto a los diferentes efectos del ambiente.
- La fabricación de las dovelas se realiza en un lugar distinto al puente, por lo tanto se puede realizar en paralelo el avance de la infraestructura del puente y las dovelas de la superestructura, razón por la cual se evidencia reducción en los tiempos de ejecución de obras.
- En dado caso de usar varias plantas de fabricación, se puede evidenciar un avance significativo, el cual no se podría dar especialmente en sitios donde el espacio es muy reducido.
- Los elementos prefabricados generalmente tienen la característica de elaborarse con concretos de alta resistencia, lo cual, brinda ventajas adicionales como lo es la reducción del tamaño de la sección requerida, por lo tanto, se desencadenan una serie de beneficios como la agilidad en el transporte de los elementos, al necesitar un vehículo más pequeño y a su vez, la estructura de izaje de estos elementos requiere tener una capacidad inferior.

Así como el uso de elementos prefabricados tiene sus beneficios, también cuenta con ciertas observaciones a tener en cuenta en el momento de decidirse por el prefabricado de los elementos estructurales:

- Se requieren grandes medios de transporte y montaje con sus respectivos accesos y plataformas de trabajo en obra.
- Los costos de equipos necesarios para elaboración, transporte e izaje de elementos prefabricados, suelen ser más elevados que los costos de fundir in situ, razón por la cual, se recomienda la implementación de este tipo de construcción de puentes de concreto, para puentes de grandes longitudes, donde se pueden fabricar un número considerable de dovelas en taller y compensar costos con la reducción que genera en el tiempo de ejecución de la obra.

## **6. TÉCNICAS PARA CONSTRUCCION DE PUENTES CON ELEMENTOS PREFABRICADOS A NIVEL INTERNACIONAL.**

En todo el mundo, el proceso constructivo del tablero del puente hace parte de los elementos más representativos de este tipo de estructura, llegando al punto de tal trascendencia, que los puentes prefabricados se suelen clasificar en puentes de vigas prefabricadas y puentes de dovelas prefabricadas.

El sector de la construcción, actualmente, es la actividad productiva menos eficiente que existe, ya que genera diferentes situaciones de riesgo, baja industrialización de las labores a realizar, así como altos tiempos de ejecución de obra y costos elevados representados en mano de obra y defectos reiterados en la ejecución. La alternativa a la construcción convencional es elaborar en la medida de lo posible, los diferentes tramos de secciones transversales necesarias para formar una superestructura capaz de soportar las cargas de diseño, pero construida en lapsos de tiempo reducidos.

### **6.1. PUENTE DE VIGAS PREFABRICADAS.**

La fabricación de vigas de hormigón pretensado permite la construcción de puentes de tramos simples. Son vigas de sección normalmente en T, en I (Figura 12) o incluso en cajón que permiten un intervalo amplio de luces. La altura de estas secciones varía según la luz y la disponibilidad de elementos prefabricados en el mercado. La luz óptima se sitúa entre los 30 y 40 metros, puesto que por encima de 50 metros se debe reconsiderar el costo de los medios auxiliares necesarios para instalar el tipo de elemento prefabricado de esa longitud. Se han visto casos en los que se ha llegado a considerar una luz de 70 metros. Esta tipología resulta de gran interés cuando el número de vigas a colocar es elevado, algunas recomendaciones hablan de 40 como mínimo [10].

Figura 12: Vigas prefabricadas.



Fuente: [http://www.puenteprefa.cr/images/luces\\_sup20m\\_foto2.jpg](http://www.puenteprefa.cr/images/luces_sup20m_foto2.jpg)

Para acelerar la construcción del tablero, sobre las vigas prefabricadas se instalan unas pre losas de poco espesor (3-5cm), sobre las cuales se procede a armar y fundir el tablero. El objetivo de este elemento aparte de aumentar la capacidad de la sección, es comportarse como un diafragma rígido, evitando movimientos relativos entre vigas y aportando a la transmisión de cargas de la estructura, Generalmente estas losas se construyen “in situ”. Para luces muy pequeñas (menores a 8 metros) pueden emplearse vigas prefabricadas de sección rectangular. Las vigas de sección doble T (TT) son realmente útiles para puentes con luces de 6 a 20 metros. Cuando se requiere construir una superestructura para luces mayores, son más eficientes las secciones en I (rango útil entre 15 y 35 metros) o en cajón con aletas (entre 20 y 40 metros). [20]

## 6.2. PUENTE DE DOVELAS PREFABRICADAS

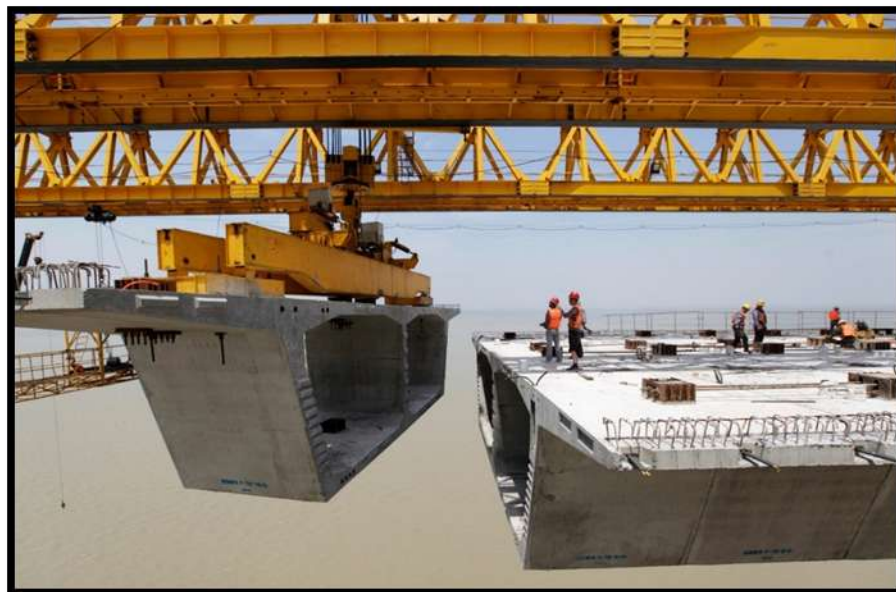
Las dovelas son segmentos del puente que se pueden fundir in situ, pero al tratar el tema de la velocidad de instalación y la reducción en los tiempos de ejecución de obra, surge la idea de prefabricar este tipo de elementos, brindando la oportunidad optimizar la calidad de la construcción de los puentes. Las secciones prefabricadas tipo cajón de grandes dimensiones de una sola pieza o en dovelas, son muy eficientes debido a su bajo peso y a su rigidez. Estas secciones se emplean en puentes atirantados y empujados. En

ocasiones, presentan un doble pretensado, uno longitudinal y otro transversal, éste último para resistir la flexión de las alas. La construcción de tableros a partir de dovelas consiste en dividir el puente longitudinalmente en rebanadas que se unirán mediante postensado. El montaje de dovelas se realiza mediante grúa o cimbra. Existen dos categorías de esta tipología de prefabricación de superestructura de puentes en concreto:

### **6.2.1. TABLEROS DE DOVELAS PREFABRICADAS POR VOLADIZOS SUCESIVOS.**

Este método consiste en fabricar las dovelas en las que se divide el tablero en un parque de prefabricación situado cerca de la ubicación del puente. Inicialmente deben estar construidas las pilas del puente y la dovela 0, o dovela inicial que está ubicada sobre la pila y debe ser construida insitu. Teniendo todas las pilas listas, se procede a ubicar los carros de avance sobre la dovela cero, usándola como soporte para el equipo de instalación. Es así como se procede a realizar el alzado de la primer dovela prefabricada, la cual se instala mediante una grúa y se ubica en el tramo siguiente a la dovela 0. Posteriormente se procede a tensionar y sucesivamente instalar las dovelas prefabricadas para el respectivo vano (Figura 13).

Figura 13: Instalación de una dovela prefabricada



Fuente:[http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/files/2013/04/858802\\_331527263630484\\_1482261224\\_o.jpg](http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/files/2013/04/858802_331527263630484_1482261224_o.jpg)

Usando este método constructivo, se destacan como principales ventajas:

- El corto plazo de construcción.
- La ejecución simultánea de subestructura y tablero, así como la instalación del mismo.
- El control de calidad en la fabricación de los elementos.
- Aislamiento de las condiciones meteorológicas de la región gracias al parque de prefabricación.

Para lograr con éxito desarrollar este sistema constructivo, se requiere de equipos especiales que permitan avanzar y sostener la formaleta, además de un concreto que desarrolle altas resistencias a edades tempranas con el objetivo de soportar los esfuerzos de la dovela anterior.

### **6.2.2. TABLEROS DE DOVELAS PREFABRICADAS VANO A VANO. (25M < L < 50M)**

El objetivo en este caso es constituir una viga usando dovelas unidas mediante postensado. El rendimiento de este sistema constructivo es de 1 vano de 50m cada 3 o 4 días, ya que depende donde se fabriquen los elementos y los equipos usados para la posterior ubicación y tensionamiento. Para la instalación de estas dovelas, es necesaria una cimbra de la cual se suspenden todos los tramos de dovelas correspondientes a un mismo vano (Figura 14), los cuales posteriormente se tensionan.

Figura 14: Instalación de dovelas vano a vano mediante cimbra.



Fuente:

[http://img.alibaba.com/photo/509936741/900t\\_Bridge\\_girder\\_launching\\_gantry\\_for\\_high\\_speed\\_railway.jpg](http://img.alibaba.com/photo/509936741/900t_Bridge_girder_launching_gantry_for_high_speed_railway.jpg)

### **6.3. PUENTE DE LA LINEA 4 DEL METRO.(Chile) – ESTACION PROTECTORA DE LA INFANCIA-ROJAS MAGALLANES**

En todo el mundo, el metro hace parte de la red de transporte público que une múltiples sectores del área que tiene destinada a cubrir. Por lo anterior, se convierte en un medio de transporte totalmente necesario para la mayoría de las personas que prefieren usar eficazmente el sistema para llegar y salir de sus sitios de trabajo.

Una de las líneas de Metro más concurrida es la Línea 4, la cual se divide en tres sectores, los cuales se pueden distribuir entre uno subterráneo, uno en superficie y otro en altura. El último sector, fue construido mediante dovelas prefabricadas (Figura 15), método constructivo utilizado por primera vez en Chile y en Sudamérica. El sistema de dovelas se basa en una estructura de hormigón armado prefabricado, que en la obra es lanzada y montada por una viga lanzadora. La superestructura se caracteriza por las dovelas prefabricadas y postensadas en el momento de la instalación, 9 de las cuales, se encuentran distribuidas en tramos rectos de 35 metros, y dos dovelas ubicadas en la corona de las pilas.

Figura 15: Puente de la Línea 4 del metro de Chile.



Fuente: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=599112>

Para la producción de dovelas se puso una planta de prefabricación a orillas del río Maipo en Puente Alto, para la producción de alrededor de 2500 dovelas, todo esto para un plazo de solo un año (construcción de la planta y de las dovelas). Para el proceso de montaje de las dovelas, se tomó el cuidado de tenerlas especificadas, ya que cada una es diferente y se puede posicionar en un único espacio del tramo.

Para la construcción del viaducto, se usaron 3 vigas lanzadoras, dos de las cuales se encontraban ubicadas en los extremos y una al centro de todo el largo del proyecto. Estas vigas son de grandes dimensiones y se van apoyando en cada columna, auto desplazándose al tramo siguiente. Una de las vigas lanzadoras tenía la habilidad de colocar dovelas en tramos curvos. [3]

#### **6.4. PUENTE CONFEDERACIÓN (CANADÁ).**

La construcción de este puente (Figura 16) represento un reto de ingeniería, ya que se tuvieron enfrentaron a las condiciones climáticas de la zona, y debían culminar la construcción en muy poco tiempo. Dicha obra se logró con un diseño innovador que consistía en la utilización de largos tramos prefabricados con 250m de longitud típica en cada tramo. Los componentes del puente fueron hechos de concreto reforzado y de acero en un centro de construcción en Amherst Head. Se hizo necesario instalar escudos contra el hielo en todas las pilas, con el fin de evitar los efectos de las mareas altas y el hielo que se forma en invierno.

Figura 16: Puente Confederación, Canadá.



Fuente:

<http://megaconstrucciones.net/images/puentes/foto/confederation-bridge.jpg>

El puente se curva en una ligera forma de S, buscando evitar que los conductores pierdan la perspectiva en un puente elevado que no cuenta con ningún punto de referencia. En casi todo el trayecto, el tablero tiene un galibo de 40 metros sobre el agua, aunque la parte central del puente se eleva hasta 60 metros para permitir el paso de las embarcaciones grandes. La edificación de esta maravilla creada por el hombre requirió 400 mil m<sup>3</sup> de concreto. Fue inaugurado el 31 de mayo de 1997 y es el puente más largo del mundo, con una longitud total de 12.9km, construido sobre el agua cubierta de hielo y conectando la Isla Príncipe Edwards y la costa este de Canadá [4]

## 6.5. PUEBTE DE SAN ENRIQUE

Puente sobre el río Guadiaro (Figura 17), construido por la empresa Corsán, para evitar el paso por los poblados de Guadiaro y San Enrique, por el puente metálico sobre el Guadiaro que era excesivamente estrecho y además tenía limitada la carga máxima, así como por el tramo peligroso con bastantes curvas cerradas que conducían a dicho puente. El puente consta de 9 vanos de 29,50 metros de longitud resueltos mediante vigas prefabricadas de hormigón pretensado

Figura 17: Puente de San Enrique.



Fuente: <https://n-340.org/patrimonio/items-patrimoniales/cadiz/san-roque/conjunto-de-guadiaro/puente-de-san-enrique/>

## 6.6. PUENTE ANITA GARIBALDI

El Puente Anita Garibaldi (Figura 18) fue construido en Brasil usando el primer equipo BERD en Suramérica, la LG50/100, especialmente concebida para la construcción de esta estructura en Laguna, Estado de Santa Catarina.

El Puente de Laguna es una obra notable por su grandiosidad y tiene 52 vanos, 2 de 100 metros, 1 de 200 metros y 49 vanos de 50 metros. BERD creó esta lanzadora, dotada de Sistema OPS (Organic Prestressing System), el cual, consiste en un sistema de pretensado que realiza un control activo de la deformación durante la ejecución del tablero. Este sistema posee innumerables beneficios cuando se aplica a estructuras en las que la carga variable es muy importante cuando se compara con la carga permanente, como es el caso de las cimbras móviles o lanzadores de dovelas para la construcción vano a vano y permite, de este modo, diseñar estructuras más ligeras y esbeltas con los mismos materiales estructurales. [17]

En la construcción de este proyecto se implementó la lanzadora BERD para la construcción de los 49 vanos de 50 metros, vano a vano, en ciclo semanal, con el método de dovelas prefabricadas y sin necesidad de encofrado o hormigonado en el terreno, debido a las restricciones ambientales en la zona.

El puente Anita Garibaldi fue construido en 38 meses con una inversión de 777 millones de reales. Se construyó con el fin de solucionar el cuello de botella en la carretera federal BR 101. Esta vía es el principal nexo terrestre de Brasil con Argentina. [17]

Figura 18: Puente Anita Garibaldi.



Fuente: <http://ndonline.com.br/florianopolis/noticias/269897-em-oito-fotos-relembre-a-construcao-da-ponte-anita-garibaldi-em-laguna.html>

## 6.7. PUENTE VIDIN-CALAFAT

Este puente ha sido galardonado con importantes premios en el mundo de la ingeniería y fue una de las infraestructuras más grandes de Bulgaria y Rumanía. Se trata del puente vehicular y ferroviario que une las poblaciones de Vidin (Bulgaria) y Calafat, (Rumanía), el cual culminó su construcción en junio de 2013 tras 6 años de trabajo.

El Puente Vidin-Calafat (Figura 19), atraviesa el río Danubio, constituyéndose como el segundo paso sobre este afluente hídrico entre ambos países. Es un puente combinado con una longitud total de 1.951 metros para tráfico vehicular y ferroviario. Consta de cuatro carriles para circulación vehicular, ferrocarril de vía sencilla electrificada, carril para bicicletas y dos aceras para peatones.

Consta de tres partes, la primera consiste en el viaducto de acceso para el ferrocarril, en tierra y las dos restantes se construyeron usando dovelas prefabricadas, de 13 vanos, con luces entre 80 m en el canal no navegable y 180 metros en el canal navegable. [14].

Figura 19: Puente Vidin-Calafat, sobre el Río Danubio.



Fuente:<http://www.mosingenieros.com/2015/07/el-puente-sobre-el-rio-danubio.html>

## **7. POSIBLE APLICACIÓN EN COLOMBIA DE TECNICAS DE CONSTRUCCION PREFABRICADA PARA SUPERESTRUCTURA DE PUENTES EN CONCRETO.**

Colombia adelanta un proceso de avance y mejoramiento de la infraestructura nacional, generando inversiones millonarias al sector vial, para promover tanto el turismo como el transporte en general, favoreciendo los diferentes sectores productivos nacionales, ya que se mejorarían los tiempos de entrega de la materia prima, entre otros beneficios.

Actualmente se están adjudicando grandes tramos de corredores viales a diferentes consorcios, los cuales tienen la obligación de cumplir tiempos de entrega considerablemente reducidos debido a la necesidad que tiene el país de contar con las vías proyectadas, pues las vías actuales, se quedan cortas para la cantidad de tránsito vehicular de Colombia. Por tal motivo, se genera el requerimiento de la construcción de diversos puentes a lo largo del territorio nacional, que complementen los tramos viales en sectores donde la geografía es agreste, geológicamente inestable, o bien sea lograr el paso sobre un afluente hídrico.

Siendo lo anterior una de las diferentes razones por las cuales se debe agilizar el proceso de construcción de la malla vial, posteriormente se presentan diferentes obstáculos o circunstancias inevitables, como lo es el cambio climático, el cual es un factor que si bien no es directamente proporcional a un avance de obra, afecta la realización de ciertas actividades, ya sea por excesos de lluvia, deslizamientos de tierra, etc.

Dado lo anterior, con el objetivo de prever que las condiciones ambientales afecten en lo más mínimo el avance de obra de los puentes pertenecientes a estos proyectos en el país, y ante la inminente necesidad de llevarlos a cabo a corto plazo, se necesita planear una estrategia para facilitar la construcción acelerada de estas obras, ya que con las técnicas de construcción de puentes en concreto actuales en el país, no se lograría el objetivo de habilitar estas vías en el menor tiempo posible. Es así como surge una técnica alternativa para el desarrollo de este tipo de estructuras, como es la prefabricación de la superestructura de puentes en concreto.

En cuanto a la construcción prefabricada para superestructura de puentes en concreto, se tienen identificados diferentes métodos constructivos. Uno de ellos hace referencia a la construcción por medio de voladizos sucesivos usando dovelas prefabricadas, el cual fue la evolución a nivel internacional de los

voladizos sucesivos fundidos in-situ. Se evidencian diferentes ventajas y desventajas, las cuales se deben considerar.

- Aunque en el país la técnica de construcción de puentes en concreto predominante es voladizos sucesivos, podemos comparar los tiempos de ejecución de este método, contra los tiempos de ejecución de los puentes contruidos por dovelas prefabricadas, donde se puede concluir que tiene mayor velocidad de ejecución el método constructivo de dovelas prefabricadas, ya que se puede contar con la instalación de dos dovelas por día, mientras que en la fabricación in situ se estima la producción de una dovela por semana.[16]
- Este tipo de método constructivo se ha generalizado a través del tiempo llegando a ser una alternativa viable desde el punto de vista económico y práctico, considerando la construcción de tableros con segmentos prefabricados cubriendo grandes longitudes, ya que el elevado número de dovelas que se fabriquen en las plantas de prefabricación debe ser considerable para justificar de esta forma, los costos incurridos en adecuar dichas instalaciones, así como los equipos de transporte e izaje de cada uno de estos elementos.[20]
- Se debe manejar una programación muy exigente de las labores de prefabricación e instalación de los elementos en la estructura. Para que el desarrollo de la obra genere los rendimientos y el beneficio económico esperado, se debe empezar a fabricar las dovelas del puente meses antes de empezar con el proceso se izaje (aprovechando el avance de las cimentaciones y las pilas.), ya que se necesita un equilibrio en el flujo de dovelas a instalar y dovelas disponibles en sitio durante todo el proceso de elaboración del tablero para garantizar el rendimiento, el cual es la ventaja de la técnica. Lo anterior con el fin de evitar retrasos en los tiempos de obra así como pérdidas por subutilización de los equipos.
- Para la fabricación de las dovelas en los parques o plantas de prefabricación, se cuenta con el método de la dovela conjugada, el cual a su vez se divide en dos métodos, fabricación en línea larga y en línea corta.
  - ✓ La fabricación de las dovelas conjugadas en línea larga requiere de un espacio donde se fabrica una cama con la geometría del fondo del tablero que se pretende fabricar, sobre la que se funde dovela a dovela con el desplazamiento del encofrado sobre la cama. Este método se dejó de usar debido a la dificultad de contar con el espacio requerido para fabricar la cama y por considerarse poco automatizado. [16]

- ✓ La fabricación de las dovelas conjugadas (Figura 20) en línea corta consiste en elaborar una célula de prefabricación en la que el encofrado consta de:
  - La dovela adyacente (dovela conjugada), en la cara de contacto con la misma.
  - Un encofrado fijo o máscara para la cara de la junta opuesta.
  - Una mesa regulable para el encofrado inferior.
  - Encofrados laterales que se adaptan a los encofrados mencionados anteriormente.
  - Un encofrado interior retráctil que se introduce a través de la máscara.

Figura 20: Dovela Conjugada.



Fuente: Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos. Mario Gerardino Perdomo, 2011.

En este método, la geometría de las dovelas se obtiene ubicando estratégicamente la dovela conjugada con respecto a la máscara y acomodando los encofrados restantes según la geometría que éstas proyecten, apoyadas sobre mesas de encofrado manejadas mediante gatos hidráulicos, los cuales brindan la capacidad de ubicarlas en cualquier posición.

A pesar de todos los controles rigurosos para fabricar las dovelas en la forma geométrica que trae el diseño, generalmente se presentan modificaciones debido al peso de los elementos y al movimiento de la dovela conjugada en el momento de la fundida, por esta razón, siempre se verifican las medidas inmediatamente después de la fabricación del elemento para poder realizar los ajustes necesarios y obtener al final, con empalmes casi perfectos, la estructura deseada.

- Previamente al inicio de la prefabricación de las dovelas, se debe establecer un sistema de control geométrico óptimo (Figura 21), usando equipos apropiados y de alta precisión, con el objetivo de disminuir al máximo la probabilidad de cometer errores, y de esta forma no tener inconvenientes en el momento de realizar el montaje de las dovelas.

Figura 21 Control geométrico de dovela recién fabricada.



Fuente: Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos. Mario Gerardino Perdomo 2011.

- El uso repetitivo de los moldes para todos los elementos genera una disminución en costos respecto a los encofrados y los sistemas de andamios, con la ventaja adicional de obtener secciones de mayor resistencia estructural. Esto se presenta para puentes de gran longitud.

En cuanto al método constructivo de vigas prefabricadas, se obtienen ventajas similares a la construcción por medio de voladizos sucesivos usando dovelas

prefabricadas, con la diferencia de ser más eficiente para puentes con luces cortas, y con plantas de prefabricación cercanas al sitio de la obra, ya que debido a la longitud de los elementos estructurales, se dificulta el transporte de los mismos (Figura 22) hasta el sitio del izaje.

Figura 22: Transporte de una viga prefabricada.



Fuente: <https://pbs.twimg.com/media/CYux8sVWAAAGdpQ.jpg>

Ya se han planteado diferentes ventajas en cuanto a la prefabricación de los elementos de la superestructura de puentes en concreto, pero así mismo, Colombia tiene diferentes limitaciones geográficas que dificultan el óptimo desarrollo e implementación de este método constructivo. En cuanto a las vigas prefabricadas, no se puede contar con tramos muy largos de vigas, ya que debido a la geografía agreste del país, se hace imposible trasladar estos elementos por sectores de tránsito común y necesario entre departamentos como puede ser el sector del Cañón del Chicamocha o hacia el eje cafetero en el sector de “La Línea” y muchas otras zonas de la geografía nacional. Dada esta situación, y siempre y cuando el volumen del proyecto lo amerite, se puede considerar elaborar las plantas de prefabricación temporales cerca al sitio de la obra, contando con los tiempos previos necesarios para aprovechar al máximo los equipos de izaje y suministrar eficazmente los elementos que se necesita instalar.

Como alternativa para afrontar la condición de las vías de nuestro país, se puede implementar el método de voladizos sucesivos usando dovelas prefabricadas, las cuales, al ser de un tamaño considerablemente menor que las vigas prefabricadas, y con capacidad de cubrir luces de puentes más

grandes, se convierten en la alternativa más opcionada para la industrialización de la construcción de puentes en concreto en Colombia, ya que se puede considerar el transporte de las dovelas (Figura 23) por las carreteras de nuestro país, aunque se debe considerar la altura de cada elemento, el cual debe respetar el galibo de los puentes por donde debe transitar para llegar al sitio de izaje. Así mismo, se puede considerar la implementación de las vigas prefabricadas segmentadas, para las cuales se ubica pila a pila una viga de acero, donde se posiciona cada uno de los segmentos y posteriormente se tensiona simultáneamente todo el tramo de luz.

Figura 23 Transporte de una dovela prefabricada.



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=qevrdbFy13I>.

Con el objetivo de verificar el comportamiento a través del tiempo de las estructuras que se construyen por medio de dovelas prefabricadas, la ASBI (American Segmental Bridge Institute) realizó un inventario de puentes de dovelas de hormigón construidas en los Estados Unidos y Canadá, donde se identificaron 194 estructuras por tipo y edad. Los resultados arrojaron un 98% de satisfacción y buen estado de los puentes. En la realización de un segundo inventario después de 5 años, los resultados arrojaron que para un total de 164 estructuras evaluadas, el 99% se encontraba en buenas o muy buenas condiciones. Debido a lo anterior, la ASBI concluyó que el método constructivo mediante el uso de dovelas prefabricadas está funcionando bien con el pasar de los años. [11]

## 8. CONCLUSIONES

- La prefabricación de superestructura de puentes en concreto se convierte en una alternativa viable de usar siempre y cuando la longitud del puente amerite y compense los costos de la maquinaria a utilizar.
- Con la prefabricación de las dovelas y vigas, donde se controlan los agentes externos o medioambientales, se obtienen elementos de mejor calidad que los fundidos in situ.
- La velocidad de construcción cuando se usan elementos prefabricados en la superestructura de puentes en concreto es más elevada que fundiendo los elementos in situ.
- Para la implementación de este método constructivo se requiere mano de obra especializada, ya que los procesos que se realizan tanto en los parques de prefabricación, como en el montaje e instalación, deben ser ágiles y precisos. En Colombia, generalmente la mano de obra del sector de la construcción no tiene dichas características. Lo anterior implica un costo adicional de capacitación de empleados para las empresas.
- Los costos de la maquinaria necesaria para la prefabricación, transporte, izaje e instalación de las dovelas o vigas prefabricadas, deben ser compensados con el avance de obra y el tamaño de la misma, para que de esta manera, se vea reflejada la agilidad de la construcción sin incrementar los costos de manera significativa.
- La geografía Colombiana limita las posibilidades de prefabricar elementos de grandes longitudes, ya que se vuelve prácticamente imposible transportarlos. Debido a lo anterior, se puede optar por la prefabricación de dovelas para la construcción de la superestructura de puentes en concreto.
- Uno de los grandes enemigos de este método constructivo de superestructura de puentes en concreto, es el mismo ser humano; La sociedad es naturalmente resistente al cambio, siendo estrictamente necesario lograr este objetivo para poder implementar esta técnica en el país, ya que se debe tener clara la ventaja de obtener una calidad superior de los elementos prefabricados comparada con la calidad y tiempos de ejecución de los elementos fabricados in situ y por ende expuestos a los efectos del medio ambiente durante la elaboración.

- La implementación de la construcción de puentes en concreto con elementos prefabricados permite reducir los plazos de ejecución, disminuyendo tiempos muertos en la programación de obra, ya que a medida que se va construyendo la infraestructura del puente, se puede avanzar con la prefabricación de la superestructura, la cual se instala en un menor tiempo que si se fabricara in-situ.
- En cuanto al comportamiento de las estructuras construidas usando dovelas prefabricadas, la ASBI realizó un inventario a puentes construidos en Estados Unidos y Canadá, donde se puede evidenciar un comportamiento positivo a través de los años.
- Para ser concluyentes, se deben adelantar estudios detallados que identifiquen si económicamente para determinada situación, es viable aplicar lo aquí propuesto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Asocreto, Noticreto edición 128. Enero/Febrero 2015.
2. Casares, Marcelo. Dovelas-Metro de Santiago Alta Innovacion. 2004.
3. Construcción del puente confederación. [www.megaconstrucciones.net](http://www.megaconstrucciones.net) Consultado el 16/05/2016.
4. Dovelas Prefabricadas. Vargas Montero, Jaela. 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=qevrdbFy13I>, Consultado el 16/05/2016.
5. Gregorio Renteria Ingenieros S.A. GRISA, Puente Helicoidal. [www.grisacol.com](http://www.grisacol.com) Consultado el 16/05/2016.
6. GRISA, Proyecto Viaductos de la Estampilla, Memoria Descriptiva. . [www.grisacol.com](http://www.grisacol.com) Consultado el 16/05/2016.
7. Jorquera Lucerga, Juan José. Estudio del comportamiento resistente de los puentes arco espaciales. Noviembre 2007.
8. Legis S.A. Construdata Edicion 159: Informe especial puentes. 2011
9. López, Elkin. Vanegas, Sergio. Sistemas constructivos en puentes con pretensado extradosado, Estado del Arte. Bucaramanga, 2009.
10. Luna Oliva, Carlos. Análisis y dimensionamiento de puentes construidos por avance de cimbra. 2015
11. Miller, Maurice D. Durability of Segmental Concrete Bridges. Journal of bridge engineering, November/December 2001.
12. Nancu, Maria Luiza. Metodología para el análisis y dimensionamiento de puentes construidos evolutivamente mediante avance por voladizos sucesivos. Trabajo de grado. 2014. 4
13. Osorio, Jesús David. Argos, Blog 360° en concreto. Ingeniería Colombiana: Puentes de la Calle 100 en Bogotá. Consultado el 16/05/2016.
14. Página Oficial, <http://www.vidincalafatbridge.bg/en/> , puente Vidin-Calafat sobre el rio Danubio, Consultado el 16/05/2016.

15. Perdomo, Mario. Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos. 2011.
16. Quintana Ytzu, Maria Fernanda. Métodos constructivos de puentes atirantados – Estudio de la distribución de fuerzas en los tirantes. 2007.
17. Restrepo, Jorge Enrique. Argos, Blog 360° en concreto. Hablemos de puentes de concreto en Colombia. Consultado el 16/05/2016.
18. Video Youtube BERD LG50/100, <https://www.youtube.com/watch?v=ewOXzw1MuVU>. Puente Anita Garibaldi. Consultado el 16/05/2016.
19. Yepes Piqueras, Victor. Procedimientos de Construcción. 2015. Consultado el 16/05/2016.
20. [www.banrepcultural.org/node/32381](http://www.banrepcultural.org/node/32381), Bell Lemus, Carlos Arturo. 1999. Consultado el 16/05/2016.
21. [www.conconcreto.com/Puente-gilberto-echeverri-mejiaes-co](http://www.conconcreto.com/Puente-gilberto-echeverri-mejiaes-co). ConConcreto S.A. Consultado el 16/05/2016.
22. [www.constructecsa.com](http://www.constructecsa.com) Construtec S.A.S Consultado el 16/05/2016.
23. [www.grodco.com.co](http://www.grodco.com.co) Grupo empresarial GRODCO, Grodco Ingenieros Civiles. Consultado el 16/05/2016.